

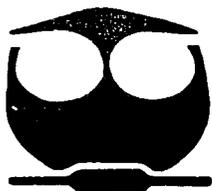


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS Y COMPETITIVIDAD EN LA INDUSTRIA CEMENTERA MEXICANA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA:
JUAN JESUS CARMONA ROMERO



MEXICO, D. F.

2002

LIBRERIA DE LA FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente: José Luis Padilla De Alba

Vocal: Hugo Norberto Ciceri Silvenses

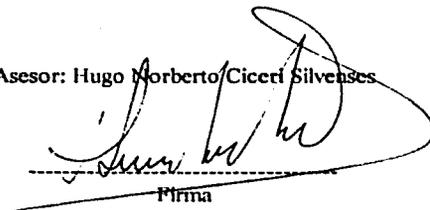
Secretario: Baldomero Pérez Gabriel

1er sup: Eduardo Flores Palomino

2do sup: Rolando Javier Bernal Pérez

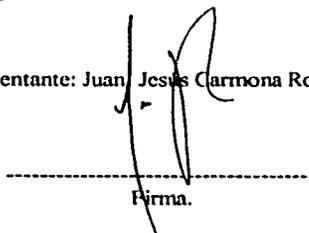
Edificio D, Facultad de Química, Ciudad Universitaria

Asesor: Hugo Norberto Ciceri Silvenses



Firma

Sustentante: Juan Jesús Carmona Romero



Firma.

Este trabajo con el cual finalizo uno de mis principales objetivos en la vida esta dedicado a:

Mi madre, padre y hermanos que siempre estuvieron brindándome su apoyo y motivándome a seguir adelante.

Gabriela por su apoyo durante toda la carrera.

Índice

	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I. Reseña Histórica de la Industria del Cemento.....	1
1.1 Los cementos en la antigüedad.....	2
1.2 La Invención del cemento Pórtland.....	5
1.3 Fechas relevantes de la Industria Cementera Mexicana.....	14
1.4 Conclusiones.....	22
Capítulo II. Tipos y Composición de los Cementos.....	23
2.1 Composición de los cementos.....	24
2.2 Clasificación de los cementos.....	28
2.3 Productos de las compañías cementeras mexicanas.....	30
2.4 Insumos e inversiones en empaque y transporte.....	35
2.5 Conclusiones.....	36
Capítulo III. Características Económicas del sector correspondientes a la Industria Cementera Mexicana.....	38
3.1 Clasificación manufacturera.....	39
3.2 Clasificación censal.....	39
3.3 Definición del sector.....	40
3.4 Producto interno bruto.....	40
3.5 Producción, consumo aparente y capacidad instalada.....	41
3.5.1 Producción.....	41
3.5.2 Consumo nacional.....	42
3.5.3 Capacidad instalada.....	42

3.6 Importaciones y Exportaciones.....	43
3.7 Mercado nacional.....	46
3.8 Conclusiones.....	47
Capítulo IV Tecnologías y procesos para la fabricación del Cemento.....	49
4.1 Descripción de los principales procesos.....	50
4.1.1 El proceso seco.....	50
4.1.2 El proceso humedo.....	54
4.1.3 Proceso semi húmedo y semi seco.....	57
4.2 Características tecnológicas de cada etapa.....	58
4.4 Conclusiones.....	70
Capítulo V Demanda de energía.....	71
5.1 Ahorro de energía debido a la sustitución parcial de <i>clinker</i> por materiales con propiedades cementantes.....	74
5.2 Sustitución de combustibles no renovables por combustibles alternos.....	76
5.2.1 Llantas.....	79
5.2.2 Aceites y lubricantes usados.....	83
5.3 Subsidios energéticos.....	88
5.4 Impacto Ambiental.....	96
5.4 Conclusiones.....	92
Conclusiones.....	94
Bibliografía.....	96

Índice de Tablas

	Pág.
2.1 Especificaciones mecánicas para los diferentes tipos de cementos.....	29
2.2 Características especiales para los diferentes tipos de cementos.....	30
2.3 Insumos totales de empaque y equipo de transporte de la Industria Cementera Mexicana.....	35
2.4 Inversión fija bruta por tipo de activo en equipo de transporte.....	35
2.5 Tabla comparativa de los diferentes tipos de cemento que producen las compañías cementeras mexicanas.....	37
3.1 Producto interno bruto por división.....	41
3.2 Producción anual de la Industria Cementera Mexicana.....	41
3.3 Consumo nacional de cemento en México.....	42
3.4 Producción anual por compañía cementera mexicana.....	47
4.1 Capacidad instalada de las compañías cementeras mexicanas por tipo de proceso.....	58
4.2 Porcentaje de utilización de las diferentes tecnologías.....	64
4.3 Tabla comparativa de las diferentes tecnologías en el consumo de energía y producción..	65
4.4 Tabla comparativa de las diferentes tecnologías en la molienda.....	70
5.1 Costos de energía eléctrica y combustibles.....	74
5.2 Participación de los cementos puzolanicos en la producción nacional y el porcentaje de ahorro.....	75
5.3 Plantas dedicadas a la obtención de combustibles alternos.....	86
5.4 Plantas con autorización para utilizar combustibles alternos.....	87
5.5 Costos de energía eléctrica.....	88
5.6 Costos de gas.....	88

5.7 Composición físico-química de los combustibles alternos.....	91
5.8 Condiciones y límites de emisión máxima para hornos de cemento que quemán combustibles alternos.....	92

Índice de gráficas

3.1 Capacidad instalada y porcentaje de utilización de la planta.....	43
3.2 Destino de las exportaciones.....	44
3.3 Exportaciones de la industria del cemento.....	44
3.4 Importaciones de la industria del cemento.....	45
3.5 Destino de las importaciones.....	45
3.5 Porcentaje de producción de cemento por compañía.....	46
5.1 Consumo de energía por rama industrial.....	72
5.2 Consumo de electricidad por rama industrial.....	73
5.3 Consumo de combustibles por rama industrial.....	73

Índice de figuras

4.1 Diagrama de proceso seco.....	55
4.2 Diagrama de proceso húmedo.....	56
5.1 Generación y disposición final de las llantas de desecho en México.....	81
5.2 Generación y disposición de aceites usados.....	84

Introducción

Este trabajo tiene el propósito de hacer un análisis a la industria cementera mexicana (Cemex, Apasco, Grupo Cementos de Chihuahua, Grupo Moctezuma, Cooperativa Cruz Azul y Lafarge Cementos) para conocer las estrategias y alternativas tecnológicas que ha utilizado para seguir siendo competitiva a pesar de la gran demanda de energía que requiere su proceso de producción. Además identificar los factores que han permitido que algunas compañías tengan ventaja competitiva.

El trabajo consta de cinco capítulos; en el primero se hace una reseña histórica del cemento y la evolución de las compañías desde su construcción hasta el año 2000, en el segundo se mencionan los compuestos por los que esta formado y los diferentes tipos de cementos que producen y sus aplicaciones, en el siguiente capítulo se sitúa a la industria a nivel macroeconómico, en el cuarto se describen las etapas de los diferentes procesos industriales y las alternativas tecnológicas con que cuenta, en el ultimo se muestran las grandes cantidades de energía que requiere su proceso y se analizan las estrategias que ha utilizado para reducir este consumo.

Capitulo I Reseña Histórica de la Industria del Cemento

En este capítulo se presenta una reseña histórica de los diferentes materiales que utilizaban los egipcios, romanos y griegos para poder hacer sus construcciones además se hace un recuento histórico de la contribución de muchos hombres por mejorar y producir un mejor cemento hasta llegar a la primera patente de cemento Pórtland y se enlistan las fechas más relevantes de las compañías productoras de cemento en México desde su fundación hasta el año 2000.

1.1 -Los cementos en la antigüedad.

No tenemos medios de averiguar cuando se descubrió por primera vez un material aglomerante, pero debió descubrirse inmediatamente después del primer uso inteligente del fuego. Uno puede imaginarse al hombre primitivo encendiendo su fuego en un hoyo rodeado de piedras de caliza. El calor descarbonata una parte de las piedras que caen convertidas en polvo entre las restantes. Una ligera lluvia por la noche moja este polvo y las trozas de piedra quedan solidamente unidos, formándose la primer mampostería.

El aglomerante empleado por los primitivos egipcios era un yeso impuro cocido; la caliza calcinada no se usó hasta los periodos griego y romano. A veces la cal viva así formada se mezclaba con agua y se usaba sin adiciones posteriores pero en general la mezclaban con arena, grava, piedra partida, tejas rotas o ladrillo. Probablemente los morteros más primitivos fueron de arena, cal y agua y se usaron solo para unir las estructuras de piedra y ladrillo; pero los ladrillos y tejas partidas fueron de uso corriente ya en tiempos muy antiguos, para incorpo-

rarlos a los morteros y así nació el primer hormigón. Este se usó para pavimentos después para muros de edificios y pronto se introdujeron la grava y la piedra triturada.

A su debido tiempo se notó que unas arenas eran mejores que otras, especialmente para morteros que hubieran de resistir la acción del agua durante largos periodos. Podemos presumir que se incorporaron al cemento toda clase de agregados en una u otra época y pronto se descubrió que ciertas rocas volcánicas tenían mayor resistencia y duración tanto en aguas dulces como saladas. Los griegos usaban una piedra volcánica de la isla de Santorin. Los romanos usaban un material similar aunque de color más oscuro, que se encuentra en gran cantidad alrededor de la bahía de Nápoles, llamado puzolana, porque se encontró, por primera vez en las cercanías de Puzzuoli, junto al Vesubio. Vitruvio¹ se refiere a este material como una especie de arena que si se mezcla con cal y cascajo se endurece, tanto bajo el agua como en construcciones corrientes. De esta mezcla están construidos el Panteón Romano, el Coliseo, la Basílica de Constantino, el Puente del Gard cerca del Nimes en el Sur de Francia y otras estructuras que han llegado a nuestros días y han resistido notablemente a los agentes destructores del tiempo.

La extraordinaria duración de estas estructuras ha inducido a autores posteriores a creer que los romanos estaban en posesión de algún secreto de dosificación o de fabricación que se ha perdido desde entonces, porque en la Edad Media la calidad de las construcciones y su duración fueron muy inferiores. Rondelet² llega a la conclusión de que " la excelencia de los

1 Vitruvius, P. *Architecture*, translated by John Weale, London, 1860 en Herman Bogue, Robert, *La química del cemento Portland*, Dossat s.a. España, 1952

2 Rondelet, *L'Art de bâtir*, Paris, 1805 en Herman Bogue, Robert, *La química del cemento Portland*, Dossat s.a. España, 1952

morteros romanos dependía, no de un secreto en el apagado o composición de la cal, sino de la perfección en el mezclado y apisonado”.

Por otra parte la mala calidad de los morteros usados en la edad media parece ser debida a una cocción incompleta de la cal, descuido en la mano de obra y carencia de piedras volcánicas. Después del siglo XII y XIV, mejoro la calidad y de nuevo se noto que esto iba acompañado de una perfecta calcinación de la cal y el uso de algún material similar a las piedras volcánicas anteriormente empleadas. El trass de Andernach, junto al Rhin cerca de Coblenza era un material de este tipo.

Quizás los primeros intentos de explicación de las reacciones por las cuales ciertas rocas se convierten en cementos por medio de la calcinación, han sido dados por Vitrubio³ en el siglo V a.c.:

“Las piedras como toda otra sustancia, están compuestas de los elementos; las que tienen mas aire son más blandas; las que tiene mas agua son por razón de su humedad más tenaces; las que tienen mas fuego, quebradizas. Si estas piedras se machacaran en trozos diminutos y se mezclaran con arena al ser sometidas al fuego, ni se unirían, ni se endurecerían, pero cuando se meten al horno y les penetra el violento calor del fuego, pierden su solidez primitiva; después de calcinadas y privadas de su fuerza quedan exhaustas y llenas de poros. Por tanto, habiendo sido así descargados y expelidos el agua y el aire que están en su sustancia y quedando solo el calor latente, después de llenarse de agua, que repele el fuego,

³ Vitruvius, P., *Architecture*, translated by John Weale, London, 1860 en Herman Hogue, Robert, *La química del cemento Portland*, Dunst s.a. España, 1952

las piedras recobran su vigor, y al entrar el agua en sus huecos origina una fermentación; la sustancia de la cal es así refrigerada y el exceso de calor expulsado.”

1.2. -La invención del cemento Pórtland.

El siglo XVIII y los primeros años del XIX han pasado a la historia como una era caracterizada por un afán de investigación y de libertad con relación a las represiones científicas de los siglos anteriores. La química y la física adelantaron rápidamente con la explicación de los fenómenos naturales

Era inevitable que en este periodo la curiosidad de muchos investigadores se dirigiera hacia el misterio del cemento. Químicos, ingenieros, constructores y profesores universitarios, todos hicieron importantes contribuciones. Pero en aquellos tiempos los medios de difusión del progreso científico no estaban bien organizados y los descubrimientos hechos en Londres no se conocían en Holanda o Francia. Así fue, que muchos hombres, trabajando independientemente descubrían la razón por la cual algunas cales son hidráulicas y otras no. Este descubrimiento fue anunciado por Smeaton en 1756, pero de nuevo fue dado a conocer, por lo menos seis veces entre esta fecha y 1830 (como a continuación se menciona).

John Smeaton.- Fue un ingeniero encargado de reconstruir el faro de Eddystone en la costa de Cornwall (Inglaterra) él conocía algunas calizas holandesas y también la alta reputación de algunas calizas locales Pero quería saber la razón de esta superioridad para tener la completa seguridad de que el mortero en su faro había de ser el mejor que pudiera hacerse que a pesar del agua, tuviera una consistencia tan firme en sí mismo y una adherencia tal a la piedra que perdurase a través de los tiempos. Obteniendo cales preparadas de muchas procedencias y material puzolánico de varios tipos, procedió a hacer ensayos, usando agua dulce y salada y en presencia de distintas cantidades de cales cocidas. Su método puede parecerse rudimentario, pero le dio el resultado que necesitaba⁴:

“Tome una cantidad de los ingredientes tal, que en conjunto formase una bola de unas dos pulgadas de diámetro. Puse esta bola sobre un plato hasta que se endureció y no cedía a la presión de los dedos, la sumergía en agua y lo que ocurría a la bola en estas condiciones era para mí el criterio por el cual juzgaba la validez de la composición con respecto a nuestros propósitos”.

Se creía generalmente que las mejores cales se obtenían de las calizas más duras, pero Smeaton encontró que las mejores para este propósito se obtenían, no de las rocas relativamente puras y duras sino de las blandas e impuras.

Por métodos rudimentarios de análisis hizo el muy importante descubrimiento de que

⁴ Smeaton, J., *Narrative of the of the Eddystone Lighthouse*, London, 1771 en Herman Hoque, Robert, *La química del cemento Portland*, Descat s.a. España, 1952

la cal hidráulica resistente a la acción del agua solo podía obtenerse de una caliza que contuviera una importante proporción de materia arcillosa. El yeso calcinado mas bien perjudicaba que mejoraba la calidad y desde luego una piedra puzolánica de Italia era lo mejor. Al terminar estos ensayos Smeaton³ hizo la siguiente observación:

“Con respecto a estas bolas que se mantenían constante bajo el agua, no parecen inclinadas a sufrir ningún cambio de forma sino a adquirir una dureza gradual, tanto que no dudo que he de hacer un cemento que igualara la mejor piedra de Pórtland del mercado en solidez y duración”.

El gran proceso de Smeaton consistió, en que comprendió que para la producción de un cemento hidráulico, la arcilla debía estar contenida en la caliza o serle añadida. El dijo así:

“Una mezcla de arcilla en la composición de una caliza puede ser el índice mas seguro de su validez para construcciones hidráulicas”.

Bry. Higgins⁵.- En 1780 Bry Higgins que seguramente desconocía el trabajo de Smeaton, aun sin publicar, hizo investigaciones sobre la cal desde el punto de vista de su contenido en anhídrido carbónico. Y escribió así:

“Acabo de aprender del filosófico trabajo del doctor Black que las piedras calizas que se calcinan para convertirlas en cal contienen una considerable cantidad de fluido elástico lla-

5 Higgins, B., "Experiments and observations made with the view of improving the art of compassing and applying calcareous cement and of preparing quick lime", London, 1780 en Herman Deque, Robert, *La química del cemento Pórtland*, Dossat s.a. España, 1952

mado aire fijo o gas aciduloso, el cual en combinación con la materia terrosa forma una gran parte de la masa y peso de estas piedras; y que la diferencia entre caliza y cal consiste principalmente en la retención o expulsión de aquella materia”.

Ateniéndose a esto explica el aireado de la cal:

“La cal que ha sido expuesta al aire durante un tiempo considerable antes de convertirla en mortero, impregnándose durante todo el de ese gas aciduloso, es incapaz de actuar como buena cal cuando esta convertida en mortero, siendo mas activa la que esta mejor calcinada”.

Higgins reconoció la necesidad de usar cantidades mínimas de agua e introdujo el uso de cenizas de madera lixiviadas mezcladas con cal.

En esta época, sin embargo se evitaba cuidadosamente la formación de una escoria vitrificada. Higgins⁶ escribía:

“Cuando la caliza o creta se calienta rápidamente hasta un grado muy elevado. vitrifica en las partes que tocan las llamas, o el horno, o el combustible y todo el conjunto se hace incapaz de apagarse libremente o de actuar como cal. la caliza es la más apta para vitrificar en tales circunstancias ya que contiene mas partículas yesosas o arcillosas y las conchas de ostras o de almejas vitrifican aun con mas facilidad que la caliza o creta”.

