

75



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO
Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A

JUDITH ELENA MILLAN MAUBERT



MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1994



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 está 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



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE INGENIERIA

Presidente:	Prof. Eduardo Rojo y De Regil
Vocal:	Prof. Ernesto Pérez Santana
Secretario:	Prof. Rodolfo Torres Barrera
1er. Suplente:	Prof. Victor Manuel Luna Pabello
2o. Suplente:	Prof. Héctor Marcelino Gómez Velasco

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

Cementos Anáhuac
Cementos Apasco
Cementos Cruz Azul
Cementos Toluca
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC)

Asesor del Tema: I.Q. Ernesto Pérez Santana

Sustentante: Judith Elena Millán Maubert

A mi madre:

Por todo el apoyo, confianza y amor que me ha brindado a lo largo de la vida y por ser una constante fuente de aliento ¡ Gracias !

A mi padre:

Por inculcarme la independencia y la responsabilidad en la vida.

A mis hermanas:

Por enseñarme el verdadero significado del cariño y amor.

A Manuel:

Por su comprensión y amor a lo largo de estos años y por significar una gran parte de mi vida.

A mis amigos:

Por compartir y disfrutar juntos esta aventura que es la vida.

ÍNDICE

	Pág.
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- GENERALIDADES DEL CEMENTO	8
2.1 Antecedentes históricos del cemento	9
2.2 La industria del cemento en México	10
2.3 Cementos producidos en México	12
2.4 Insumos básicos	23
III.- OFERTA - DEMANDA DEL CEMENTO	26
3.1 Producción de cemento	27
3.2 Exportación de cemento	29
3.3 Capacidad instalada y número de plantas	35
3.4 Localización geográfica	41
3.5 Formas de comercialización y consumidores	44
3.6 Fracción arancelaria	45
3.7 Situación comercial en el exterior	46
3.8 Análisis de oferta / demanda del cemento	49

IV.- PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CEMENTO	51
4.1 Descripción del proceso	52
4.2 Consumo de energéticos	58
4.3 Emisiones	60
4.4 Control de emisiones	62
4.5 Equipos de control de emisiones	64
4.5.1 Cámara de sedimentación	68
4.5.2 Separador de ciclón	71
4.5.3 Colector de tela	74
4.5.4 Precipitadores electrostáticos	77
4.5.5 Torres lavadoras	80
V.- ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CEMENTO	91
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
ANEXO	
LEGISLACIÓN AMBIENTAL	104
A.1 Legislación ambiental mexicana	106
A.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	108
A.3 Tratamiento como una rama industrial por SEDESOL	113
A.4 Reglamentación a nivel internacional sobre contaminación ambiental	119
A.5 Norma oficial mexicana referente a contaminación ambiental por la industria del cemento	120
VII.- BIBLIOGRAFÍA	126

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Cementos producidos en México	13
Tabla 2	Tipos y características de Cemento	22
Tabla 3	Producción	28
Tabla 4	Exportaciones	31
Tabla 5	Importaciones	33
Tabla 6	Capacidad instalada	36
Tabla 7	Consumo aparente	38
Tabla 8	Distribución geográfica del consumo nacional de cemento	40
Tabla 9	Plantas productoras de cemento en México	43
Tabla 10	Participación en el empleo	47
Tabla 11	Intervalo de consumo de energéticos en etapas de proceso	58
Tabla 12	Consumo de energéticos por tipo de proceso	59
Tabla 13	Factores de emisión para la manufactura de cemento sin control	61
Tabla 14	Principio físico de los equipos colectores	65
Tabla 15	Tamaño mínimo de partícula para varios tipos de lavadores	82
Tabla 16	Ventajas y desventajas de los equipos de control de emisiones	90
Tabla 17	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	108
Tabla 18	Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	110

LISTA DE GRÁFICAS

		Pág.
Gráf. 1	Producción	29
Gráf. 2	Exportaciones	32
Gráf. 3	Importaciones	34
Gráf. 4	Capacidad instalada	37
Gráf. 5	Consumo aparente	39
Gráf. 6	Países productores de cemento	48
Gráf. 7	Inversión en equipo para control de la contaminación	67

LISTA DE FIGURAS

Fig 1	Estructura de costo	25
Fig. 2	Estructura de la industria del cemento	42
Fig. 3	Producción de cemento por vía seca	56
Fig. 4	Producción de cemento por vía húmeda	57
Fig. 5	Cámara de sedimentación por gravedad	70
Fig. 6	Eficiencia de separación del ciclón	71
Fig 7	Eficiencia total de separación del ciclón	72
Fig 8	Ciclón	73
Fig 9	Filtro de sacos	76
Fig 10	Precipitador electrostático	79
Fig 11	Torre de aspersión	84
Fig 12	Torre lavadora de ciclón	86
Fig 13	Torre lavadora empacada	88
Fig 14	Torre lavadora Venturi	89

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento es una de las más sólidas de México a nivel internacional y sus productos son altamente competitivos en calidad y condiciones frente a los de otros países.

El principal producto de esta importante industria es el cemento gris y en menor escala se producen también otros tipos de cemento, como el blanco y el tipo mortero.

Los otomíes, toltecas, mayas en nuestro país, así como los griegos y romanos en Europa fueron los primeros en emplear morteros hidráulicos.

John Aspdin fue el primero en obtener un aglomerante hidráulico en 1823, cocinando a temperatura muy elevada una mezcla bien dosificada de cal apagada y arcilla.

En México, la primera fábrica de cemento se instala en el estado de Nuevo León en 1906, y en 1911 entran en operación dos nuevas plantas en el estado de Hidalgo.

Se le da el nombre de cemento al producto con propiedades adhesivas capaz de aglutinar, en una masa estable, a diversos materiales tales como grava, arena, ladrillos, etc. Están constituidos por compuestos químicos inorgánicos cristalinos principalmente calcio, combinado con el silicio o el aluminio.

Existen varios tipos de cementos: de alta alúmina, extendidos, portland o los llamados especiales tales como el petrolero, mortero o expansivo.

Los insumos básicos de la industria del cemento son: 1) combustibles, principalmente combustóleo o gas natural; 2) electricidad que se consume aproximadamente 125 KWH por cada tonelada de cemento producido; 3) mano de obra directa e indirecta; 4) materias primas que son la piedra caliza y la arcilla y, en menor proporción, yeso, mineral de hierro, puzolana, arena y caolín.

En cuanto a producción, México está catalogado como el 8° productor de cemento a nivel mundial, compartiendo el puesto con España y Francia, en 1993 tuvo una producción de 30,000 miles de toneladas que representan un incremento del casi 12% en relación al año anterior. El destino principal de las exportaciones de cemento fue Estados Unidos.

En la actualidad se encuentran en operación 29 plantas productoras de cemento y una más próxima a inaugurarse en Tepeaca, Puebla.

Este sector cuenta con un programa de inversiones para modernizar sus equipos de producción y ampliar su capacidad productiva, a fin de satisfacer la creciente demanda y continuar orientado al desarrollo de ventajas competitivas en el largo plazo, todo con base en normas internacionales de productividad y eficiencia.

La industria del cemento está integrada por cinco grupos corporativos, de los cuales el más importante es Cementos Mexicanos cuya capacidad de producción equivale al 64% de la capacidad total de la industria; le siguen en importancia Apasco con el 18%, Cruz Azul con el 13%, Cementos Chihuahua con el 3% y por último se encuentra Cementos Moctezuma con una participación del 2%.

La comercialización del cemento se realiza en un 85% por medio de sacos y el restante se vende a granel.

En 1990 Cementos Mexicanos fue acusado por Estados Unidos de vender a precios *dumping*, lo que le afectó en un 50% de sus exportaciones a dicho país las cuales eran del orden de 3.6 millones de toneladas. Por tal motivo a partir de 1991, la industria cementera nacional ajustó el precio del cemento con lo que en 1993 el precio promedio fue de 84 dólares por tonelada.

Existen dos métodos para la fabricación de cemento: seco y húmedo. en ambos, el proceso se inicia con la explotación de las canteras de materias primas (caliza y arcilla), su extracción y acarreo a la fábrica donde se somete a las siguientes etapas (proceso seco): trituración, prehomogenización, molienda y secado, calcinación y producción de clínker, mezclado, molienda de cemento, almacenamiento y finalmente empaque y distribución.

En el proceso húmedo, la arcilla se descarga en un molino de rastrillos y la mezcla con agua para producir una lechada bastante fluida, la cual se dosifica junto con la caliza previamente triturada, se alimenta a los molinos de crudo donde se añade agua para facilitar la molienda. Después pasa al horno donde se lleva a cabo el secado. Los siguientes pasos son los mismos que para el proceso seco.

Tradicionalmente, la industria de la construcción es uno de los primeros sectores afectados por la recesión cuando ésta se presenta en cualquier país, pero también es uno de los primeros en recuperarse al terminar la misma. En 1993 esta industria mostró un crecimiento de 6.2 % con relación al año anterior, mientras el consumo aparente de cemento registró un incremento del 5.9 %.

En los últimos años, en todo el mundo se ha estado desarrollando una creciente toma de conciencia sobre la relación del hombre con el ambiente. Así han surgido a la luz, principalmente en los países de alto grado de desarrollo, problemas antes desconocidos producidos por la actividad industrial.

El respeto al ambiente ha sido parte esencial en la filosofía y cultura de la industria del cemento desde mucho antes de que este tema se convirtiera en materia legalmente obligatoria y de amplia discusión en la sociedad.

Es por ello que, años antes de que en nuestro país se promulgaran la Ley de Mejoramiento Ambiental y el Reglamento de Humos y Polvos, ya existía y crecía entre los industriales del cemento la seria preocupación de reducir la emisión de los polvos que la industria genera durante su proceso de fabricación, y al efecto se habían tomado diversas medidas.

Es precisamente por la conciencia que se venía adquiriendo de tiempo atrás respecto a este problema, que la industria del cemento estuvo en condiciones de responder inmediatamente al llamado gubernamental e incorporarse activamente al programa nacional para el control de la contaminación ambiental.

Cabe resaltar que esta rama industrial fue la primera en hacer un ofrecimiento concreto: reducir en un plazo fijo los índices de polvo de 23 mil miligramos por metro cúbico, que expelen las chimeneas de las fábricas de cemento si no se les sujeta a control alguno, a solamente 300 miligramos; actualmente, los índices de polvo son de 50 mil miligramos por metro cúbico en los electrofiltros y se reducen a únicamente 180 miligramos.

Asimismo, es importante destacar que en septiembre de 1986 fue firmado, por esta rama industrial, el primer Convenio de Concertación de Acciones con el Gobierno Federal en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, mediante el cual los industriales del cemento adquirieron el compromiso de instalar equipos adicionales de control, con los que se cumple con las normas más estrictas generalmente establecidas a nivel mundial.

Así, la industria cementera en general, ha asumido, en cada una de las comunidades en la que esta presente, el compromiso de realizar permanentemente las acciones necesarias para la protección del ambiente, utilizando para ello tecnología de punta y coordinando con dichas comunidades la realización de programas para mejoras ambientales.

La tecnología que se utiliza actualmente en la fabricación de cemento permite reducir el consumo de energía eléctrica y controlar las emisiones al ambiente, así como utilizar residuos líquidos y sólidos reciclables, como combustibles, sin causar un impacto ecológico perjudicial.

En concreto, CEMEX el líder nacional y 3er productor de cemento a nivel mundial se encuentra activo en áreas en las que se buscan soluciones tendientes a la mejora ambiental a través de programas de reuso de diversos materiales de desecho con valor energético como combustibles alternos mediante su disposición final en los hornos cementeros. Actualmente se aplica esta tecnología dándole un uso final a más de 100 mil neumáticos usados y se cuenta con capacidad instalada suficiente para eliminar 1 millón de éstos por año.

Cabe resaltar que esta rama industrial fue la primera en hacer un ofrecimiento concreto: reducir en un plazo fijo los índices de polvo de 23 mil miligramos por metro cúbico, que expelen las chimeneas de las fábricas de cemento si no se les sujeta a control alguno, a solamente 300 miligramos; actualmente, los índices de polvo son de 50 mil miligramos por metro cúbico en los electrofiltros y se reducen a únicamente 180 miligramos.

Asimismo, es importante destacar que en septiembre de 1986 fue firmado, por esta rama industrial, el primer Convenio de Concertación de Acciones con el Gobierno Federal en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, mediante el cual los industriales del cemento adquirieron el compromiso de instalar equipos adicionales de control, con los que se cumple con las normas más estrictas generalmente establecidas a nivel mundial.

Así, la industria cementera en general, ha asumido, en cada una de las comunidades en la que esta presente, el compromiso de realizar permanentemente las acciones necesarias para la protección del ambiente, utilizando para ello tecnología de punta y coordinando con dichas comunidades la realización de programas para mejoras ambientales.

La tecnología que se utiliza actualmente en la fabricación de cemento permite reducir el consumo de energía eléctrica y controlar las emisiones al ambiente, así como utilizar residuos líquidos y sólidos reciclables, como combustibles, sin causar un impacto ecológico perjudicial.

En concreto, CEMEX el líder nacional y 3er productor de cemento a nivel mundial se encuentra activo en áreas en las que se buscan soluciones tendientes a la mejora ambiental a través de programas de reuso de diversos materiales de desecho con valor energético como combustibles alternos mediante su disposición final en los hornos cementeros. Actualmente se aplica esta tecnología dándole un uso final a más de 100 mil neumáticos usados y se cuenta con capacidad instalada suficiente para eliminar 1 millón de éstos por año.

La industria del cemento en materia ambiental está regida por la legislación ambiental mexicana representada por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente así como en la Norma Oficial Mexicana NOM - PA - CCAT - 002 / 93 referente a la industria del cemento básicamente, además de otras normas oficiales. El órgano que tiene a su cargo tanto la inspección como vigilancia y control en materia ambiental de esta industria es la SEDESOL ya sea a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente como por el Instituto Nacional de Ecología.

Existen más de un centenar de sustancias contaminantes a la atmósfera en el área metropolitana, las más importantes son: el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos gaseosos liberados tras una combustión incompleta de hidrocarburos líquidos.

La industria cementera no emite este tipo de contaminantes, pues la propia naturaleza de los procesos, obliga a mantener en forma permanente una combustión completa en los combustibles utilizados, lo cual asegura trabajar con valores mínimos de CO .

Respecto al SO_2 , éste se mezcla con los álcalis contenidos en las materias primas y se obtiene en forma de sulfonato en el producto final.

La industria del cemento no produce desechos ni contamina el agua o los suelos; sin embargo, el polvo que expele a la atmósfera, aún cuando no es tóxico, sí es molesto y es necesario encontrar y aplicar los mejores métodos para controlar este problema. El origen del polvo en las plantas de cemento está en: molienda, almacenamiento de materiales crudos, pulverizado y mezclado, producción de clínker, pulverizado final y empaque.

Entre los equipos en operación para el control ecológico la industria del cemento utiliza diversos tipos de equipos colectores. Los de tipo mecánico, comprenden los ciclones centrífugos y, en menor escala las cámaras de sedimentación; además, se tienen los filtros de mangas o de filtrado por tejidos, los de capas de gravilla y, finalmente, los filtros electrostáticos. Para poder responder a las normas relativas a emisiones, no es remoto combinar distintos tipos de colectores según la concentración, el tamaño y la temperatura de las partículas emitidas.

El tipo más sencillo de los equipos colectores es la cámara de sedimentación cuyo principio físico son las fuerzas gravitacionales. En los separadores centrífugos o inerciales el tipo más común es el separador de ciclón. Para altas eficiencias de colección para partículas de diámetro pequeño se encuentra el colector de tela cuyo principio físico es la filtración. Los precipitadores electrostáticos son de los equipos de control ambiental más usados en la industria cementera y de alta eficiencia, su principio físico es la atracción electrostática. Por último las torres lavadoras representan una clase de equipos para eliminar polvos y nieblas de gases utilizando como principio físico la aglomeración de partículas.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar la situación de la industria del cemento. Sus antecedentes, situación económica actual tanto nacional como exterior, sus perspectivas, y, principalmente su entorno ambiental tanto por su problemática ecológica como por las opciones que maneja para resolverla, así como la legislación ambiental por la que se rige la industria cementera.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DEL CEMENTO

GENERALIDADES DEL CEMENTO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CEMENTO

Los otómíes, toltecas y mayas en nuestro país, así como los griegos y romanos en Europa, emplearon morteros hidráulicos en sus construcciones; aún hoy en día, en los restos de sus obras perpetuadas a través de sus más de veinte siglos, puede apreciarse el excelente resultado logrado por tales materiales.

Sin embargo, los conocimientos de los antiguos sobre esta materia se perdieron al paso del tiempo, ya que a principios del siglo XIX se desconocía aún el mecanismo de fraguado de dichos morteros.

Los primeros ensayos de producción de cemento mediante la cocción de mezclas preparadas artificialmente con caliza y arcilla, se efectuaron en Francia, donde Vicat las realizó con éxito a principios del siglo XIX. Sin embargo, no se sacó partido práctico de tales ensayos, siendo los ingleses los que volvieron a trabajar en esta materia. En 1810 se obtuvieron con resultado poco satisfactorio varias patentes.

Quién primero consiguió tras largos ensayos un excelente aglomerante hidráulico fue John Aspdin en 1823,¹ cociendo a temperatura muy elevada una mezcla bien dosificada de cal apagada y arcilla. Le dio el nombre de cemento portland por su aspecto parecido a la piedra de Portland, condado de York, de la Gran Bretaña.

En 1826, Frost montó en Inglaterra la primera fábrica de cemento, y hasta 1850 la producción de las cuatro fábricas existentes en ese país dominó por completo el mercado mundial. En esa misma época, Francia también comenzó a fabricar cemento y en 1855 se montó la primera fábrica en Alemania.

En los Estados Unidos de América se importó por primera vez cemento portland en 1865; en 1872 se abrió la primera fábrica.

¹ La industria del Cemento y el Medio Ambiente. *Revista IMCYC*, Vol. 25 N° 200 Enero 1988

2.2 LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN MÉXICO

A principios de este siglo en México no se fabricaba cemento en cantidad alguna. Sólo había algunas fábricas de mosaico y talleres de piedra artificial que utilizaban el cemento como materia prima, pero fuera de ese uso, este producto no servía entonces para otra cosa que para tapar goteras en los techos de tabla y tierra o en los de bóveda catalana. En 1906² en Monterrey Juan Brithngham introdujo el producto en nuestro país.

De aquella fecha a la actual, el progreso de la industria del cemento en nuestro país, ha sido asombroso. Debutó esta industria entre nosotros en dos intentos fallidos: uno en Santiago Tlatelolco y otro en Dublán, Hidalgo. Equipadas estas precursoras fábricas de cemento con hornos verticales, pronto hubieron de clausurarse por ineficientes, y nuestras pequeñas necesidades se abastecieron con importaciones de Inglaterra y Bélgica principalmente.

El desarrollo de la Industria del cemento en México se inicia con la fundación de las tres primeras fábricas montadas con hornos rotatorios. La primera, de cemento portland, se instala en el estado de Nuevo León en 1906 la cual contaba con cuatro hornos,³ y para 1911 entran en operación dos nuevas plantas en el estado de Hidalgo. El cemento producido por estas tres plantas mexicanas, apoyó la construcción de las grandes obras que determinaron el principio del México actual, sustituyéndose la importación de cementos extranjeros, inglés y canadiense principalmente, y estableciéndose en esta rama industrial la política de producir en el país lo que México demanda.

Durante la lucha revolucionaria, como sucede en cualquier país del mundo que enfrenta una contingencia similar, el consumo del cemento descendió a niveles muy bajos. En 1910 dicho consumo fue de 60,000 toneladas, y no es sino hasta 1922 cuando se recupera esa demanda, la cual representó solamente la tercera parte de la capacidad de producción instalada en ese entonces.

² Las relaciones de mercado en la industria cementera. *Construcción y Tecnología*. Junio 1991

³ Panorama económico de la industria del cemento. *Construcción y Tecnología*. Abril 1990

Años más tarde, la crisis económica ocurrida a principios de la década de los treinta ocasiona nuevamente una grave disminución en el consumo de cemento en México, reduciéndose la producción en 1932, el año más crítico, a 137,000 toneladas las cuales equivalen nuevamente a un tercio de la capacidad instalada.

La estabilidad política y social del país, fue determinando el crecimiento de la demanda de cemento y la industria correspondió con una apertura de nuevas fábricas que superaban con su capacidad de producción los requerimientos del mercado. Tal constante se mantendría hasta 1974.

Respondiendo a la necesidad de garantizar el suministro de cemento, acorde con el desarrollo del país, la industria cementera concertó una serie de acciones con las autoridades gubernamentales, comprometiéndose a un programa de desarrollo cuyo objetivo era el de duplicar la producción. Para ello los industriales del cemento realizaron cuantiosas inversiones, que permitieron elevar la capacidad instalada de 11.6 millones de toneladas anuales en 1973, a 32.5 millones en 1985, casi triplicando en poco más de una década su capacidad productiva.

Este importante incremento en la capacidad productiva, que se realizó empleando la más alta tecnología mundial, hizo posible que esta industria cumpliera por anticipado con la necesaria reconversión industrial del país.

2.3 CEMENTOS PRODUCIDOS EN MÉXICO

Llámesese cemento en la construcción a aquel producto con propiedades adhesivas capaz de aglutinar en una masa dimensionalmente estable a diversos materiales tales como grava, arena, ladrillos, etc..⁴ Si su endurecimiento lo puede efectuar bajo el agua, se denomina entonces cemento hidráulico.

Los cementos hidráulicos están generalmente constituidos por compuestos químicos inorgánicos cristalinos, en los cuales predomina el elemento calcio, combinado ya sea con el silicio, que aparece en forma de silicatos de calcio característicos de los cementos portland, o con el aluminio, con quien forma aluminatos de calcio que son la base de los cementos llamados de alta alúmina.

