

PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL
PARTICULADO GENERADO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL
CEMENTO PORTLAND, EN EL ESTADO DE MORELOS

T E S I N A

SEMINARIO DE AVANCE II

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN INTEGRAL
DE RESIDUOS

P R E S E N T A:

BIOL. RENE IVÁN SANTIAGO GUERRERO

DIRECTOR: M.C. ENRIQUE SÁNCHEZ SALINAS

Dedicatoria

A:

Mi abuelita Julia aunque ya no se encuentre físicamente, sé que en lo más alto del cielo comparte su felicidad por este logro en mi formación profesional.

Mi esposa Dulce María por su apoyo y compañía en todos mis logros personales.

Mi familia (Mamá, Papá y Hermanos) porque siempre con sus buenos consejos me inspiran a seguir adelante.

Dios por todas las oportunidades presentes a lo largo de este camino en mi vida.

A todas aquellas personas que trabajan arduamente para proteger y conservar las condiciones que hacen posible la vida en este planeta.

Agradecimientos

Agradezco a mi tutor de tesina M. en C. Enrique Sánchez Salinas por la oportunidad y confianza para el desarrollo de este proyecto.

A los integrantes de mi comité tutorial Dr. Efraín Tovar Sánchez y al M.MRN. Julio Lara Manrique, Dr. Rafael Monroy Ortiz y a la M.MRN. Benedicta Macedo Abarca por sus valiosas aportaciones al presente proyecto.

A la Dra. Mónica Ramírez López por su apoyo de asesoría en la parte inicial de este proyecto.

Resumen

La industria del cemento es considerada como una de las más contaminantes a nivel mundial, especialmente por las emisiones de material particulado (MP) a la atmósfera, por lo que se le atribuye afectaciones a la salud humana y al ambiente, mismas que pueden agravarse por las condiciones climáticas y orográficas que juegan un papel importante en el comportamiento de las partículas emitidas. Debido a estas razones surge la necesidad de desarrollar alternativas para reducir estos impactos a través de acciones encaminadas a disminuir la emisión del MP que se genera en diferentes etapas del proceso de producción.

A partir del análisis de literatura especializada se identificaron las principales etapas con mayor emisión de MP durante el proceso de elaboración del cemento Portland, además se determinó la tecnología más eficiente para la recolección de MP y por último se describió el manejo integral de los polvos colectados como parte del aprovechamiento o disposición final de residuos.

Los resultados obtenidos muestran que las etapas con mayor emisión de MP son los hornos de cemento. Los precipitadores electrostáticos y los filtros de mangas presentan mayor eficiencia en la captura de MP, y en cuanto al manejo existen diversos métodos para su reutilización, lo que permite a la industria cementera reducir sus impactos ambientales y de salud pública. La presente investigación proporciona las bases para proponer modificaciones a la Norma para emisiones de partículas por la industria del cemento en México.

Palabras clave:

Cemento Portland, Material Particulado, Emisiones, Ambiente, Salud Humana.

Abstract

The cement industry is considered one of the most polluting in the world, especially due to the emission of particulate matter (PM) into the atmosphere, which is attributed to human health and the environment, which can be aggravated by the climatic and orographic conditions that play an important role in the behavior of the emitted particles. Due to these reasons, there is a need to develop alternatives to reduce these impacts through actions aimed at reducing the emission of MP generated at different stages of the production process.

From the analysis of specialized literature, the main stages with the highest emission of PM during the Portland cement elaboration process were identified, as well as the most efficient technology for collecting MP, and finally, the comprehensive management of the collected dust was described. As part of the use or final disposal of waste.

The results obtained show that the stages with the highest MP emissions are the cement kilns. Electrostatic precipitators and bag filters have greater efficiency in the capture of MP, and in terms of management there are various methods for their reuse, which allows the cement industry to reduce its environmental and public health impacts. This research provides the basis to propose modifications to the Standard for particle emissions by the cement industry in Mexico.

Keywords:

Portland Cement, Matter Particulate, Emissions, Environment, Human Health.