Bergman.- También en 1780 Bergman químico sueco encontró hasta un 2% de manganeso presente en ciertas calizas que al calcinarse daban un buen cemento hidráulico, y

6 Higgins, B., “Experiments and observations made with the view of improving the art of composing and applying calcareous cement and of preparing quick lime”, London, 1780 en Herman Bogue, Robert, *La química del cemento Portland*, Dossat s.a. España, 1952

no por otra razón atribuyo la excelencia de estas calizas al manganeso. G. de Morveau⁷ investigando para confirmar esta idea, analizo las principales cales hidráulicas de Francia. Encontró que todas contenían arcilla y solo una manganeso pero por su fe en el químico sueco, afirmó que el manganeso era la única causa de la hidraulicidad de las cales. Este punto de vista prevaleció hasta el año de 1860 en el cual Vitalis, profesor de Química y secretario de la Academia de Rouen, demostró que ciertas calizas que no contenían ningún manganeso, daban origen sin embargo a buenas cales hidráulicas.

Joseph Parker⁸. En algunos localidades a lo largo de la costa de Kentish se encontraron nódulos de un material pétreo que se separaban de los acantilados de caliza y rodaban al fondo. Joseph Parker averiguó en 1796 que estos nódulos sectarios de estratos terciarios, producían un cemento hidráulico excelente, calcinándolos del modo corriente. A este producto se le dio el nombre de cemento romano porque su color amarronado se parecía a los cementos de los antiguos romanos, hechos de caliza y puzolana. Este material llegó a ser uno de los cementos más conocidos de este periodo, y hubo muchos intentos de imitarlo. Y naturalmente un empeño tal dio por resultado el encontrar una nueva fuente de excelentes materias primas. Se molieron juntos trozos viejos de ladrillos y tejas se mezclaron con caliza y la mezcla se calcino. El producto tenía aproximadamente el color del popular Cemento Romano y con frecuencia era completamente satisfactorio.

7 Morveau, G. de, *Acad. digon*, 1785, en Herman Bogue, Robert, *La Química del cemento Portland*, Dossat s.a España, 1952.

8 Parker, J., *British patent 1796*, en Herman Bogue, Robert, *La Química del cemento Portland*, Dossat s.a España, 1952.

Descotels insinuó la importancia de un componente silíceo. En 1813 escribía así:

“Parece muy probable que la condición esencial para que una caliza de una cal magra buena, sea que contenga gran cantidad de materia silícea diseminada en partículas muy finas porque resulta poco probable que las pequeñas cantidades de alumina, magnesia y óxido ferrico presentes puedan tener ninguna influencia apreciable en sus propiedades”.

L.J.Vicat⁹.- el conocimiento fragmentario de la química que se tenía en 1818 fue coordinado por el eminente ingeniero francés Vicat quien hizo observar que lo que Smeaton estaba implícito, pero que no llevo a la practica; que en ausencia de arcilla o pizarra en la roca, se puede lograr el mismo resultado añadiendo artificialmente roca arcillosa a la caliza. Este procedimiento tuvo mas adelante la ventaja de que las proporciones se podían hacer en la medida deseada y de aquí que las propiedades del producto pudieran estar bajo una vigilancia mas uniforme y definida: cuando el contenido de cal era relativamente alto, el producto se apagaba después de la calcinación como una cal viva corriente; pero si había presente suficiente materia arcillosa, resultaba hidráulica y por tanto se llamo cal hidráulica. Cuando había presente una cantidad considerable de magnesia, alumina u óxido ferrico, el producto no se pagaba, pero tenia un valor hidráulico mas elevado. A esto se le llamo cemento natural. con relación a este material escribía:

“En el estado presente de nuestros conocimientos relacionados con las diferentes variedades de cal es imposible decir si existen ciertas proporciones determinadas de sílice y

⁹ Vicat, L. J., A practical and scientific treatise on calcareous mortars and cements, artificial and natural, translated by John Wolfe. London, 1860 en Herman Hogue, Robert, La Química del cemento Portland, Dosat s.a España, 1952.

magnesia, etc., que por su íntima asociación con las mínimas cantidades de materia caliza son capaces de producir cal de una resistencia igual. Pero una cosa es cierta e importante de recordar que no existe ningún mortero perfectamente hidráulico sin sílice y en toda cal que puede ser denominada así se encuentra por análisis químico que contiene una cierta cantidad de arcilla formada por sílice y alumina en proporciones similares a las que constituyen las arcillas corrientes”.

Reconociendo la importancia de las arcillas en las mezclas crudas, Vicat procedió a preparar cales hidráulicas por dos procedimientos. El mejor de los cuales decía, era mezclar arcilla en ciertas proporciones con cal rica y calcinar la mezcla. él llamó a esto cal artificial calcinada dos veces.

Un método más barato y que daba un producto algo más pobre consistía en mezclar la arcilla con una caliza molida. Pero como el mezclado y pulverizado eran menos perfectos que en el primer caso el producto era menos uniforme. Y él añadía:

“Vemos que regulando las proporciones podemos dar a la voluble cal el grado de resistencia que queramos y hacer que sea igual o sobrepase las cales naturales según nos plazca”

J. John¹⁰.- independientemente por completo de Vicat un científico holandés descubrió lo mismo. Los fabricantes de cal holandeses habían usado conchas de ostras para hacer sus cementos, pero notaron que la mampostería que hacían con tales cales era inferior a la de cier-

10 John, J. T., Lime and mortar in general, and the difference between mortar and shell lime and limestone in particular, and the theory of mortar, translated by Count Kerssenbroch, Hanover, 1925 en Herman Hogue, Robert, La Química del cemento Portland, Dossat s.a España, 1952.

tas calizas.

J. John gano él, premio en 1819 dando la misma explicación descubierta por Smeaton 63 años antes. Las conchas de ostras tienen muy pocas materias arcillosas pero si se les añadía arcilla en las proporciones adecuadas, antes de la calcinación, se obtenía un producto igual al de las mejores calizas.

James Frost.- uno de los primeros fabricantes que aplico estos principios fue James Frost el cual en 1811 usaba dos partes en peso de caliza por una de arcilla. Al producto se le llamo cemento de Frost. Pero en 1822 abandono este procedimiento y en una nueva patente especificaba el uso de calizas, magnesianas estando completamente o casi completamente libres de cualquier proporción de alumina o tierra arcillosa y conteniendo del 9 al 40% de tierra silice o combinaciones de silice y oxido de hierro, estando la silice en exceso y en un estado finamente dividido. Al producto obtenido de la calcinación de este material le llamo Cemento Británico.

Joseph Aspdin.- los esfuerzos de muchos de estos hombres durante los 68 años siguientes a los experimentos de Smeaton para producir y mejorar un cemento hidráulico debieron ser conocidos por Joseph Aspdin, quien en 1824 patento por primera vez un cemento que le llamo Cemento Pórtland En la patente de Aspdin¹¹ se especifica lo siguiente:

¹¹ Aspdin, J., *British patent 5,022*, doc. 18, 1824 en Herman Dague, Robert, *La Química del cemento Portland, Dunst sa España, 1952.*

“Mi método para hacer un cemento para construir edificios, cisternas o cualquier otra obra a que se quiera aplicar (y al cual yo llamo cemento Pórtland), es el siguiente: tomo una cantidad determinada de caliza de la que se usa generalmente para construir o reparar carreteras, cogiéndola de los caminos después de que esta reducida a polvo; pero si no puedo procurar una cantidad suficiente de dicha procedencia, obtengo la caliza misma y produzco el polvo, o la caliza misma, según el caso para calcinarla. Tomo entonces una cantidad determinada de tierra arcillosa o arcilla que uno a la cal y ambas las mezclo con agua hasta ponerlas en un estado cercano al impalpable ya sea a mano o a máquina. Después pongo la mezcla en un recipiente para su evaporación, sometiéndola a la acción del fuego hasta que el agua este totalmente evaporada. Entonces divido la mezcla, en trozos convenientes y los calcino en un horno parecido a los de cal, hasta que el ácido carbónico es totalmente expulsado. La mezcla así calcinada esta dispuesta para ser molida, batida o triturada con un rodillo, hasta ser un polvo fino y entonces esta en el estado conveniente para ser cemento. Este polvo se tiene que mezclar con una cantidad suficiente de agua hasta darle la consistencia de mortero y esto se utiliza para los fines deseados”.

Esto no demuestra que ni el producto ni el nombre fueran originales, su cemento como se indica en la patente, no revela ninguna diferencia con los cementos anteriores en particular con el producto dos veces calcinado de Vicat y el nombre parece haber sido originado por el comentario de Smeaton. De que el cemento que él había producido igualaria a la mejor piedra de Pórtland en solidez y duración.

1.3. – Fechas relevantes de la industria Cementera Mexicana.

A continuación se presenta algunas referencias históricas de las seis compañías productoras de cemento que hay actualmente en México; Cementos Mexicanos (Cemex), cementos Apasco, Cementos Cruz Azul, Grupo Cementos de Chihuahua, Grupo Pórtland Moctezuma y Lafarge Cementos y de las adquisiciones que se han producido en el sector que han posicionado a Cemex como el líder del mercado nacional.

CEMEX:¹²

- 1906 Año de su fundación con la apertura de la planta Cementos Hidalgo en el norte de México.
- 1920 Cementos Pórtland Monterrey, piedra angular de la compañía, inicia operaciones con una capacidad de producción anual de 20,000 toneladas.
- 1931 Cementos Hidalgo y Cementos Pórtland Monterrey se fusionan para formar Cementos Mexicanos.
- 1966 Cemex crece hasta ser un participante regional en la industria del cemento al adquirir la planta Mérida de cementos Maya y construir nuevas plantas en Ciudad Valle y Torreón.
- 1970's Cemex refuerza su presencia nacional a través de la instalación de nuevos hornos en sus plantas de Mérida y Monterrey y con la adquisición de una planta en la región central de México.
- 1976 Cemex se convierte en el líder del mercado mexicano con la adquisición de tres plantas de Cementos Guadalajara.

¹² Cemex , Historia (en línea), México 2001 (citado 28 Junio 2001), Disponible en: <http://www.cemex.com.mx>

1980's Cemex continua sus inversiones y expande su programa de exportaciones

Durante este periodo, la compañía incrementa en mas del doble sus volúmenes de exportación.

1987 Adquiere Cementos Anahuac, gana acceso al dinámico mercado central de México y refuerza sus capacidades de exportación.

1989 Adquiere Cementos Tolteca, el segundo más grande productor de cementos en México, convirtiéndose así en el mayor productor de México y en una de las diez Productoras de cemento más grandes del mundo.

1992 Adquiere Valenciana y Sansón, las dos compañías cementeras más grandes de España.

1994 Adquiere Vencemos la compañía cementera más grande de Venezuela, la planta Balcones en New Braunfels Texas y entra a Panamá con la adquisición de cemento Bayano.

1995 Adquiere Cementos Nacionales en Republica Dominicana.

1996 Adquisición de interés mayoritarios en Cementos Diamante y Samper de Colombia, convirtiéndose en la tercer compañía cementera más grande del mundo.

1997 Adquiere el 30% de las acciones de Rizal Cemento Co. en las Filipinas.

1998 Cemex expande su posición en la región sudeste de Asia, adquiriendo acciones estratégicas del productor de cemento más grande de Indonesia, PT Cemen Gresik.

1999 Cemex se convierte en el segundo productor de cemento más grande de las Filipinas al adquirir un 40% adicional de intereses económicos en Rizal y un 99.9 % de intereses económicos en APO Cemen Corp.

Consolida su presencia en América Central y el Caribe al adquirir un 95 % de las acciones del productor de cemento más grande de Costa Rica, cementos del Pacífico, y dos terminales en Haití que suministran casi el 70% del mercado total. Forma Cemex Asia Holdings (CAH), dedicando inicialmente un capital de 1.2 mil millones de dólares.

Después de tres años de incrementar las exportaciones de cemento al creciente mercado Egipcio, adquiere un 77% de acciones de Acciut Cemento Co, el productor de cemento más grande de la nación.

2000 Coloca la piedra angular de su nuevo molino de trituración cerca de Dacca, Bangladesh. El molino tendrá una capacidad de producción de 500 mil toneladas métricas por año.

Adquiere Southdown, la segunda cementera más grande de E.U., la cual cuenta con doce plantas cementeras y una capacidad de producción de 11 millones de toneladas.

APASCO¹³:

1928 Un grupo de inversionistas se unieron para formar la compañía mexicana de cemento Pórtland Apasco S.A.

¹³ Apasco, Historia (en línea) México 2000, (citado 28 junio 2001), Disponible en: <http://www.apasco.com.mx>

- 1964 El grupo suizo Holderbank, una de las mayores compañías del mundo, adquiere participación mayoritaria de Apasco.
- 1968 Inicia operaciones el centro de distribución Vallejo, en la Cd. De México.
- 1970 Apasco adquiere una parte de las acciones de cementos Veracruz S.A de C.V
- 1975 La capacidad de su planta en la ciudad de Orizaba se incrementa a 1500000 toneladas por año.
- 1977 Nace la división de concretos Apasco.
- 1982 Se inicia las actividades de la planta Macuspana con capacidad actual de 1000000 de toneladas por año.
- 1986 Adquiere el 100% de las acciones de cementos Veracruz.
- 1991 Dan inicio las actividades de la planta Ramos Arizpe con capacidad actual de 1300000 toneladas por año.
- 1992 Compra de cementos Acapulco.
- 1993 Inician las actividades de la planta Tecoman con capacidad de 1300000 toneladas por año.
- 1995 Comienza a operar la terminal marítima de manzanillo colima.
- 1996 Inician las operaciones de la nueva terminal marítima del Sausal Baja California.
- 1997 Adquiere participación minoritaria en cementos del Norte S.A de C.V en Honduras.
- 1998 Inicia operaciones el nuevo centro de distribución en San Luis Potosí.
Adquiere participación minoritaria en Cementos el Salvador S.A de C.V.

2000 Anuncian la construcción de una nueva línea de producción en Ramos Arizpe Coahuila. Esta línea duplicara la capacidad de producción (2.5 millones de toneladas al año)

CRUZ AZUL¹⁴:

1881 Se construye la fabrica la cruz azul, por el ingles Henry Gibson en la antigua hacienda de Jaso.

1918 Se reanuda la operación suspendida durante los años de la lucha armada.

1931 La Tolteca compra la Cruz Azul

Los accionistas deciden cerrar la Cruz Azul y operar solo la planta Tolteca.

Se inicia los tramites legales para conservar la planta Cruz Azul.

En noviembre la Cruz Azul es propiedad de los trabajadores.

1932 Se vuelven a encender los hornos en Febrero, dirigidos, administrados y operados por los trabajadores.

Los socios de la tolteca, continúan los tramites legales para recuperar la fabrica.

Se emite la Ley de expropiación de utilidad publica.

El 21 de Mayo el gobernador del Estado de Hidalgo da la expropiación de la Cruz Azul adjudicándola a los trabajadores.

1934 El 29 de enero se formaliza la sociedad cooperativa de productores y socios fundadores.

1940 Se aprueba en la asamblea general el proyecto de construcción de la planta de cemento en la región del Istmo de Tehuantepec (Oaxaca).

14 Cooperativa Cruz Azul, Nuestras Raíces (en línea) México 2000, (citado 28 junio 2001). Disponible en <http://www.cruzazul.com.mx>

- 1958 Se inaugura el horno número 4 de la planta de Hidalgo.
- 1964 Se instala el horno número cinco en Hidalgo.
- 1967 Se instala el horno número seis en la planta Hidalgo.
- 1972 Se inician las operaciones del horno numero siete de Hidalgo y del numero tres en lagunas Oaxaca.
- 1973 Se inicia la construcción del horno numero cuatro en lagunas Oaxaca.
- 1976 Transformación administrativa estratégica.
- 1979 Se inaugura el horno numero ocho en Cruz Azul Hidalgo.
- 1980 Se presenta el proyecto de ampliación de la planta de Cruz Azul.
- 1982 Se inaugura el horno numero 4 en lagunas Oaxaca.
- 1997 Se inicia con la exportación de Cemento Cruz Azul Sudamérica.
- 1998 La fabrica de cementos en Tepezala Ags. Se integra al sistema horizontal de la cooperativa.
- 1999 Se concluye el sistema de transporte de caliza por bandas.
- 2000 Puesta en marcha de la fabrica de Tepezala Ags.

GRUPO CEMENTOS DE CHIHUAHUA ¹⁵

- 1941 Queda constituida la empresa cementos de Chihuahua S.A., siendo sus socios fundadores el señor Edwin P. Ryan y la señora Berta Krakauer de Ryan.
- 1942 Se inicia la planta piloto la cual operaba en base a proceso húmedo y contaba con un horno de 1.5 m de diámetro y 13.7 m de largo, operando la planta con motores de combustión interna.