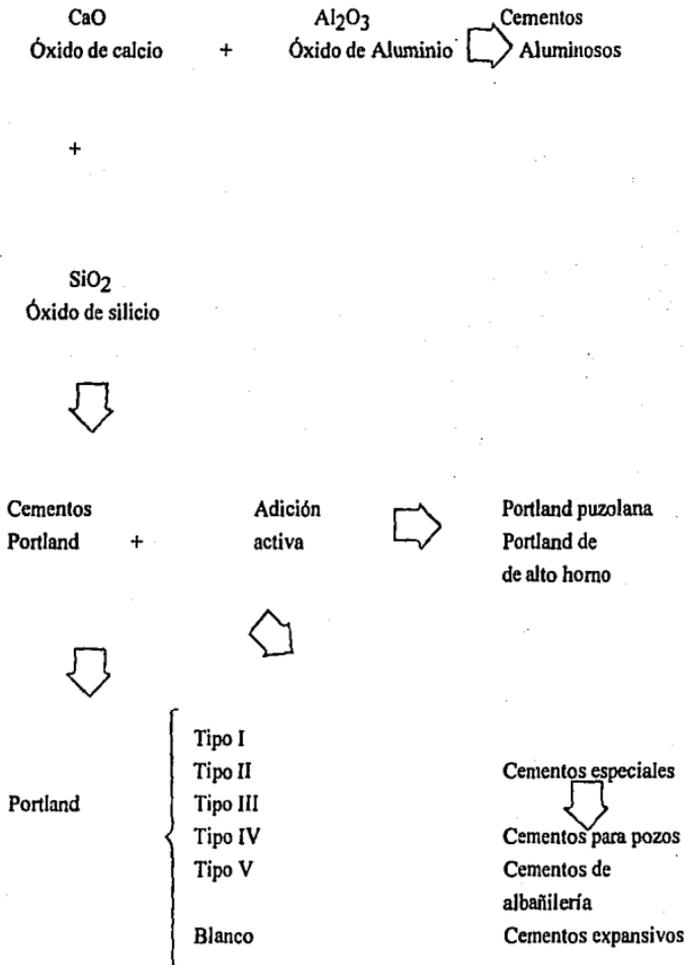
Los cementos portland, por sus características particulares y su bajo precio son, con muy amplio margen, los más utilizados en la construcción a nivel mundial; los cementos de alta alúmina y otros que no son portland constituyen solamente una fracción del volumen global de cementantes hidráulicos utilizados en el orbe.

Por otra parte, existen algunos materiales activos, naturales o artificiales, tales como las puzolanas, las escorias de fundición granuladas y las cenizas volantes, las cuales al ser mezcladas finamente con un cemento portland, modifican o destacan alguna propiedad específica del mismo, dando así lugar a nuevos tipos de cemento que se agrupan bajo el nombre genérico de cementos extendidos. Como tales se clasifican el cemento portland puzolana y el portland de escoria de alto horno, también catalogados como cementos con adiciones activas.

Por último, y también emparentados con el cemento portland, se cuentan ciertos cementos especiales diseñados para usos muy particulares, pudiéndose citar entre ellos a los cementos para pozos petroleros, los cementos de albañilería o morteros y los cementos expansivos.

⁴ Cementos producidos en México. *Revista IMCYC*. Vol 25 N° 200 Enero 1988

TABLA 1
CEMENTOS PRODUCIDOS EN MÉXICO



CEMENTOS DE ALTA ALÚMINA

El cemento aluminoso o de alta alúmina se caracteriza por su color oscuro, una alta resistencia mecánica inicial, elevado calor de hidratación y una marcada resistencia al ataque químico. Posee también propiedades refractarias.

Se obtiene por medio de la fusión a elevada temperatura de una mezcla de caliza y bauxita; el material fundido se vacía en moldes para hacer lingotes, los cuales se trituran y muelen finamente a efecto de lograr finura adecuada.

El elevado costo de la bauxita y del proceso de producción de los cementos aluminosos hacen que su precio sea alto, considerablemente mayor que el de los cementos portland. Las ventajas que pudieran tener sobre estos últimos no son suficientes para compensar el alto precio, salvo en aplicaciones muy específicas.

Debido a la escasez de materias primas adecuadas en el territorio nacional, aunado a la baja demanda que tendría el producto, en México no se elaboran cementos aluminosos; se importan quizá unas cuantas docenas de toneladas anuales para usos especiales.

CEMENTOS ESPECIALES

CEMENTO PETROLERO

La composición química de los cementos para pozos petroleros es muy similar a la de los cementos portland tipos I, II y V. El cemento petrolero difiere de ellos en que algunas de sus características físicas se han alterado intencionalmente con la inclusión de ciertos aditivos químicos, los cuales modifican principalmente los tiempos de fraguado o espesamiento en condiciones especiales de alta presión y temperatura.

Este cemento se utiliza en la perforación de pozos petroleros para controlar el flujo de aguas subterráneas, para añadir resistencia y soporte al ademe de acero y para proteger a éste contra la corrosión.

El uso de cementos petroleros en México queda circunscrito casi en exclusividad al ámbito de operaciones de perforación de Petróleos Mexicanos, empresa que se abastece en el mercado local de algunas de las diversas clases de este cemento e importa a otras del exterior.

CEMENTO DE ALBAÑILERÍA O MORTERO

Las características de alta resistencia mecánica a la compresión o tensión no siempre constituyen la cualidad única o más deseable en un cementante. Tal es el caso del mortero o cemento de albañilería, en el cual se exige principalmente plasticidad, adhesividad y manejabilidad, relegándose la resistencia a un segundo término.

Estos morteros contienen, por lo general, de un 30 a un 50% de cemento portland, al cual se le integra un plastificante - usualmente carbonato de calcio, arcilla o puzolana - finamente molido y pequeñas cantidades de aditivos orgánicos para exaltar las propiedades de manejabilidad y adhesividad del producto.

Se emplea el mortero para pegar tabiques, ladrillos o rocas entre sí, así como para tender los firmes de los pisos o los aplanados de los muros.

Su uso está bastante generalizado en el país, produciéndose alrededor de 200,000 toneladas al año y exportándose una mínima proporción hacia los Estados Unidos principalmente.

CEMENTOS EXPANSIVOS

No se produce en México este tipo de cementos cuyo uso es muy particular y su demanda sumamente reducida. Como su nombre lo indica, tiene como característica especial la de expandirse al fraguar; característica que es útil en ciertas reparaciones especiales o en la elaboración de concretos de encogimiento compensado, es decir, completamente libre de agrietamientos.

Su precio es relativamente elevado y solamente se importa a nuestro país una cantidad insignificante.

CEMENTOS EXTENDIDOS

Se ha dado por llamar cemento extendido a un cemento portland al cual se ha agregado un material activo, o sea a uno que en sí contribuye a la generación de resistencias mecánicas, pudiendo además impartirle otras propiedades deseables al producto.

De estos materiales activos los más conocidos y usados son las puzolanas naturales o artificiales, la escoria de alto horno granulada, las cenizas volantes, etc..

En México se goza de una relativa abundancia de puzolanas naturales, entre las que destacan las pumicitas y tobas y es por ello que los cementos puzolánicos se han popularizado fácilmente.

Los cementos puzolánicos generalmente rinden resistencias mecánicas inferiores a las del portland tipo I a edades tempranas, pero las igualan y aún superan a edades largas. Por otra parte, son más delicados en el curado, pero generan menor calor de hidratación y resisten mejor al ataque de agentes químicos agresivos.

Los cementos puzolánicos pueden elaborarse indistintamente con cualquiera de los tipos de cemento portland - aunque se prefieren los tipos I, II y V - y son además, perfectamente compatibles con ellos, es decir se pueden mezclar en cualquier proporción o colocar sobrepuestos colados de concreto preparado con uno y otro cemento sin que se tenga el menor signo de rechazo.

En México los cementos puzolánicos, también conocidos como tipo C-2 -por ser esta la clave de la norma oficial que los ampara -,se producen desde hace muchas décadas y se comercializan prácticamente en todo el ámbito nacional. Aproximadamente un tercio de la producción total de cemento en el país es precisamente de cemento puzolánico, especialmente preferido en climas cálidos.

Cuando una escoria de alto horno fundida al rojo vivo se enfría bruscamente con agua, se transforma en una masa de gránulos porosos de estructura vítrea. Este material llamado escoria granulada, constituye un material activo susceptible de ser incorporado a los cementos portland en la molienda, dando lugar al producto denominado cemento portland de escoria de alto horno.

Se caracterizan estos cementos por su elevada resistencia al ataque de agentes agresivos. Debido a la baja o casi nula producción de escoria granulada en México, este tipo de cemento es prácticamente inexistente en nuestro país.

De igual manera que la escoria en el cemento anterior, la ceniza volante que se genera como residuo de la combustión del carbón en las centrales termoeléctricas posee también propiedades activas al mezclarse con cemento portland, al cual imparte propiedades similares a las de los cementos puzolánicos. La composición química y la estructura vítrea de este material, que se obtiene en forma de esferas microscópicas huecas, puede coadyuvar a la formación de características muy favorables en el cemento y el concreto.

Es solamente en los países con grandes yacimientos de carbón natural en donde los cementos de escoria de alto horno y con adiciones de ceniza volante se producen y usan en grandes cantidades. Por esta razón, en México, país con escasas reservas de carbón, los cementos citados son prácticamente desconocidos como tales, teniéndose en cambio a los cementos puzolánicos como representativos del género.

CEMENTO PORTLAND

Como ya se ha mencionado, los cementos portland son los de utilización más generalizada en la construcción.

Los cementos portland se dividen en cinco tipos en nuestra norma nacional:

Tipo I	Común dentro de la construcción.
Tipo II	Moderado calor de hidratación y moderada resistencia al ataque de sulfatos.
Tipo III	Alta resistencia rápida.
Tipo IV	Bajo calor de hidratación.
Tipo V	Alta resistencia al ataque de sulfatos.

El cemento blanco y otros cementos coloreados normalmente se ubican en el tipo I de la anterior clasificación.

Todos estos tipos de cemento portland tienen una composición química basada en los mismos elementos y compuestos, pero la proporción relativa de estos compuestos da origen a que se acentúen o decaigan algunas de las características físicas del cemento, especializando de esta manera su aplicación particular si se desea.

Así, se tiene el cemento tipo I o común, como prototipo del cemento portland, de amplio uso y aplicación universal.

En el cemento tipo II se ha controlado la composición química, de tal forma que sus propiedades se ven modificadas hacia una menor generación de calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos. Cercano en sus características al tipo I, sus aplicaciones son también muy amplias.

El cemento tipo III, de alta resistencia temprana, se recomienda solamente cuando se desea obtener en el concreto una resistencia mecánica elevada en corto tiempo. Permite también menores dosificaciones de cemento en un concreto para obtener una resistencia dada, pero su precio es proporcionalmente más elevado. Requiere, por otra parte, de mayores cuidados en su preparación y curado, ya que está molido con mayor finura de la normal y libera una cantidad más elevada de calor al hidratarse.

En el cemento tipo IV, de bajo calor de hidratación, se limita drásticamente el contenido de los compuestos químicos que producen un mayor calor de hidratación, pero al limitarlos se castiga también su capacidad de generar resistencias mecánicas. Su uso queda restringido a ciertas obras hidráulicas de gran envergadura.

Finalmente, en el cemento tipo V, se ha ajustado la composición para disminuir a bajas proporciones el compuesto químico que lo hace vulnerable al ataque de sulfatos disueltos en el agua, tomándose así más resistente que los demás cementos portland a este agente agresivo. Es ideal para obras que están en contacto con la humedad o el agua, incluyendo el agua de mar.

En el cemento blanco prácticamente se ha eliminado de la composición el óxido férrico, responsable principal del color gris oscuro característico del cemento portland. La eliminación de hierro se consigue seleccionando como materias primas calizas y caolines de muy alta pureza, razón por la cual su precio es sensiblemente superior al de los otros cementos.

Los usos del cemento blanco son los mismos que los del tipo I, aunque su mayor precio normalmente lo circunscribe solamente a los fines decorativos.

TABLA 2
TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE CEMENTO

CARACTERÍSTICA REFORZADA	TIPO DE CEMENTO							
	PORTLAND					PUZOLANA C - 12	MORTERO	ESCORIA
	I	II	III	IV	V			
Alta resistencia rápida	#	#	*		#			
	#	#	*		#			
Resistencia normal	*	*	*		*	*		#
	*	*	*		*	*		#
Resistencia al ataque químico		#			*	#		*
		#			*	#		*
Adhesividad y plasticidad			#			#	*	
			#			#	*	
Bajo calor de hidratación		#		*	#	#		#
		#		*	#	#		#
Economía	*	*				*	*	
	*	*				*	*	

MAGNITUD

Buena #

Excelente **

Cementos producidos en México Revista IMCYC. Vol. 25 Núm. 200 Enero 1988

2.4 INSUMOS BÁSICOS

a) COMBUSTIBLES

Los hornos de cemento requieren de una gran cantidad de energía calorífica, cuya fuente principal se encuentra en el combustóleo o gas natural, ya que el carbón no abunda en el país. Para producir una tonelada de cemento se consumen de 100 a 150 litros de combustóleo o su equivalente en gas natural.⁵

b) ELECTRICIDAD

En el proceso de fabricación, se consumen también volúmenes muy considerables de energía eléctrica para mover el pesado equipo, molinos, hornos, trituradores, elevadores, bandas y ventiladores. En cada tonelada de cemento se consumen aproximadamente 125 KWH.

c) MANO DE OBRA DIRECTA E INDIRECTA

Actualmente la industria del cemento ocupa a más de 16,000 empleados en forma directa. La tasa promedio de crecimiento de personal ocupado por la industria durante los últimos 15 años, ha sido del 4 % anual.

Asimismo, alrededor de la industria gravitan innumerables sectores de empleo con dependencia indirecta. se pueden mencionar entre otros,⁶ los de explotación y transporte de diversas materias primas, los de producción de sacos de papel para envasar el producto, los de elaboración de refacciones y materiales varios, los de servicio de mantenimiento, capacitación, publicidad, etc.. La Cámara Nacional del Cemento estima en más de 82,000 estos empleos adicionales.

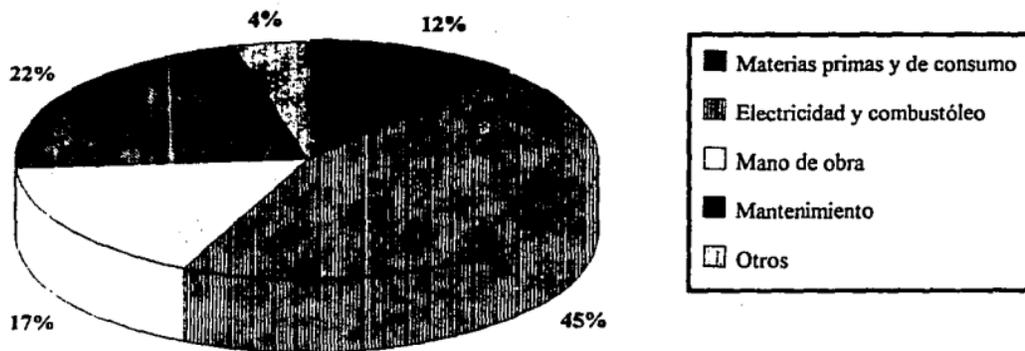
⁵ La Industria del Cemento y el Medio Ambiente. Cámara Nacional del Cemento 1988

⁶ *Ibid*

d) MATERIAS PRIMAS

Las principales materias primas que se emplean en la elaboración del cemento son: la piedra caliza y la arcilla, las cuales se encuentran razonablemente bien distribuidas en el territorio nacional, permitiendo un abastecimiento regular y confiable en todos los rincones del país.

Además de la caliza y la arcilla, también se utiliza yeso, mineral de hierro, puzolanas, arena y caolín.

FIG. 1 ESTRUCTURA DE COSTO

CAPÍTULO III

OFERTA - DEMANDA DEL CEMENTO

OFERTA - DEMANDA DEL CEMENTO

3.1 PRODUCCIÓN DE CEMENTO

La producción del cemento gira alrededor de tres importantes características: ⁷ la tecnología usada, la disponibilidad de energéticos y los costos de transportación, además de la materia prima que haya.

En relación a la tecnología usada, anualmente se realizan importantes inversiones para utilizar los procedimientos más modernos, por un lado con objeto de aumentar la calidad de los productos y por otro incrementar la eficiencia en el costo de producción, para lo cual en los molinos se instalaron separadores de alta eficiencia y en los hornos se lleva a cabo una conversión para hacerlos más eficientes.

En cuanto a energéticos, se utiliza combustóleo o gas natural debido a que hay una gran disponibilidad de éstos en nuestro país.

En relación al transporte, generalmente el 26.1% del cemento se transporta en ferrocarril, un 61.3% por carretera y el resto por vía marítima.

⁷ Panorama económico nacional de la industria del cemento. Construcción y Tecnología Abril 1990

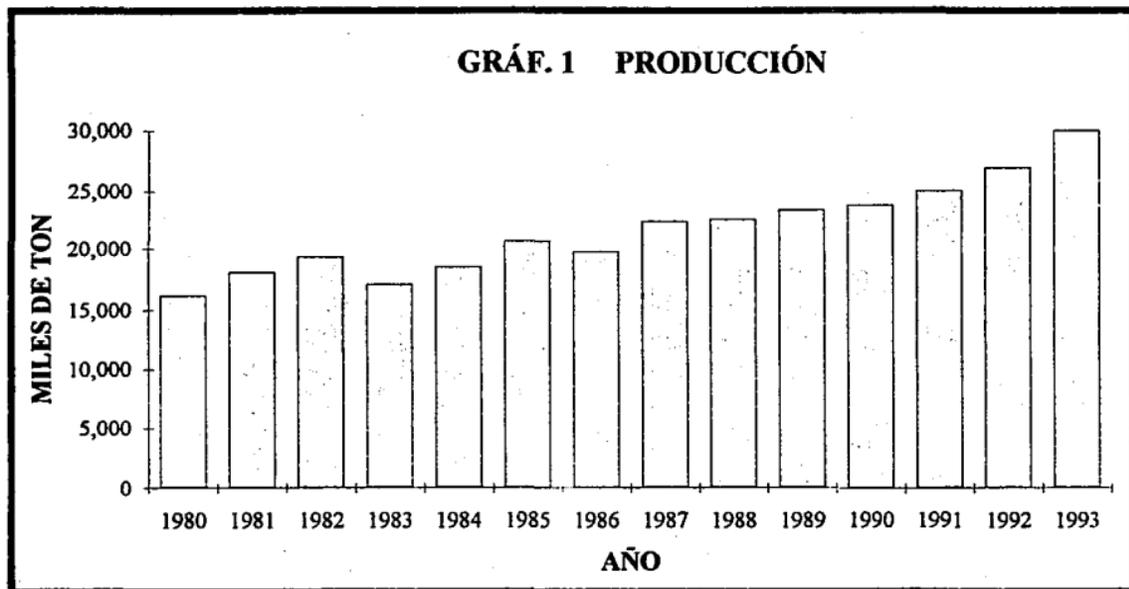
TABLA 3

PRODUCCIÓN

AÑO	MILES DE TONELADAS
1980	16,243
1981	17,978
1982	19,298
1983	17,068
1984	18,436
1985	20,680
1986	19,751
1987	22,347
1988	22,513
1989	23,334
1990	23,824
1991	25,093
1992	26,886
1993	30,000

FUENTE: Cámara Nacional del Cemento

De la tabla anterior se puede apreciar una producción de cemento ascendente a lo largo del periodo comprendido de 1980 a 1993, excepto en los años de 1983 y 1986 en los que hubo una disminución en la producción.



3.2 EXPORTACIÓN DE CEMENTO

La exportación de cemento se ha constituido en la alternativa para hacer frente a un mercado interno poco estable y poder hacer un uso mayor de la capacidad instalada.

Durante 1990, las exportaciones mexicanas de cemento ascendieron a 69.3 millones de dólares (MDD), siendo Estados Unidos el principal destinatario con 53.8 MDD, equivalente al 77.6% del total de cemento importado.

México ha ocupado el primer lugar entre los países exportadores de cemento a Estados Unidos desde 1987, donde tiene que competir con países como Japón, Corea, España, Francia y Venezuela, además de enfrentarse la competencia de los fabricantes locales que en muchas ocasiones son filiales de grandes grupos cementeros mundiales.

En los últimos años, la industria del cemento aumentó su eficiencia y productividad para mantenerse competitiva en el exterior, no obstante de la devaluación del peso.

La apertura de fronteras, implícita en la política comercial que sigue nuestro país, posibilita que así como otros países exportan hacia el mercado norteamericano, lo hagan hacia nuestro país, o que excedentes de producción de zonas próximas a México sean canalizados hacia nuestro mercado.

TABLA 4

EXPORTACIONES

AÑO	MILES DE TONELADAS
1980	250
1981	76
1982	202
1983	865
1984	1,619
1985	1,745
1986	3,036
1987	3,682
1988	4,224
1989	3,889
1990	2,498
1991	1,479
1992	1,100
1993	3.340

FUENTE: Cámara Nacional del Cemento

De la tabla anterior se observa una tendencia irregular en cuanto a exportaciones de cemento en el periodo comprendido de 1980 a 1993, en 1990 la exportaciones descendieron casi 50% con respecto al año anterior debido a la acusación de *dumping* por Estados Unidos. Sin embargo, en 1993 la industria cementera empezó a incrementar sus exportaciones.