Índice

Introducción	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	3
I.1. El modelo económico dominante y el ambiente.	3
I.1.1 La situación de la industria del cemento con el ambiente.....	4
I.2. El cemento.....	5
I.2.1. El cemento y tipos de cemento.....	5
I.2.2. Producción de cementos en México.	6
I.3. El residuo.	11
I.3.1. Definición de residuo.	11
I.3.2. Tipos de residuos.	12
I.3.3. Regulación del MP, como residuo generado en la elaboración del cemento Portland.	13
I.3.4. Características de los residuos peligrosos.	14
I.3.5. Regulación de residuos peligrosos (RP).	15
I.3.6. Características de los residuos de manejo especial (RME).	16
I.3.7. Regulación de los RME.	16
I.4. El cemento y sus residuos.	17
I.4.1. Residuos generados en el proceso de fabricación de cemento (desde una perspectiva teórica).	17
I.4.2. Tipos de emisiones en la industria cementera.....	19
I.4.3. Impactos ambientales y sociales del MP.	20
I.4.4. La influencia de los vientos en la dispersión del MP.....	21
CAPÍTULO II. Planteamiento del problema.....	22

II.1. Justificación.	24
CAPÍTULO III. OBJETIVOS.....	25
III.1. Objetivo general.	25
III.2. Objetivos específicos.....	25
IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR.....	26
IV.1. Delimitación.	26
IV.2. Alcance.	26
IV.3. Tipo de investigación.	26
IV.4. Enfoque.	27
IV.5. Técnicas de recolección de datos.	27
V. PRINCIPALES HALLAZGOS	30
V.1. Etapas del proceso de fabricación del cemento Portland con mayores emisiones de MP.	30
V.2. Tecnología para la reducción de emisiones de MP, en el proceso de fabricación del cemento.	34
V.2.1. Descripción de equipos para la captura de MP.	37
V.3. Manejo o disposición final de los polvos provenientes del proceso de fabricación del cemento Portland.	41
V.3.1. Reincorporación del MP al proceso del cemento.....	41
V.3.2. El uso de los MP en la industria de la construcción.	42
V.3.3. Otros usos del MP.	44
IX. Conclusiones	45
X. Perspectivas	46
Literatura citada.....	51

Índice de tablas

Tabla I-1	Tipos de cemento por denominación, características y tipo de resistencia.....	7
Tabla I-2	Componentes de los diferentes tipos de cemento.....	7
Tabla V-1	Etapas con mayores emisiones de partículas en la elaboración del cemento Portland.....	34
Tabla V-2	Etapas con mayores emisiones de partículas en la elaboración del cemento Portland y los equipos para la reducción de MP....	37
Tabla V-3	Comparación entre los equipos para la reducción de MP en la industria del cemento.....	38
Tabla IX-1	Legislación y políticas aplicables a la industria del cemento para la sustentabilidad.....	48
Tabla IX-2	Factores, subfactores y líneas de acción para la sustentabilidad en la industria del cemento en México.....	50

Índice de figuras

Figura I-1	Progreso de hidratación de una partícula de cemento.....	8
Figura I-2	Influencia de la relación cemento agua.....	9
Figura I-3	Proceso de elaboración del cemento.....	11
Figura I-4	Diagrama de la elaboración del cemento: consumo de energía, calor, emisiones de partículas y gases de combustión.....	18
Figura I-5	Comparación de los tamaños de las partículas con un cabello humano.....	20
Figura I-6	El flujo de los vientos en el estado de Morelos.....	21
Figura V-1	Etapas del proceso de elaboración del cemento Portland.....	31
Figura V-2	Horno rotario para la obtención de clinker.....	32
Figura V-3	Enfriador de Clinker.....	33
Figura V-4	Molino de cemento.....	33
Figura V-5	Principio de un precipitador electrostático.....	39
Figura V-6	Precipitador electrostático y sus componentes.....	39
Figura V-7	Filtro de mangas tipo Pulse-Jet.....	40
Figura V-8	Ciclón tipo Lapple.....	41