¹⁵ Grupo Cementos de Chihuahua, Historia (en línea) México 2000, (citado 28 junio 2001), Disponible en: <http://www.gcm.mx>

- 1943 Se inicia las operaciones de la planta, resultando incosteable por el tipo de proceso y también por el excesivo consumo de combustible con que operaban todos los motores, por lo que la planta debió de suspender operaciones el 24 de Junio.
- 1945 Se reorganiza la empresa y se inicia el montaje de una planta de proceso seco con capacidad de 60000 toneladas anuales.
- 1947 Termino de la edificación y montaje del horno numero 1.
- 1952 Se adquiere el equipo para una nueva línea de producción (línea número 2), la cual aumento la capacidad de producción a 170 mil toneladas anuales.
- 1967 Se inicia la instalación de la línea de producción número tres, la cual aumenta la capacidad de producción a 310 mil toneladas anuales.
- 1972 Entra en operación la planta de Cd Juárez con una capacidad de 110 mil toneladas, llegando a una capacidad total instalada del grupo de 420 mil toneladas anuales.
- 1975 Se instalaron precalentadores a los hornos número dos y tres, logrando con esto optimizar el proceso y por lo cual aumento la capacidad en 90 mil toneladas anuales.
- 1976 Se instalo el molino de cemento numero dos Traylor.
- 1982 Arranque de la línea número cuatro, además de equipar la tecnologia de cementos de Chihuahua con lo mas avanzado en esa época, duplica su capacidad de producción, al añadir 620 mil toneladas anuales, con lo que eleva la capacidad el grupo a 1100000 toneladas anuales.
- 1994 Se adquiere una importante fabrica de cemento, ubicada en el poblado de Tijeras, Nuevo México al sur de los EE.UU., la cual cuenta con una capacidad de producción de 450 mil toneladas anuales y se adquieren también dos terminales de distribución.

una en el paso Texas y la otra en Albuquerque Nuevo México, con una capacidad para desplazar 20 mil toneladas al mes cada una.

1996 Se construye una nueva planta en Samalayucan y actualmente tiene una capacidad instalada de 900 mil toneladas anuales de clinker.

CEMENTOS MOCTEZUMA¹⁶

1943 Empresarios mexicanos construyen la primera planta de Cementos Moctezuma en Jiutepec Morelos.

1977 Implementan diseños vanguardistas a las unidades transportadoras de concreto premezclado, bombeando directamente de la revolvedora a la obra dando nacimiento a Latinoamericana de Concretos.

1982 Grupo italiano Fratelli Buzzi, se une a la empresa Mexicana Coconal y al grupo del Sr. Oscar Alvarado para adquirir conjuntamente Cementos Moctezuma. Se decide la renovación de la planta de Jiutepec, con la instalación de una tercera línea de producción en vía húmeda. La producción pasa de 120,000 a 450,000 toneladas por año.

1987 El grupo de control de Cementos Moctezuma adquiere participación mayoritaria de Latinoamérica de Concreto con el fin de aprovechar las sinergias existentes entre las dos empresas.

1988 Al ponerse en venta la participación mexicana, Fratelli Buzzi convoca un nuevo grupo, incorporándose como accionistas los grupos cementeros Ciments Francais y Cementos Molins. Nace así Corporación Moctezuma que integra en una sola entidad el control de las empresas del cemento y del concreto.

¹⁶ Cementos Moctezuma, Historia (en línea) México 2000, (citado 28 junio 2001), Disponible en: <http://www.moctezuma.com>

- 1993 Fratelli Buzzi y Cementos Mollins quedan como únicos accionistas de Corporación Moctezuma.
- 1994 Con una importante inversión de capital, se incorpora Grupo Carso.
- 1997 Inician operaciones planta Tepetzingo con capacidad de 1 millón de toneladas, contando con tecnología y equipo vanguardista, lo que la sitúa entre las plantas cementeras de mas bajo consumo energético y modernas del mundo.
- 2000 Se inaugura la segunda línea de producción en la planta de Tepetzingo, contando la Corporación Moctezuma con una capacidad de producción anual de 2.5 millones de toneladas de cemento y más de 500 mil m³ de concreto.

LAFARGE CEMENTOS¹⁷

- 2000 Lafarge Cementos adquiere la empresa Cemento Pórtland Blanco de México.

Conclusiones:

En este capítulo se logro presentar como el cemento ha sido un material importante desde los tiempos mas remotos, el trabajo de muchos hombres por descubrir cuales eran las características que debiera tener para ser mas eficiente, hasta llegar en 1824 a la primera patente hecha por Joseph Aspdin. Además se presento la evolución de las compañías cementeras mexicanas desde su construcción hasta el año 2000.

¹⁷La información fue obtenida de la entrevista realizada a la Lic. Leticia Fuentes empleada de la compañía Lafarge Cementos 17-08-01

Capítulo II Tipos y Composición de los Cementos

Este capítulo contiene una breve descripción de los componentes del cemento así como la función que desempeñan en el mismo, un resumen de la norma mexicana que actualmente determina las características y especificaciones que deben cumplir los diferentes tipos de cementos además se menciona los diferentes tipos de cementos que producen las compañías cementeras mexicanas y sus principales aplicaciones.

2.1 Composición de los cementos.

Por definición, el cemento es una material finamente pulverizado que, al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con otros materiales como arena, grava, asbesto, etc., tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua, y formar una masa endurecida, es decir, es una clase de cementante hidráulico, el cual proviene de la pulverización fina del producto obtenido por calcinación de una mezcla y debidamente proporcionada químicamente de la materiales calizos y arcillosos (*Clinker*), sin más adición posterior que yeso natural, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sulfato de Calcio dihidratado), el cual se emplea para regular la acción química del cemento con el agua, y controlar así el tiempo de fraguado. Si no se añadiera yeso al cemento, este fraguaría demasiado rápido al agregarle el agua haciendo imposible su manejo, o bien, fraguaría muy lentamente al ser agregado en exceso, retardando por tanto el endurecimiento de la pasta. Es muy importante dosificar adecuadamente el yeso para lograr su contenido óptimo, (se mide en términos de % SO_3), ya que su carencia o exceso puede provocar, además de los problemas mencionados, cambio volumétricos en el concreto.

Los cementos Pórtland están compuestos principalmente de cuatro óxidos básicos: de calcio, de silicio, aluminio y de fierro, y no son simples mezclas de los mismos, si no que son mezclas de dichos óxidos, reconociéndose en ellos, cuatro compuestos principales que son:

NOMBRE	FORMULA	ABREVIATURA
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato Tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Estos compuestos constituyen alrededor del 90% del peso del cemento y el 10% restante lo forman otros constituyentes como el yeso que se agrega al clinker durante la molienda final, y otros se quedan libres durante la calcinación de las materias primas, es decir, compuestos que no se alcanzan a combinar durante el proceso de calcinación; entre ellos se encuentran la cal libre, la magnesia, los álcalis, y trozos de óxidos menores de manganeso, fósforo y titánio, el residuo insoluble, y la pérdida por ignición.

Los silicatos son los responsables químicos de la resistencia a la compresión del cemento. El C_3S es el mayor contribuyente en las resistencias a todas las edades principalmente de las iniciales, hasta los 28 días. A edades mayores, el C_2S es el que juega el papel más importante, siendo responsable de las resistencias a períodos de un año y aún más.

El C_3A contribuye muy poco a la resistencia, pero en cambio genera mucho más calor al hidratarse que una cantidad igual de los otros componentes, y es responsable de las variaciones de volumen del cemento, de la formación de grietas, y es el más vulnerable al

ataque de los sulfatos, cuando el cemento se encuentra en contacto con agua o suelos sulfatados. El C₄AF contribuye poco o nada a la resistencia.

El siguiente cuadro ilustra en forma simplificada los mencionado anteriormente.

PROPIEDAD	COMPORTAMIENTO RELATIVO DE CADA COMPUESTO			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Calor de Reacción	Medio	Lento	Rápido	Lento
Inicial	Bueno	Pobre	Bueno	Pobre
Final	Bueno	Bueno	Pobre	Pobre

La Cal libre, que queda por el quemado insuficiente del clinker, cuando se encuentra en exceso, puede dar lugar a dilatación y quebrantamiento de la pasta de cemento o del concreto. No se puede precisar límites exactos para el contenido de Cal libre en el cemento Portland, sin embargo lo aconsejable es no pasar de 1.5%, puede se corre el riesgo de sufrir fuentes expansiones.

La magnesia, MgO, presente en la materia prima en forma de MgCO₃, al contrario del CaO, no se combina con los óxidos del las arcillas, sino que permanecen estado libre, en el *clinker*. Si un cemento contiene un porcentaje apreciable de MgO (mayor de 4.0%), corre el riesgo de presentar expansión, solo que a largo plazo, pues el "apagado" de la magnesia, que va acompañado de un cambio de volumen, tiene un desarrollo mucho muy lento; las primeras manifestaciones pueden ocurrir después de varios años, razón por la cual la magnesia resulta mucho más peligrosa que la Cal libre.

Los álcalis, Na_2O y K_2O , son elementos indeseables cuando están presentes en el cemento en alto porcentaje, ya que pueden causar verdaderos trastornos en el concreto, sobre todo si en este se emplean agregados reactivos con los mismos, como puede ser dilatación, agrietamiento, y disminución de la resistencia, elasticidad y durabilidad de dicho concreto. También pueden ocasionar ciertas dificultades para regular el tiempo de fraguado o provocar fraguado falso en el cemento por carbonatación de los mismos.

El residuo insoluble es otro de los constituyentes menores del cemento Pórtland, y representa una pequeña fracción de cemento formada por una mezcla de óxidos no solubles en ácido clorhídrico, los cuales no intervienen en las propiedades del cemento y que generalmente provienen del yeso natural que se agrega al clinker durante la molienda, aunque también parte de ellos pueden provenir de alguna pequeña fracción de los materiales arcillosos de la mezcla cruda, que no alcanzan a combinarse durante la calcinación.

La pérdida por ignición o pérdida por calcinación, representa al porcentaje de pérdida de peso que sufre el cemento después de someterse a un calentamiento de 1000°C . Las sustancias que se pierden a esta temperatura son agua y bióxido de carbono; el agua proviene en parte, de la que se absorbe durante la fabricación del cemento, ya sea que se haya absorbido al *clinker* o al cemento terminado.

El óxido de manganeso, Mn_2O_3 , que normalmente no se presenta en cantidades significativas, le imparte una tonalidad café al cemento Pórtland no afectándolo de otro modo.

El óxido de fósforo, que se presenta como P_2O_5 en las materias primas, si tiene efectos nocivos tanto como en la rapidez del fraguado como en el desarrollo de resistencias del cemento, así como en el quemado de *clinker*, por lo que su tolerancia está restringida por las normas.

El óxido de titanio, presente normalmente en pequeñas cantidades, no tiene mayor efecto.

2.2 Clasificación de los cementos.

Actualmente la norma mexicana de los cementos cuya identificación es NMX-C-414-ONNCCE-1999 contiene las especificaciones con las que deben de contar los diferentes tipos de cementos que se producen y comercializan en México.

El cambio a una nueva norma, es con el objeto de participar en un entorno mundial. En este nuevo marco jurídico, la elaboración y expedición de las normas mexicanas quedan a cargo del sector privado por conducto de los organismos nacionales de normalización. Por la necesidad de estos organismos privados, se crea y desarrolla el ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación), se opta por un cambio de enfoque al contenido y redacción de la norma, indicando en ella de la manera mas clara posible, el comportamiento de los cementos.

La nueva norma (NMX-C-414-ONNCCE-1999)¹⁸ clasifica a los cementos de acuerdo a tres aspectos:

¹⁸ Apasax, Línea de productos de cemento (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.apasax.com.mx>

Tipo de cemento

- Cemento Pórtland Ordinario (CPO)
- Cemento Pórtland Puzolónico (CPP)
- Cemento Pórtland con Escoria de Alto Horno. (CPEGAH)
- Cemento Pórtland Compuesto (CPC)
- Cemento Pórtland con Humo de Sílice (CPHS)
- Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno (CEGAH)

Clase resistente

Dado que la resistencia a la compresión es en términos generales la propiedad más importante para la mayoría de los usuarios, esta nueva norma hace énfasis sobre los valores que en este sentido deben cumplir los cementos producidos en México, definiendo cinco clases resistentes.

La clase resistente de un cemento se indica con los valores 20,30 y 40. Si alcanza una resistencia rápida se añadirá la letra R, en las clases 30 R y 40 R.

Tabla 2.1
Especificaciones Mecánicas para los diferentes tipos de Cementos.

Clase resistente	Resistencia a la compresión (N/mm ²)		
	Edad 28 días		
	Mínimo	Máximo	
20	---	20	40
30	---	30	50
30 R	20	30	50
40	---	40	---
40 R	30	40	---

La información fue obtenida de: Apasco, Línea de productos de cemento (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.apasco.com.mx>

Características especiales.

Quando un cemento tenga características especiales su designación se complementara con las siglas descritas en la siguiente tabla

Tabla No. 2.2
Características Especiales para los diferentes tipos de Cementos.

Siglas	Característica especial
RS	Resistencia a los sulfatos.
BRA	Baja reactividad álcali agregado
BCH	Bajo calor de Hidratación
B	blanco

La información fue obtenida de: Apasco, Línea de productos de cemento (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.apasco.com.mx>

2.3 Productos de las compañías cementeras mexicanas.

Apasco¹⁹

Cemento Pórtland Compuesto 30 R: Este cemento es recomendado para utilizarse en cualquier tipo de obra, en la construcción de estructuras y en la fabricación de productos de concreto, lográndose excelentes resultados recomienda especialmente para:

- Losas
- Columnas
- Trabes
- Cimientos
- Zapatas
- Pilotes
- Viviendas en general
- Drenajes

¹⁹ Apasco, Línea de productos de cemento (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.apasco.com.mx>

Cemento Pórtland Compuesto 40: es adecuado para la fabricación de bloques, tabicones, Adoquines, etc. Y en general para la elaboración de productos prefabricados y concreto, donde se requieran altas resistencias.

Cemento Pórtland Ordinario 30 RS: Es el mas adecuado para utilizarse en obras o productos de cemento que sean susceptibles a ser atacados por sulfatos. Es cemento es sugerido para:

- Construcciones en suelos con sulfatos y en ambiente agresivo
- Plantas de tratamiento de aguas negras
- Tuberías de drenaje
- Obras de riego
- Durmientes
- Drenaje profundo
- Dovelas
- Obras marítimas
- Estructuras de concreto sumergidas

Cemento Pórtland Ordinario 30 RS/BRA: Es él mas recomendado, cuando exista la posibilidad del ataque por sulfatos, y para cuando los agregados sean potencialmente reactivos. Se recomienda para:

- Concretos en contacto con suelos y aguas con altos contenidos de sulfatos.
- Concretos sometidos a la acción de agua de mar (sulfatos y cloruros) y ambientes marítimos.
- Concretos producidos con agregados reactivos o potencialmente reactivos.
- Presas
- Tubos de concreto.
- Construcciones en el mar.
- Muelles.
- Pilotes
- Plantas de tratamiento de aguas.

Cemento Ordinario 40 R: Es muy adecuado para la construcción de estructuras de estructuras de concreto que requieren de un endurecimiento más rápido de lo normal y altas resistencias a edades iniciales, se recomienda para:

- Reparaciones rápidas
- Edificios
- Pisos industriales
- Pistas de aterrizaje
- Columnas

Cemento Pórtland H-HSR: Este cemento es recomendado exclusivamente para la industria petrolera y geotérmica, es el más complejo de los cementos petroleros ya que tiene que soportar temperaturas hasta de 156° y presiones hasta de 36000 lb/pulg² a 900m de profundidad, que son en algunas ocasiones las condiciones de los pozos en México.

Mortero Apasco: esta diseñado para trabajos en donde no se requiere elevadas resistencias a la compresión sino tan solo propiedades ligantes y/o aglutinantes, como por ejemplo:

- Plantillas; para tener una área de trabajo limpia durante los trabajos de cimentación
- Cimentaciones de mampostería; para tener unidad las piedras que dan sustento al cimienta.
- Pegado de bloques y ladrillos; en la construcción de muros
- Aplanado; para mejorar la apariencia y protegerlo..
- Pisos y firmes; para pisos en general sin tránsito de equipo pesado, solo para firmes y no para losa de cimentación.

Cementos Moctezuma²⁰

Cemento Pórtland Ordinario: con tres niveles de resistencia, clases 30R y 40 R que pueden ser utilizados en:

20 Cementos Moctezuma, Productos y servicios (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.moctezuma.com.mx>

- Pretensados
- Bovedillas
- Blocks
- Tabicones

Cemento Pórtland Puzolanico: este cemento desarrolla una alta resistencia mecánica y es resistente a ataque químicos como por ejemplos los sulfatos presentes en aguas negras, marinas y suelos, este cemento se produce con dos niveles de resistencia. Clases 30 y 30 R Y dos características especiales RS Y BCH, el concreto elaborado con este producto adquiere excelente manejabilidad, durabilidad e impermeabilidad y sus aplicaciones son:

- Tubos de concreto
- Presas
- Losas

Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno; se produce con tres clases resistentes 20,30 y 30 R con características especiales de acuerdo a las necesidades, RS y BCH se utiliza en:

- Obras de conducción de obras negras
- Obras marinas
- Medios salitrosos

Cemento Pórtland Compuesto: este cemento se produce con cuatro clases resistentes 30 R, 40 y 40 R y dos características especiales RS y BCH, el concreto elaborado con este producto tiene las características y aplicaciones del Cemento Pórtland Puzolanico.