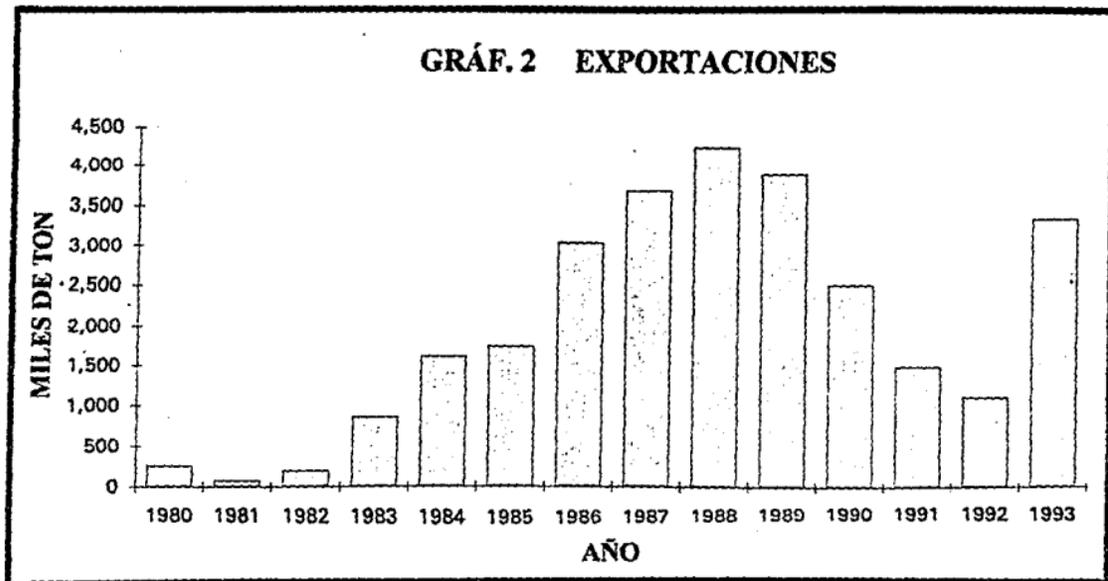
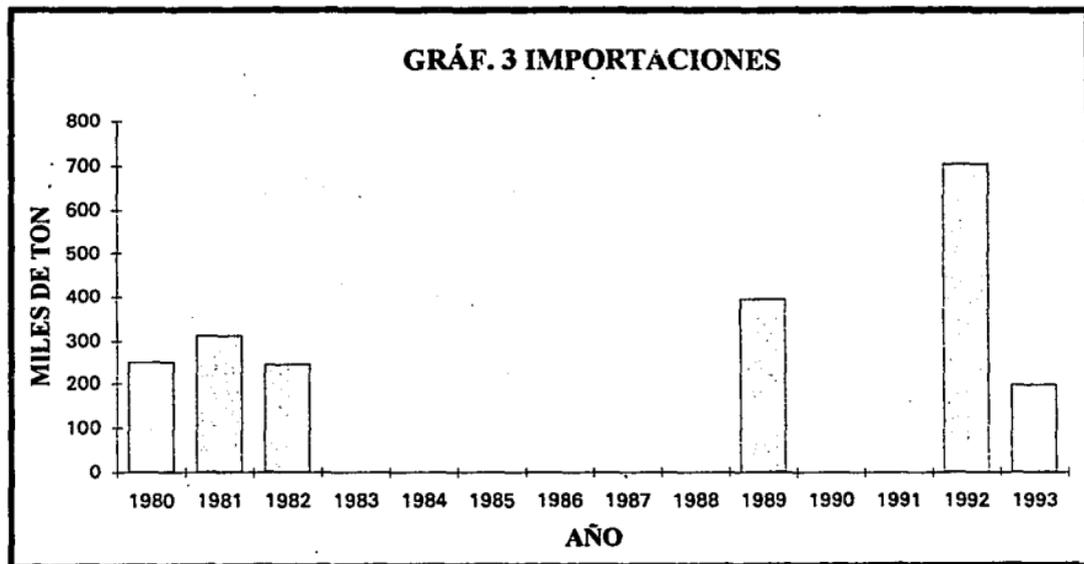


TABLA 5

IMPORTACIONES

AÑO	MILES DE TONELADAS
1980	250
1981	313
1982	245
1983	-
1984	-
1985	-
1986	-
1987	-
1988	-
1989	396
1990	-
1991	-
1992	703
1993	197

FUENTE: Cámara Nacional del Cemento



3.3 CAPACIDAD INSTALADA Y NÚMERO DE PLANTAS

En el presente siglo, el cemento ha representado un insumo básico y poco sustituible en la rama de la construcción, en tan variadas áreas como la industria pesada, la construcción industrial, la edificación y la urbanización. Esto ocasiona que el cemento sea un producto con un mercado de lo más diversificado ya que el usuario final compra desde un kilogramo (mercado hormíga), hasta miles de toneladas.

En 1959, año de creación del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. (IMCYC) existían 20 plantas con 58 hornos y una capacidad instalada anual de 3.3 millones de toneladas.

La industria cementera como a muchas otras, fue motivada a realizar fuertes inversiones por las desbordantes expectativas de crecimiento económico que provocó el auge petrolero, ocasionando que se incrementara rápidamente la capacidad de producción. En 1987 se cerró una planta en el Distrito Federal perteneciente a Cementos Tolteca debido a 2 factores principalmente: su tecnología se estaba volviendo obsoleta y existía una presión social muy fuerte de alejar fuentes contaminantes importantes de la ciudad de México. En 1988 funcionaban 29 plantas pero con una capacidad efectiva de sólo 27 millones de toneladas anuales, y empezaban a aparecer otras secciones que se volvían obsoletas.

En 1991 entra en funcionamiento una nueva planta en Hermosillo, Sonora con lo cual el número de plantas se incrementa a 30 y la capacidad instalada asciende a 31 millones de toneladas. Así mismo en el mismo año se hacen ampliaciones en las plantas de Mérida, Huichapan y México con lo que se obtiene una capacidad instalada de 32 millones de toneladas para 1992. Con la inauguración de la planta de Saltillo se alcanza una capacidad instalada de 35.5 millones de toneladas en 1993, y el número de plantas se incrementa a 31. Actualmente se encuentran en operación 29 plantas productoras de cemento y una próxima a inaugurarse en Tepeaca, Puebla perteneciente a Cementos Mexicanos.

TABLA 6

CAPACIDAD INSTALADA

AÑO	Nº DE PLANTAS	MILES DE TON.
1980	28	17,021
1981	28	19,452
1982	29	25,655
1983	29	30,666
1984	29	30,942
1985	30	32,539
1986	30	32,922
1987	29	32,881
1988	29	26,748
1989	29	26,748
1990	29	27,884
1991	30	31,308
1992	30	32,070
1993	31	35,500

FUENTE: Cámara Nacional del Cemento

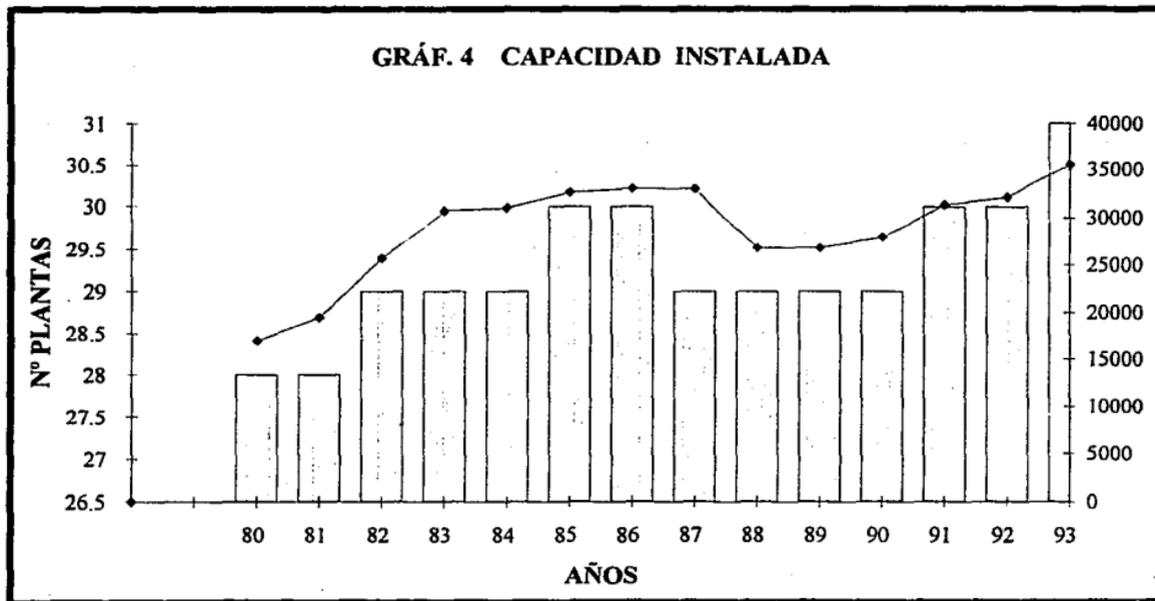


TABLA 7

CONSUMO APARENTE

AÑO	MILES DE TONELADAS
1980	16,243
1981	18,215
1982	19,341
1983	16,203
1984	16,817
1985	18,935
1986	16,715
1987	18,665
1988	18,289
1989	19,841
1990	21,326
1991	23,614
1992	26,489
1993	26,857

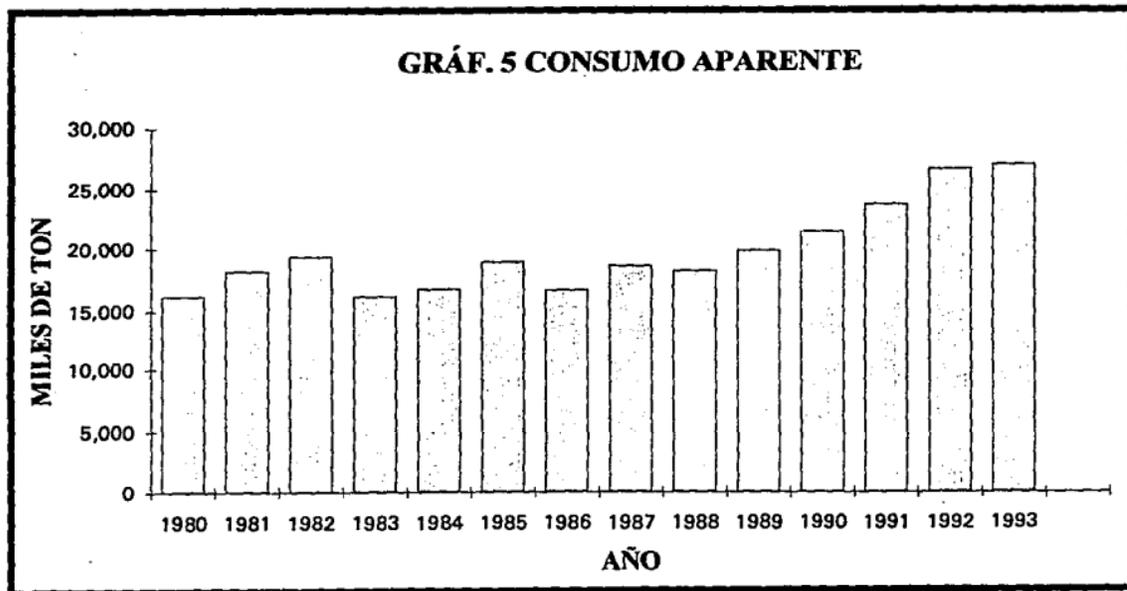


TABLA 8

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

DEL CONSUMO NACIONAL DE CEMENTO

MILES DE TONELADAS

ENTIDAD	1980	1981	1982	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
AGUASCALIENTES	131	150	175	197	212	170	227	182	206	200
BAJA CALIFORNIA	347	455	498	423	522	534	606	611	623	639
BAJA CALIFORNIA SUR	74	97	98	98	111	105	140	142	137	140
CAMPECHE	95	129	119	111	107	98	110	108	132	120
COAHUILA	434	488	544	458	524	403	435	377	397	439
COLIMA	108	95	66	94	117	109	147	126	132	160
CHIAPAS	366	382	377	392	467	338	360	377	416	419
CHIHUAHUA	508	519	560	533	602	551	675	610	623	679
DISTRITO FEDERAL	2911	3248	4647	2632	2965	3034	2978	2586	2966	3154
DURANGO	213	247	229	231	237	196	196	180	205	200
GUANAJUATO	590	678	709	870	901	759	872	790	756	818
GUERRERO	275	370	360	365	514	494	532	539	567	619
HIDALGO	346	371	439	341	455	352	341	341	321	359
JALISCO	1034	1184	1188	1076	1309	1088	1191	1257	1341	1397
MÉXICO	1840	2048	1027	1163	1224	1038	1536	1472	1530	1617
MICHOACÁN	476	534	466	744	850	761	891	844	907	938
MORELOS	271	298	272	259	282	309	352	341	340	359
NAYARIT	80	80	72	141	150	134	158	180	189	200
NUEVO LEÓN	1141	1233	1100	918	1108	929	1014	987	1058	1098
OAXACA	307	318	329	350	477	448	463	503	510	559
PUEBLA	557	601	548	665	785	655	733	754	774	818
QUERÉTARO	203	239	264	303	356	301	315	323	359	359
QUINTANA ROO	96	127	131	128	159	182	257	287	283	319
SAN LUIS POTOSÍ	411	494	597	401	386	309	336	323	321	359
SINALOA	497	502	447	504	552	488	500	395	397	399
SONORA	345	345	399	488	531	397	430	449	453	479
TABASCO	365	394	364	527	557	389	364	359	397	419
TAMAULIPAS	495	582	686	567	602	524	597	628	642	679
TLAXCALA	135	126	87	155	178	160	132	144	132	139
VERACRUZ	1190	1387	1730	1016	1166	1061	1046	1149	1171	1238
YUCATÁN	259	299	310	292	340	292	370	377	378	399
ZACATECAS	146	195	207	217	264	193	218	215	227	239
TOTAL	16246	18215	19045	16659	19010	16801	18522	17956	18890	19960

3.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Las plantas se encuentran estratégicamente localizadas a lo largo y ancho del territorio nacional, lo que permite cubrir de una manera adecuada las necesidades de consumo local, ya que ningún punto del país se halla a un radio mayor de 500 Km. Por otra parte, debido a que la demanda está concentrada en las áreas metropolitanas, la mayoría de las plantas se sitúan cerca de estas zonas. En el caso específico de la ciudad de México⁸, que es el principal comprador de cemento, su demanda se puede satisfacer por las siete fábricas establecidas en el Estado de México e Hidalgo, las que en conjunto cuentan con una capacidad instalada del 31.2% del total nacional. De acuerdo con el tamaño de las plantas un tercio de la capacidad instalada se encuentra concentrada en tan sólo el 17.3% de ellas.

La industria del cemento está integrada por varios grupos corporativos, de los cuales el más importante es Cementos Mexicanos cuya capacidad de producción equivale al 64% de la capacidad total de la industria; le siguen en importancia Apasco con el 18%; Cruz Azul con el 13%; Cementos Chihuahua con el 3% y Cementos Moctezuma con el 2% .

El Pacífico Norte es cubierto por el principal grupo cementero del país: Cemex; en el Pacífico Central, donde existe un pequeño fabricante en Acapulco, predomina el principal productor; en la zona Central cuyas zonas de influencia podría tener como límites: Toluca, Querétaro, Pachuca, Puebla y Cuernavaca, como puntos principales, se encuentra una concentración bastante fuerte con participación de casi todos los productores; el Sureste está cubierto por Cruz Azul, Cemex y Apasco. El Norte que cubre toda la zona de Monterrey con una línea de San Luis Potosí - Tampico - Matamoros - Chihuahua - Ciudad Juárez, tiene una situación de monopolio por parte de Cemex.⁹

⁸ The mexican situation Rock products Abril 1990

⁹ Las relaciones de mercado en la industria cementera. Construcción y Tecnología Junio 1991.

FIG. 2 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

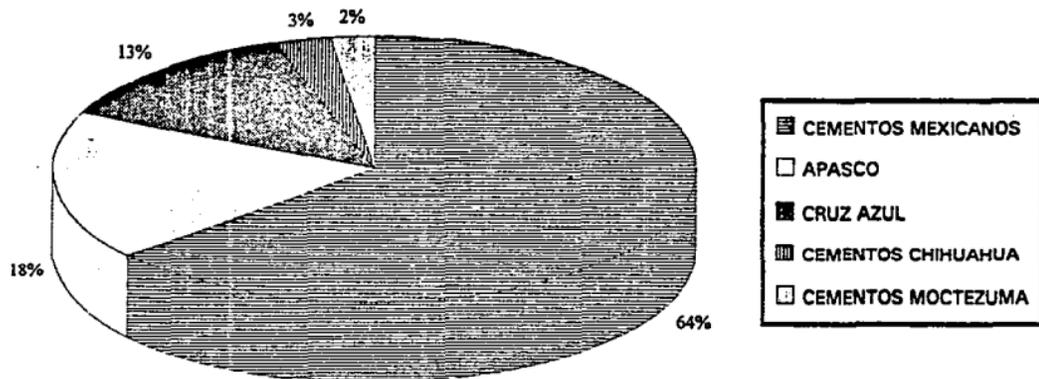


TABLA 9

PLANTAS PRODUCTORAS DE CEMENTO EN MÉXICO

PLANTA	ENTIDAD FEDERATIVA
Cementos Anáhuac del Golfo S.A. de C.V.	S.L.P.
Cementos Anáhuac S.A. de C.V.	México
Cementos Apasco S.A. de C.V.	Colima
Cementos Apasco S.A. de C.V. (Div. Centro)	México
Cementos Apasco S.A. de C.V. (Div. Norte)	Coahuila
Cementos Apasco S.A. de C.V. (Div. Tabasco)	Tabasco
Cementos Atoyac S.A. de C.V.	Puebla
Cementos Cruz Azul S.C.L. Pta. Jasso	Hidalgo
Cementos Cruz Azul S.C.L. Pta. Lagunas	Oaxaca
Cementos de Acapulco S.A.	Guerrero
Cementos de Chihuahua S.A. de C.V.	Chihuahua
Cementos de Chihuahua S.A. de C.V. (Cd. Juárez)	Chihuahua
Cementos de Norte S.A.	Nvo. León
Cementos del Pacífico S.A. de C.V.	Sinaloa
Cementos Guadalajara S.A. (Ensenada)	B.C.N.
Cementos Guadalajara S.A. (Guadalajara)	Jalisco
Cementos Maya S.A. (León)	Guanajuato
Cementos Maya S.A. (Mérida)	Yucatán
Cementos Mexicanos S.A. (Hermosillo)	Sonora
Cementos Mexicanos S.A. (Huichapan)	Hidalgo
Cementos Mexicanos S.A. (Monterrey)	Nvo. León
Cementos Mexicanos S.A. (Tepeaca)	Puebla
Cementos Mexicanos S.A. (Torreón)	Coahuila
Cementos Mexicanos S.A. (Valles)	S.L.P.
Cementos Portland Blanco de México S.A.	Hidalgo
Cementos Portland Nacional S.A. de C.V.	Sonora
Cementos Tolteca S.A. de C.V. (Atotonilco)	Hidalgo
Cementos Tolteca S.A. de C.V. (Tolteca)	Hidalgo
Cementos Tolteca S.A. de C.V. (Zapotiltic)	Jalisco
Cementos Veracruz S.A. de C.V.	Veracruz

3.5 FORMAS DE COMERCIALIZACIÓN Y CONSUMIDORES

En México, ¹⁰ al igual que en otros países, la comercialización del cemento se realiza en un 85% por medio de sacos y el restante 15% se vende a granel. Estas ventas se realiza directamente a los productores de concreto premezclado así como a otros fabricantes que lo utilizan como insumo.

Los consumidores son:

La autoconstrucción o construcción informal donde el consumidor final lo adquiere al menudeo. Su venta se realiza mediante distribuidores .

La construcción formal.

El sector público.

¹⁰ TLC en América del Norte. Industria del Cemento. Monografía 21 SECOFI 1992

3.6 FRACCIÓN ARANCELARIA

Los productos de la industria cementera se encuentran comprendidos en la Tarifa del Impuesto General de Importación (TIGI) en el capítulo 25, en las secciones correspondientes a la sal, azufre, tierras y piedras, yesos, cales, y cementos.

Los productos de la industria cementera que están clasificados en las fracciones arancelarias son clínker, cemento portland gris, cemento portland blanco y cemento hidráulico con los números:

2523.10.01, 2523.29.99, 2523.21.01 y 2523.90.99, respectivamente.

3.7 SITUACIÓN COMERCIAL EN EL EXTRANJERO

Uno de los problemas que la industria del cemento enfrentaba, al menos en el mercado mundial, era la acusación de precios bajos. Basta recordar que Cementos Mexicanos fue acusado en agosto de 1990 en Estados Unidos por ventas a precios *dumping*. En aquel entonces México era uno de los países en el mundo donde existía uno de los precios más bajos, ya que mientras en Japón la tonelada costaba el equivalente a 90 dólares, en España 80, en Canadá 70 y en Corea 60 dólares, en nuestro país el costo del cemento era en promedio de 53 dólares.

Aunque años después el Acuerdo General de Aranceles y Tarifas y las autoridades estadounidenses declararon nula la medida de arancel a las exportaciones cementeras de México, en aquel momento le afectó en un 50% de sus exportaciones a dicho país, que eran del orden de 3.6 millones de toneladas métricas.

Sin embargo, para evitar cualquier problema, de 1991 a la fecha, la industria cementera del país ajustó el precio del cemento hasta ubicarlo en un intervalo competitivo con las grandes firmas extranjeras como Holderbank, Lafarge y Blue Circle.

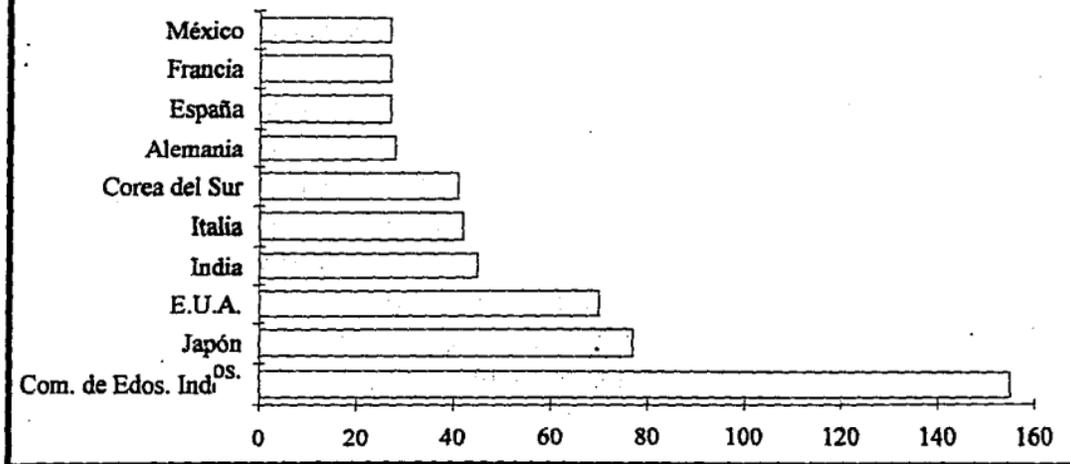
Así, en 1993 el precio promedio fue de 84 dólares por tonelada, que se compara favorablemente con los 77 dólares de 1992.