Introducción

Las sociedades contemporáneas viven con la idea de que el crecimiento económico es sinónimo de superación, tanto así que desde nivel de país, región, empresa hasta personal se sigue este patrón, y el resultado de este comportamiento es la producción masiva de bienes y servicios; mismos que a su vez serán consumidos y como consecuencia producirán problemas de contaminación, principalmente por disposición de diferentes tipos de residuos, pero ¿qué tan eficiente será este continuo proceso, demandante de recursos naturales que cada vez es mayor y a su vez devastador? Sin duda el sistema socio-económico actual ha permitido que la sociedad “viva mejor” (en algunos casos) (Pérez, 2014); sin embargo, el futuro es incierto y más aún cuando es de conocimiento general que los recursos son finitos (ELA EUZKAL SINDIKATUA, 2012).

En este contexto, el crecimiento económico y los impactos ambientales que se originan por los procesos productivos en países en desarrollo son mucho más severos que aquellos que producen países con una economía vigorosa, esto se debe a que no existen suficientes recursos materiales y humanos para combatir los efectos negativos al ambiente como es el caso de México (OECD, 2018).

Ahora bien, para desarrollar una actividad productiva que genere un crecimiento económico saludable y respetuoso con el entorno, deben realizarse acciones de mejoras continuas de todas y cada una de las etapas de los procesos de producción, incluyendo el impulso a la investigación y el uso de nuevas tecnologías limpias (Gil, 2016).

Dentro del sector productivo, la industria del cemento es considerada como una de las más contaminantes a nivel mundial (Martínez, 2014), por lo que es importante tomar las medidas necesarias para contrarrestar los impactos ambientales generados por la elaboración de sus productos.

En el caso de México, los problemas por la contaminación originada en el proceso de elaboración del cemento Portland son tan severos que están provocando daños a la salud humana e impactos al ambiente derivados de la emisión de material particulado (MP) que se origina durante su fabricación (Vera-Martínez, 2013). Además, las plantas de este giro industrial pueden impactar de forma importante debido a factores climáticos propios del lugar (Ministerio de Medio Ambiente, 2004).

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se realizó una investigación documental para proponer una estrategia que permita disminuir los impactos potenciales de la industria del cemento en el estado de Morelos. Esta propuesta permitirá mitigar daños originados a la salud humana y al ambiente, principalmente a poblaciones y lugares aledaños a las zonas de trabajo de cementeras.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

I.1. El modelo económico dominante y el ambiente.

La idea generalizada de que el crecimiento económico es equivalente a superación es un patrón que se observa desde el nivel de país hasta el personal. Existe la creencia de que los bienes y servicios son los que dotan esta cualidad efímera, sin embargo; el problema de este pensamiento es que no considera que los productos y su consumo además de brindar beneficios, también originan problemas de contaminación, principalmente cuando han dejado de ser útiles, es así como se convierten en residuos. Entonces surge esta interrogante: ¿Qué tan eficiente seguirá siendo este círculo vicioso, el cual demanda cada vez más recursos naturales para satisfacer necesidades y ambiciones, y que poco a poco están devastando la vida en el planeta? Sin duda el sistema económico dominante ha permitido una mejor calidad de vida del hombre; a pesar de ello, del mismo modo significa que estamos alterando el ambiente y a su vez atentando contra la propia sobrevivencia de la humanidad (Pérez, 2014).

Esta situación genera una importante incertidumbre acerca del futuro de la humanidad en el planeta, debido al grave deterioro de los recursos naturales y la emisión de todo tipo de contaminantes que afectan la calidad del agua, aire y suelo, mismos que son el soporte del desarrollo y crecimiento a las naciones. Esto es irónico, ya que se reconoce que los recursos en el planeta son finitos (ELA EUZKAL SINDIKATUA, 2012).