Mortero Moctezuma; da una alta resistencia y plasticidad, es de muy fácil manejo y da excelentes acabados, por su alta calidad sustituye a los morteros de cal arena y cemento se utiliza en;

- Mampostería
- Muros
- Acabados
- Aplanados

Cemex²¹

- Cemento Portland ordinario
- Cemento Portland Ordinario RS
- Cemento Portland Ordinario 40R
- Cemento Portland Puzolona
- Cemento Portland Blanco
- Mortero

Cruz Azul²²

- Cemento Portland Ordinario 30 R
- Cemento Portland Puzolónico 30R
- Mortero Cruz Azul
- Cemento Portland Ordinario 40 B

GCC²³

- Cemento Portland Ordinario 40 R
- Cemento Portland Compuesto 40
- Cemento Portland Ordinario 30 RS
- Mortero.

Lafarge Cementos²⁴

- Cemento Portland Ordinario 30R y 40 R
- Cemento Portland Ordinario RS
- Mortero

21 Cemex, Tipos de cemento (en línea) México 2001, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.cemex.com.mx>

22 Cooperativa Cruz Azul, Nuestros productos (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.cruzazul.com.mx>

23 Grupo cementos de Chihuahua, Tipos de cemento (en línea) México 2000, (citado 24 julio 2001), Disponible en: <http://www.gcc.com.mx>

24 171 La información fue obtenida de la entrevista realizada a la Lic. Leticia Fuentes empleada de la compañía Lafarge Cementos 17-08-01

2.4 Insumos e inversiones en empaque y transporte.

En la siguientes parte del capítulo se presentan unas tablas que nos muestran los insumos de la industria cementera en cuanto a empaque y transporte, la cantidad que invierten en equipó de transporte, además se presenta una tabla comparativa de los diferentes tipos de cemento que producen.

Tabla 2.3
Insumos totales de empaque y equipo de transporte de la industria cementera.
(miles de pesos)

AÑO	EMPAQUE	TRANSPORTE
1994	323,939	214,314
1995	370,384	217,556
1996	561,153	227,340
1997	721,648	214,136
1998	921,996	235,209

Fuente: INEGI, *Encuesta Industrial Anual*, 1994-1998

Tabla 2.4
Inversión fija bruta por tipo de activo en equipo de transporte

AÑO	Inversión (miles de pesos)
1994	2,3758
1995	-2,281
1996	15,723
1997	64,840
1998	19,361

Fuente: INEGI, *Encuesta Industrial Anual*, 1994-1998

Conclusiones:

En este capítulo se presentó la definición del cemento, sus principales componentes entre los que se encuentra el silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroatluminato tetrcálcico las características que le proporcionan, además de los compuestos que son indeseables ya que pueden tener graves efectos en su calidad.

Para asegurarse que los cementos tengan la mejor calidad se creó el ONNCCE que clasifica a los cementos en tres aspectos; tipo de cemento, clase resistente y características especiales por medio de esta clasificación especifica los parámetros que deben de cumplir.

Se mostró los diferentes tipos de cementos que producen las compañías cementeras mexicanas así como su aplicación, en este punto se observó que las compañías Cemex y Apasco tienen ventaja competitiva ya que tienen en el mercado un mayor número de productos.

Tabla 2.5

Comparación de los diferentes tipos de Cemento que producen las compañías Cementera Mexicanas.

Tipo de Cemento compañía	CPC 30R	CPC40	CPO 30RS	CPO 30RS/BRA	CPO 40R	CP HHSR	Mortero	CPO 30R	CPP	CPEGAH	CP BLANCO	CPC
Apasco	X	X	X	X	X	X	X					
Cemex			X		X		X		X		X	X
Lafarge			X		X		X	X				
Moctezuma	X				X		X		X	X		
G.C.C.		X	X		X		X					
Cruz Azul					X		X	X	X			

Fuente: elaboración propia, basándose en la página de internet de cada compañía.

**Capitulo III Características Económicas del Sector correspondientes a la Industria
Cementera**

Este capítulo nos permitirá ubicar a la industria cementera mexicana para poder hacer un mejor estudio para esto se presentaran su clasificación manufacturera y censal, la definición de su sector además se presentan y analizan sus principales datos económicos como son: participación en el PIB, producción, consumo nacional, capacidad instalada, importaciones, exportaciones y mercado nacional

3.1 Clasificación Manufacturera.

La clasificación dentro de la cual se encuentra la industria del cemento(Cemex, Apasco, Cruz Azul, Grupo Cementos Chihuahua, Cementos Moctezuma, Lafarge Cementos) según las actividades económicas del país, es la siguiente:

Gran división 3	Industria manufacturera.
División VI	Productos de minerales no metálicos, exceptuando derivados del petróleo y carbón.
Rama 44	Cemento hidráulico.
Grupo 440	Cemento hidráulico.
Subgrupo 4401	Cemento hidráulico.

3.2 Clasificación Censal.

La industria del cemento se clasifica según los censos industriales del país del año 2000 como sigue:

Sector 3	Industrias manufactureras, incluye los establecimientos maquiladores.
Subsector 36	Productos minerales no metálicos, excluye los derivados del Petróleo y del carbón.
Rama 3691	Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de Minerales no metálicos.
Clase 369111	Fabricación de cemento hidráulico

3.3 Definición del sector.

La industria del cemento pertenece a la rama 44 de la industria manufacturera, donde se encuentran clasificados los establecimientos que tienen como actividad principal la transformación mecánica o química de productos o sustancias inorgánicas u orgánicas en productos nuevos.

3.4 Producto interno bruto

En la división ha mantenido en los últimos años un porcentaje aproximado del 40.3. % al 57 % del PIB, esta constituida por las ramas 43 vidrio y productos de vidrio y 45 productos a base de minerales no metálicos, mientras que en la gran división su mayor porcentaje fue en 1998 con el 4.1% y su menor se registro en el año 1995 con solo el 2.5%.

Tabla No. 3.1

Producto interno bruto por división.

Año	Cantidad (miles de pesos)
1995	22746429
1996	32287288
1997	38769066
1998	48252155
1999	56596067
2000	65082904

Fuente: INEGI, *Sistema de Cuentas Nacionales de México*, 2000

3.5 Producción, consumo aparente y capacidad instalada.

3.5.1 La producción del cemento de la industria cementera ha aumentado año con año, ya que en 1995 fue de 23.9 millones de toneladas hasta llegar en el año 2000 a las 31.5, situándose con estas cifras en la décima productora de cemento a nivel mundial

Tabla No. 3.2

Producción anual de la Industria del Cemento

Año	Producción (millones de toneladas)	Incremento en la producción anual %
1995	23.9	
1996	25.3	1.4
1997	27.5	2.2
1998	27.7	0.2
1999	29.4	1.7
2000	31.5	2.1

Fuente : Cámara Nacional del Cemento, *Estadísticas de la industria del cemento*, 1995-2000.

3.5.2 Consumo Nacional.

Este aumento de la producción es debido a los grandes porcentajes que se consumen a nivel nacional respecto a la producción total, presentándose el mayor consumo en el año de 1999 con el 96 % y el menor en 1996 con el 89.7, con estas grandes cifras México se coloca dentro de los primeros 14 principales consumidores a nivel mundial en los últimos años.

Tabla No. 3.3

Consumo nacional de cemento en México (millones de toneladas)

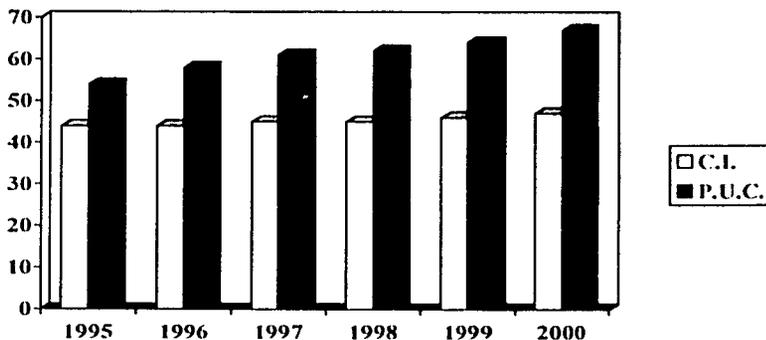
Año	Consumo	Porcentaje de consumo con respecto a la producción total.	Posición a nivel mundial
1995	21.9	91.6	14
1996	22.7	89.7	13
1997	25.2	91.6	13
1998	26.9	97.1	11
1999	28.5	96.9	11
2000	29	92	11

Fuente: Cámara nacional del cemento, *Estadísticas de la industria del cemento, 1995-2000*

3.5.3 Capacidad instalada.

Para que la industria de cementera lograra aumentar su producción y por lo tanto cubrir la gran demanda de cemento a nivel nacional, tuvo que incrementar su capacidad instalada de 44 millones de toneladas que tenían en 1995 a 47 en el año 2000 e incrementar su porcentaje de utilización de la capacidad del 54 % en 1995 al 67% en el 2000.

Grafica No. 3.1
Capacidad Instalada (C.I) y Porcentaje de Utilización de la planta (P.U.C.)



Fuente: Cámara Nacional del Cemento, *Estadísticas de la industria del cemento, 1995-2000*.

3.6 Importaciones y Exportaciones.

Las exportaciones de la industria del cemento presentaron en los últimos años una caída, excepto en el año de 1996, esto pudo haber sido ocasionado por la demanda de dumping que le aplicó EE.UU. ya que fue a este país donde más se realizaron en los últimos años.

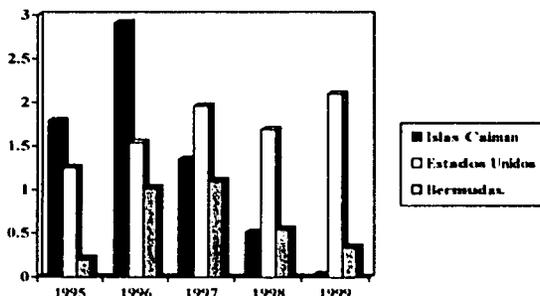
Las compañías cementeras mexicanas más afectadas fueron Cemex y Cementos Chihuahua, cuya cercanía geográfica con este país le permitía exportar con menores costos, lo que obligó como fue el caso de Cemex a buscar otros mercados²⁵.

25 La información fue obtenida de la entrevista realizada al Lic. Carlos Gutiérrez empleado de la CANACEM 18-06-01.

Los destinos de las exportaciones en los años 1995 y 1996 en su mayoría fueron a Islas Caimán esto es debido a que no cuenta con ninguna cementera local además de que en estos años en este país hubo grandes inversiones, en los siguientes años el principal socio fue Estados Unidos .

Grafica No. 3.2.

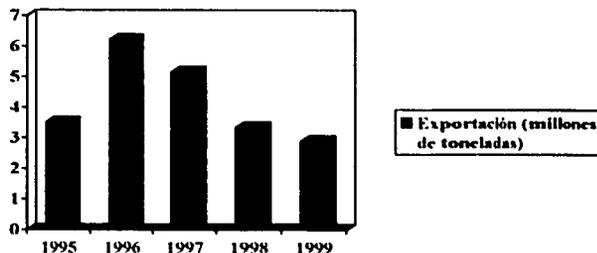
Destino de las Exportaciones
(millones de toneladas)



Fuente: INEGI, Anuario Estadístico de comercio exterior, 1995-1999.

Grafica No. 3.3

Exportaciones de la Industria del Cemento.

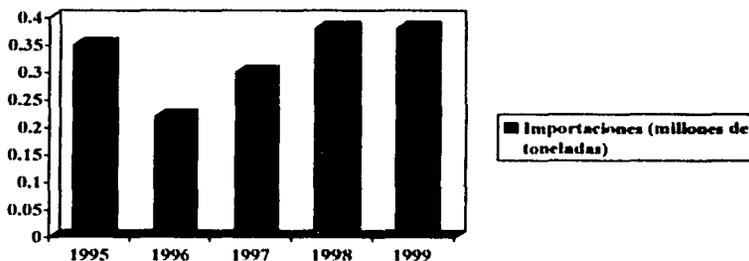


Fuente: INEGI, Anuario Estadístico de comercio exterior, 1995-1999.

Importaciones

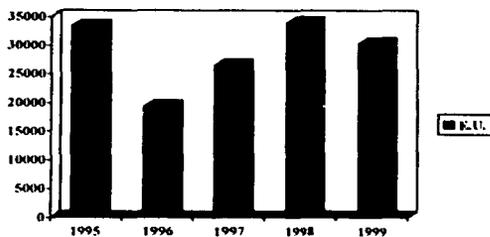
Las importaciones del cemento disminuyeron en 1996, estas aumentaron un 32.9% en 1997, en 1998 un 26% pero en 1999 solo aumentaron un 1.8% lo que nos indica que la industria cementera mexicana esta cubriendo la demanda nacional, siendo en este punto Estados Unidos el principal socio.

Grafica No.3. 4.
Importaciones de la Industria del Cemento.



Fuente: INEGI, Anuario Estadístico de comercio exterior, 1995-1999.

GRAFICA No.3. 5.
Origen de las Importaciones
(toneladas)

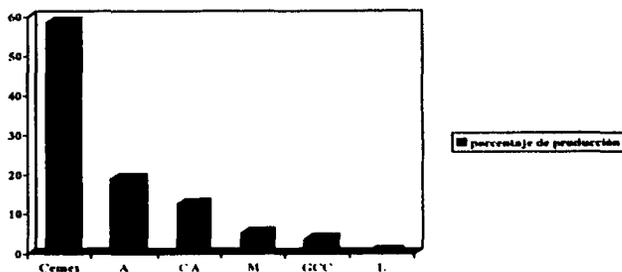


Fuente: INEGI, Anuario Estadístico de comercio exterior, 1995-1999.

3.7 Mercado nacional

El mercado nacional lo cubre ampliamente CEMEX ya que produce el 58.5 % de la producción total, siguiéndole apasco con el 18.9%, cruz azul 12.6%, Grupo Cementos de Chihuahua 3.8%, Cementos moctezuma 5.3% y lafarge cementos 0.64%.

Grafica No. 3.6.
Porcentaje de producción de cemento



NOTA: A = Apasco, CA = Cruz Azul, M = Moctezuma, GCU = Grupo Cementos de Chihuahua y L = lafarge.

Fuente: Cámara Nacional del Cemento, Estadísticas de la Industria del Cemento, 1995-2000.

Este gran porcentaje que tiene Cemex es debido a que de las 30 plantas de cemento que se encuentran en México 15 son de su propiedad y a su alto promedio de capacidad instalada que tiene por planta.

Cemex no solo domina a nivel nacional si no que a nivel mundial es una de las tres compañías cementeras más grandes del mundo, con una producción anual de mas de 77 millones de toneladas métricas.²⁶

²⁶ Cemex, Informe Anual, 2000, p 23

Tabla No. 3.4

Producción anual por compañía cementera.

Compañía	Producción (toneladas métricas)	Plantas
CEMEX	27.2	Atotonilco, Barrientos, Ensenada, Guadalajara, Hermosillo, Hidalgo, Huichapan, Mérida, Monterrey, Tamun, Tepeaca, Torreón, Valles, Yaqui y Zapotitic.
Apasco	8.8	Acapulco, Apasco, Macuspana, Orizaba, Ramos Arizpe y Tecoman.
Cruz azul	5.9	Aguascalientes, Hidalgo y Lagunas.
GCC	1.8	Chihuahua, Juárez y Samalayuca
Cementos Moctezuma	2.5	Jiutepec y Tepetzingo
Lafarge Cementos	0.3	Vito

Fuente: Cámara Nacional del Cemento, *Estadísticas de la Industria Cementera, 1995-2000.*

Conclusiones:

En este capítulo se logro ubicar a la industria cementera mexicana por medio de las clasificaciones manufacturera y censal . Además se presentaron sus principales características económicas en la que se puede observar el gran porcentaje que aporta al PIB en su división , en lo que se refiere a la producción se mostró que esta se esta incrementando año con año, esto se debe a que las compañías han incrementado la capacidad instalada de su plantas lo que implica que están haciendo más eficientes sus procesos, con estos resultados se mantiene dentro de los principales productores de cemento a nivel mundial

Otro factor que resulta interesante observar es que a pesar de la gran dependencia comercial que tiene de los E.U. y al dumping que este país le impuso, logro salir adelante con la búsqueda de nuevos mercados y el gran porcentaje de consumo nacional .

En lo que se refiere al los líderes en el mercado la compañía que sobresale es Cemex ya que tiene en su poder mas de la mitad de plantas y de la producción total además de tener el respaldo de ser la tercera compañía productora de cemento a nivel mundial

Capitulo IV Tecnologías y procesos para la fabricación del cemento.

En este capítulo se presentara un breve resumen de las etapas que componen a los diferentes procesos industriales para la obtención del cemento además de las alternativas tecnológicas con las que cuenta la industria cementera mexicana para hacer más eficiente sus procesos de producción

4.1 Descripción de los principales procesos.

El proceso de producción de cemento se divide en dos principales etapas: la fabricación del *clinker*, la cual es la más intensiva en el uso de energía, y la molienda. Dependiendo de las condiciones de humedad y de dureza de las materias primas se emplean básicamente dos procesos industriales; la vía húmeda y la vía seca, aunque pueden presentarse variaciones de estos como son la semi húmeda y la semi seca. El proceso húmedo se emplea cuando la materia prima contiene una humedad entre un 24 y 28% o cuando esta puede ser mas fácilmente procesada como pasta, por lo que se le agrega agua en la etapa de la preparación para el horno. En el proceso seco, la materia prima empleada contiene entre un 0.5 y 7% de humedad. El contenido de humedad en el proceso semi húmedo es del 17 al 22% mientras que en el semiseco es del 11 al 14%. En general el proceso seco es más eficiente que el proceso que el proceso húmedo, sin embargo este ultimo permite una mayor flexibilidad en la selección y manejo de las materias primas.