TABLA 10

PARTICIPACIÓN EN EL EMPLEO

AÑO	MILES DE TONELADAS
1980	12,538
1981	17,632
1982	14,414
1983	14,429
1984	13,948
1985	15,212
1986	14,133
1987	15,369
1988	14,947
1989	14,998
1990	15,048
1991	12,723
1992	12,614
1993	12,777

FUENTE: Cámara Nacional del Cemento

GRÁF. 6 PAÍSES PRODUCTORES DE CEMENTO

3.8 ANÁLISIS DE LA OFERTA - DEMANDA DEL CEMENTO

La industria cementera mexicana ha alcanzado una posición destacada en el contexto internacional, actualmente es la 8ª productora a nivel mundial, compartiendo el puesto con Francia y España. En el mercado nacional participa con el 0.4% del PIB y con el 5.6% del producto de la industria de la construcción. Esta participación ha sido creciente y se debe a su modernización tecnológica, la estrategia nacional para eliminar rezagos existentes en infraestructura y vivienda y la recuperación del crecimiento económico.

En la industria del cemento existe un exceso en la capacidad instalada por lo que la producción del cemento satisface completamente la demanda , evitándose recurrir a las importaciones. Estados Unidos es el principal destinatario de las exportaciones que realiza México, pero también es su principal proveedor cuando México recurre a las importaciones.

Las plantas de cemento están localizadas a lo largo y ancho del territorio mexicano, lo que permite cubrir la demanda de cemento en el país, principalmente el Distrito Federal; que es la zona de mayor consumo de cemento gris; así como el estado de México, Jalisco, Veracruz y Nuevo León. Esta ubicación estratégica de las plantas de cemento facilita el ingreso a los mercados internacionales.

La industria del cemento está integrada por cinco grupos corporativos de los cuales el más importante es CEMEX , considerado como el 3º a nivel mundial, le siguen en importancia Apasco, Cruz Azul, Cementos Chihuahua y Cementos Moctezuma, los cuales en conjunto suman un total de 30 plantas con una capacidad instalada de 35, 500 miles de toneladas al año consideradas hasta 1993.

La industria del cemento tiene varias ventajas frente a sus competidores del exterior entre los cuales se destacan: que la materia prima utilizada es de origen nacional y tiene cercanía a las instalaciones, la planta productora es tecnológicamente moderna lo que permite costos de producción estándar y una eficiencia en el uso de la energía y el mercado está en constante crecimiento.

En México, más del 90% de la producción del cemento se realiza utilizando el combustóleo, insumo del cual existe disponibilidad.

Sin embargo, en 1990 CEMEX tuvo que enfrentar la acusación por parte de Estados Unidos por venta a precios *dumping* que le provocó un aislamiento de su mercado habitual perdiendo 50% de sus exportaciones a los Estados Unidos, pero también le significó una oportunidad de presencia en otros mercados no conocidos hasta el momento como el mercado asiático. Ante esta situación, desde 1991 la industria cementera nacional ajustó sus precios a parámetros estándares colocándolo en igual circunstancia ante las firmas extranjeras más importantes tales como Holderbank, Lafarge y Blue Circle.

La perspectiva para la industria del cemento es muy alentadora, se estima que la demanda nacional del cemento crecerá a una tasa anual promedio que oscilará entre 7 - 10% en los próximos años. Para hacer frente a la creciente demanda interna y mantener la plataforma de exportación, la industria cementera continua realizando inversiones para la modernización de sus procesos productivos y la ampliación de su capacidad instalada.

En cuanto al Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá, la industria nacional de cemento se encuentra en una posición privilegiada ya que de un arancel del 10% que tenía en 1993 pasará al 0% en 1998 que le permitirá un aumento de sus exportaciones tanto a Estados Unidos y Canadá principalmente y esto le permitirá mayor proyección a nivel mundial y por lo tanto nuevas oportunidades para su desarrollo comercial. Sin embargo, la industria cementera nacional deberá estar alerta a la invasión de cementeras extranjeras ofreciendo las mismas ventajas que éstas, a fin de no perder su lugar de privilegio.

CAPÍTULO IV

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CEMENTO

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CEMENTO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Existen dos métodos para la fabricación de cemento seco y húmedo.¹¹ En ambos, el proceso se inicia con la explotación de las canteras de materias primas (materiales calizos y arcillosos), su extracción y su acarreo a la fábrica propiamente donde se somete a las siguientes etapas (proceso seco): trituración, prehomogenización, molienda y secado, calcinación y producción de clínker, mezclado, molienda de cemento, almacenamiento y finalmente empaque y distribución.

La materia prima caliza es transportada al triturador primario en donde la roca de 1.2 a 1.6m se reduce a piezas de 15 a 25 cm utilizando molinos giratorios, de bolas y trituradores. Posteriormente la roca triturada es llevada al triturador secundario en donde alcanza un tamaño menor a 3 cm y es mezclada con la arcilla en proporción adecuada por medio de básculas dosificadoras. Adaptados a los trituradores se encuentran diferentes equipos colectores de polvo.

El material molido posteriormente sufre un proceso de pulverizado fino, el cual reduce además el tamaño de la roca para preparación al proceso del horno.

En la siguiente etapa el material se muele en molinos de bolas y se clasifica con equipos especiales llamados "separadores de aire", hasta obtener un polvo impalpable, al cual se le llama "crudo" o mezcla cruda pues ya está previamente dosificado. Un calentador eléctrico inyecta gases calientes a la entrada del molino para secar los materiales de alimentación. A la salida del molino también existe un equipo colector de polvo.

¹¹ Mendoza R. Carlos. Consideraciones básicas para la operación de un horno rotatorio de cemento portland. Tesis Fac. Química UNAM 1991

El molino tiene dos compartimientos, en uno hace la primera molienda (entrada), descarga por la parte central hacia un elevador de cangilones que lleva el material a un separador mecánico en donde finos y gruesos se separan. Los primeros se envían hacia el silo de homogenización por medio de una bomba y los gruesos a otro compartimiento del molino para terminar de molerse.

Al salir del molino, el crudo es analizado por el laboratorio de Control de Calidad para mantener dentro de especificaciones este material.

De los silos de crudo, el material pasa a los sistemas de calcinación. El horno rotatorio para calcinar¹² es un cilindro de acero de dimensiones entre 50 y 200 m de largo y entre 3 y 6 m de diámetro con un revestimiento refractario, ligeramente inclinado hacia abajo. Los materiales crudos son alimentados por la parte alta a través del alimentador del horno. El combustible, sea gas natural, combustóleo o aceite mineral es quemado en la parte baja del horno, generándose una gran flama incandescente. Para calcinar 1 tonelada de cemento, se requiere 0.75 a 1.25 millones Kcal. dependiendo del sistema de recuperación de calor utilizado.

Los gases de combustión calientes fluyen a través del horno rotatorio a contracorriente del material de entrada. Debido a que el horno gira, el material se desliza hacia la parte más baja, exponiéndose gradualmente a más y más calor.

El agua se evapora en la parte superior del horno. En la sección media del horno, el dióxido de carbono y el agua son empujados del material crudo, y los originales, óxido de calcio, sílica, mineral de hierro y arcilla son cambiados a nuevos compuestos tales como silicato de calcio, aluminatos y ferritas. La parte inferior del horno es la zona de calcinado; en donde existe una temperatura de 1500 °C y el material se vuelve incandescente dándose el nombre de clínker.

Las reacciones que tiene lugar en el horno son:¹³ a partir de los 100 °C tiene lugar la evaporación del agua. A partir de los 400 °C la pérdida de agua de cristalización de los materiales de arcilla y su desdoblamiento en óxidos libres. A partir de 800 °C la descarbonatación de la caliza.

¹² Cemento y ecología Construcción y Tecnología Enero 1992

¹³ Gomá F. El cemento portland y otros aglomerantes Editores Técnicos Asociados S. A. España 1979

A partir de los 900 °C la formación de aluminatos y ferroaluminatos; hasta los 1200 °C la formación de silicatos en fase sólida y, a partir de los 1280 °C aproximadamente la aparición del primer líquido y reacción seguida de disolución de las fases sólidas existentes hasta la temperatura máxima que alcanza el clínker de 1500 a 1600 °C.

El sistema de calcinación es la parte más importante del proceso de fabricación de cemento, no sólo desde el punto de vista de la calidad del producto, sino también y, sobre todo, de economía de la producción.

El clínker se enfría en equipos especiales y se almacena en los silos correspondientes.

El clínker pasa a los silos de cemento, donde se muele junto a una cantidad controlada de sulfato de calcio (yeso) a una finura extrema, para de esta manera obtener lo que se conoce como cemento portland.

En este punto termina el proceso de fabricación.(Figura 3)

El cemento terminado se transporta a los silos de almacenamiento, donde nuevamente se muestrea para sus pruebas y análisis fisicoquímicos, previos a su envase y embarque al mercado consumidor ya sea en forma de bultos, paquetes o a granel.

La diferencia entre el proceso seco y el húmedo ¹⁴ consiste básicamente en que 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, la cual se dosifica junto con la caliza previamente triturada, se alimenta a los molinos de crudo donde se añade agua para facilitar la molienda así como el manejo y control de los materiales. De aquí pasa a unos tanques y de ahí a otros mezcladores de donde, a su vez, pasa al horno, donde se lleva a cabo el secado y el desmenuzamiento de los aglomerados de polvo crudo mediante un sistema de cadenas que se mueven lentamente conforme gira el horno.

Los siguientes pasos que se siguen en la fabricación son iguales a los del proceso seco. (Figura 4)

¹⁴Mendoza R, Carlos. Consideraciones básicas para la operación de un horno rotatorio de cemento portland. Tesis Fac. Química UNAM 1991

El cemento portland debe tener siempre una calidad uniformemente satisfactoria, lo cual quiere decir que en su proceso de fabricación se deben regular cuidadosamente las proporciones de piedra caliza y arcilla, así como de las otras materias primas que deben intervenir en la composición de sus diferentes tipos; para ello se realiza el análisis químico de los materiales, para calcular correctamente las mezclas, asegurándose una adecuada combinación, así como las propiedades correspondientes al tipo de cemento requerido.

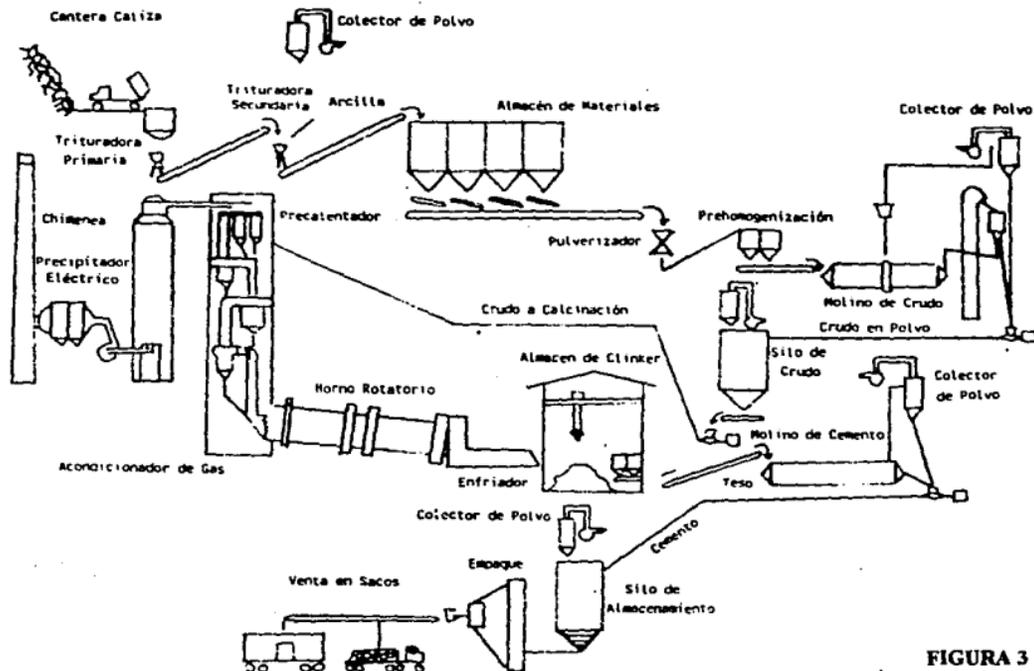


FIGURA 3
FACULTAD DE QUÍMICA TESIS PROFESIONAL
PRODUCCIÓN DE CEMENTO POR VÍA SECA
JUDITH ELENA MILLÁN MAUBERT

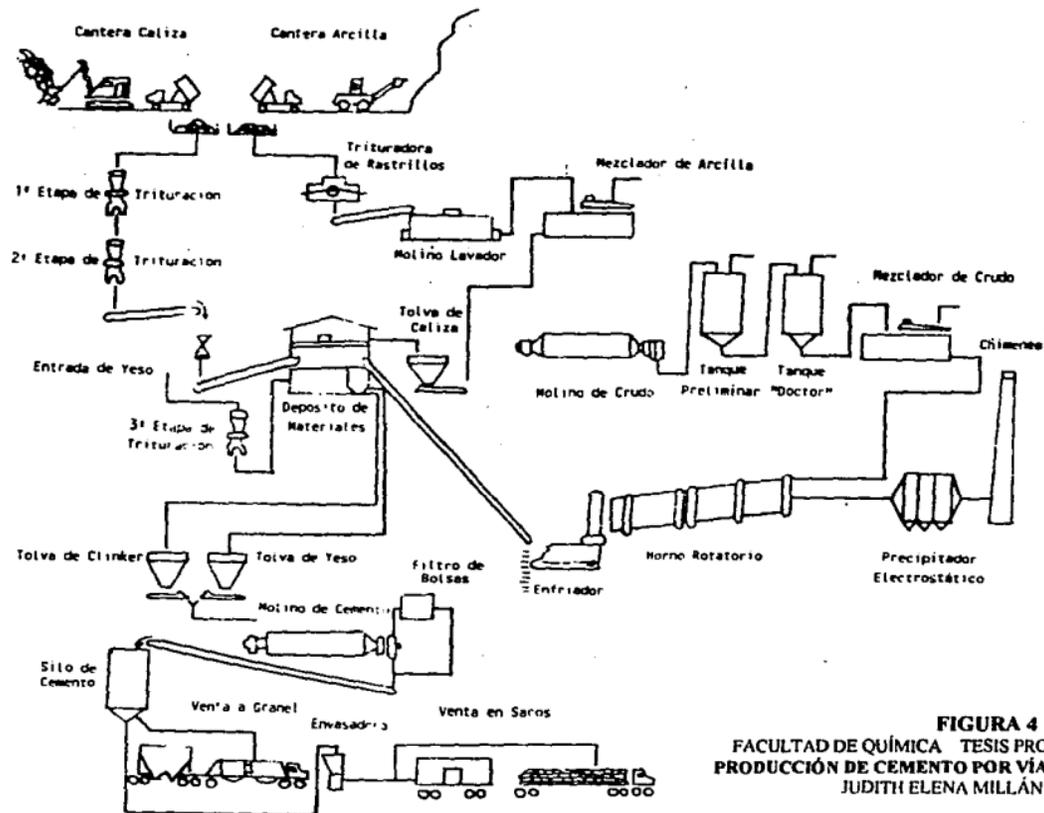


FIGURA 4
 FACULTAD DE QUÍMICA TESIS PROFESIONAL
 PRODUCCIÓN DE CEMENTO POR VÍA HÚMEDA
 JUDITH ELENA MILLÁN MAUBERT

4.2 CONSUMO DE ENERGÉTICOS

Las altas temperaturas necesarias para la elaboración de cemento, de hasta 1500 °C en la zona de clinkerización de los hornos, hace que esta industria sea una importante consumidora de energéticos, tanto térmicos como eléctricos (gas, carbón, combustóleo, electricidad), siendo su consumo dependiente del país de que se trate, de la capacidad de la industria, de la edad de las fábricas, y de los procedimientos de trabajo que en ellas se sigan, por lo que en algunas de ellas, el costo de consumo de energéticos llega a representar hasta un 40% del costo total de producción de cemento.

A nivel internacional ¹⁵ se asume que la producción de una tonelada de clinker requiere 125 Kg. de combustóleo o su equivalente (una tonelada de clinker produce 1.15 toneladas de cemento), y que el consumo específico de electricidad es de 125 KWH por tonelada de cemento.

Del mismo modo, se asignan los siguientes valores de intervalo de consumo energético para las diferentes etapas del proceso de fabricación de cemento:

TABLA 11

ETAPA DEL PROCESO	INTERVALO CONSUMO
Extracción y trituración (Electricidad)	8.5 a 70 Kcal / Ton Cemento
Molienda primaria (Electricidad)	8.5 a 200 Kcal / Ton Cemento
Secado (Combustibles)	0 a 335 Kcal / Ton Cemento
Horno (Electricidad) (Combustibles)	28 a 175 Kcal / Ton Cemento 780 a 2800 Kcal / Ton Cemento
Molienda final (Electricidad)	75 a 206 Kcal / Ton Cemento

¹⁵ Mendoza R. Carlos. *Consideraciones básicas para la operación de un horno rotatorio de cemento portland.* Tesis Fac. Química UNAM 1991

Por lo que respecta al consumo de energéticos por tipo de proceso, los promedios internacionales, considerando la edad de las instalaciones, se tienen los siguientes datos:

TABLA 12

PROCESO HÚMEDO	
Plantas Viejas	1552 Kcal / Kg Clinker
Plantas Nuevas	1194 Kcal / Kg Clinker

PROCESO SECO	
Plantas Viejas	1003 Kcal / Kg Clinker
Plantas Nuevas	764 Kcal / Kg Clinker

4.3 EMISIONES

Las partículas sólidas son la emisión primaria en la manufactura de cemento. Las emisiones, además incluyen productos de combustión del combustible usado para conferir calor al horno y las operaciones de secado, las que incluyen bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre y pequeñas cantidades de compuestos de azufre. El origen del polvo en las plantas de cemento está en: (1) molienda, (2) almacenamiento de materiales crudos, (3) pulverizado y mezclado (sólo proceso seco), (4) producción de clínker, (5) pulverizado final y (6) empaque. El origen más importante de emisiones está en la operación del horno el cual consiste de tres partes: el sistema de alimentación, el sistema de encendido de combustible y el sistema de enfriamiento de clínker.

Las emisiones del horno son la mayor fuente de partículas sólidas las cuales ascienden en promedio a 110 y 105 Kg./Ton de cemento para los sistemas húmedo y seco respectivamente. El proceso seco tiende a producir menos emisión de partículas sin control, especialmente en la operación inicial de pulverizado.

TABLA 13

FACTORES DE EMISIÓN PARA LA MANUFACTURA DE CEMENTO
SIN CONTROL, KG / TON DE CEMENTO ¹⁶

PROCESO SECO

PROCESO HÚMEDO

Contaminante	PROCESO SECO		PROCESO HÚMEDO	
	Hornos	Secadores Molinos	Hornos	Secadores Molinos
Partículas, Kg/Ton	115	45	105	15
Dióxido de Azufre				
Mineral, Kg/Ton	4.5		4.5	
Gas de Combustión	Neg.		Neg	
Aceite de Combustión	2S		2S	
Carbón de Combustión	3S		3S	
Óxidos de Combustión	1.3		1.3	

* S es el porcentaje de azufre en el combustible.

En el horno de cemento, aproximadamente el 50% del CO₂ proviene de la combustión del combustible y el restante 50% de la descarbonatación de la caliza. La descarbonatación o calcinación es un paso absolutamente necesario que se debe producir, independientemente de cuál sea el proceso para la fabricación de cemento.

¹⁶ Seymour Calvert; Harold England. Handbook of air pollution technology. John Wiley & Sons USA 1984

4.4 CONTROL DE EMISIONES

En el proceso de fabricación de cemento se manejan grandes volúmenes de materiales sólidos cuya transformación implica, necesariamente, una reducción del tamaño, de las partículas, mediante operaciones repetidas de trituración y molienda. En todas estas operaciones, así como en las de secado y calcinación, se generan inevitablemente emisiones de partículas sólidas suspendidas en el aire o arrastradas por los gases de combustión.

Para la separación y captación de las partículas sólidas, la industria del cemento utiliza diversos tipos de equipos colectores.

Los del tipo mecánico, comprenden los ciclones centrífugos y, en menor escala las cámaras de sedimentación; además, se tienen los filtros de mangas o de filtrado por tejidos, los de capa de gravilla y, finalmente, los filtros electrostáticos. Para poder responder a las normas relativas a emisiones, no es remoto combinar distintos tipos de colectores según la concentración, el tamaño y la temperatura de las partículas emitidas. En la industria del cemento ya no se usan aquellos dispositivos que emplean agua como elemento activo en la separación de las partículas, en virtud de las complicaciones derivadas del manejo de los lodos resultantes.

Los colectores se valoran según su rendimiento. Este se define como la relación, expresada en porcentaje, de la cantidad de partículas recogidas por el filtro, a la recibida por éste.

El control de la emisión de partículas del horno es compleja debido al gran volumen de gas caliente sucio contenido en él. En el horno es donde más comúnmente se utiliza la combinación de diversos dispositivos para el control de emisiones y recuperación de calor pues en éste se conjuntan diversos factores complicados tales como alta temperatura, carga pesada y contenido de humedad. Dependiendo de las especificaciones de productos y la alcalinidad del polvo recolectado, algo de este polvo puede ser recirculado a la corriente de alimentación del horno.

La emisión de los enfriadores de clínker puede ser efectivamente reducida por sistemas de filtros o precipitadores electrostáticos. Los filtros de capa de gravilla han sido utilizados eficientemente para reducir emisiones de los enfriadores de clínker pero no son ampliamente utilizados, su aplicación se encuentra en los enfriadores de gran tamaño.

4.5 EQUIPOS DE CONTROL DE EMISIONES

Para la separación y captación de las partículas sólidas, la industria del cemento utiliza diversos tipos de equipos colectores.

Existen diversos principios físicos básicos que son empleados en la operación de los equipos colectores tales como:

FUERZAS GRAVITACIONALES: Pequeñas partículas son transportadas por una corriente de aire, cuando la velocidad de esa corriente es reducida, muchas de las partículas, específicamente las más pesadas pueden capturarse en la parte inferior de un colector.

FUERZAS INERCIALES: Como la dirección del movimiento de la corriente de aire cambia en función del tiempo; y dado que las partículas más pesadas debido a su momentum tienen la tendencia de continuar su movimiento en línea recta; éstas se separan del flujo de aire ocurriendo una colisión entre la pared y las partículas, por lo cual se depositan en la parte inferior del colector.