Ante estas circunstancias es fundamental señalar que el crecimiento económico debe necesariamente, armonizarse con otros dos elementos básicos, a saber, la inclusión social y la protección del ambiente. Esta triada de elementos está interrelacionados y son todos esenciales para el bienestar de las personas y las sociedades. El desarrollo sostenible demanda los esfuerzos de diferentes actores

políticos y sociales, que pueden llegar a condicionar la transición a una producción en el marco de una economía circular, para el caso de países en desarrollo, tema difícil de enfrentar e implementar (Vázquez-Castellar, 2009).

En este contexto, el desarrollo de una actividad productiva que genere un crecimiento económico saludable y respetuoso con el entorno, debe aplicar acciones de mejoras continuas en todas y cada una de las etapas del proceso, incluyendo el impulso a la investigación y la innovación tecnológica amigable con el ambiente (Gil, 2016).

I.1.1 La situación de la industria del cemento con el ambiente.

En el sector productivo la industria del cemento es considerada como una de las más contaminantes a nivel mundial (Martínez, 2014), por lo que es importante tomar las medidas necesarias para contrarrestar los impactos ambientales generados por la elaboración de sus productos.

De los problemas que ocasiona este tipo de industria como resultado de la demanda cada vez mayor de sus productos destaca, la contaminación del agua, afectación por ruido y vibraciones a zonas cercanas, destrucción del paisaje y sobre todo contaminación al aire con partículas que se generan en su proceso y que se asocian con problemas de salud humana. Esta situación exige a la industria del cemento a tomar las medidas necesarias para realizar procesos más eficientes y con menor impacto al ambiente (Estrucplan, 2003).

Para el caso de México, los problemas de contaminación originados en el proceso de elaboración del cemento Portland son tan severos que están provocando daños a la salud humana e impactos al ambiente derivados de la emisión de MP (Vera-Martínez, 2013). Además, las plantas de este giro industrial pueden incrementar sus efectos negativos debido a factores climáticos propios del lugar (Ministerio de Medio Ambiente, 2004), para discutir esta problemática es importante

conocer las características y generalidades de su producto, como a continuación se detalla.

I.2. El cemento.

I.2.1. El cemento y tipos de cemento.

“El cemento es una sustancia fina, suave y en polvo, utilizada principalmente para unir arena fina y agregados gruesos en hormigón. [...] Es un pegamento que actúa como aglutinante hidráulico, es decir, se endurece cuando se agrega agua. La palabra cemento es de conocimiento generalizado, pero a menudo se confunde con hormigón o mortero. El cemento es un ingrediente clave en concreto y mortero, y siempre se mezcla con otros materiales antes de su uso” (CEMBUREAU, 2017, pág. 1). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017) en México se producen los siguientes tipos de cemento:

- Aluminoso
- Antiácido
- Blanco
- Clinker
- De escorias
- De fraguado lento
- De fraguado rápido
- Expansivo
- Fundido
- Gris
- Hidráulico
- Metalúrgico
- Natural
- Para hormigón
- Para la construcción
- Portland
- Puzolánico

I.2.2. Producción de cementos en México.

En promedio, México produce alrededor de 3'504,438 toneladas de cemento al año, de éstas, 88.7% corresponden al cemento tipo Portland (gris), 9.4% al mortero y 1.9% al cemento blanco; cabe señalar que las empresas instaladas en el país están usando su capacidad instalada al 81.6% (INEGI, 2017).

I.2.2.1. El cemento Portland.

Como se mencionó antes, el cemento Portland es el más producido en México, este producto es un polvo fino de tonalidad gris o blanca, su composición consiste en una mezcla de silicatos, aluminatos y aluminoferritas (US EPA, 2016); se trata de un cemento de uso general; es decir, se utilizan para la elaboración de hormigones, los cuales serán la base para la construcción de estructuras simples o armadas, que requieren de propiedades de alta resistencia y durabilidad (Becker, 2017, pág. 1).

Cabe indicar que el mismo cemento Portland se subdivide en distintas tipologías de acuerdo con lo estipulado por la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2014 y en atención a sus características y resistencia (Tabla I-1) cada tipo de cemento se elabora con distintas materias primas (Tabla I-2) que inciden, por tanto, en el tipo de residuos que generará.