4.1.1 El Proceso seco

El proceso se inicia con la selección de las canteras que contienen dos de las materias primas básicas; la caliza y la arcilla²⁷.

²⁷ Cámara Nacional del Cemento, *Proceso de fabricación del Cemento por el Grupo Cemex, 2000.*

Barrenación de canteras: la extracción de las materias primas se hace en forma de escalones o bancos descendentes previendo el control de la contaminación de polvo, ruidos y vibraciones. La extracción se inicia barrenando las canteras, esto es haciendo orificios de 12 centímetros de diámetro por 9 metros de profundidad.

Explosión de Canteras: dentro de los barrenos se introducen los explosivos que tumbaran paredes de roca de hasta 7 metros de ancho. Para evitar ruidos y vibraciones se colocan retardadores de tiempo entre barreno y barreno. Los explosivos de gran tecnología generan gases de gran energía que presionan fraccionan y tumban los bloques de cantera convirtiéndolos en piedras de distintos tamaños.

Después de la obtención de la materia prima viene el traslado a la planta. Cabe mencionar que estas etapas se realizan para todos los tipos de proceso.

Trituración: las materias primas que llegan, se trituran generalmente en dos etapas. La primera etapa se efectúa en quebradores grandes de tipo quijada o rotatoria, que reducen las grandes piezas de canteras a piedras de aproximadamente 15 cm. La trituración secundaria, se efectúa generalmente en quebradores de cono rotatorio o de martillo reduciendo el tamaño a unos 13 mm.

Secado: en algunas plantas de cemento, se requiere eliminar el contenido de humedad de la materia prima. Por lo que una vez triturados, y antes de entrar a los molinos los materiales se introducen en secadores.

Molienda: un vez quebrados y secos la caliza, la arcilla y el óxido de hierro se dosifican adecuadamente con basculas automáticas, las dosis de materiales varían según el tipo de cemento que se produce. Los molinos utilizados pueden ser de bolas o de rodillos. Para aumentar la eficiencia en la molienda suele recurrirse a la clasificación por tamaño de

material que sale del molino, en un separador de aire con circuito cerrado, con el fin de asegurar la finura requerida.

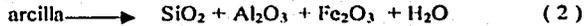
Homogenización: la harina cruda sale de los molinos, se envía a los silos donde se homogeniza y se mezclan entre sí para obtener una mezcla uniforme. Con una homogenización óptima de las materias primas, se puede obtener clíncker a una temperatura del horno mas baja. De los silos el material crudo entra a los hornos de calcinación.

Calcinación: Es la operación mas importante en la fabricación del cemento, durante esta etapa se realizan las reacciones químicas que forman los compuestos del cemento.

En el primer tramo del horno se le conoce como zona de calentamiento, su temperatura aproximada es de 700° C, en esta etapa se evapora el agua absorbida y combinada de la materia prima. En la siguiente etapa los álcalis se evaporan, se lleva a acabo la combustión de cualquier materia orgánica y se descompone la caliza (CaCO_3) a una temperatura de 900° C: desprendiéndose gas carbónico que es arrastrado hacia la chimenea, donde sale junto con los gases de combustión, quedando óxido de calcio (cal libre) en 15 a 20% (ecuación 1).



En la siguiente zona de calentamiento se efectúa la descomposición de la arcilla en sus óxidos principales: sílice (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3), desprendiéndose agua (ecuación 2).



Comienza la combinación de la cal (CaO) proveniente de la caliza con los óxidos de hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3) para formar el ferroaluminato tetracalcico y el aluminato tricalcico a los 1250 °C.

La etapa de *clinkerización* se lleva a cabo entre los 900°C y los 1500°C. donde se efectúa la combinación de la cal con la sílice (SiO_2) formándose el silicato dicalcico (C_2S), el cual en presencia de mas cal, forma el silicato tricálcico (C_3S). Estos forman aglomerados de cristales y vidrios cálcicos de forma aproximadamente esférica, con un diámetro que varia de 0.5 hasta unos 4 cm. que se conoce con el nombre de *clinker*.

Enfriamiento: Esta etapa también es importante ya que determina las características finales en cuanto a molturabilidad en la molienda y resistencia mecánica, durabilidad química y estabilidad de volumen del cemento como producto final. El *clinker* sale del horno a una temperatura de 1500° C y debe tener un enfriamiento rápido por lo menos hasta los 1000° C, ya que a esta temperatura se forman las estructuras cristalinas del cemento. Al final de esta etapa, la temperatura debe estar limitada. Debido a que en la molienda de *clinker*-yeso, se genera mucho calor y esto puede deshidratar al yeso lo que ocasiona el falso fraguado del cemento. El aire que se utilizo para el enfriamiento se aprovecha como aire de combustión secundario en el horno aumentando la eficiencia en el proceso de combustión del horno, para secar las materias primas o para producir vapor.

En seguida se almacena el *clinker* para ser molido.

Molienda del cemento: Finalmente, el *clinker* pasa a los molinos de acabado junto con una cantidad de yeso previamente dosificado (2-5%), donde se muele a una finura muy elevada. La finura del cemento es un factor que junto con la composición tiene una influencia definitiva en la mayor parte de las propiedades del cemento.

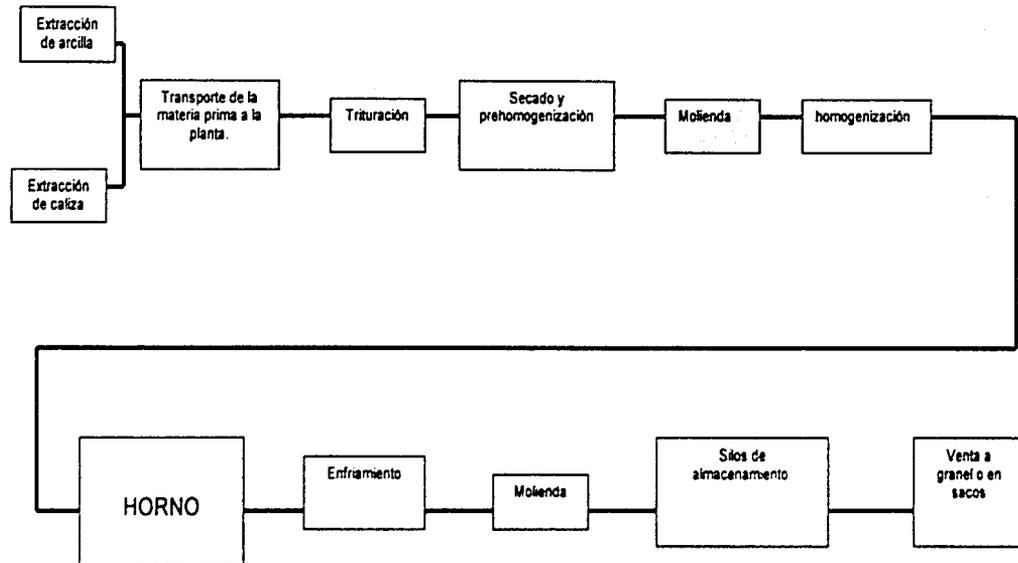
Cuando se producen otros tipos de cementos, se les añade puzolonas (piedras volcánicas con características cementantes), cenizas volantes, escoria de hornos, etc.

No obstante que el proceso de fabricación termina cuando el cemento sale de los molinos de acabado, se realizan otras maniobras, como son la conducción del cemento a los silos de almacenamiento, a través de las bombas de aire que trabajan a alta velocidad, o por medio de bandas de hule. Finalmente se descarga directamente a carros o camiones tolva cuando se entregan a granel o es envasado en bolsas de papel.

4.1.2 El Proceso Húmedo

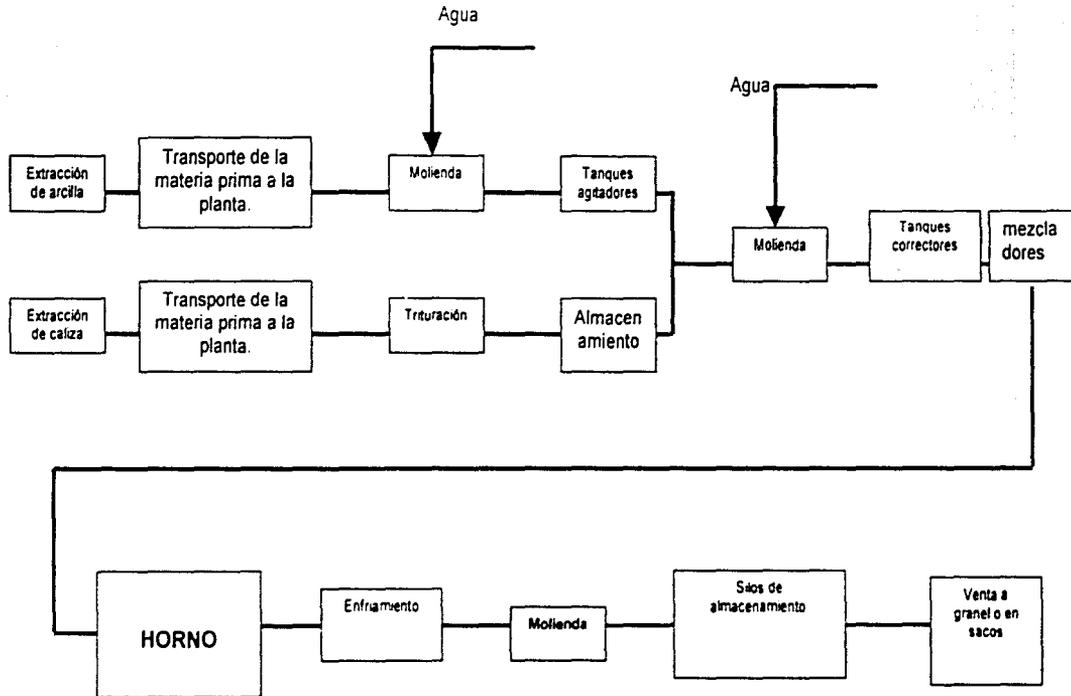
En este proceso, la arcilla no se tritura sino que se descarga en un molino de rastrillos que la desmenuza y la mezcla con agua para producir una lechada bastante fluida (65% de agua) que se bombea a través de tuberías hasta descargarla en un tanque de concreto provisto de agitadores. Esta lechada se dosifica junto con la caliza previamente triturada, se alimenta a los molinos de crudo donde se añade agua para facilitar la molienda, manejo, control y mezclado de los materiales.

Figura No. 4.1
Diagrama de Proceso Seco.



Fuente: elaboración propia, basándose en la información proporcionada por la Cámara Nacional del Cemento

Figura No. 4.2
Diagrama de Proceso Húmedo



Fuente: Elaboración propia, basándose en la información proporcionada por la Cámara Nacional del cemento.

De los molinos, el crudo pasa a unos tanques correctores y de ahí a otros mezcladores, de donde a su vez pasa al horno. En este proceso, el secado se realiza en el horno para mejorar el intercambio térmico, desmenuzar debidamente los aglomerados de polvo crudo y disminuir el arrastre, se utiliza un sistema de cadenas que se mueven lentamente conforme gira el horno.

Los siguientes pasos de la fabricación son iguales a los que siguen en el proceso seco.

4.1.3. Proceso semi húmedo y semi seco.

En el proceso semi húmedo el contenido de humedad de la pasta se reduce hasta un 17% a través de filtros mecánicos formando pequeñas barras cilíndricas en el proceso semi seco, a la harina cruda se le añade el agua necesaria para conseguir una mayor uniformidad en la mezcla de la materia prima, esto se realiza en discos rotatorios donde se obtienen pelets con un contenido de humedad entre 11 y 14% y posteriormente los siguientes pasos son iguales al del proceso seco.

En este trabajo se analizarán más detalladamente los procesos seco y húmedo ya que son los usados por la industria cementera mexicana, siendo el primero el más usado ya que el segundo solo es utilizado en una línea de producción.²⁸

²⁸ La información fue obtenida de la entrevista realizada al Ing. José Arlavín empleado de la compañía Cemex, 7-09-2001.

Tabla No. 4.1

Capacidad instalada de las compañías cementeras mexicanas por tipo de proceso

Compañía	Capacidad instalada proceso vía húmeda(millones de toneladas)	Capacidad instalada proceso vía seca (millones de toneladas)
Cemex	--	27.66
Apasco	--	7.78
Cruz Azul	--	4.77
G.C.C.	--	1.8
Cementos Moctezuma	0.40	0.90
Lafarge Cementos	--	0.37

Fuente: Cembureau, *World cement directory*, Bélgica, 1997.

4.2 Características tecnológicas de cada etapa

Etapa de calcinación

La etapa de calcinación esta constituida por el enfriador de clinker, el horno de calcinación y dependiendo del tipo de proceso, utiliza precalentadores y precalcinadores para las materias primas. Durante esta etapa se consume la mayor cantidad de combustibles.

Horno de calcinación: en el horno de cemento no se funde completamente los materiales, si no que llegan a una semifusión durante el cual se forman aglomerados de forma esférica que se designan con el nombre de *clinker*. Existen dos tipos de hornos:

Horno vertical; tiene un bajo consumo de combustible debido a su principio de transferencia de calor directo. Debido a su baja productividad y capacidad limitada (20 a 200 ton de clinker/día), solo un 5% de los hornos utilizados en la producción mundial son verticales.

Horno rotatorio: la estructura del horno está constituida por un largo cilindro de acero, forrado en su interior con material refractario (de unos 15 cm. de espesor) para resistir las elevadas temperaturas. Los hornos utilizados en la industria en México miden desde 1.8 hasta 6 m. De diámetro y desde 50 a 120m. De longitud, con capacidades diarias de 100 hasta 1500 ton de material calcinado. Los hornos representan una inclinación en relación con la horizontal de aproximadamente 4 %. El cilindro está provisto de llantas metálicas que se apoyan sobre rodillos y cuenta además con una corona conectada al piñón de un motor que lo hace girar²⁹

El sistema de combustión primario está constituido por un quemador que se instala en el extremo de la descarga. Si se efectúa una inyección del combustible en forma óptima (granulometría, lugar, ángulo impulsión) se tendrá una captación adecuada de este y de los gases calientes del frente de la llama, consiguiéndose una zona permanentemente alimentada con el oxígeno del aire comburente, mezclado con el combustible y a una temperatura suficiente que mantenga la ignición de la mezcla, esto permitirá tener una flama estable y un recubrimiento uniforme en la zona de clinkerización.

La naturaleza del combustible condiciona la forma óptima en la que debe ser inyectado³⁰. Existen quemadores multicircuitos, tienen un componente radial del aire interior que provoca la expansión del chorro del combustible, estabiliza la flama y genera una zona de recirculación interna; una componente axial del aire exterior que origina el estrechamiento de la flama y un conducto de alimentación del combustible. Esto permite ajustar la forma de la

29 Aguilar, Ausencio, *Cemento Portland: fabricación, propiedades y empleo*, México, p. 18-22.

30 Martínez, V., "Nuevos equipos de combustión para hornos rotatorios de clinker y similares, toberas centrífugas", *Cemento Hormigón*, 718, 1993, pp.427-439.

llama, regulando individualmente la longitud y diámetro de la misma, lo que favorece el control de formación de costra, la temperatura del casco y la calidad del clinker.

Los quemadores actuales se conocen como de alta velocidad, se considera que la alta velocidad del chorro axial exterior succiona el aire secundario hacia el interior de la llama, lo que facilita la rápida ignición del combustible.

El quemador debe operar con el menor porcentaje de aire primario posible, esto mejorara la recuperación del calor en el enfriador.

Para evitar las entradas de aire falso se recomienda el señalado de todas entradas o bien la instalación de quemadores auxiliares que empleen el aire falso como carburante en lugar del aire primario.

La velocidad del horno, la proporción de combustible que puede ser quemado en el horno, la forma y longitud de la flama, la cantidad de aire en exceso son los parámetros necesarios para controlar el tiempo de residencia en el horno, la zona de combustión y el grado de volatización del material.

Precaentador: Su función es calentar la materia prima la temperatura de decarbonatación utilizando el calor recuperado del horno y separar el carbonato de calcio mientras simultáneamente se crean nuevos minerales. Los gases de salida del horno se mueven en dirección opuesta, crean una turbulencia que mezcla los gases con la harina cruda, lo que

permite un eficiente intercambio de calor que induce una calcinación de la materia prima del 40 al 50 %.

Existen principalmente dos tipos de sistemas de precalentadores:

-Precalentadores de suspensión (SP). La materia prima entra en el extremo superior, y se mueve gradualmente a través de los ciclones hasta llegar al horno rotatorio. Su ventaja es que debido a que la harina cruda se calcina parcialmente antes de entrar al horno, su tiempo de retención disminuye y la productividad del horno aumenta. Su desventaja es que se crea un ciclo de álcalis, los álcalis no son muy deseables por lo que se requiere removerlos a través de un sistema de bypass.

-Precalentadores de parrilla (Lepol. Se utiliza en los procesos semi seco y semi húmedo como un precalentador externo). La harina cruda es procesada como pellets con una humedad del 12 al 22%. Los pellets están colocados en una banda transportadora que la conduce a la entrada del horno. Dentro de sus ventajas, es que las emisiones de polvo de los sistemas que utilizan estos precalentadores es muy baja (de 0.5 a 1% de la producción de *clinker*) y se puede reducir notablemente el contenido de álcalis³¹. El consumo de calor mejora con el tamaño. Debido a que se tienen menores pérdidas por radiación.