FILTRACIÓN: Una corriente de aire saturada con materia particulada pasa a través de un material poroso. Las partículas son retenidas en la superficie y al instante el aire limpio pasa a través de los poros.

ATRACCIÓN ELECTROSTÁTICA: Las partículas pueden ser cargadas electrostáticamente. Estas partículas cargadas son entonces atraídas hacia objetos de carga opuesta y removidos de esta forma de la corriente de aire. Cuando las partículas hacen contacto con dicho objeto son neutralizadas y precipitan al fondo del colector.

AGLOMERACIÓN DE PARTÍCULAS: Cuando las partículas de polvo pasan a través de un rociador de agua, se forma un aglomerado. El mayor peso de este aglomerado permite más fácilmente su remoción de la corriente de aire.

Todos los métodos de colección de partículas emplean uno o más de estos principios en su operación. La eficiencia de su colección depende del tamaño de las partículas, entre mayor sean mayor es la eficiencia de remoción.

TABLA 14¹⁷

PRINCIPIO FÍSICO	EQUIPO REPRESENTATIVO
Fuerzas gravitacionales	Cámaras de sedimentación
Fuerzas inerciales	Separadores de ciclón
Filtración	Colectores de tela (sacos)
Atracción electrostática	Precipitadores electrostáticos
Aglomeración de partículas	Torres lavadoras

En general se procede a combinar distintos tipos de colectores para obtener mayores eficiencias dependiendo la concentración, el tamaño y la temperatura de las partículas emitidas.

Los requisitos que debe satisfacer un equipo para la eliminación de polvos son los siguientes: ¹⁸

- 1) La concentración de la fase dispersa en el gas limpio, ha de ser menor que el máximo permitido predeterminado.
- 2) La maquinaria debe conservar su eficiencia de limpieza.
- 3) La eficiencia de limpieza debe ser virtualmente constante en todo el ciclo diario de operación.

¹⁷ Laguna R. Enrique. Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo. Tesis Fac. Química UNAM 1976

¹⁸ Ibid

4) Dicha eficiencia ha de ser casi independiente de la velocidad de la corriente de gas y de la concentración de polvos en el gas de entrada.

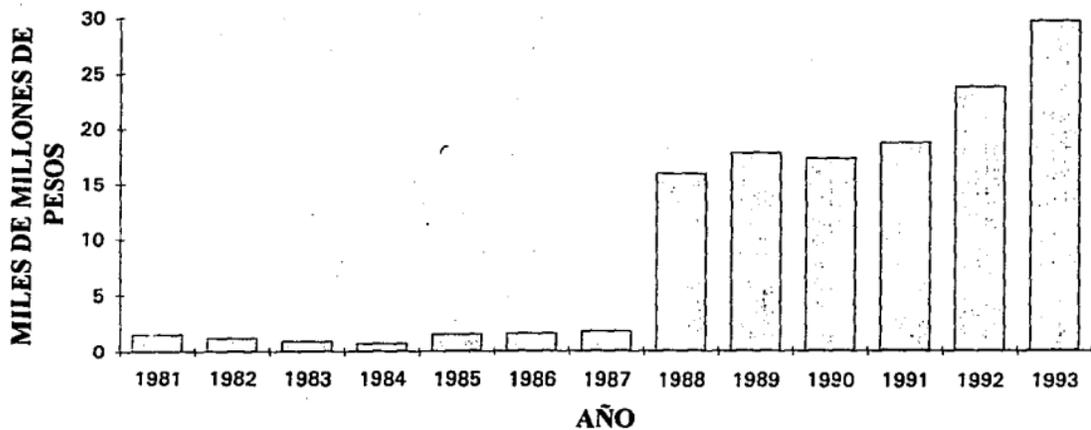
5) La maquinaria no ha de necesitar interrupciones en su funcionamiento para limpiarla durante las horas de trabajo; la limpieza de gas y la eliminación de polvo deben ser automáticos.

6) El mantenimiento normal y la eliminación periódica del polvo acumulado no ha de ocasionar un nuevo problema.

7) El equipo debe satisfacer las condiciones ordinarias de bajo costo, durabilidad, costo bajo de mantenimiento y mínimo espacio.

El resultado obtenido con un separador de polvos se le denomina "rendimiento de separación" y se expresa generalmente, por la relación de peso del polvo separado al polvo que penetra en el aparato. El rendimiento del separador no es en sí mismo una característica específica del separador dado, pues depende tanto de las condiciones de funcionamiento del propio aparato, como de las propiedades físicas del polvo que se maneja.

GRÁF. 7 INVERSIÓN EN EQUIPO PARA CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN



4.5.1 CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

Es el tipo más sencillo del equipo de colección de polvos. Este equipo es un compartimiento cerrado donde la velocidad del gas acarreado es reducida lo suficiente como para permitir el asentamiento de las partículas de polvos y nieblas de la corriente gaseosa por las fuerzas gravitacional y de inercia. Ambas fuerzas aumentan en proporción directa al cuadrado del diámetro de la partícula. Las partículas entre 40 y 100 μm de diámetro son eficientemente colectadas por esta técnica, disminuyendo la eficiencia para partículas finas de menos de 10 μm de diámetro con el incremento en la carga de entrada de estos colectores. Su caída de presión varía entre 0.5 y 1 pulgada de H_2O ; la velocidad dentro de estas cámaras varía de 1 a 10 pies / segundo.

Las cámaras de sedimentación son los dispositivos más económicos debido a su sencillez, pero también son los menos eficientes, y por lo tanto están instaladas como un separador previo para partículas gruesas, antes de colectores de más alto rendimiento como los de mangas o electrostáticos.¹⁹

Para grandes volúmenes de emisión, las cámaras de sedimentación deberán ser lo suficientemente grandes, como para reducir la velocidad a 10 pies/seg. y proporcionar un tiempo de residencia adecuado para el asentamiento de las partículas de mayor tamaño.

Suponiendo un bajo grado de turbulencia en relación con la velocidad de sedimentación de la partícula de polvo, la eficiencia de una cámara de sedimentación por gravedad está dada por la ecuación:²⁰

$$N = \frac{U_t L_s}{H_s V_s} = \frac{U_s B_s L_s}{q} \quad (\text{para } N \leq 1)$$

¹⁹ La industria del cemento y el medio ambiente. *Revista IMCYC* Vol. 23 Núm. 200 Enero 1988

²⁰ Laguna R. Enrique. *Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo* Tesis Fac. Química UNAM 1976

Donde:

- N = Eficiencia de separación
- U_t = Velocidad de sedimentación de la partícula, cm/seg
- L_s = Longitud de la cámara, cm
- H_s = Altura de la cámara, cm
- V_s = Velocidad media del gas, cm/seg
- q = Flujo o gasto de la corriente gaseosa, cm^3/seg
- B_s = Ancho de la cámara, cm

Para un gasto o flujo volumétrico de gas, la eficiencia de separación depende de la sección horizontal total de la cámara y es independiente de la altura. Es importante que el gas se distribuya bien lateralmente al entrar en la cámara; la distribución vertical no afecta.

Las cámaras de sedimentación presentan el inconveniente de que el espacio requerido es grande y la eficiencia es baja; sin embargo su ventaja radica en su bajo costo de adquisición y mantenimiento.

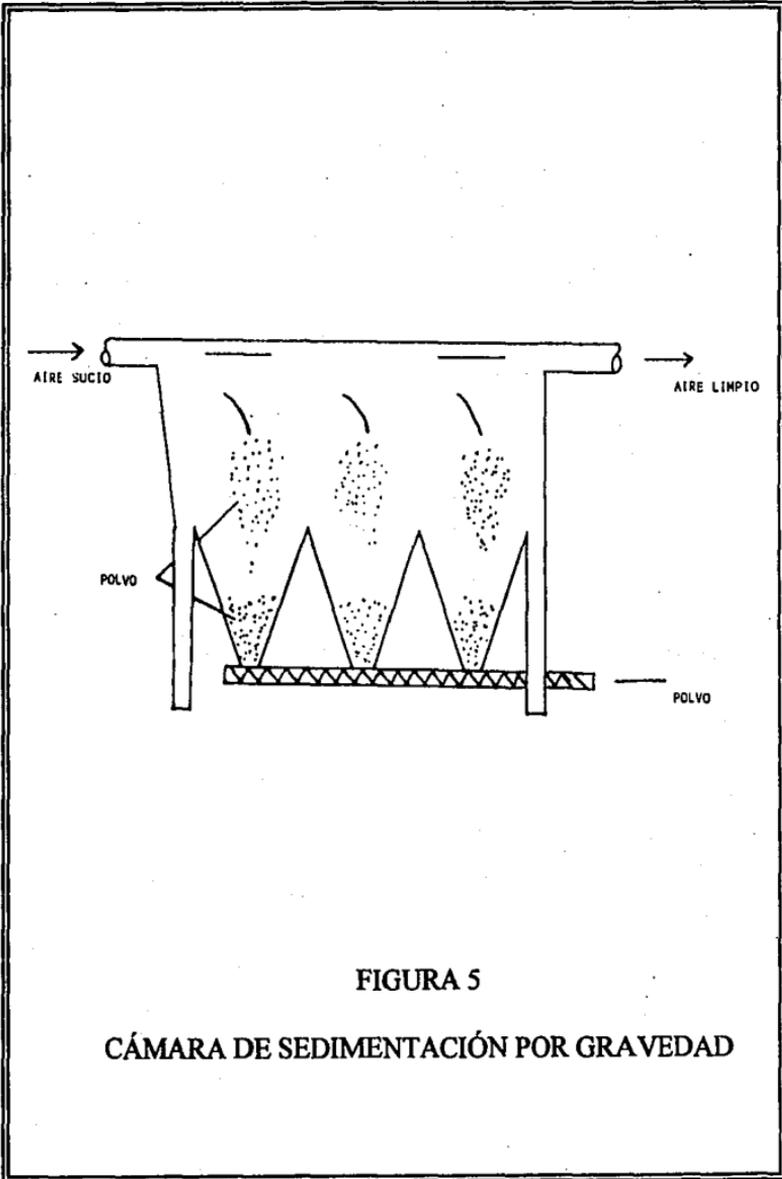


FIGURA 5

CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN POR GRAVEDAD

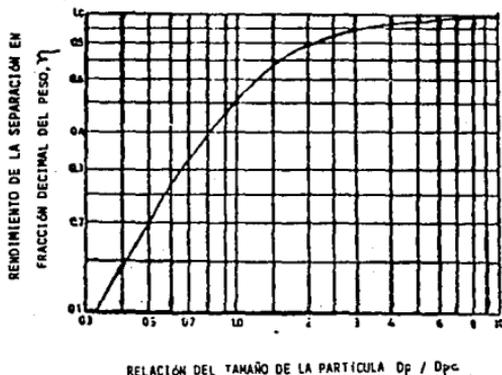
4.5.2 SEPARADOR DE CICLÓN

Este tipo de separador es el más común de la clase de los separadores centrífugos o inerciales. Estos equipos son estructuras sin partes móviles que separan la materia particulada de un flujo de gas estando formados por un cilindro metálico con una entrada tangencial a través de la cual entra el gas cargado con polvo y se mueve en espiral hacia abajo, casi hasta la parte inferior de la parte cónica del ciclón (torbellino exterior), desde aquí comienza a ocupar el espacio interno del ciclón, en donde se mueve hacia arriba y también en espiral (torbellino interior).

La fuerza centrífuga hace que las partículas sólidas suspendidas en el gas se depositen en la pared del ciclón y tanto por la acción de la gravedad como del torbellino exterior se desplazan hacia abajo; la mayor parte de las partículas cae en un receptáculo de donde se extraen usualmente con un gusano transportador.²¹

La siguiente figura da la probable eficiencia de separación para un tamaño de partícula dado, expresado por una relación al tamaño de corte D_{pc} .²²

FIGURA 6



²¹ La industria del cemento y el medio ambiente. *Revista IMCYC* Vol. 25. Núm. 200 Enero 1988

²² Laguna R, Enrique. *Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo* Tesis. Fac. de Química UNAM 1976

Definiéndose D_{pc} por la siguiente ecuación:

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9 \mu B_c}{2\pi N_e V_c (\rho_s - \rho)}}$$

Donde:

D_{pc} = Diámetro de las partículas, de las que se separan 50% de las existentes, cm

μ = Viscosidad del fluido, poise

B_c = Ancho del conducto rectangular de entrada al ciclón, cm

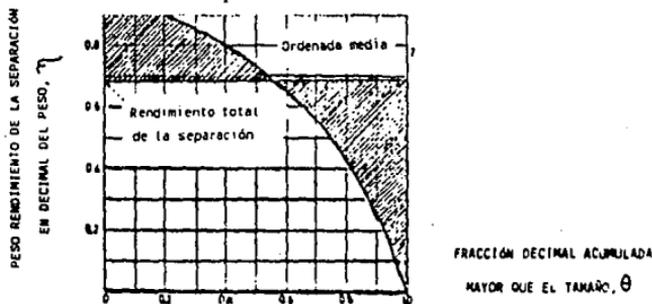
N_e = Número efectivo de vueltas que da una corriente gaseosa en el ciclón, adimensional

V_c = Velocidad media de entrada en el ciclón, cm/seg

ρ_s = Densidad de los sólidos, g/cm³

ρ = Densidad del fluido, g/cm³

Puesto que los polvos comprenden partículas de diferentes tamaños, la eficiencia total de separación es la suma de las eficiencias para cada tamaño de partícula, si se conoce la distribución de tamaños de las partículas, puede calcularse gráficamente la eficiencia total de separación, transportando valores de N y Θ correspondientes al mismo tamaño de partícula, como ordenada y abscisas respectivamente, como se muestra en la figura. La eficiencia total de separación lo da la ordenada media de la curva.²³



²³ Laguna R. Enrique. Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo. Tesis. Fac. Química. UNAM 1976

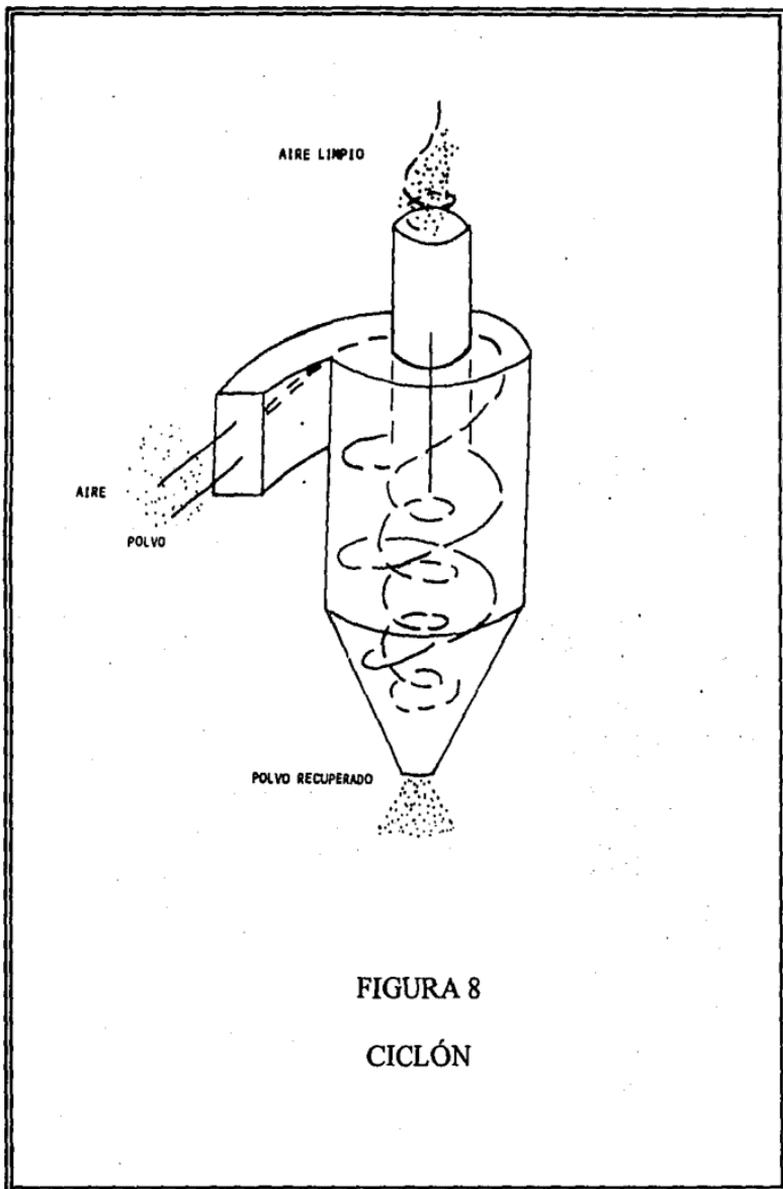


FIGURA 8

CICLÓN

4.5.3 COLECTOR DE TELA (FILTROS DE BOLSAS O SACOS)

Quando se requiere de una alta eficiencia de colección para partículas de diámetro chico, el método más utilizado es el de filtración por medio de tela. La forma más común en que la tela se utiliza es la forma cilíndrica.²⁴ Las telas utilizadas son afelpadas o tejidas y de materiales como el algodón y/o fibras sintéticas.

En los colectores de tela, se pasan los gases cargados de polvo por un tejido que retiene el polvo y deja pasar los gases. Cuando los gases cargados de polvo pasan por primera vez por la tela, la eficiencia de separación es baja, hasta que se hayan separado suficientes partículas para formar una capa previa en los poros del tejido.²⁵ Esta disposición inicial de polvo se produce por interceptación y choque sobre las fibras de la tela y, por sedimentación por gravedad y por movimiento browniano en los poros de la tela.

Los componentes básicos de un sistema de filtración en seco incluyen un medio filtrante en forma de bolsas, un soporte de las bolsas, un conducto para el gas y un mecanismo para desprender de las bolsas el polvo acumulado.²⁶

El gas cargado de partículas normalmente se introduce en la parte inferior del sistema de filtración, cercano a las tolvas de colección. Este gas asciende a través del equipo por la parte externa o interna de las bolsas, dependiendo del diseño específico.

Las bolsas sirven como una estructura de soporte para las partículas acumuladas o la "torta" formada en el filtro.

²⁴ Corona C. Adolfo; García R. J. Agustín. Diseño y optimización de ciclones para el control de la contaminación apoyado en un programa de computación. Tesis. Fac. Química UNAM 1992

²⁵ Laguna R. Enrique. Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo. Tesis Fac. Química UNAM 1976

²⁶ López R. Isela, Casero G. Jorge. Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales. Tesis. Fac. Química UNAM 1991

Los parámetros de diseño y operación que determinan la eficiencia de los filtros de tela son la relación aire - tejido y la caída de presión. La relación aire - tejido es el flujo volumétrico de la corriente del gas (pies³/min) dividido entre el área superficial de la tela (pies²). A una mayor relación aire - tejido, los filtros de bolsa serán más pequeños, lo que provocará que la velocidad aumente y por lo tanto se tenga una mayor caída de presión.

Los filtros de tela con sacudidores mecánicos y flujo inverso hechos con tela de tejido plano tienen generalmente una baja relación aire - tejido que comprende desde 2 a 3.5 dependiendo del tipo de polvo que va a ser colectado. Los colectores con pulso de chorro invertido de fieltro tienen una alta relación aire - tejido que varía en un intervalo de 5 a 12.

La caída de presión a través del filtro es una función de la velocidad de la corriente gaseosa que pasa a través del filtro y una combinación de la resistencia de la tela y de la capa de polvo acumulada. Para evitar problemas de operación y excesivos requerimientos de potencia, la máxima caída de presión a través del filtro debe ser comprendida entre 6 y 8 pulg. H₂O.

Los filtros de tela son frecuentemente puestos en serie después de un colector mecánico para capturar las partículas pequeñas no colectadas por dicho colector.

Partículas menores de 0.01 μm de tamaño pueden ser eficientemente colectadas. Estos filtros son generalmente usados en los hornos de cemento.

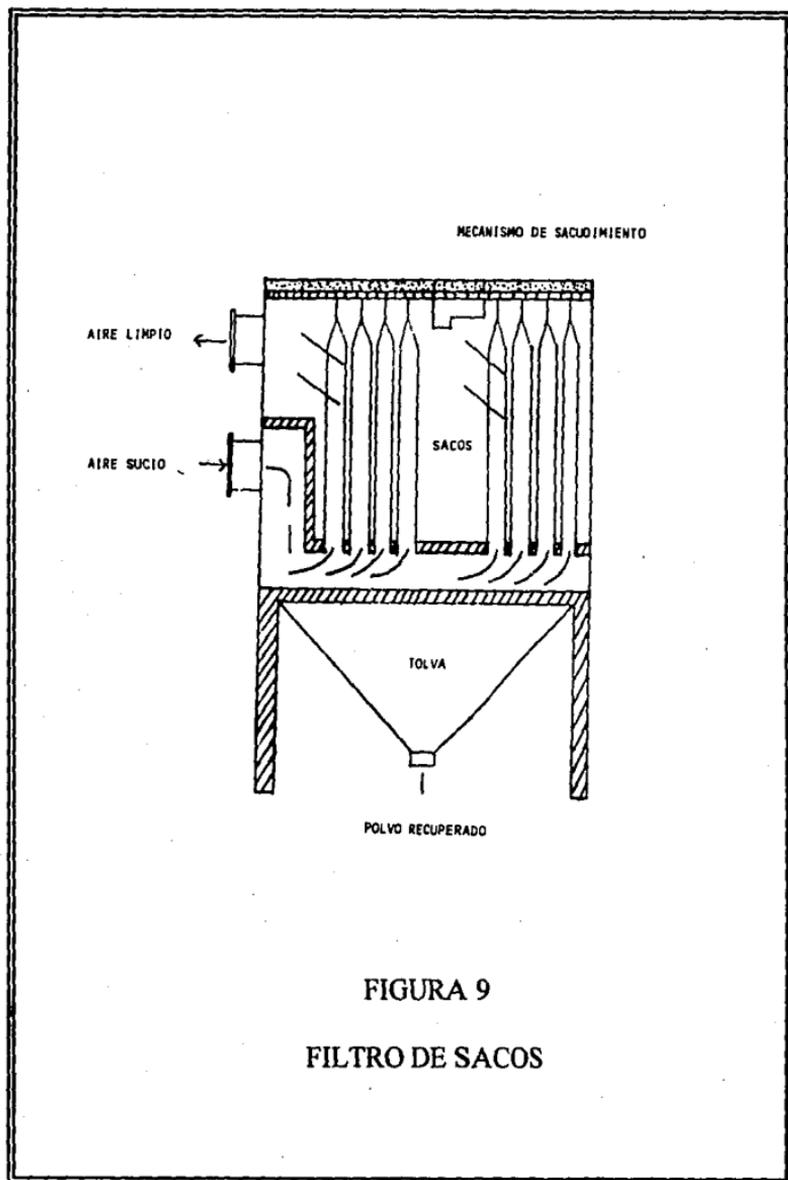


FIGURA 9

FILTRO DE SACOS

4.5.4 PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS

Los precipitadores electrostáticos se encuentran entre los equipos de control de contaminantes más utilizados. Estos equipos son generalmente usados para remover material particulado de corrientes gaseosas las cuales pueden ser fácilmente ionizadas.