Tabla 0-1. Tipos de cemento por denominación, características y tipo de resistencia

Tipos y denominación	CPO Cemento Portland Ordinario	Características especiales	RS Resistente a los sulfatos	Tipos de resistencia	20
	CPP Cemento Portland Puzolánico		BRA Baja Reactividad Alcali Agregado		30
	CPEG Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno				30R
	CPC Cemento Portland Compuesto		BCH Bajo Calor de Hidratación		40
	CPS Cemento Portland con humo de Sílice				40R
	CEG Cemento con Escoria Granulada de alto horno		B Blanco		

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, A.C. (2016, pág. 3).

Tabla 0-2. Componentes de los diferentes tipos de cemento

Componentes (% en masa)						
Tipo	Clinker Portland +Sulfato de Calcio	Escoria granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de Sílice	Caliza	Minoritarios
CPO	95-100	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0-5
CPP	50-94	N.C.	6-50	N.C.	N.C.	0-5
CPEG	40-94	6-60	N.C.	N.C.	N.C.	0-5
CPC	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	90-99	N.C.	N.C.	1-10	N.C.	0-5
CEG	20-39	61-80	N.C.	N.C.	N.C.	0-5

Nota: N.C. No contiene este tipo de componente.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, A.C. (2016, pág. 3).

I.2.2.1.1. Hidratación del cemento Portland.

Como se señaló anteriormente el cemento Portland se obtiene a partir de varios componentes según sea el caso y el más abundante de ellos es el clinker, mismo que está constituido por: Silicato tricálcico (C_3S), Silicato dicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A) y Ferroatuminato tetracálcico (FAC_4); siendo los silicatos (C_3S y C_2S), mismos que se encuentran en mayor proporción, y son los responsables de la resistencia del cemento. Cabe indicar que el aluminato es de utilidad para intervenir en el fragüe (C_3A) y para la coloración del cemento FAC_4 . En la Figura 0-1 puede observarse el progreso de la hidratación de las partículas del cemento y, con ello, el crecimiento de los cristales de compuestos silico-calcáreos hidratados.

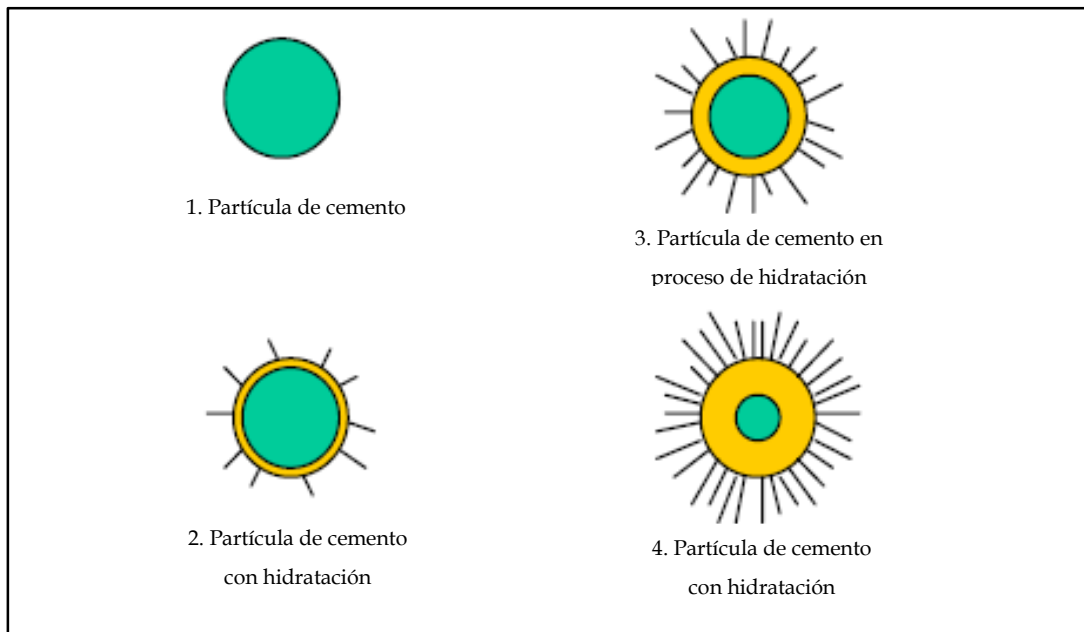


Figura 0-1. Progreso de hidratación de una partícula de cemento.