El consumo de calor específico y de energía eléctrica depende de la temperatura de los gases de escape, la caída de presión y la eficiencia de separación de cada una de las etapas de

31 Schwirtz, G., "Grate preheater kiln systems", Energy conservation potential in the cement industry conservation paper, 26, 1975.

ciclones. El ciclón más importante es el del extremo inferior ya que la materia prima de este ciclón es parcialmente calcinado y parte del polvo que escapa a la siguiente etapa se recarbonizara y liberara calor. Si la eficiencia de esta etapa se reduce, el consumo de calor específico aumentara notablemente. En cambio, en las etapas superiores el deterioro de la eficiencia no es tan importante, sin embargo influirá en el dimensionamiento del filtro, del conducto de polvo y del ventilador para remover los gases. Dependiendo de las necesidades del horno, se puede aumentar las etapas de ciclones. Para un horno de 4 etapas con un consumo de de 780 kcal/kg de *clinker*, se obtiene una mejora de 16 a 20 kcal/kg *clinker* pueden ser obtenidas al instalar una quinta etapa. Sin embargo, esto aumentara de 0.5 a 0.6 kWh/ton el consumo de energía eléctrica en el ventilador. Generalmente no se instala una sexta etapa³².

Sistema con precalcinadores: cuando se tiene un sistema un precalentador de suspensión (SP) y precalcinador, la etapa de combustión se divide en dos, de acuerdo a las dos temperaturas aplicadas durante la calcinación y la clinkerización. La combustión primaria en el extremo de descarga del horno proporciona sólo el flujo de calor requerido para sinterizar.

Y la combustión secundaria se lleva acabo en el precalcinador proporcionando calor para la descarbonatación de la harina cruda en un 90%³³.

32 Birch, E., "Energy savings in Cement kiln systems", Energy efficiency in the cement industry, 1990, 118-12

33 Fog, M., y Nadžarni, K., *Energy efficiency and fuel substitution in the cement industry: which emphasis on developing countries*, Banco Mundial, p.p. 6,8,49-50.

Ventajas:

- Optimiza la eficiencia de la combustión.
- Aumenta la capacidad del horno, sin aumentar las dimensiones de este.
- Permite utilizar combustibles de bajo poder calorífico, cuyo valor calorífico sea de hasta 3600 kcal/kg en el precalcinador³⁴.
- Disminuye notablemente las emisiones de los óxidos de nitrógeno (NOx).
- Si se utilizan sistemas de recirculación, se puede obtener un nivel deseado de calcinación a temperaturas mas bajas, lo que reduce el combustible. con esto se disminuye el flujo de gas y por consiguiente las perdidas de presión en el precalentador y el consumo de energia electrica⁴⁰.
- Bajas caídas de presión.
- Mayor facilidad para remover loa álcalis a través de un sistema de bypass.
- Optimas condiciones para una buena absorción de dióxido de azufre. (SO₂).

En cuanto a las dimensiones del horno, en los últimos años se han instalado hornos cortos con precalcinadores, cuya relación de diámetro y longitud es de 11-1, eliminándose una zona. El tiempo de retención es de 20 minutos aproximadamente: 2 minutos en la calcinación, 6 minutos en la zona de transición, 10 minutos en la zona de clinkerización y 2 minutos en la zona de enfriamiento. Estos hornos presentan ventajas para todo tipo de materias primas, si estas son difíciles de manejar, los hornos cortos ofrecen una mayor flexibilidad en el tiempo de residencia y en la carga ; para reducir la cantidad de álcalis el porcentaje de bypass puede

³⁴ Kresberg, A., y G.Kapoor, "Advancements in precalciners and preheaters", Word Cement, 1990, 89-93.

ser mayor en este tipo de hornos, obteniéndose mejores resultados que en los hornos de dimensiones normales³⁵

Las principales ventajas de hacer este cambio de tecnología que en los últimos años la industria cementera mexicana lo ha hecho es que se incrementa la producción, se disminuye la cantidad de energía pero además aumenta el consumo de electricidad.

Sistemas de *bypass*: algunos componentes secundarios (álcalis, cloruros, sulfatos) contenidos en las materias primas y en los combustibles se evaporan parcialmente a altas temperaturas y se condensan en la parte baja de los precalentadores, formándose recirculaciones que pueden perjudicar la operación del horno formándose capas indeseables o disminuyendo la calidad del *clinker*. El material que no ha sido retenido pasa a los filtros de polvo a través del molino de materia prima, el cual regresa al sistema a través de una recirculación externa.

Tabla No. 4.2

Porcentaje de utilización de las diferentes tecnologías.

Proceso	1976	1981	1985	1993	1995
Hornos largos vía húmeda	9.5	5.2	3.6	1.1	0.9
Hornos largos vía seca	69.5	59.2	46.3	33.6	28.4
Hornos con precalentadores	0	0	5.2	4.7	3.9
Hornos con precalcinadores	21	35.6	44.9	60.6	66.8
Fuente: Cembureau, <i>Word Cement Directory</i> , Bruselas Bélgica 1997.					

35 Wolter, A., "Pyrorapid-short rotary kiln-advantages for all raw materials", *Zement-kalk-gips*, 11, 1990, pp 59-62.

Tabla No. 4.3

Tabla comparativa de las diferentes tecnologías en el consumo de energía y producción

Tecnología	Proceso	Consumo de calor (kcal/kg de clinker)	Consumo de energía eléctrica (kWh/ton clinker)	Producción (ton/m ³)
Rotatorio largo	Húmedo	1856-2121	11-18	0.36-0.59
Rotatorio largo	Seco	1220	20	0.2-0.77
Rotatorio con SP (2 etapas)	Seco	1087	20	0.7
Rotatorio con SP (4 etapas)	Seco	1037	20	1.23
Rotatorio con SP (4 etapas) y precalcinador.	Seco	957	35	2.1

Fuente: PEMEX, *Consumo de energía en la industria del cemento*, perfiles energéticos industriales, 1982.

Existen 3 formas posibles de interrumpir y remover un sistema con recirculaciones:

- *Bypass* del gas. Es el método común, se conecta en el punto de transición entre el horno y el precalentador. De esta forma los cloruros de álcalis y sulfatos son removidos eficientemente. También es aplicado a metales pesados.
- *Bypass* de harina caliente. Este remueve una porción del flujo de la alimentación al horno con compuestos condensados que forman el sistema de recirculación.
- *Bypass* de polvo. Este remueve a partir de los filtros de polvo y puede interrumpir el sistema de recirculación externa.

Desde el punto de vista operativo, lo último es colocar el bypass en un punto de máxima concentración en el sistema de combustión, de esta forma se minimizan las pérdidas de material, gas y calor³⁶

Enfriadores: durante esta etapa del proceso se recupera energía, ya que el aire calentado por el *clinker* se utiliza para precalentar el aire de combustión secundaria del horno, para secar materias primas o para producir vapores y en algunas plantas producir energía eléctrica. En la industria del cemento en México casi todos los enfriadores son de parrilla.

La cantidad de aire secundario depende del consumo de calor específico del proceso, del consumo de aire primario y del consumo de aire excedente. La cantidad de aire secundario aumenta al disminuir la cantidad de aire primario, y al aumentar la cantidad de aire excedente.

Los enfriadores planetarios y rotatorios requieren mayor mantenimiento que los de tipo parrilla. Una medida para mejorar el consumo de combustible en cualquier planta es reducir la cantidad de aire primario en el quemador del horno y aumentar proporcionalmente el aire secundario proveniente de los enfriadores. Un ahorro de aproximadamente 50 kcal/kg clinker se puede obtener al disminuir el aire primario de combustión de un 10 a 30%³⁷.

Para el enfriador de parrilla, el consumo de energía puede ser disminuido si acepta temperaturas de descarga del clinker más altas.

36 Kretl, W., "Comparison of various bypass systems in clinker burning plants", *Zement-kalk-Gips*, 3, 1990, 59-62.

37 Rossmann H. y P. Kurnic, "Operating experience with a new type of burner for rotary cement kilns", *Zement-kalk-gips*, 11, 1990, 247-250.

Molienda; Los molinos utilizados en la industria del cemento son los molinos de bolas, de rodillos y recientemente se están utilizando sistemas integrales, los cuales utilizan ambos tipos.

Molino de bolas: Es un cilindro horizontal de 2 a 5m diámetro y de 3 a 22m.de largo, revestido de placas de acero con motores de 300 hasta 8700 HP. Esta dividido en 2 compartimientos, en uno de ellos contiene bolas de acero de 50 a 80 mm. Y en el otro de 20 a 25 mm. El movimiento de rotación rápido provoca el choque de las bolas entre si y con las paredes, mezclando y pulverizando los materiales contenidos. Para mejorar la eficiencia se han introducido las siguientes medidas:

-Uso de clasificadores de alta eficiencia en circuito cerrado, esto incrementa la producción en un 40% (25% es debido al clasificador), mejora la calidad del cemento aumentando su resistencia en un 6%, se reduce la temperatura de descarga del cemento de 120° en circuito abierto a 80° en circuito cerrado (debido al efecto enfriarte del clasificador)⁴⁴ y reduce el consumo de energía en un 13% (6 kWh/ton clinker aproximadamente. En los últimos años se han desarrollado los clasificadores con ciclones y las clasificaciones de aire espiral.

-Trituración preliminar esto puede ahorrar 6 kWh/ ton de materia prima aproximadamente, o 9 kWh/ton clinker.

-Introducción de motores de velocidad controlada.

-Optimización de la carga del molino, esto implica tener un nivel adecuado de material a lo largo del molino que permite tener un flujo de material suficiente sin sobrecargar el primer compartimiento, y un tamaño adecuado de las bolas.

Molino de rodillos: La pulverización se realiza a través de la compresión de material en dos pistones planos. Se lleva a cabo una primera compresión, las partículas menores llenan los espacios entre las partículas mayores. Al aplicar mayor presión, las partículas grandes se facturan y las pequeñas se reducen por fricción. Esta acción compresiva se repite aproximadamente 30 veces³⁸.

La ventaja del molino de rodillos son:

-Alta capacidad y bajos requerimientos de energía.

-Tamaño de la alimentación, la materia que entra al molino puede ser de 7 a 10 cm. por lo que se evita la etapa de trituración.

-Produce menos ruido.

-Menor tiempo de retención, que depende del espesor de las capas.

-Mayor control, en la calidad del cemento, se pueden hacer ajustes inmediatos cambiando la presión de los rodillos.

³⁸ Beko, B., "Importance of roller milling in cement production", *World Cement Technology*, marzo, 1982, 76-80

-Se necesita menos espacio para un molino de rodillos de la misma capacidad que un molino de bolas.

Las desventajas del molino de rodillos son:

- La inversión es muy alta.
- No es adecuado para todo tipo de materias primas, algunos tipos de sílice y cuarzo incrementan el desgaste en los elementos que se utilizan en la molienda a niveles económicamente intorelables.

Sistemas de molienda integral: estos sistemas utilizan rodillos de alta presión para la molienda gruesa, y un molino de bolsa para la molienda fina. Este tipo de molienda aumenta considerablemente la capacidad en el molino de bolas, así como todo su mecanismo de reducción por lo que requiere una optimización adecuada de la carga. Existen cuatro modos de operación: premolienda, molienda híbrida, molienda combinada y molienda final; las cuales consisten en moler previamente a una finura determinada el *clinker* y el yeso en molinos de rodillos, y una molienda final en los molinos de bola. La capacidad del molino de bolas es variable de acuerdo al modo de operación; al tener una operación mas uniforme en el molino de rodillos, se disminuye la carga en el molino de bolas y éste aumenta su capacidad y se incrementa el ahorro de energía³⁹.

39 Schwarz, S., y M. Seebach, "Grinding optimisation using high pressure grinding roll and ball mills", *Werd conserat*, septiembre, 1990, 385-388

Tabla No. 4.4
Tabla comparativa de las diferentes tecnologías en la molienda.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Molino de bolsa	Inversión baja Baja capacidad	-Alto consumo de energía
Molino de rodillos	-Alta capacidad -Eliminación de la etapa de trituración. -Producción de menor ruido. -Mayor control en la calidad del cemento. -Menor espacio	-Alta inversión -Baja compatibilidad con diferentes materias primas.
Sistemas integrales	-Ahorro de energía -Alta capacidad	-Inversión alta.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En este capítulo se logró presentar una breve descripción de las etapas que componen a los diferentes procesos industriales que existen (húmedo, seco, semihúmedo y semiseco), se identificó que una de las estrategias que ha utilizado la industria cementera mexicana para reducir en un 42% el consumo de energía y aumentado su producción un 30% ha sido efectuar el cambio del proceso húmedo al proceso seco, este lo han hecho prácticamente todas las compañías ya que en la actualidad solo una planta del grupo Moctezuma opera con el proceso húmedo.

Otra alternativa que ha utilizado, ha sido la instalación de hornos con precalcinador y precalentador, esta ha ido aumentando año con año hasta llegar a un 67% de plantas que trabajan con esta tecnología, lo que ha elevado el ahorro de energía y la producción. Estas dos estrategias han hecho que sus procesos sean más eficientes lo que le ha permitido seguir siendo competitiva en el mercado

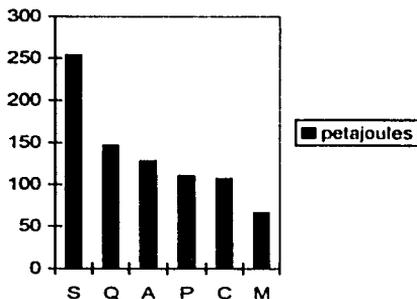
Capítulo V Demanda de Energía

En este capítulo se presentaran las estadísticas que nos indican el alto consumo de energía que requiere el proceso de producción del cemento, las estrategias que ha utilizado la industria cementera mexicana para hacerle frente; entre estas se encuentran la producción de cementos mezclados, la sustitución parcial de combustibles fósiles por alternos su impacto ambiental y los requisitos para poder utilizarlos además de los subsidios que recibe.

La energía es uno de los componentes más críticos en el proceso de fabricación del cemento ya que el combustible usado en los hornos representa del 10 al 20% y la electricidad utilizada para mover el equipo pesado de molinos, hornos, trituradores, bandas, elevadores y ventiladores constituyen del 15 al 20%⁴⁰.

Este gran porcentaje de consumo que en 1999⁴¹ fue de 107.2 Petajoules superior en 3.4% respecto a la cifra registrada en 1998 ha hecho que la industria cementera mexicana sea una de las principales consumidoras como se puede observar en la grafica .

Grafica No. 5.1
Consumo de energía por rama industrial



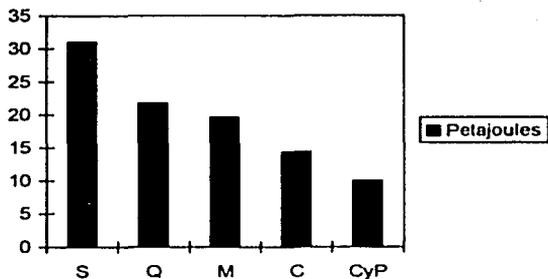
S- Siderurgia, Q- Química, A- Azúcar, P- Petroquímica, C- Cemento Mi-Minera

Fuente: Balance Nacional de Energía 1999, Secretaría de Energía, 2000.

40- Cemex, Informe Anual, 2000, p.18.

41- Balance Nacional de Energía 1999, Secretaría de Energía, 2000

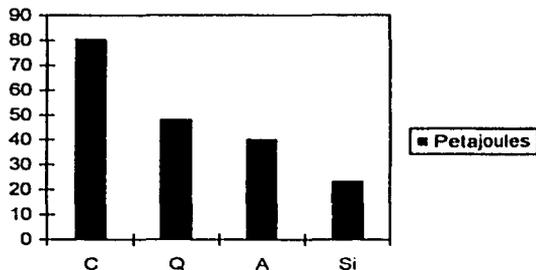
Grafica No. 5.2
Consumo de electricidad por rama industrial



C-CEMENTO, S-Siderurgia, Q-Química, A-Azúcar, CyP-Celulosa y papel

Fuente: Balance Nacional de Energía 1999, Secretaría de Energía, 2000

Grafica No. 5.3
Consumo de combustibles por rama industrial



C-CEMENTO, Si-Siderurgia, Q-Química, A-Azúcar,

Fuente: Balance Nacional de Energía 1999, Secretaría de Energía, 2000.

Estas grandes cantidades de energía que se consumen y que año con año repercuten en el aumento de los costos ha hecho que la industria cementera mexicana utilice algunas, estrategias como:

1. - La sustitución parcial del clinker por materiales con propiedades cementantes.
2. - La sustitución parcial de combustibles fósiles por combustibles alternos.

Tabla No. 5.1.
Costos de Energía eléctrica y combustibles
(miles de pesos)

Año	Energía eléctrica	Combustibles
1994	546,082	674,528
1995	452,514	869,730
1996	744,714	1,646,054
1997	894,447	1,924,837
1998	1,088,824	2,275,338

Fuente: INEGI, *Encuesta Industrial Anual*, 1994-1998.

5.1 Ahorro de energía debido a la sustitución parcial de *clinker* por materiales con propiedades cementantes.

Los cementos mezclados o extendidos son aquellos que sustituyen parte del clinker por materiales activos, como son las puzolanas naturales o artificiales, escorias granuladas de alto horno, cenizas volantes, etc. La característica de estos materiales es que al ser finamente molidos, y en presencia de humedad reaccionan químicamente y forman compuestos con propiedades cementantes.