El mecanismo de colección se lleva a cabo en las siguientes etapas: ²⁷

1) **IONIZACIÓN DEL GAS.** Debido a la diferencia de potencial que manejan estos equipos, provoca que miles de millones de electrones se desprendan de los electrodos negativos (emisores), los cuales se dirigen hacia el electrodo positivo (de precipitación), conectados a tierra, produciendo iones negativos de gas los cuales llenan el pasadizo donde circula el gas.

2) **CARGA DE POLVO.** Debido a la ionización del gas, las partículas que viajan en la corriente gaseosa se ionizan.

3) **PRECIPITACIÓN DEL POLVO.** Las partículas cargadas emigran hacia los electrodos con carga negativa y se unen a éstos quedando neutralizadas.

4) **FORMACIÓN DE LA CAPA DE POLVO.** El material colectado forma una capa cada vez más gruesa en los electrodos colectores en donde la carga del polvo pasa al electrodo. La resistencia de la capa de polvo a el flujo de electrones se denomina resistividad del polvo.

5) **SACUDIMIENTO DEL ELECTRODO.** Las partículas adheridas al electrodo se mantienen unidas entre sí por cargas electrostáticas. La fuerza de sacudida debe ser la adecuada para que la capa se desprenda formando conglomerados relativamente grandes de partículas y no se dispersen de nuevo. En ocasiones, los gases reciben un acondicionamiento previo de humedad y temperatura a fin de optimizar la eficiencia de la precipitación electrostática de las partículas acarreadas.

²⁷ Corona C. Adolfo ; García R. J. Agustín. Diseño y optimización de ciclones para el control de la contaminación, apoyado en un programa de computación. Tesis Fac. Química UNAM 1992

6) **CAÍDA DE MATERIAL EN LA TOLVA.** Los conglomerados caen en la tolva por gravedad, en donde son retirados del equipo. Los precipitadores actúan mejor que los colectores de polvo del tipo de bolsas para la colección del polvo fino. La caída de presión es menor.

El costo inicial, el de operación y de mantenimiento de un precipitador electrostático son muy elevados, sin embargo, la mayoría de las plantas de cemento los tienen instalados, principalmente en sus hornos para ser utilizados con otro depurador que elimine las partículas grandes.²⁸

Los precipitadores electrostáticos pueden ser diseñados para operar en un intervalo de eficiencia entre 95 y 99.9%. La eficiencia de control es una función de varios factores, de los cuales los más importantes son el área específica de colección (el área de las placas o electrodos de colección dividido entre el flujo volumétrico del gas).

Las características del gas agotado y los parámetros de operación de la planta tales como el flujo del gas, la temperatura, el contenido de humedad, la resistividad de las partículas y la distribución de tamaño de las partículas también afectan la eficiencia de colección. Una mayor área específica disminuye la influencia que estos factores tienen sobre la eficiencia global.

La eficiencia de colección para partículas en precipitadores electrostáticos se rige por la ecuación de Deutsch - Anderson:

$$\eta = 1 - \exp(-wA/V)$$

Donde:

A = Área del electrodo de colección del precipitador, pies².

V = Volumen del gas, pies³/min

w = Velocidad de migración, pies/min

Los precipitadores electrostáticos tienen aplicación en la eliminación de polvos en gases provenientes de calcinadores, hornos de cemento, etc..

²⁸ La industria del cemento y el medio ambiente *Revista IMCYC* Vol. 25 Núm. 200 Enero 1988

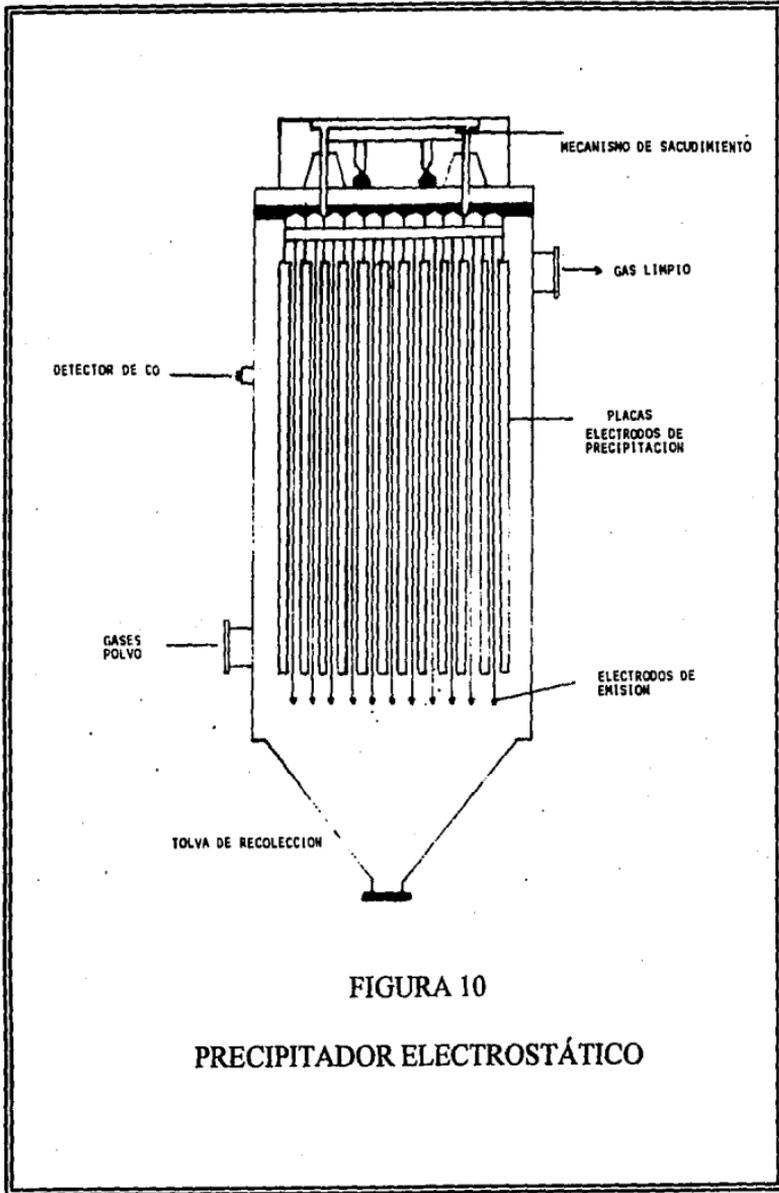


FIGURA 10

PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO

4.5.5 TORRES LAVADORAS (SCRUBBERS)

Las torres lavadores son los equipos más comunes para controlar emisiones inorgánicas. Los lavadores representan una clase de equipos para eliminar polvos y nieblas de gases en los que un líquido, generalmente agua, se agrega o se hace circular para ayudar en el proceso de recolección.

Los mecanismos de que se sirve un líquido para separar la fase dispersa de un gas, son los siguientes:²⁹

1) **CHOQUE.** Cuando un gas cargado de polvo es barrido por gotas de un líquido, las partículas de polvo chocan entre sí favoreciendo su precipitación en virtud de su mayor masa.

2) **DIFUSIÓN.** Las partículas de polvo dispersas entre gotas de líquido en una corriente gaseosa, se depositarán sobre estas últimas por difusión o movimiento browniano.

3) **HUMIDIFICACIÓN.** La humidificación de un gas rociado por un líquido puede alterar las fuerzas electrostáticas superficiales sobre las partículas suspendidas de polvo, haciéndolas flocular. Los flóculos mayores se separan entonces más fácilmente por procedimientos mecánicos.

4) **CONDENSACIÓN.** Cuando se produce condensación del líquido rociado o pulverizado, las partículas de polvo, especialmente las más pequeñas actuarán como núcleos de condensación. Este aumento en el tamaño efectivo de las partículas, simplificará la separación por procedimientos mecánicos. Este mecanismo es factor importante con gases calientes en concentraciones pequeñas (2.3g/m^3).

²⁹ Laguna R. Enrique Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo. Tesis Fac. Química UNAM 1976

5) MOJADURA. Los agentes mojantes pueden servir para evitar el rearrastre de las partículas de polvo, una vez que gotas de líquido han chocado con ellas.

6) DIVISIÓN DEL GAS. Puede realizarse la separación por los desplazamientos de las partículas, debido a la sedimentación por gravedad y al movimiento browniano dentro de la burbuja, actuando el líquido simplemente como una superficie receptora.

7) RECOGIDA DE POLVO. Aparte de los efectos de humidificación, la acción del líquido consiste en barrer la superficie colectora para evitar el rearrastre del polvo ya separado debido al agua, teniendo lugar la recogida o separación real por una acción mecánica.

La selección del tipo de lavador que se va a utilizar depende principalmente de los siguientes factores:

- 1) El tamaño de la partícula de la fase dispersa que se desea separar.
- 2) La eficiencia de recolección buscada.
- 3) La caída de presión permisible.

Existen una gran cantidad de tipos de lavadores siendo los más comunes las torres empacadas y las torres rociadoras o de espray, así como también los lavadores ciclónicos de rocío.

TABLA 15

TAMAÑO MÍNIMO DE PARTÍCULA PARA VARIOS TIPOS DE LAVADORES³⁰

TIPO DE LAVADOR	CAÍDA DE PRESIÓN PULG. H₂O	TAMAÑO MÍNIMO DE PARTÍCULA, μm
Torres rociadoras	0.5 - 1.5	10
Ciclónicos de rocío	2 - 10	2 - 10
De platos	2 - 50	1 - 5
De lecho empacados	2 - 50	1 - 10
De lecho fluidizado	2 - 50	1 - 10
De orificios	5 - 100	1
Venturi	5 - 100	0.8
De lecho fibroso	5 - 25	0.5

³⁰ López R. Isela; Casero G. Jorge. Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales Tes/s Fac. Química UNAM 1991

TORRES ROCIADORAS

Estas torres operan basadas en los principios de la absorción. Los contaminantes en forma de gases o nieblas son transferidos desde la corriente gaseosa hacia el líquido lavador, en tanto que el gas no alcance la condición de equilibrio en la corriente líquida.

En este tipo de lavador se producen gotitas líquidas por medio de boquillas de rocío y se dejan asentar a través de una corriente de gas en ascenso. Las gotitas deben tener tamaños que varíen de 500 a 1000 μm de diámetro.³¹ Esto proporciona una eficiencia de recolección óptima y asegura que la mayoría de las gotitas tendrán una velocidad de sedimentación mayor que la velocidad ascendente de la corriente de gas, la cual es normalmente aproximada a 2 y 4 pies/seg

La instalación y operación de estas torres son relativamente baratas, sin embargo su economía se ve afectada debido a los costos en el manejo de aguas de desecho, los cuales pueden ser altamente variables debido a los factores específicos del lugar.

³¹ López R. Isela, Casero G. Jorge Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales. Tesis.. Fac. Química UNAM 1991

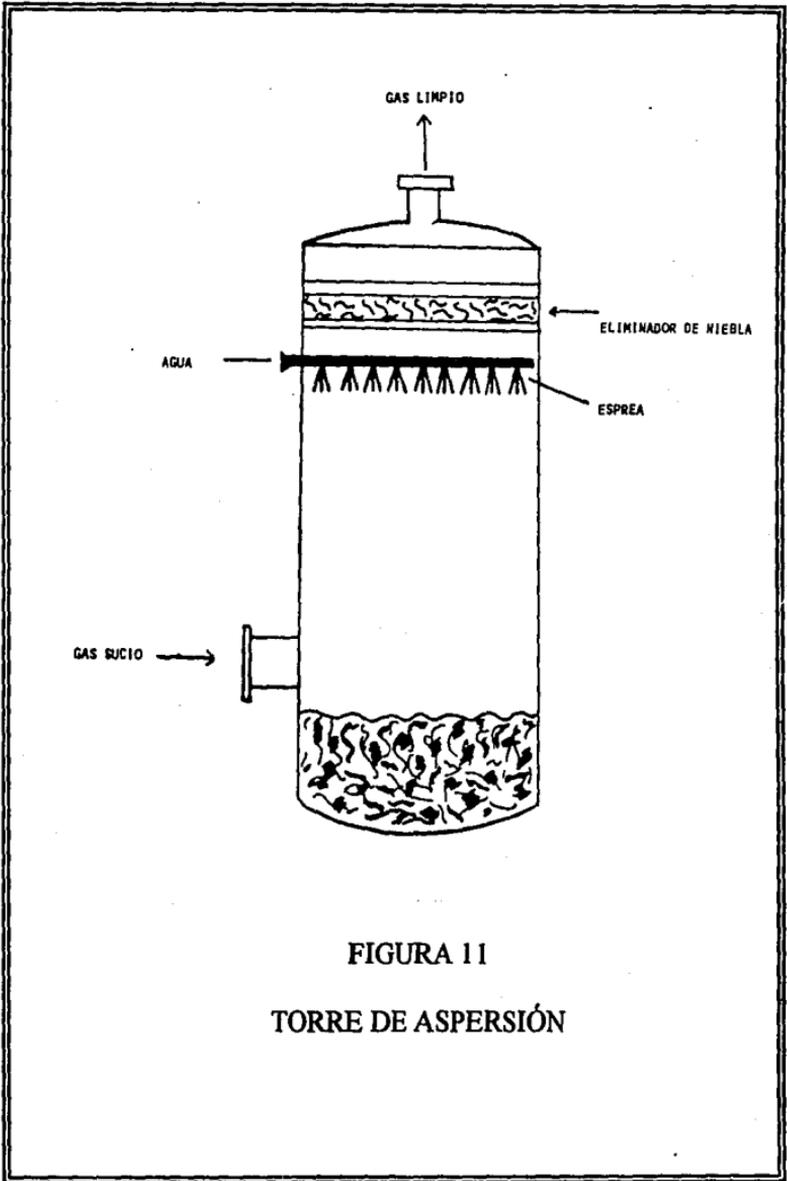


FIGURA 11

TORRE DE ASPERSIÓN

LAVADORES CICLÓNICOS DE ROCÍO

Estos aparatos combinan el lavado con la acción ciclónica, en los cuales la eficiencia de recolección de gotitas de rocío se incrementa aumentando la velocidad relativa entre el gas sucio y las gotitas. Los lavadores ciclónicos de rocío tienen la ventaja de la fuerza centrífuga dentro de una corriente de gas en rotación.³² Un tipo tiene adaptado un pulverizador múltiple vertical central, que contiene toberas para rociar el agua radialmente a la corriente de gas, y están construídas para pulverizarlas en gotitas lo más finas posible. En otros tipos, se obtiene la dispersión del líquido durante su paso por las placas desintegradora.

³² López R. Isela; Casero G. Jorge. Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales. Tesis Fac. Química UNAM 1991

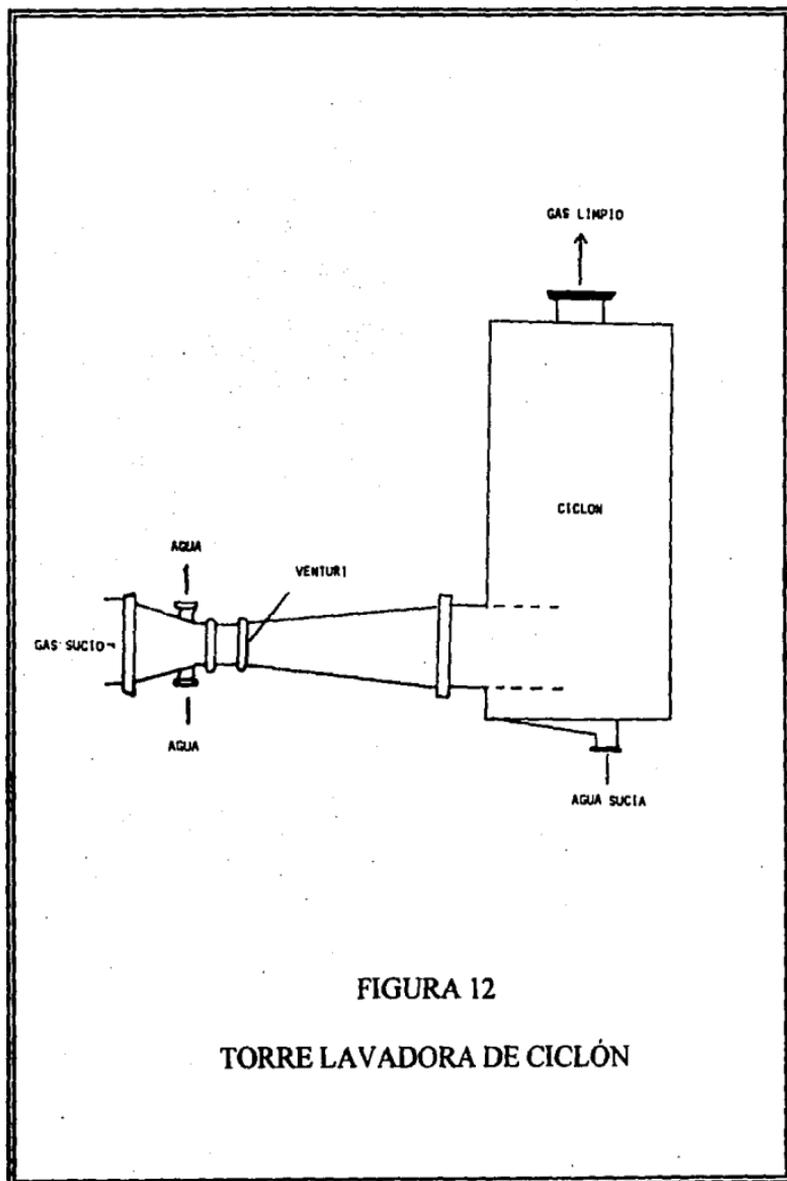


FIGURA 12

TORRE LAVADORA DE CICLÓN

TORRES EMPACADAS

Las torres empacadas se utilizan en general para destilaciones y absorciones, pero casi nunca para la recolección de partículas pues existe la posibilidad de que se produzcan obstrucciones a consecuencia de la acumulación de polvo. Sin embargo,³³ las excepciones incluyen elementos como los lechos de coque y piedras que se utilizan para las nieblas de ácido sulfúrico, los filtros de arena que se utilizan para la eliminación de desechos radiactivos así como algunos lavadores de polvo y neblina.

El mecanismo de recolección predominante es el impacto por inercia del gas y el aerosol con alta velocidad, contra las gotitas atomizadas y la aspersión del líquido. Las torres de lecho empacado tienen incorporado un sistema de distribución de líquido en la parte alta de la torre, el cual fluye sobre un lecho de empaque acomodado o en formas aleatorias.

³³ López R. Isela ; Casero G. Jorge. Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales. Tesis Fac. Química UNAM 1991

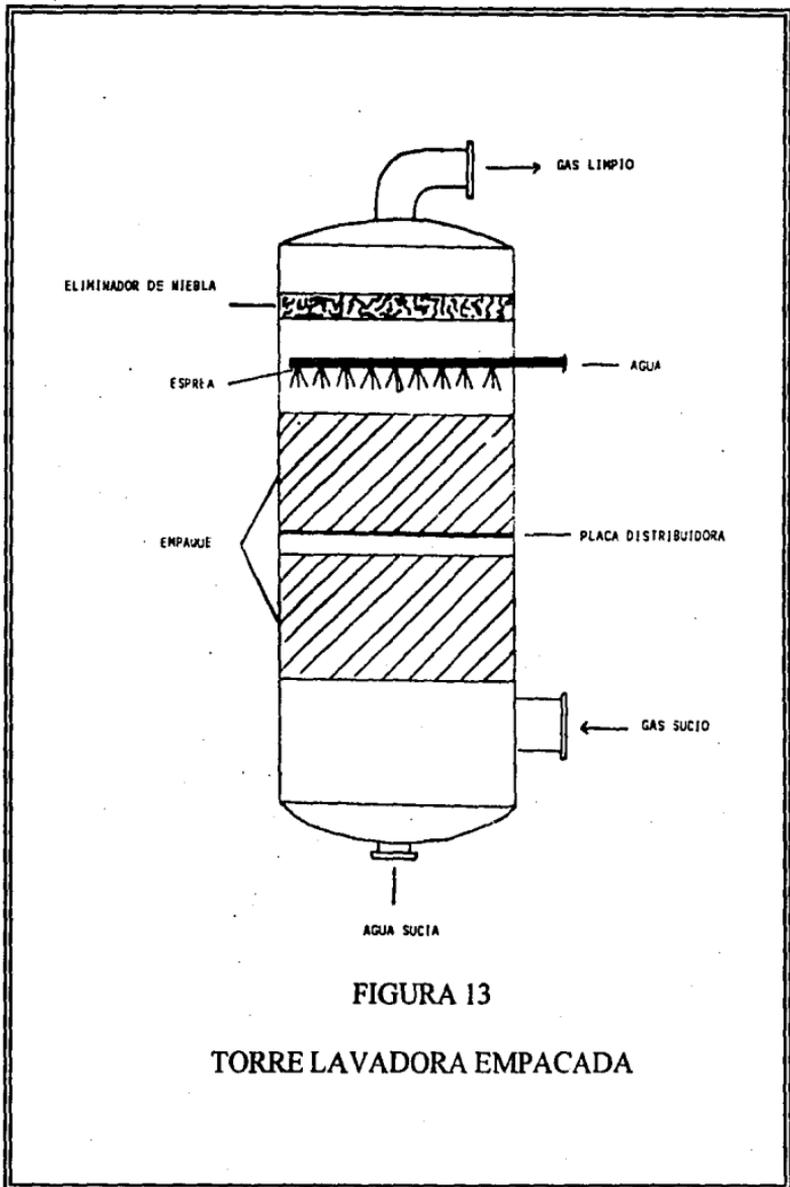


FIGURA 13

TORRE LAVADORA EMPACADA

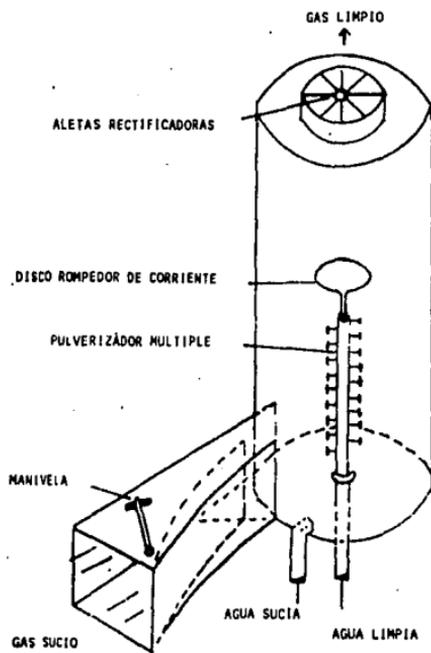


FIGURA 14

TORRE LAVADORA VENTURI

TABLA 16
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS
EQUIPOS DE CONTROL DE EMISIONES

EQUIPO	CONTROLAN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Separadores mecánicos	Partículas de diámetro mediano a grande	Bajos costos iniciales Fácil construcción Fácil de operar	Baja eficiencia No puede remover partículas pequeñas Ocupa grandes espacios
Sistema de filtración	Polvos y hollín	Alta eficiencia de colección de partículas pequeñas Requerimiento de potencia moderados	Altos costos Ocupa grandes espacios Se debe controlar la humedad y temperatura de la corriente de gas
Precipitadores electrostáticos	Todo tamaño de partículas	Alta eficiencia Colección de polvos secos Baja caída de presión Puede coleccionar niebla y ácidos corrosivos	Frecuentemente requiere prelimpiadores Ocupa grandes espacios No puede coleccionar algunos materiales con resistividad alta / baja Altos costos iniciales
Lavadores	Gases húmedos (Alta temperatura)	Caída de presión constante Eliminación de los problemas de remoción de polvo Diseños compactos	Se requiere gran cantidad de agua

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CEMENTO

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

La industria del cemento, al igual que toda la industria del país, está regida en cuestión ambiental por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, además a las plantas cementeras se les aplica la norma oficial mexicana NOM - PA - CCAT - 002/93.