Fuente: Becker (2017, pág. 8).

Por otra parte la resistencia del concreto está condicionada con la interrelación agua y cemento, es decir; cuando esta combinación es alta se presenta

una baja resistencia y porosidad haciéndola altamente permeable y con espacio para que se filtren sustancias agresivas que pueden afectar la calidad de la construcción; en el caso de que sea baja, los poros tienen menor volumen, motivo por el que le proporciona mayor resistencia a las edificaciones (ver Figura 0-2).

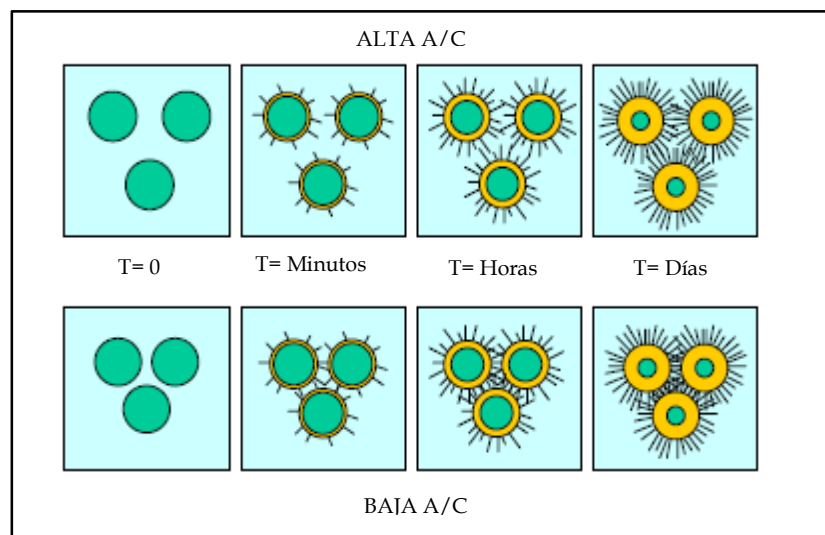


Figura 0-2. Influencia de la relación cemento agua.

Fuente: Becker (2017, pág. 9).

La interrelación antes mencionada está ligada a la finura que tiene que poseer el cemento Portland, ya que entre más fino sea éste, tendrá la capacidad de hidratarse a una mayor velocidad y con ello adquirir una mayor resistencia, característica que le atribuye mayor valor al producto. Es importante mencionar que el cemento Portland está constituido de partículas angulares individuales con un tamaño por debajo de 45 micrómetros aproximadamente, en la actualidad no existen normas que limiten la finura pero si delimita el mínimo como lo mencionan Notas de Concreto (2009) y Quantachrome instruments (2013), este hecho provoca que el tamaño de las partículas de este producto las dote de características altamente volátiles que se vinculan con problemas de contaminación ambiental principalmente

en el aire, aunque posteriormente el MP se depositará de manera natural en suelos y cuerpos de agua.

1.2.2.1.2. Fabricación del cemento Portland.

Si bien el proceso de fabricación de este producto puede variar de una industria a otra e incluso por tipo de cemento, en general se identifica el siguiente proceso (Figura 0-3) (Cemento Cruz Azul, 2017):