De los cementos mezclados existentes, la industria cementera mexicana produce exclusivamente cementos puzolánicos, ya que México cuenta con una gran cantidad de puzolanas naturales de origen volcánico, principalmente tobas y pumicitas. Los cementos Pórtland de escoria de alto horno casi no se fabrican debido a la baja producción de escoria granulada de la industria siderúrgica mexicana; ni tampoco los cementos con cenizas volantes, ya que estas se generan como residuo de la combustión de carbón en centrales termoeléctricas.

Desde el punto de vista energético y ambiental, la fabricación de los cementos mezclados permite producir una mayor cantidad de cemento con la misma cantidad de clinker y reducir el consumo de combustibles y las emisiones de CO₂ por tonelada producida. En México, los cementos puzolanicos se comenzaron a producir desde la década de los cuarenta o cincuentas en una planta de Sinaloa para construir presas hidroeléctricas en la zona noroeste del país. A partir de entonces, tanto la producción como el empleo de los cementos puzolanicos ha aumentado y su uso se han expandido por todo el país. En 1978, la producción de cemento estaba constituida en un 79% de cemento Pórtland gris, y un 19% de cementos puzolanicos. Para 1990 se estimo que la producción fue de 58% y 42% respectivamente.

Este cambio en la composición tiene importantes ahorros en el consumo de energía como a continuación se muestra

Tabla No. 5.2.
Participación de los cementos puzolanicos en la producción nacional y el porcentaje de ahorro.

Año	% de cementos puzolanicos en la producción nacional	% de ahorro
1978	18.9	1.51
1979	17.6	1.41
1980	21	1.68
1981	30.4	2.43
1982	37.6	3.01
1983	32.8	2.63
1984	34.2	2.73
1985	34.2	2.73
1986	32.1	2.57
1987	35.6	2.85
1988	n.d	n.d
1989	n.d	n.d
1990	42	3.36

Fuente: Cámara Nacional del Cemento, Anuario 1987 y SEMIP, *Características del consumo de energía en la industria del cemento en México, evolución y perspectivas, 1992.*

En esta tabla se puede observar que mientras mayor es la proporción de cementos puzolanicos dentro de la producción nacional, esta estrategia tiene una mayor importancia en la reducción del consumo de energía.

5.2 Sustitución de combustibles no renovables por combustibles alternos.

A medida que la población aumenta se requiere una mayor cantidad de productos que satisfagan nuestras necesidades de alimentación, vestido, vivienda, etc. Durante el proceso de fabricación de estos artículos se generan residuos que por su calidad ya no pueden ser incorporados nuevamente al proceso que los genero. Si estos residuos no se manejan adecuadamente se produce un impacto ambiental en el aire, suelo y agua.

En 1994 la cantidad de residuos sólidos generados en México fue de 525,885 toneladas diarias, de las cuales 465,500 toneladas son desechos industriales 60,185 toneladas son residuos municipales y 200 toneladas provienen de hospitales. De los residuos industriales 15,500 toneladas son residuos peligrosos, de los cuales un 14.03% tienen una disposición adecuada y el resto tiene un paradero desconocido. En cuanto a la basura municipal, se recolectan 42,130 toneladas (70%), 18,116 toneladas se destinan a rellenos sanitarios y 24,014 toneladas a tiraderos abiertos.

De acuerdo al INEGI México cuenta con una infraestructura minima para el tratamiento de residuos. Al existir una gran desproporción entre el volumen de desechos generados y la capacidad de destruirlos, la industria almacena los residuos en sus instalaciones

o se deshace de ellos clandestinamente, depositándolos en los basureros municipales, mezclándolos en el drenaje.⁴²

El horno de cemento, por sus características operativas permite recuperar energía a partir de estos desechos en forma segura y controlada sin generar residuos adicionales. De esta forma el combustible alternativo se define como un producto obtenido a partir de uno o más residuos que posean un poder calorífico significativo y que cumplan con una especificación definida y reglamentada por una autoridad ecológica.

Las características del proceso de fabricación del cemento que permite utilizar el combustible alternativo son:

- Tiempo de residencia de gases de combustión: entre 4 y 6 segundos.
- Medio gaseoso turbulento. Existe un intensivo contacto, en forma de contracorriente, entre los gases de combustión y la harina cruda que permite una buena transferencia de calor y absorción de compuestos tóxicos.
- Atmósfera oxidante. Al existir un exceso de oxígeno del 1 al 2% algunos componentes del azufre o del cloro forman óxido y posteriormente sales que se incorporan a los constituyentes del *clinker*.
- Alto nivel de dilución; las trazas de elementos de metales pesados se diluyen en el *clinker*. Con las altas temperaturas los compuestos que contienen metales pesados se

⁴² Meza, L., "Manejo de aceites usados. Residuos peligrosos", CIENAPRED, México, 1995, pp. 17-23.

descomponen y forman óxidos metálicos que se integran a las estructuras de los minerales del *clinker*, silicatos y aluminatos, asegurando su fijación y eliminando su riesgo ambiental.

- Elevada temperatura; en el sistema de combustión primaria, la llama tiene una temperatura de 1800 a 2000^oC a la salida del quemador, a esta temperatura incluso los compuestos orgánicos más estables, como el freón, metil etil cetona, tricloro etano y el tolueno, son completamente destruidos. En la combustión secundaria se manejan temperaturas de 800 a 1200 ^oC que son suficientes para quemar otros tipos de desechos.
- Baja temperatura en los gases de chimenea; Al tener un buen intercambio de calor, la harina cruda absorbe o condensa las concentraciones de las sustancias tóxicas en los gases y disminuye su temperatura, por lo tanto a más bajas temperaturas de los gases de salida mas baja será la concentración de compuestos tóxicos

Al quemar desechos es importante estimar el cambio en el nivel de emisiones contaminantes, por lo que es deben analizar las siguientes características:

- Tipo de desecho, propiedades físicas.
- Análisis químico de los desechos.
- Tipo de sistema de horno y temperatura de los gases de escape
- Método de introducción de desechos en el sistema de horno
- Porcentaje de sustitución de combustible.
- Niveles normales de emisión, antes de utilizar los desechos como combustible.

Un factor importante en la utilización de desechos como combustible es el aprovisionamiento de ellos. Se debe tomar en cuenta la cantidad disponible, la recolección, la preparación o tratamiento por compañías especializadas, el costo de transporte y almacenamiento, las propiedades termoquímicas y la calidad de los desechos.

En México los desechos mas utilizados como combustibles alternos en los hornos de Cemento son: llantas, aceites y lubricantes usados.

5.2.1 Llantas

Las llantas para vehículos, al terminar su ciclo de vida útil, se convierten en un desecho de muy lenta degradación. Además debido a la cantidad y forma física de las llantas es difícil manejarlas y darles una disposición final adecuada en rellenos sanitarios; y si son quemadas en procesos rudimentarios no controlados emiten contaminantes, como los furanos, a la atmósfera ocasionando graves problemas a la salud y el medio ambiente.

La producción⁴³ de la industria llantera mexicana en 1993 fue de 11,317,200 de unidades se importaron 5,747,500 , tanto nuevas como usadas, lo que da un total de 17,064,700.

Las llantas de desecho que se generan en México están en función directa del parque vehicular nacional. En 1993 se estimó una generación de 225,000 toneladas anuales, y una generación media de 0.3 llanta al año por habitante, esto se duplica en las zonas

43 Cortes, Fidel, *Sesión de llantas usadas*, Instituto Nacional de Ecología, México, 1995.

metropolitanas de la republica mexicana, como el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey y la zona fronteriza norte.

En la siguiente figura 5.1 se muestra la generación y disposición final de las llantas de desecho en México.

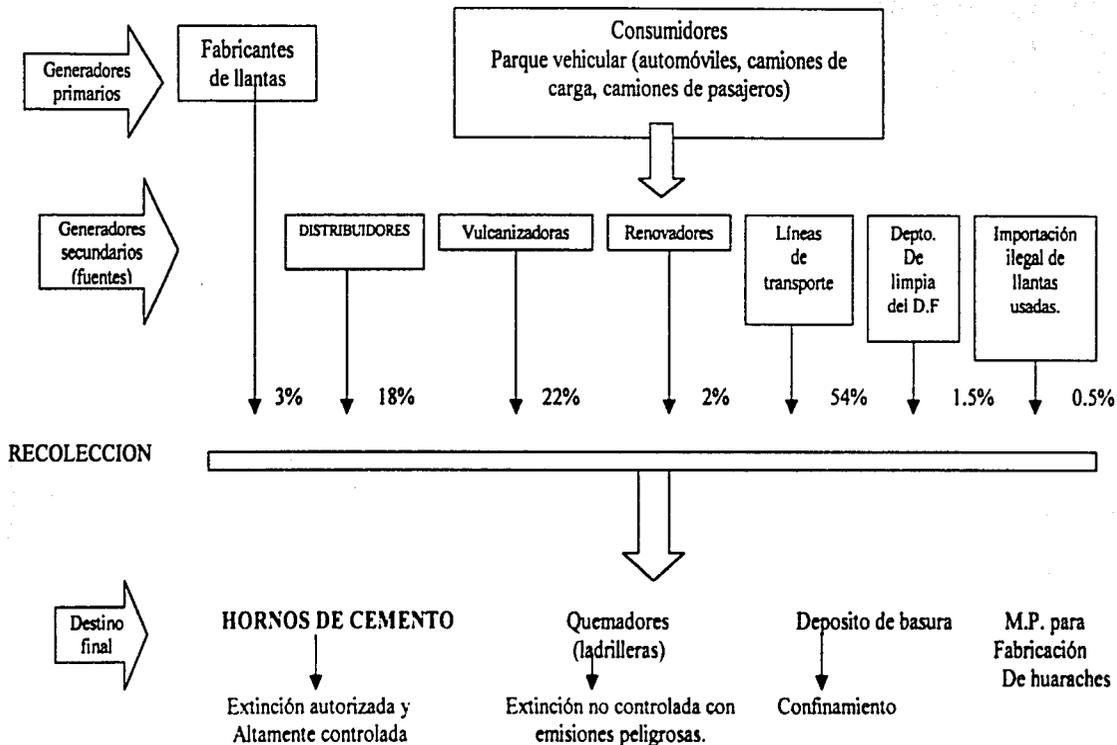
Es importante considerar los siguientes puntos par introducir llantas en los hornos de cemento:

- Las llantas deben ser ser inyectadas en un lugar donde la energía producida por su combustión pueda ser absorbida por la harina cruda en la zona de calcinación y de sin - terización.
- El tiempo de residencia de las llantas es critico, se debe asegura que estas se quemem completamente antes de llegar a la zona de combustión.
- Las llantas deben ser introducidas en un lugar donde la temperatura sea lo suficiente - mente alta que asegure su completa combustión.

Existen varios métodos de alimentación de llantas a los hornos y son:

- Llantas enteras: es el método mas aplicado, y se introducen en el quemador secundario
- Llantas troceadas: este método crea costos adicionales en su preparación. Se introducen en el quemador secundario, en la entrada o en la salida del horno; pero las entradas de aire falso puede ser muy altas y ocasionar perdidas de calor.
- Gasificación de llantas: Se utiliza en dos plantas de cemento en Japón, es un proceso muy costoso en el cual se obtiene un gas con alto poder calorifico al descomponer ter -

Figura No. 5.1
 Generación y disposición final de las llantas de desecho en México



Fuente: Instituto Nacional de Ecología, Generación y disposición final de las llantas en México(en línea) México 2000,(citado 11 noviembre 2001),Disponible en:<http://www.ine.gob>.

81

micamente las llantas aprovechando su combustión parcial. Por ser un combustible gaseoso ofrece mayores ventajas de flexibilidad.⁴⁴

- Llantas molidas en grano fino: este método es muy costoso, y su única ventaja es que puede ser alimentado en el quemador primario.

En México las llantas se alimentan troceadas en el extremo final del horno. Para quemar llantas es necesario contar con la infraestructura necesaria como: un manejador automático de llantas que incluya una tolva de recepción, transporte reversible que las acepte o rechace, un banda transportadora elevadora y un mecanismo; un equipo de monitoreo de contaminantes (NO_x, CO₂, O₂, HCl, SO₂, CO, HC₃, polvos) y personalmente capacitado.

Actualmente solo 5 plantas de cemento en México cuenta con hornos acondicionados y autorizados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) para quemar llantas de desecho: dos de ellas pertenecen a la compañía Cemex que son la plantas Ensenada, Baja California y Huichiapan, Hidalgo, y desde 1992 cuentan con una capacidad instalada para el manejo de llantas de 8000 toneladas anuales y 350 toneladas mensuales respectivamente y tres a la compañía Apasco que son las plantas Apasco con capacidad de 2500 toneladas de llantas mensuales, sin embargo solo recopila entre 500 y 600 toneladas mensuales, Ramos Arizpe, Saltillo y Macuspana, Tabasco. Ambos compañías cuentan con centros de acopio, y coinciden en que el principal obstáculo es el costo de transportación. Debido a la falta de normatividad las llantas se reciben completas por lo que existen limitaciones de espacio y peso para almacenarlas y transportarlas. Los costos de transportación serian menos si se transportaran las llantas ya fraccionadas

44 Saito, I., "Effective use of waste tyres by gasification in cement plant", Word Cement, 1987.

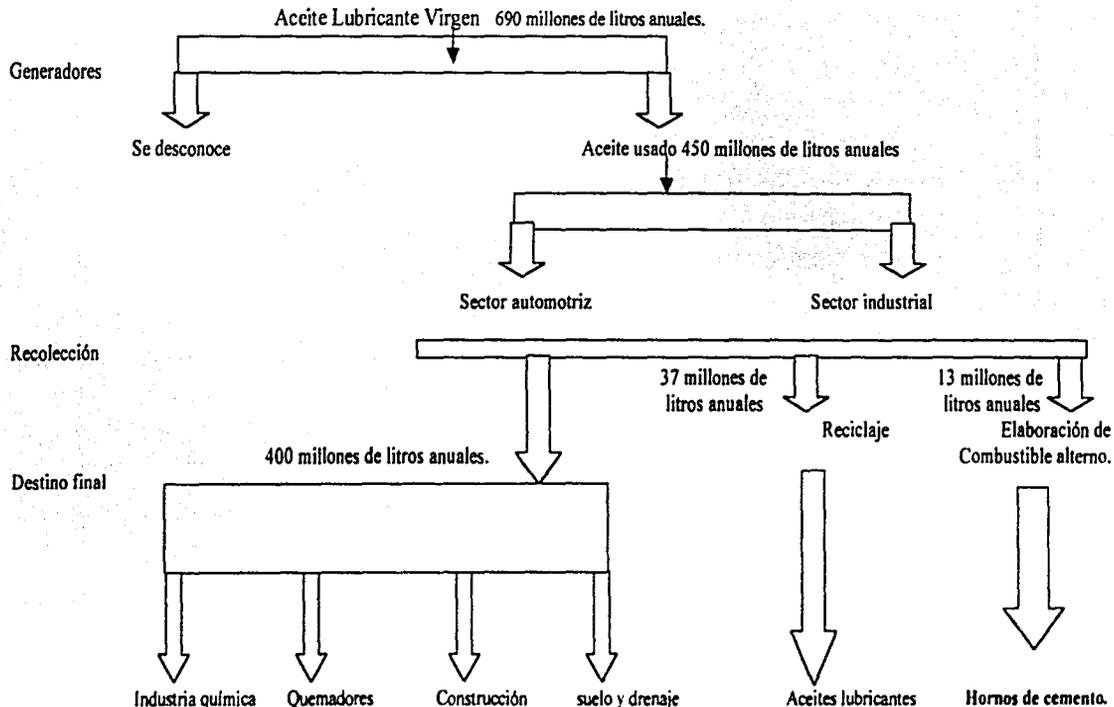
El porcentaje de sustitución de las llantas de acuerdo a la experiencia de la planta de Apasco, es de hasta un 15% del combustible. Si todas las llantas de desecho generadas en el país 225,000 toneladas en 1993, se utilizaran como combustible alternativo en los hornos de cemento se recuperarían 1.61 Pcal de energía equivalentes a 161 millones de litros de combustóleo aproximadamente, considerando el poder calorífico de las llantas de 30 MJ/kg, lo que corresponde a una reducción del 6.8% del consumo de combustibles fósiles.

5.2.2 Aceites y lubricantes usados.

En México se producen cerca de 690 millones de aceite lubricante virgen. Los cuales se emplean principalmente en el sector automotriz e industrial, como lubricantes en máquinas, turbinas, engranes, como fluidos aislantes y refrigerantes. Este aceite al ser utilizado se contamina y dependiendo de las impurezas que contenga podrá ser o no reciclable.

El aceite usado se clasifica como residuo peligroso de acuerdo a la norma NOM-C001-ECOL/1993. Y la norma NOM-CCA-031-ECOL/1993, menciona que no se debe depositar ni descargar en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano, municipal, sustancias tóxicas o residuos peligrosos. Sin embargo gran parte de los aceites usados son vertidos en el suelo o en el drenaje ocasionando la contaminación de mantos acuíferos, lagos, ríos y mares; otra parte es quemada en industrias sin control lo que produce emisiones contaminantes peligrosas en el aire, y solo una pequeña parte se recicla o se utiliza para elaborar combustible alternativo como se muestra en la figura 5.2.

Figura No. 5.2.
Generación y disposición de aceites usados.