La SEDESOL es la responsable de la aplicación y el acatamiento de la Ley, los reglamentos y vigilar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas que aplican a esta industria. Para esto, SEDESOL o a través de intermediarios, realiza auditorías ambientales cada año además de solicitar inventario de emisiones de polvos o reporte anual de emisiones, licencia de funcionamiento así como la cédula de operación actualizada.

La norma oficial mexicana NOM - PA - CCAT - 002/93, establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas originadas por las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.

Ya que la principal emisión a la atmósfera en la industria cementera son las partículas sólidas, esta industria también está regida por el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de prevención y control de contaminación a la atmósfera (Capítulo I al V).

El proceso para la fabricación de cemento se inicia con la explotación de las canteras de materias primas (arcilla y caliza), su extracción y acarreo a la fábrica donde se somete a las siguientes etapas: trituración, prehomogenización, molienda y secado, calcinación y producción de clinker, mezclado, molienda de cemento, almacenamiento y finalmente empaque y distribución.

Las plantas de cemento emiten bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre pero principalmente partículas. El principal origen de polvo en las plantas cementeras es el horno, aunque también en molienda, almacenamiento de materiales crudos, pulverizado y mezclado y empaque.

En el horno, el carbón, el petróleo, el gas, el combustible o una combinación de éstos, se queman para generar las altas temperaturas que se necesitan para producir el clínker de cemento.

Durante este proceso, las emisiones consisten principalmente en nitrógeno, bióxido de carbono, que se produce a partir de la combustión de los combustibles y la calcinación de la caliza, vapor de agua y partículas provenientes de las materias primas, además de una gran variedad de componentes menores que se producen en la mayoría de los procesos de combustión. Una de las principales diferencias entre un horno para cemento y otros procesos de combustión se encuentra en la fuente del bióxido de carbono. En otros procesos, el bióxido de carbono emana principalmente de la quema del combustible. En el horno de cemento, aproximadamente el 50% del bióxido de carbono proviene de la combustión del combustible y el restante 50% de la descarbonatación de la caliza. Esta característica única impone ciertos límites a la reducción de carbono que se puede lograr en el proceso de fabricación del cemento. Las emisiones de óxido de nitrógeno y de azufre se encuentran generalmente por debajo de los límites y, dados los futuros logros en el ahorro de energía, se reducirán aún más. En el caso de una planta de cemento, lo que provoca la emisión de partículas es la parte fina de las materias primas ya molidas al alimentarse en el horno así como el polvo fugitivo.

Algunas posibles soluciones para disminuir el bióxido de carbono son:

- Mejorar la eficiencia energética a fin de reducir los productos de la combustión.
- Quemar desechos orgánicos como sustituto parcial de combustibles. Esto sigue generando CO_2 como producto del proceso de combustión, lo que significaría una reducción neta si estos mismos desechos se trataran en incineradores comerciales.
- Usar desechos de cal como sustitutos parciales para la caliza en los alimentadores de materias primas, a fin de disminuir la generación de CO_2 a partir de la calcinación del carbonato de calcio o disminución a partir de la combustión de combustibles fósiles, reduciendo el consumo de energía.

-Usar materiales cementantes suplementarios - cenizas volantes, escorias etc. - que se usan generalmente como sustitutos parciales para el cemento en el concreto.

Respecto a las emisiones de óxido de nitrógeno se podrían reducir del siguiente modo:

- Mejorar la eficiencia energética.
- Instalar quemadores de bajo NO_2 en los hornos.

-Introducir amoniaco al horno a fin de convertir el NO_2 en agua y nitrógeno. Este concepto se encuentra aún en revisión.

-Usar combustibles alternos. Se prefiere el carbón porque provoca menos emisiones de NO_2 que el gas.

Cualquier reducción en la emisión de dióxido de azufre requeriría, casi como única opción:

-Cambiar a combustibles con menor contenido de azufre o quemar combustibles de desecho para alimentar parte de los hornos.

A fin de reducir la cantidad de partículas podemos mencionar:

- Uso de equipos colectores de polvo.
- Prácticas de manejo y mantenimiento.
- Instalación de cortinas para el viento.
- Cubiertas para los montones de materiales.
- Construcción de almacenes interiores para el clinker.

La importancia en la reducción y captación de las partículas se debe a dos fines principalmente: a) económico, pues el polvo recuperado se recicla y entra en el producto terminado; y b) ecológico puesto que las partículas representan una fuente importante de contaminación ambiental.

Los equipos colectores más comunes en las plantas de cemento son los filtros de bolsas (tales como "pull jet" de alta eficiencia), los precipitadores electrostáticos (altos volúmenes de filtración) y filtros de cama de gravas (uno de los más económicos). En la planta de Barrientos de Anáhuac, por ejemplo, existen 67 equipos colectores que recolectan 1,279,660 m³/Hr.

En la industria del cemento se lleva a cabo un mantenimiento preventivo cada 15 días máximo (sobre todo a los equipos que utilizan energía eléctrica como motores de molinos, bandas transportadoras de material, o equipos de limpieza de tubos de emisiones) y un mantenimiento general y exhaustivo cada 2 años que no provoca paros en la planta.

La industria del cemento también realiza muestreos de agua y lleva control de residuos peligrosos que genera (principalmente de cambios de aceites y grasas)

Un aporte de la industria del cemento en la preservación del ambiente es la característica que tienen los hornos de poder aceptar como combustibles muchos subproductos que tienen energía térmica, entre los cuales podemos citar: aceites y solventes usados, residuos municipales, llantas, plásticos, residuos hospitalarios, aserrín y viruta de madera, residuos de coco, subproductos de la industria química, cáscara de arroz, etc.. Su utilización en estos hornos reduciría el enorme consumo de combustibles fósiles no renovables y además daría una disposición final a estos subproductos que de otra manera deberían ser depositados en enterramientos sanitarios o tratados en incineradores.

Actualmente, varias de las plantas productoras de cemento en el país utilizan combustibles alternos tales como llantas viejas y bandas de hule. Y en particular, Cementos Apasco tiene un sistema que permite utilizar en los hornos aceites automotrices, solventes de desecho y otros materiales altamente contaminantes como si fuesen combustibles. Las ventajas que aporta el hecho de utilizar combustibles alternos son básicamente cuatro: a) reducción del consumo de combustibles fósiles no renovables, b) reducción en el costo de fabricación del cemento, c) destrucción completa de las fracciones orgánicas que conforman los desechos, lo cual se asegura mediante la alta temperatura y los largos tiempos de permanencia que se requieren para hacer el clínker de cemento.

Los metales y otros componentes inorgánicos se incorporan como parte del producto y, por último d) se logra una contribución al manejo adecuado de los desechos combustibles, los cuales se convierten en un riesgo ambiental si se almacenan indefinidamente.

No hay cambios importantes en las emisiones de los hornos de cemento cuando se usan combustibles de desechos. Cuando los desechos se queman en un incinerador convencional, las emisiones del incinerador se añaden a la atmósfera. Cuando éstos se queman en un horno de cemento, las emisiones resultantes reemplazan aquellas emitidas por los combustibles fósiles al quemarse.

Casi el 88% de la energía que se utiliza para la fabricación del cemento es a través de combustible para los hornos.

El resto es energía eléctrica, misma que se requiere para que los motores muevan los molinos, hagan girar los hornos, transporten los materiales manejar los ventiladores y para los equipos que limpian los tubos de emisiones principalmente.

En cuanto a eficiencia energética la conversión de las plantas que usan el proceso húmedo al proceso seco es la oportunidad más clara para la conservación de energía, sin embargo esta oportunidad se agota cada vez más rápido pues la gran mayoría de las plantas de cemento utilizan el proceso seco. Los hornos de precalentador / precalcinador ofrecen una mayor eficiencia energética. Un precalentador transfiere el calor de los gases de emisión de un horno seco a las materias primas.

Es así como la industria del cemento nacional contribuye a preservar un ambiente limpio proponiendo las mejores alternativas de depuración de contaminantes.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) La industria del cemento es una de las industrias a nivel nacional mas fuertes en la actualidad, y uno de los pocos sectores que refleja el desarrollo de la economía nacional.

2) La industria del cemento presentó un aumento del 8% en lo que va del año según datos de la Cámara Nacional de la Industria del Cemento y por otro lado según estudios recientes presentará un crecimiento anual promedio de entre 7 y 10 % en los próximos años.

3) El principal motivo que ha permitido la reactivación de la industria es el positivo desarrollo de la economía mexicana lo que se traduce en un aumento de obras de vivienda e infraestructura, lo que implica una mayor necesidad y demanda de materiales para construcción.

4) El objetivo de las empresas cementeras del país es cubrir la demanda interna, y mantener un buen margen de exportaciones a los principales mercados, en especial Estados Unidos, donde la reducción de aranceles - vía el acuerdo de libre comercio - , ofrecerá a México mayores oportunidades de ventas a esa nación.

5) Uno de los problemas que la industria del cemento enfrentaba, al menos en el mercado mundial, era la acusación de precios bajos. Basta recordar que Cementos Mexicanos fue acusado en agosto de 1990 en Estados Unidos por ventas a precios *dumping*. En aquel entonces México era uno de los países en el mundo donde existía uno de los precios más bajos, ya que mientras en Japón la tonelada costaba el equivalente a 90 dólares, en España 80, en Canadá 70 y en Corea 60 dólares, en nuestro país el costo del cemento era en promedio de 53 dólares.

Aunque años después el Acuerdo General de Aranceles y Tarifas y las autoridades estadounidenses declararon nula la medida del arancel a las exportaciones cementeras de México, en aquel momento le afectó en un 50 % de sus exportaciones a dicho país, que eran del orden de 3.6 millones de toneladas .

6) De 1991 a la fecha la industria cementera del país ajustó el precio del cemento hasta ubicarlo en un intervalo competitivo con las grandes firmas extranjeras como Holderbank, Lafarge y Blue Circle. Así, en 1993 el precio promedio fue de 84 dólares por tonelada, que se compara favorablemente con los 77 dólares de 1992.

7) La industria del cemento, a pesar ser una de las más presionadas a nivel social en cuanto a problemas de impacto ecológico, es y ha sido también una de las más interesadas en mantener niveles de emisión correspondientes a los establecidos en las normas oficiales, así como en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

8) La industria del cemento emite bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, pero su principal emisión son las partículas. Para reducir su emisión la industria cementera cuenta con equipos especiales de control ambiental tales como: cámaras de sedimentación, separadores de ciclón, colectores de tela o precipitadores electrostáticos.

9) Las cámaras de sedimentación son los equipos más sencillos para control de partículas además de ser los más económicos pero también son los menos eficientes y por esta razón generalmente se encuentran instalados delante de colectores de polvo de alta eficiencia. El modo de operar de estas cámaras se basa en el principio de la disminución de la velocidad en el caudal gaseoso, lo que da lugar al asentamiento de las partículas por acción de la gravedad.

10) Los ciclones son equipos metálicos consistentes de dos partes: una cilíndrica y otra cónica. El gas entra tangencialmente por la parte alta del cuerpo cilíndrico y se mueve en espiral hacia abajo, casi hasta la parte inferior del cono, desde aquí empieza a ocupar el espacio interno del ciclón, en donde se mueve hacia arriba y también en espiral. Debido a la fuerza centrífuga las partículas suspendidas en el gas se depositan en la pared del ciclón y finalmente se desplazan hacia abajo.

11) Los colectores de tela son equipos que constan de una o más cámaras metálicas que alojan en su interior una serie de bolsas tubulares suspendidas verticalmente. Los gases o aire sucio, pasan a través de un medio poroso (bolsas) y depositan partículas en sus huecos.

Cuando éstos se han llenado, comienza a formarse una capa de material, la cual es removida por medio de inyección de aire comprimido a cada una de las cámaras. Los colectores de tela tienen una alta eficiencia alcanzando valores de hasta 99.9 %.

Están instalados en la trituración y transporte de materias primas, transporte y homogenización, enfriadores de clínker, transporte y molienda de clínker, y transporte, almacenamiento y envasado de cemento.

12) El principio de sedimentación de partículas sólidas con filtros electrostáticos se basa en aprovechar el efecto de ionización de los gases en un campo eléctrico intenso, formado entre los electrodos emisores (negativos) y los electrodos de precipitación (positivos). Bajo la influencia de la intensidad del campo, los iones negativos se desplazan hacia los electrodos positivos conectados a tierra. Los iones negativos ceden su carga a las partículas sólidas y estas se desplazan hacia el electrodo positivo. Ahí se depositan y quedan neutralizadas. Las partículas acumuladas sobre los electrodos caen en una cámara colectora logrando una eficiencia de recolección del 99.9 %. Por las características del proceso, este tipo de colectores se tienen instalados en los procesos de molienda de materias primas y hornos de calcinación.

13) Los equipos en operación para el control ambiental que tiene la planta de Barrientos de Cementos Anáhuac suman un total de 67: 56 filtros de bolsas, 9 precipitadores electrostáticos y 2 filtros de cama de grava divididos en las áreas de molino de materias primas, transporte de crudo, calcinación, transporte de clínker, molinos de acabado y finalmente envase de cemento. Además se cuenta con un equipo "Altech" de Monitoreo Continuo de Emisiones.

14) De no contar con estos equipos anticontaminantes se arrojarían a la atmósfera aproximadamente 1,000 Ton. crudo / día que equivalen a 599 Ton. clínker y esto representa en promedio el 8 % de la producción total de clínker en una planta.

15) Las siguientes son propuestas para la reducción de bióxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas.

16) Algunas posibles soluciones para disminuir el bióxido de carbono recomendables son:

-Mejorar la eficiencia energética a fin de reducir los productos de la combustión.

-Quemar desechos orgánicos como sustituto parcial de combustibles. Esto sigue generando CO₂ como producto del proceso de combustión, lo que significaría una reducción neta si estos mismos desechos se trataran en incineradores comerciales.

-Usar desechos de cal como sustitutos parciales para la caliza en los alimentadores de materias primas, a fin de disminuir la generación de CO₂ a partir de la calcinación del carbonato de calcio o disminución a partir de la combustión de combustibles fósiles, reduciendo el consumo de energía.

-Usar materiales cementantes suplementarios - cenizas volantes, escorias etc. - que se usan generalmente como sustitutos parciales para el cemento en el concreto.

17) Respecto a las emisiones de óxido de nitrógeno se recomienda reducir del siguiente modo:

-Mejorar la eficiencia energética.

-Instalar quemadores de bajo NO₂ en los hornos.

-Introducir amoníaco al horno a fin de convertir el NO₂ en agua y nitrógeno. Este concepto se encuentra aún en revisión.

-Usar combustibles alternos. Se prefiere el carbón porque provoca menos emisiones de NO₂ que el gas.

18) Cualquier reducción en la emisión de dióxido de azufre requeriría, casi como única opción:

-Cambiar a combustibles con menor contenido de azufre o quemar combustibles de desecho para alimentar parte de los hornos.

19) A fin de reducir la cantidad de partículas podemos mencionar:

-Uso de equipos colectores de polvo.

-Prácticas de manejo y mantenimiento.

-Instalación de cortinas para el viento.

-Cubiertas para los montones de materiales.

-Construcción de almacenes interiores para el clínker.

20) La importancia en la reducción y captación de las partículas se debe a dos fines principalmente: a) económico, pues el polvo recuperado se recircula y entra en el producto terminado; y b) ecológico puesto que las partículas representan una fuente importante de contaminación ambiental.

21) De los cinco grupos corporativos que integran a la industria del cemento, el principal que es CEMEX, tiene instalados 838 sistemas de mejoramiento ambiental y monitoreo en sus 17 plantas ubicadas en México y cumple escrupulosamente las leyes relativas al equilibrio ecológico.

22) En 1992, para asegurar que los niveles de emisión se mantuvieran dentro de la norma, se instalaron equipos de monitoreo continuo de emisiones en cuatro plantas del grupo CEMEX, con una inversión de 2 millones de dólares.

Igualmente, se puso en servicio una unidad móvil de monitoreo para recabar datos en las plantas donde aún no hay unidades fijas.

23) Adicionalmente CEMEX, así como otros grupos cementeros, participa de modo activo en diversos programas relacionados con la protección ambiental, como reforestación, reproducción de fauna silvestre y otros de beneficio común por los cuales ha recibido alentadores reconocimientos.

El programa de inversión 1992-1994 de CEMEX tiene contemplado aproximadamente 100 millones de dólares en equipo de protección ambiental, con lo que ubica a este grupo entre las empresas que más agresivamente promueven el respeto ecológico al entorno en que se desarrolla.

24) La industria del cemento nacional, preocupada por la preservación del ambiente, ha empezado a utilizar combustibles alternos tales como llantas viejas y bandas de hule, con lo que se reduce el consumo de combustibles fósiles no renovables y se le da un uso final a estos materiales.

Es de esta manera como se demuestra que la industria del cemento, a pesar de tener fama de contaminante, es una de las industrias a nivel tanto nacional como internacional que más se ha preocupado por conservar la armonía con su entorno ecológico, ya sea instalando equipos anticontaminantes, promoviendo proyectos a favor de la ecología o proponiendo nuevos sistemas de calcinación en sus hornos utilizando la tecnología más avanzada.

ANEXO

LEGISLACIÓN AMBIENTAL

SUBÍNDICE**ANEXO**

	Pág.
LEGISLACIÓN AMBIENTAL	102
A.1 Legislación ambiental mexicana	104
A.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	106
A.3 Tratamiento como una rama industrial por SEDESOL	111
A.4 Reglamentación a nivel internacional sobre contaminación ambiental	117
A.5 Norma Oficial Mexicana referente a contaminación ambiental por la industria del cemento	118

A.1 LEGISLACIÓN AMBIENTAL MEXICANA

Con las reformas realizadas a los artículos 27 y 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, las cuales fueron aprobadas en 1987, se elevaron a rango constitucional la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico.³⁴

El régimen legal ambiental mexicano fue establecido en 1988 a través de la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en vigor desde el 1º de Marzo de 1988.

Los aspectos generales de la Ley son en general una copia de la legislación ambiental de Estados Unidos. La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) es la responsable de la aplicación y el acatamiento de la Ley , los Reglamentos y vigilar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Técnicas Ecológicas (NTE) que expide en todo el país a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) ; así como formular y conducir la política general de ecología por medio del Instituto Nacional de Ecología (INE)

Sin embargo, no obstante los organismos creados recientemente, las empresas mexicanas se enfrentan a los obstáculos de una ley poco clara y a la injerencia de ocho secretarías de Estado para la resolución de problemas ecológicos.

La SEDESOL tiene jurisdicción exclusiva en el área de los desperdicios tóxicos, y jurisdicción concurrente con otras Secretarías (como la de Comercio y Fomento Industrial, Energía, Minas e Industria Paraestatal, Trabajo, Hacienda, Salud, Agricultura y Recursos Hidráulicos, Minería, Gobernación) y con los Gobiernos Estatales y Municipales.

³⁴ Elizondo A. Gabriela. Estudio del problema de la contaminación en México. El caso de una industria textil contaminante. Tesis. Fac. Química UNAM 1993

Los organismos del sector público deben participar con SEDESOL para lograr el cumplimiento de la Ley y de las normas, las metas y estrategia de los planes y programas, así como para formular y conducir las diferentes políticas ambientales; para lo anterior se ha creado la Comisión Nacional de Ecología que es un órgano permanente de coordinación intersecretarial cuya función principal es analizar los problemas ambientales, identificar las prioridades y proponer programas y acciones ecológicas.³⁵

La Ley es comprensiva en su alcance, aplicable a todos los medios y establece la política ambiental para el país. Los Reglamentos complementan y amplían la Ley en los medios respectivos y las NTE, ahora NOM, proporcionan las normas con base a las cuales se determina el cumplimiento.

En términos de jerarquía legal la Ley tiene alcance federal cuando no hay reglamentaciones estatales y municipales aplicable a toda operación contaminante. Por otra parte, la autoridades federales están autorizadas para aplicar y poner en vigor las reglamentaciones pertinentes.

La intención de la Legislación Ambiental Mexicana es semejante a la de su contraparte estadounidense, ya que contempla un sistema descentralizado en el cual las autoridades locales asumen la responsabilidad del acatamiento de las disposiciones con respecto al medio ambiente.

La Ley considera agua, aire y residuos como entidades separadas y pone especial énfasis al capítulo de residuos peligrosos.

³⁵ Elizondo A. Gabriela Estudio del problema de la contaminación en México : el caso de una industria textil contaminante. Tesis Fac. Química UNAM 1993

A.2 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente es la base de la legislación ambiental mexicana desde su promulgación en 1988. Consta de 194 artículos contenidos en 6 títulos y 4 artículos transitorios.

Esta ley define los principios de la política ecológica mexicana, regula los instrumentos para su aplicación y además prevé un proceso de descentralización en la toma de decisiones concernientes al manejo del ambiente en el país.

SEDESOL es la dependencia gubernamental que vigila el cumplimiento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente como se menciona en el capítulo III del título primero de la Ley ; es al mismo tiempo, la que se encarga de realizar, coordinar, formular y desarrollar las acciones, estudios, programas y normas que sean pertinentes para cumplir con los objetivos ecológicos del país con la participación de las dependencias y entidades de la administración pública federal.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente pretende lograr un mejor equilibrio ecológico, prevenir los impactos adversos de las actividades económicas y aprovechar en forma racional los recursos naturales de que dispone el país.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente está estructurada en seis títulos, el primero destinado a establecer las disposiciones generales, el segundo regula las áreas naturales protegidas, el tercero se refiere al aprovechamiento racional de los elementos naturales, el cuarto a la protección al ambiente, el quinto a la participación social y el sexto a las medidas de control, seguridad y sanciones.

En el Título Primero se establece el carácter reglamentario de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente respecto a las disposiciones constitucionales en la materia, se definen los conceptos fundamentales tales como el de equilibrio ecológico.

También define el sistema de concurrencia entre los tres niveles de gobierno para los propósitos de la Ley, de igual manera se definen las atribuciones de SEDESOL y la coordinación de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal en la materia. Así mismo, se definen los principios de la política ecológica así como instrumentos específicos para su ejecución.

El Título Segundo señala que las áreas naturales del territorio nacional podrá ser materia de protección como reservas ecológicas. En este Título se establecen los propósitos de las áreas naturales protegidas y el principio de la participación de las comunidades en su establecimiento, conservación, administración, desarrollo y vigilancia, así como las normas que las regulan.

El Título Tercero comprende las regulaciones sobre el aprovechamiento racional de los elementos naturales, siguiendo el contenido de los conceptos que define la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En este Título se integra agua, suelo y recursos; su aprovechamiento racional así como las normas para prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación y exploración de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico.

El Título Cuarto se refiere a la protección al ambiente, en él se consideran la prevención y control de la contaminación de la atmósfera, agua y ecosistemas acuáticos y suelo. Se contemplan las actividades consideradas como riesgosas; así como energía nuclear. Y finalmente ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y olores.

El Título Quinto tiene como propósito establecer una participación permanente de la sociedad en las acciones ecológicas.

En el Título Sexto se establece que en los actos de inspección, vigilancia, ejecución de medidas de seguridad, imposición de sanciones, procedimientos y recursos administrativos se estará dispuesto a esta ley, cuando se trate de asuntos de jurisdicción federal regulados por el propio ordenamiento, salvo en el caso de que otras leyes regulen dichas cuestiones en forma específica, en relación con las materias de que trata este ordenamiento.

TABLA 17

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE

TÍTULO I	DISPOSICIONES GENERALES
Capítulo I	Normas preliminares
Capítulo II	Concurrencia entre la Federación, las Entidades Federativas y los Municipios
Capítulo III	Atribuciones de la Secretaría y coordinación entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal
Capítulo IV	Política Ecológica
Capítulo V	Instrumentos de la Política Ecológica

TÍTULO II	ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS
Capítulo I	Categorías, declaratorias y ordenamientos de áreas naturales protegidas
Capítulo II	Sistema Nacional de áreas naturales protegidas
Capítulo III	Flora y Fauna Silvestres y Acuáticas

TÍTULO III	APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS ELEMENTOS NATURALES
Capítulo I	Aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos
Capítulo II	Aprovechamiento racional del suelo y sus recursos
Capítulo III	Efectos de la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico

TÍTULO IV	PROTECCIÓN AL AMBIENTE
Capítulo I	Prevención y control de la contaminación de la atmósfera
Capítulo II	Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos
Capítulo III	Prevención y control de la contaminación del suelo
Capítulo IV	Actividades consideradas como riesgosas
Capítulo V	Materiales y residuos peligrosos
Capítulo VI	Energía nuclear
Capítulo VII	Ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual

TÍTULO V	PARTICIPACIÓN SOCIAL
Capítulo único	

TÍTULO VI	MEDIDAS DE CONTROL Y DE SEGURIDAD Y SANCIONES
Capítulo I	Observancia de la Ley
Capítulo II	Inspección y vigilancia
Capítulo III	Medidas de seguridad
Capítulo IV	Sanciones administrativas
Capítulo V	Recursos de inconformidad
Capítulo VI	De los delitos del Orden Federal
Capítulo VII	Denuncia popular

TABLA 18

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO
Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE

REGLAMENTOS
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de impacto ambiental. (Capítulo I al VII)
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al prevención y control de la contaminación generada por los vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y los municipios de su zona conurbada. (Capítulo I al IV)
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de residuos peligrosos. (Capítulo I al V)
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera (Capítulo I al V)
Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. (Capítulo I al IX)
Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido. (Capítulo I al IX)
Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias. (Capítulo I al VI)
Reglamento Interior de la Secretaría de Desarrollo Social. (Capítulo I al X)

A.3 TRATAMIENTO COMO UNA RAMA INDUSTRIAL POR SEDESOL

El tratamiento que normalmente se aplica a las distintas industrias es heterogéneo, incluso como medida preventiva en cuanto a su posible impacto ambiental; ello se debe tanto a los distintos niveles tecnológicos, grados de complejidad, volúmenes, etc. que pueden tomarse en cuenta para ubicarlas, como a la dificultad que significa conceptualizarlas y clasificarlas.³⁶

Los efectos de ciertas plantas productivas, aún contando con tecnologías adecuadas para el proceso industrial de que se trate, pueden depender en cuanto a su ubicación y hasta existencia, de otros elementos inherentes a la planta en cuestión, como pudiera ser transporte, consumo de agua, cantidad y calidad de ciertas materias primas, etc..

Al sector industrial en general, y básicamente a las industria medianas y grandes, se les demanda el cumplimiento de las requisiciones planteadas por SEDESOL como parte de su labor de ordenamiento, prevención y control ecológicos. Así, con base en la normatividad existente en la SEDESOL y en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, actualmente se le puede exigir a toda empresa industrial lo siguiente:

A) Licencias de funcionamiento.

-Tener licencias de funcionamiento o solicitud sellada en SEDESOL , disponible en cualquier momento, y señalando todos los procesos existentes en la planta.

-Tener licencia de uso de suelo.

-Contar con Registro Federal de Contribuyentes.

-Poseer autorización de recipientes a presión.

-Contar con un programa de contingencias.

-Presentar cédula de operación o reporte anual a SEDESOL actualizado.

³⁶ Dirección General de Normatividad Y Regulación Ecológica Criterios Normativos para el Ordenamiento Ecológico. SEDESOL. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM 1991

B) Reglamento atmosférico

- Contar con equipos de control de contaminación para que las emisiones entren dentro de las normas.
- Integrar el inventario de emisiones, de acuerdo con la encuesta industrial.
- Instalar plataformas y puertos de muestreo en todas las chimeneas y medir las emisiones en cada una de ellas.
- Efectuar muestreos perimetrales.
- Llevar bitácoras de mantenimiento de equipos de proceso y anticontaminantes.
- Cumplir con los avisos anticipados e inmediatos de paro y arranque de procesos que puedan causar contaminación.
- Dar aviso de inmediato, en caso de paro o falla de equipo o sistema anticontaminante.
- Canalizar todas las emisiones contaminantes a través de chimeneas (se prohíben emisiones fugitivas), a menos que técnicamente no sea posible, en cuyo caso se deberá contar , por escrito, con los argumentos técnicos que expliquen esta situación. En los casos en los que se carezca de justificación, se deberá elaborar un programa de solución.

C) Reglamento de aguas

- Contar con la documentación que avale los siguientes aspectos:
 - *Registro de descarga.
 - *Permiso de descarga.
 - *Reportes mensuales de análisis de aguas residuales.
- Para los que no tengan condiciones particulares, cumplir con los parámetros básicos que marca el reglamento.

D) Reglamento de residuos peligrosos

- Tener disponibles reportes de análisis que muestren cuáles residuos son peligrosos y cuales no lo son, de acuerdo al listado de residuos peligrosos mostrados en la NOM de residuos peligrosos.

-Para el caso de que uno o más residuos sean peligrosos, tener en orden los siguientes manifiestos:

- *Registro ante SEDESOL.
- *Envasado y almacenado adecuados.
- *Autorización para entrega, transporte y disposición final.
- *Reporte semestral.

E) Registro Mensual de generación de desperdicios tóxicos

F) Itinerarios ecológicos para la importación y la exportación de materiales y desechos tóxicos.

G) Reporte semestral de desperdicios tóxicos enviados a reciclaje, tratamiento o desecho final.

H) Manifiesto para casos de derrame por accidente de residuos peligrosos.

I) Manifiesto de entrega, transporte y recepción de desperdicios tóxicos.

Las manifestaciones y reportes anteriores requieren que la compañía proporcione información detallada sobre la composición química, los volúmenes, el almacenamiento, la colección, el transporte y el destino definitivo de los desperdicios tóxicos generados.

J) Declaraciones sobre el impacto ambiental.

En el caso de operaciones nuevas potencialmente contaminantes, el Reglamento relacionado con el Impacto Ambiental requiere que, antes de iniciarse las operaciones debe llenarse ante SEDESOL un Reporte del Impacto Ambiental (RIA).

Si una compañía considerase que sus operaciones no serán contaminantes, debe, no obstante hacer una manifestación preventiva.

INSPECCIONES Y VIGILANCIA

La SEDESOL, los estados y los municipios pueden efectuar inspecciones a las compañías, con el objeto de verificar su cumplimiento. Los inspectores deben mostrar al personal de las compañías sus credenciales oficiales, la orden escrita de la inspección estableciendo la causa, el área, el objeto y el alcance de la inspección. El inspector debe luego nombrar a dos testigos, que habrán de firmar el reporte final de la inspección.

Las compañías cuentan con un plazo de 10 días a partir de la recepción del aviso de la autoridad correspondiente para enviar una respuesta a los descubrimientos hechos por el inspector, de ser el caso. Luego, dentro de los siguientes 30 días después de la audiencia administrativa, la autoridad deberá rendir su fallo, el cual contendrá medidas correctivas que deben llevarse a cabo, el tiempo que se da para ello, y en el caso de haber sanciones, cuáles deben imponerse.

En un plazo de 5 días hábiles después de la expiración del término señalado en la decisión administrativa, la compañía debe hacer saber a la autoridad sobre su cumplimiento respecto a los términos de la decisión. Si la siguiente inspección demuestra que no se ha cumplido con lo estipulado, se impondrán las sanciones aplicables.

APELACIÓN ADMINISTRATIVA

Las plantas podrán apelar de la decisión administrativa dentro del periodo correspondiente a los siguientes 15 días hábiles, contados a partir de la fecha de notificación de la decisión.

Dicha apelación deberá contener, entre otros puntos, una denuncia de los daños resultantes de la decisión, evidencia polemística, y una solicitud de reversión de la decisión. El fallo sobre la apelación deberá darse dentro de los 15 días siguientes a la fecha en que fue recibida la misma, por parte de la autoridad. El fallo deberá afirmar, modificar o denegar la decisión de apelación.

La Ley también establece un procedimiento mediante el cual los particulares pueden presentar quejas ante la SEDESOL en contra de instalaciones supuestamente contaminantes. La SEDESOL debe, dentro de los 30 días siguientes al recibo de la queja, investigar a la compañía y rendir un fallo por cuanto al cumplimiento del reglamento, y en su caso, imponer las medidas correctivas.

SANCIONES POR INCUMPLIMIENTO

La Ley y los Reglamentos establecen fuertes sanciones administrativas y federales cuando haya incumplimiento de lo dispuesto en las mismas.

Si al término del periodo fijado en la decisión final de la autoridad para remediar las violaciones, la compañía no ha cumplido con lo dispuesto, se impondrán multas por cada día subsecuente de incumplimiento.

Las sanciones adicionales incluyen multas equivalentes a 20 y hasta 20,000 veces el salario mínimo vigente en el Distrito Federal, cierre temporal o permanente de la instalación, y arresto administrativo hasta por 36 horas. Por otra parte, en caso de violaciones extremas, la autoridad competente puede pedir a la autoridad gubernamental correspondiente, que suspenda, revoque o cancele toda autorización concedida a la empresa.

En la imposición de las sanciones deberán considerarse la gravedad de la violación, la condición financiera de la compañía, y la reincidencia, en el caso de haberla.

La SEDESOL, en forma unilateral y a través de autoridades federales o estatales competentes, puede solicitar a la limitación o suspensión de cualquier actividad que origine o pueda dar lugar a desequilibrios ambientales dentro de la zona.

A.4 REGLAMENTACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL SOBRE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

En términos generales se puede decir que existen tres tipos de reglamentación:

1.- **Estadounidense**- Es bastante completa y es revisada periódicamente. La mayor parte de los países occidentales que carecen de una reglamentación propia la adoptan para su legislación con ciertas modificaciones; tal es el caso de México.

2.- **Europea**.- La mayoría de los países de Europa Occidental tienen reglamentación propia semejante a la estadounidense pero con aportaciones importantes de acuerdo con sus necesidades.

3.- **Países socialistas**.- A pesar de que el régimen socialista ya no existe en términos generales, en cuestión ambiental es sabido que los valores permitidos son más estrictos, lo que supuestamente da lugar a una legislación que garantiza mayor protección a los seres humanos y al medio.

Agua Potable:	Organización Mundial de la Salud (OMS) Normas ASTM (Americanas) Normas DIN (Europeas) Normas ANFOR (Francesas)
Efluentes líquidos:	Environmental Protection Agency (EPA) American Public Health Association (APHA)
Efluentes gaseosas y fluidos:	Environmental Protection Agency (EPA)
Agentes de riesgo y contaminantes en áreas de trabajo:	American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) National Institute of Occupation Safety and Health (NIOSH) Occupation Safety and Health Administration (OSHA) Organización Internacional del Trabajo (OIT)

A.5 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CCAT-002/93

Miércoles 23 de Junio de 1993

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CCAT-002/93, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS, ASÍ COMO LOS REQUISITOS DE CONTROL DE EMISIONES FUGITIVAS ORIGINADAS POR LAS FUENTES FIJAS DEDICADAS A LA FABRICACIÓN DE CEMENTO.

1.- OBJETO

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

2.- CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.

3.- REFERENCIAS

NMX-AA-01	Método de prueba para determinar la densidad aparente visual del humo empleando la carta de Ringelmann.
NMX-AA-09	Determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo Pitot.
NOM-AA-10	Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.
NMX-AA-23	Protección al Ambiente - Contaminación Atmosférica - Terminología.
NMX-AA-35	Determinación de Bióxido de Carbono, Monóxido de Carbono y Oxígeno en los gases de combustión (Orsat).
NMX-AA-54	Contaminación Atmosférica - Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto.

4.- DEFINICIONES

4.1 Base seca

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

4.2 Emisión de partículas a la atmósfera

La cantidad de partículas sólidas descargadas a la atmósfera.

4.3 Emisión fugitiva

La descarga de contaminantes a la atmósfera, cuando no han sido canalizados a través de ductos o chimeneas.

4.4 Proceso de calcinación

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

4.5 Volumen a condiciones normales

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

5.- ESPECIFICACIONES

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

TABLA 1

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE PARTÍCULAS A LA ATMÓSFERA EN PROCESOS DE CALCINACIÓN

Proceso de calcinación	Niveles máximos permisibles de partículas Kg / h
Menor a 300 T / h	0.6319 (C) 0.7502
Igual o mayor a 300 T / h	0.15 (C)

Donde:

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

TABLA 2

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE PARTÍCULAS EN OPERACIONES DE TRITURACIÓN, MOLIENDA Y ENFRIAMIENTO DE CLÍNKER

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

N¹ = Volumen a condiciones normales, base seca

5.2 Los requerimientos para el control de las emisiones fugitivas en las fuentes fijas referidas en esta norma son:

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

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

5.2.3 Colocar equipos de control en los silos de almacenamiento.

5.2.4 Confinar los transportadores de banda o cangilones e instalar equipo de control en los puntos de transferencia de materiales.

5.2.5 Colocar casetas, mamparas o cobertizos en donde se efectúe la carga a granel del producto o instalar equipo de control.

5.2.6 Pavimentar y mantener limpias las áreas destinadas al tránsito vehicular.

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

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

5.3 La evaluación de las emisiones de partículas se llevará a cabo con el procedimiento y el equipo previsto en las normas oficiales mexicanas respectivas.

5.4 En caso de falla del equipo de control de las emisiones señaladas en el punto 5.1 de esta norma se deben tomar las siguientes medidas:

5.4.1. Para equipo de control de proceso de calcinación:

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

5.4.2 Para cualquier operación:

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

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

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

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

5.6.1 Para los hornos de calcinación:

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

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

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

5.6.1.4 Tipo de combustible y su consumo por hora.

5.6.2 Para equipos de control de emisión a la atmósfera:

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

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

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

6. VIGILANCIA

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

7. SANCIONES

7.1 El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1 Code of Federal Regulation 40, Parts 53 to 60, revised July 1990, U.S.A. (Código de Reglamentos Federales 40, partes 53 a 60, revisado en julio de 1990, Estados Unidos de América).

9. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

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

10. VIGENCIA

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

10.2 Se aboga el acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCAT-002/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1991.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica.
Criterios Normativos para el Ordenamiento Ecológico
SEDESOL. Instituto Nacional de Ecología
Instituto de Investigaciones Jurídicas. UNAM 1991
2. F. Gomá
El Cemento Portland y otros aglomerantes
Editores Técnicos Asociados, S.A. España 1979
3. Seymour Calvert. Harold M. England
Handbook of Air Pollution Technology
John Wiley & Sons. USA 1984
4. La Industria del Cemento y el Medio Ambiente
Cámara Nacional del Cemento. 1988
5. Ley del Impuesto General de Importación (Nuevo Sistema Armonizado)
Nueva Tarifa del Impuesto General de Importación (Reestructurada)
Editorial Información Aduanera de México, S.A. Primera edición 1988
6. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Secretaría de Gobernación 1988
7. TLC en América del Norte. Industria del Cemento
Monografía 21 SECOFI 1992

PUBLICACIONES

8. Cementos Anáhuac S. A. de C. V.
Boletín Ecológico Año 2 N° 8 Julio-Agosto 1994
9. Mexican environmental regulations
Business Mexico Vol 1 y 2 1992
10. Panorama económico de la industria del cemento
Construcción y Tecnología. Abril 1990
11. Panorama económico nacional de la industria del cemento
Construcción y Tecnología. Abril 1991
12. Las relaciones de mercado en la industria cementera
Construcción y Tecnología. Junio 1991
13. Cemento y ecología
Construcción y Tecnología. Enero 1992
14. Relaciones de mercado en la industria cementera
Construcción y Tecnología. Abril 1992
15. Protección del medio ambiente
Construcción y Tecnología. Febrero 1993
16. La normatividad europea del cemento
Construcción y Tecnología. Febrero 1993
17. Plan verde
Construcción y Tecnología Diciembre 1993
18. Diario Oficial. Miércoles 23 de Junio de 1993.
19. Innovative design features at Apasco Norte, Mexico
International Cement Review Agosto 1993

-
20. El mercado ecológico, con un futuro muy promisorio
Revista Alto Nivel
Año 6 N° 71 Julio 1994
 21. Revista Cementos Anáhuac S. A. de C. V.
" 50 Aniversario" 1993
 22. Cementos producidos en México
Revista IMCYC
Vol. 25. Núm. 200 Enero 1988
 23. La industria del cemento y el medio ambiente
Revista IMCYC
Vol. 25. Núm. 200 Enero 1988
 24. La industria del cemento
Revista Industria Órgano Informativo
CONCAMIN. Volumen 6 N° 54 Septiembre 1993
 25. Industria cementera, buena mezcla
Revista Mundo Ejecutivo
Año XV N° 182 Volumen XXIV Junio 1994
 26. The mexican situation
Rock Products. Abril 1990
 27. The world situation
Rock Products. Abril 1992
 28. Cement
Rock Products. Noviembre 1993
 29. Word cement
Word cement Mayo 1993

TESIS

30. Godínez Hernández Joaquín
Análisis económico de la captación de polvo con precipitadores electrostáticos en la industria del cemento
Tesis. Fac. Química. UNAM 1977
31. Mendoza Ramírez Carlos Ramón
Consideraciones básicas para la operación de un horno rotatorio de cemento Portland
Tesis, Fac. Química. UNAM. 1991
32. Corona Cuapio Adolfo. García Reynoso José Agustín
Diseño y Optimización de Ciclones para el control de la contaminación apoyado en un programa de computación
Tesis. Fac. Química. UNAM. 1992
33. Vergara Morán Gerardo Miguel
Estudio de la Normatividad en el área de la contaminación ambiental
Tesis. Fac. Química. UNAM. 1990
34. Elizondo Azuela Gabriela
Estudio del problema de la contaminación en México: El caso de una industria textil contaminante
Tesis. Fac. Química UNAM. 1993
35. Laguna Rodríguez Enrique
Estudio y aplicación de precipitadores electrostáticos en la industria del cemento para la eliminación de polvo
Tesis. Fac. Química UNAM. 1976
36. López Rivera Isela. Casero Gordon Jorge
Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales
Tesis. Fac. Química UNAM. 1991