Fuente: Conferencia del curso de tecnologías limpias de manejo de residuos peligrosos-México, Programa Universitario de Medio ambiente (PUMA), Noviembre 1994.

En los últimos años empresa extranjeras, principalmente estadounidenses, han realizado inversiones conjuntas con Cemex y Apasco para crear nuevas empresas que ofrezcan el servicio de recolección y mezcla de residuos peligrosos, para ofrecerlos como combustible alternativo, construyendo plantas mezcladoras en los predios de sus compañías

Esta nueva alternativa ha ido creciendo ya que en 1998 había seis plantas de mezcla de combustible y en el transcurso de 1998 y 1999 el número creció a 14 (ver tabla 5.3). Estos combustibles alternos es una mezcla balanceada de desechos industriales como natsas de pinturas, solventes, tintas para impresión, resinas, desengrasantes y aceites usados, excepto los aceites usados y los dieléctricos formulados a partir de bifenoles policlorados.

Para que estos residuos puedan ser utilizados en los hornos de cemento, la planta requiere de la siguiente infraestructura: laboratorios, transporte especializado y una planta formuladora que maneje, trate, mezcle y homogenice los residuos industriales de tal manera que se obtenga un combustible uniforme que asegure la calidad del cemento y la protección ambiental.

El combustible alternativo derivado de aceites puede sustituir hasta un 40% del combustóleo o gas natural

Tabal No. 5.3
Plantas dedicadas a la obtención de combustibles alternos.

Nombre de la planta	Ubicación de la planta de mezcla de combustible o recolección	Capacidad Estimada (ton/año)
Pro-ambiente(1)	Torreón, Coahuila.	48,000
Ecoltec (2)	Ramos Arizpe, Coahuila.	180,000
Ecoltec (planta Orizaba)	D.F.	120,000
Ecoltec (planta Tecoman)	Tecoman, Colima.	---
Cleanmex	Tamaulipas, Matamoros.	---
Cementos de Chihuahua	Samalayuca, Chihuahua.	---
CFE Carbón II	Nava, Coahuila.	---
CFE Plutarco Elias Calles	D.F.	---
Administración de Residuos Industriales S.A.	D.F.	18,000
Industria Nacional de Lubricantes.	Zapopan, Jalisco.	21,600
Karbek Combustibles. S.A.	Queretaro, Queretaro.	6,300
Nueva Exportadora Latina de México	Tijuana, Baja California.	7,262.4
Química RIMSA	D.F.	8,534
RIMSA	Mina, Nuevo León.	90,000
TOTAL.		494,026.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, Plantas dedicadas a la obtención de combustibles alternos (en línea) México 2000, (citado 15 agosto 2001), disponible en: <http://www.ine.gob.mx>
(1) se encuentra dentro del predio de Cemex
(2) Ecoltec es propiedad de Apasco

Hasta 1996 las plantas que cuentan con autorización para la quema de combustibles alternos se muestran en la tabla No. 5.4.

En lo que se refiere al consumo de electricidad la compañía Cemex tiene una clara ventaja competitiva ya que tiene auto suministró (planta Termoeléctrica del golfo) esta planta en el año 2000 fue duplicada en capacidad lo que le permite obtener un costo de energía más bajo⁴⁵.

⁴⁵ Cemex, Informe Anual, 2000.

Tabla 5.4
Plantas con autorización para utilizar combustibles alternos

Planta	Combustible Alterno
Compañía Cemex	
Torreón, Coahuila.	Aceites gastados, solventes, tela, estopa, mezcla de pinturas.
Huichiapán, Hidalgo	Aceites gastados, solventes y llantas.
Ensenada, Baja California.	Aceites gastados y llantas.
Zapotiltic, Jalisco.	Aceites gastados.
Atotonilco, Hidalgo.	Aceites gastados.
Valles, San Luis Potosí.	Aceites gastados.
Cementos del yaqui, Sonora.	Aceites gastados.
Cementos del noreste, Hidalgo	Aceites gastados.
Monterrey, Nuevo León	Aceites gastados.
Cementos Guadalajara, Jalisco	Aceites gastados.
Cementos Maya, Yucatán	Aceites gastados.
Compañía Apasco	
Apasco, México	Grasas, lodos, hule, blancos, aceites gastados, carbon activado, trapos, catalizadores, llantas, pañales, papel plastico, tintas, toner y filtros.
Ramos Arizpe, Saltillo	Aceites gastados y llantas.
Macuspana, Tabasco.	Estopa, guantes, trapos, papel, plastico, tintas, casera de arroz, toner, catalizador, hule, filtros, aceites, llantas, carbon activado y solventes.
Tecoman, Colima.	Hule, carbon activado, estopa, papel, plastico, cartón, tintas, catalizadores, filtros Acerrín, aceite, grasas y aceites.
Orizaba, Veracruz.	Estopa, guantes, trapos, papel, plastico, hule, llantas, carbon activado, aceites, grasas, catalizador y solventes.
Acapulco, Guerrero.	Aceites gastados.
Compañía de Cementos Chihuahua	
Samalayuca, Chihuahua.	Aceites gastados
Compañía Cementos Portland Moctezuma.	
Jiutepec, Morelos	Aceites gastados
Compañía Cruz Azul	
Jasso, Hidalgo	Aceites gastados
Lagunas, Oaxaca.	Aceites gastados.

La información fue obtenida del: Instituto Nacional de ecología, Dirección general de materiales, residuos y actividades riesgosas, 1996.

5.3 Subsidios energéticos

Energía eléctrica: en este servicio el subsidio que el gobierno le otorga es mayor comparado con el domestico como se puede ver en la tabla (5.5).

Tabla No. 5.5
Costos de energía eléctrica

Sector	Costo (centavos/Kwh)
Industria	45.4
Domestico	60.7
Comercial	132.8

Fuente: Primer informe de gobierno, 1 de Diciembre 2001.

Combustibles; Los costos del gas natural industrial es menor al comparado con el del gas domestico, como puede observarse en la tabla.

Tabla No. 5.6
Costos de gas

	1995	1996	1997	1998	1999
Gas natural Industrial (\$/m ³)	0.53	1.15	0.79	0.83	1.16
Gas natural domestico. (\$/m ³)	0.95	1.58	1.59	1.60	nd

Fuente: PEMEX, Anuario Estadístico, 1999.

Estos subsidios que el gobierno le otorga a la industria cementera mexicana, le permite tener menores costos y por lo tanto seguir siendo competitiva en el mercado

5.3 Impacto Ambiental

La fabricación del cemento se encuentra relacionada con los siguientes efectos ambientales⁴⁶:

La explotación de canteras supone un impacto medioambiental considerable, derivado de la ocupación de espacios (impacto visual) y de las actividades realizadas durante la explotación (voladuras, trituración, transporte).

La manipulación, almacenamiento y procesado de materiales en forma pulverulenta está asociada a la emisión de partículas. Este aspecto ha sido el de mayor impacto histórico pero este ha ido mejorando ya que hace 40 años las emisiones se calculaban en 7% de acuerdo al total de la producción obtenida y actualmente es del grado del 0.03%.

Otro efecto que para este trabajo tiene mayor relevancia es la forma en que repercuten los combustibles alternos en el medio ambiente y que han hecho las autoridades competentes para evitar posibles daños;

Con el uso de combustibles alternos⁴⁷ se incrementa la cantidad y tipo de contaminantes suspendidos en el aire (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas). Se emiten niveles de plomo, cadmio, arsénico, mercurio, cromo hexavalente, plata, selenio, bario, berilio y antimonio. Estos contaminantes pueden ocasionar

⁴⁶ Cámara Nacional del Cemento, *La industria cementera en México*, 2000.

⁴⁷ Reed, Cyrus, *Incineradores ecológicos y hornos cementeros*, Texas Center for Policy Studies, 1997.

grandes problemas de salud si no es controlada su volumen y concentración, es por eso que existe un anteproyecto de norma para el uso de dichos combustibles, que enseguida se menciona.

Aún no existe normas oficiales mexicanas que contemplen el manejo adecuado de llantas de desecho, ni de aceites y lubricantes usados. Actualmente se han estado elaborando anteproyectos de normas para el manejo adecuado de estos desechos desde su recolección hasta su destino final, dando preferencia al reciclaje y al aprovechamiento del poder calorífico como combustible alterno.

Para poder quemar combustibles alternos, el Instituto Nacional de Ecología debe autorizarlo. Para ello se debe solicitar a este instituto ciertas pruebas. Los objetivos de estas pruebas es determinar los parámetros de operación del horno utilizando combustibles alternos y sus respectivas emisiones, y demostrar que bajo las peores condiciones de operación, el uso de estos no representa problemas de contaminación ambiental.

Para esto existe un protocolo de pruebas para quemar combustibles alternos en los hornos de cemento y establece que se tiene que describir el proceso de fabricación bajo condiciones normales: tipo de horno (con o sin precalentadores y precalcinadores), dimensiones del horno, caudal de alimentación de materia prima, diagramas de flujo de material, tipo y flujo de combustibles, temperatura y presión a la que se alimenta el combustible en el horno (y en los precalcinadores), el porcentaje de oxígeno en la zona de

combustión primaria del horno (y a la salida del precalcinador), emisiones, tiempo de residencia de los gases en el horno, producción del *clinker*, equipos y dispositivos de control de emisiones, etc. Además se tiene que indicar las modificaciones al proceso cuando se utiliza combustible alterno, anexando los diagramas de flujo, combustibles y emisiones mencionando donde se alimenta el combustible alterno, los balances de materia y de energía. Y posteriormente se evalúa el comportamiento y volúmenes de las emisiones, haciendo una comparación de las concentraciones obtenidas durante las operaciones sin y con combustible alterno.

En la tabla 5.5 se indica la composición físico-química que deben tener los combustibles alternos de acuerdo al protocolo de pruebas.

Tabla No. 5.7
Composición físico-química de los combustibles alternos

Característica	
Poder calorífico	Min. 4995 kcal/kg
Agua libre	Max. 12%
Cloruros	Max. 2%
Halógenos	Max. 5%
Sulfuros	Max. 1%
Plomo	Max. 4000 mg/l
Cromo hexavalente	Max. 3000mg/l
Arsénico	Max. 100 mg/l
Plaguicidas	Max. 5 mg/l
Sólidos suspendidos	Max. 20%
Mercurio	Max. 50 mg/l
Plata	Max. 100 mg/l
Selenio	Max 100mg/l
Bario	Max. 6000 mg/l
cadmio	Max. 500mg/l
Fuente: Instituto Nacional de Ecología, Composición fisicoquímica de los combustibles alternos (en línea) México 2000, (citado 15 agosto 2001), disponible en: http://www.inc.gob.mx	

El protocolo de pruebas se apoya en el reglamento "17 BImSch" 1990 (94-96) de Alemania para establecer los límites máximos permisibles de emisiones cuando se usa combustibles alternos en los hornos de *clinker*.

Tabla No. 5.8.
Condiciones y límites de emisión máxima para hornos de cemento que queman combustibles alternos.

Condiciones	Valor promedio diario
Período	11%
Contenido de oxígeno	1200 °C
Temperatura en el horno	2 segundos
Tiempo de retención de gases	
Emisiones	
Compuestos de cloro HCl.	50 mg/m ³
Compuestos de fluro HF	2 mg/m ³
Bióxido de azufre SO ₂	100 mg/m ³
Monóxido de carbono CO	100 mg/m ³
Compuestos orgánicos	20 mg/m ³
Partículas	30 mg/m ³
Metales pesados	
Sb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn,	0.2-5 mg/m ³
Hg, Cd, Tl	0.2 mg/m ³

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, Condiciones y límites de emisión máxima para hornos de cemento que queman combustibles alternos. (en línea) México 2000, (citado 15 agosto 2001), disponible en: <http://www.inec.gob.mx>

Conclusiones

En este capítulo se logró presentar las estrategias que ha utilizado la Industria Cementera Mexicana para hacerle frente al alto consumo de energía que requiere su proceso. Una de las estrategias ha sido la producción de cementos mezclados que año con año ha aumentado hasta llegar en 1990 a un 42% lo que le permitió ahorrar un 3.6% de combustible. La otra ha sido la sustitución de combustibles fósiles por alternos entre estos se encuentran: llantas, aceites, y lubricantes usados.

En esta estrategia se logro observar que las compañías que han logrado obtener ventaja competitiva han sido Cemex y Apasco ya que de las cinco plantas autorizadas y con los hornos acondicionados para poder quemar llantas dos pertenecen a Cemex y tres a Apasco, además de tener dentro de su planta en Torreon, Coahuila a Pro-ambiente y tener en su poder a Ecoltec respectivamente, dichas compañías se dedica a la obtención de combustibles alternos

Al ver los grandes beneficios que representan dichas estrategias, las compañías no han olvidado el impacto ambiental que estas pudieran tener, ya que todas cuentan con la autorización correspondiente para poder llevarlas a cabo.

Conclusiones.

En este trabajo se identifico que la energía es un factor crítico en la producción del cemento ya que representa entre el 30 y 40% del costo total, para hacerle frente a esto y seguir siendo competitiva la Industria Cementera Mexicana ha recurrido a el cambio de tecnología y algunas estrategias.

En lo que se refiere a la tecnología ha hecho el cambio del proceso húmedo a seco, este cambio lo han hecho casi todas las plantas excepto una del grupo Moctezuma, otra alternativa ha sido la instalación de hornos con precalcinador este cambio ha sido un poco mas lento, pero en la actualidad un 67% de la empresas la utilizan, estas opciones no solo les ha permitido hacer mas eficientes sus procesos y por lo tanto aumentar su producción hasta situarse como la décima productora a nivel mundial con 29 millones de toneladas, si no que ha contribuido a reducir el consumo de energía de 2121kcal/kg *clinker* a 957kcal/kg *clinker* lo que ha reducido los costos.

Otro factor que le ha permitido a la Industria Cementera Mexicana seguir siendo competitiva ha sido la utilización de algunas estrategias entre estas se encuentran; el aumento en la producción de cementos puzolanicos que en 1978 era de 18.9% y en 1990 de un 42% de la producción total, lo que le permitió ahorrar un 3.36% de energía. Otra ha sido la sustitución de combustibles fósiles por alternos entre estos se encuentran las llantas, aceites y lubricantes usados, esta además de reducir los costos, ha servido para utilizar los hornos como

incineradores de desecho de una manera segura. En estas estrategias es donde se observo que las compañías Cemex y Apasco han lo logrado obtener ventaja competitiva ya que casi todas sus plantas (80 y 100%) respectivamente cuentan con autorización para poder utilizarlos, además de contar con las empresas Pro-ambiente y Ecoltec las cuales se dedican a la obtención de estos.

Al analizar estas dos compañías en cuanto a tecnología y estrategias las dos están a la vanguardia, la diferencia para que Cemex sea el líder nacional radica en que cuenta con un numero mayor de plantas lo que le permite tener el 58% de la producción total en sus manos.

Bibliografía.

- Ardavin Ituarte, José Ramón, *La incineración de residuos industriales orgánicos en hornos de cemento*, tesis de licenciatura, Facultad de Química (UNAM), 1995.
- Gómez Bustos, Gerardo Gustavo, *Análisis de la transferencia de tecnología en la industria del cemento y sus principales implicaciones económicas*, tesis de licenciatura, Facultad de Economía (UNAM), 1983.
- Herman Bogue, Robert, *La química del cemento Portland*, Dosat s.a. España, 1952
- Huesca Barnetche, Cristina, *El reuso de residuos peligrosos líquidos como combustible alternativo en hornos para la fabricación de cemento*, tesis de licenciatura, Facultad de Química (UNAM), 1995.
- Labahn, Otto, *Prontuario del cemento*, editores técnicos asociados, Barcelona, 1985.
- Medina Muñoz, Jorge Francisco, *El desarrollo de la industria del cemento en México 1935-1970*, tesis de licenciatura, Facultad de Economía (UNAM), 1975.
- Mendoza Ramírez, Carlos Ramón, *Consideraciones básicas para la operación de un horno rotatorio de cemento Portland*, tesis de licenciatura, Facultad de Química (UNAM), 1991.
- Millán Marbert, Judith Elena, *Análisis de la industria del cemento y su problemática ambiental*, tesis de licenciatura, Facultad de Química (UNAM), 1994.
- Munguía Cruz, Alejandra, *Incineración de residuos en hornos de cemento: una alternativa ambientalmente segura*, tesis de licenciatura, FES Cuatitlan (UNAM), 2000.
- Nuevo Fonseca, Gustavo Enrique, *Impacto económico y social de una tecnología limpia para la producción de cemento dentro del marco legal y las restricciones ecológicas del siglo XXI*, tesis de licenciatura, Facultad de Química (UNAM), 2000.

Ozowa Meida, Leticia, *Demanda de energía en la industria del cemento en México y opciones de ahorro: sustitución de combustibles y uso de control difuso para el horno rotatorio de cemento*, tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería (UNAM), 1997.

Ramos Anastasio, José Guadalupe Alfonso, *Metodología para el diagnóstico energético en una planta productora de cemento*, tesis de maestría Facultad de Ingeniería (UNAM), 1988.

Romeu, José María, "Empleo de combustibles alternativos", cemento hormigón, 734 (1994), 756-763.

Sternier, Thomas, *El uso de la energía en la industria mexicana*, El Colegio de México, México, 1987.

Valencia Islas, Arturo, *Historia de una industria oligopolica: La industria del cemento en México 1905-1940*, tesis de licenciatura, Facultad de Economía (UNAM), 1999.