1. Triturado: Por medio de equipos especializados se realiza la trituración de la materia prima con el propósito de reducir su tamaño (mismo puede variar de una planta a otra).
2. Prehomogenización: En esta etapa del proceso el material se recibe y se separa por medio de un rastrillo en el que las piedras homogéneas resbalan hasta una tolva con ayuda de elevadores que permiten la entrega al departamento de dosificación.
3. Dosificación: La materia prima es transportada hacia una tolva de almacenamiento para dosificarla en cantidades proporcionadas para luego transportarla por medio de bandas.
4. Molienda de harina cruda: Este es un proceso adicional para reducir el tamaño de las materias primas hasta transformarlo en una apariencia de harina.
5. Homogenización: La harina obtenida en la etapa anterior es enviada a silos de homogenización, mediante la aplicación de aire a distintas presiones se logran congregar partículas semejantes, una vez logrado este propósito es enviada a la siguiente etapa.
6. Calcinación: Proceso físico-químico que se realiza en un horno rotatorio, cuyo interior puede alcanzar hasta 1,500°C, aquí la harina cruda se convierte en el compuesto denominado Clinker.

7. Molienda: El Clinker es mezclado con otros componentes como calizas o puzolanas y yeso, las cantidades adicionadas dependerán del tipo de cemento que se requiera obtener.
8. Envasado: Consiste en almacenar el cemento en silos para luego disponerlo a granel o en sacos de 50 Kg.

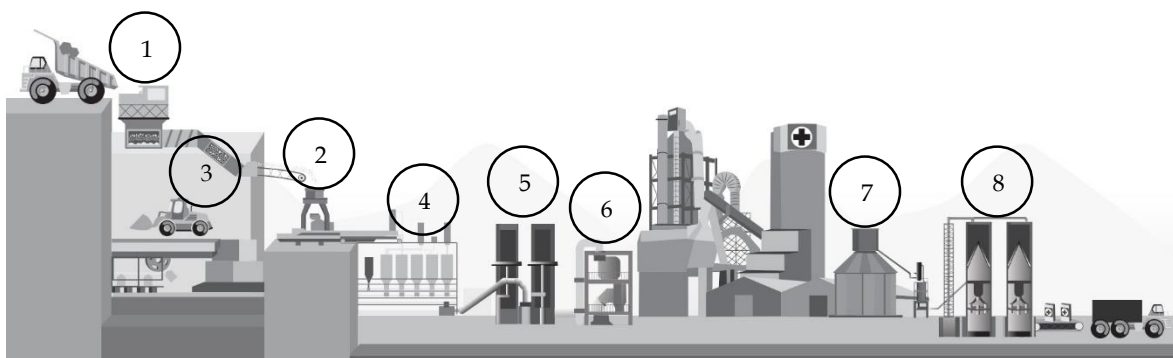


Figura 0-3. Proceso de elaboración del cemento. Los números dentro de los círculos corresponden a las etapas descritas.

Fuente: Cemento Cruz Azul (2017, pág. s/n).

I.3. El residuo.

I.3.1. Definición de residuo.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) menciona en su Artículo 5, Fracción XXIX, que un residuo es aquel “material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y se encuentra estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a los dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven” (Cámara de Diputados, 2015, pág. 6).

I.3.2. Tipos de residuos.

La misma Ley expone, también en el Artículo 5, que los residuos se clasifican en:

Residuos de Manejo Especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos;

Residuos Incompatibles: Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos;

Residuos Peligrosos: Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley;

Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole (Cámara de Diputados, 2015, pág. 6).

Para el caso de la industria del cemento, la generación de diferentes tipos de residuos en toda su cadena productiva es más que evidente, entre ellos el más importante es el MP. Por lo tanto, la materia prima juega un papel importante para definir el tipo de residuo que puede llegar a ser el MP, y este podría bien ser de tipo

peligroso o de manejo especial, en los párrafos posteriores se explica más detalle las razones de su clasificación.

I.3.3. Regulación del MP, como residuo generado en la elaboración del cemento Portland.

Autores como Enseñat de Villalonga (1977), Fernández-Bernal & Hernández-Saavedra (2008), Ávila (2009) y Estructplan (2017) señalan que los polvos originados en el proceso de elaboración del cemento Portland no son tóxicos. No obstante, el Ministerio de Medio Ambiente (2004), Sudheer Kumar *et al.* (2008), Çankaya & Pekey (2015), entre otros, mencionan que el MP emitido por la industria del cemento puede contener concentraciones variables de metales como zinc (Zn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), talio (Tl) y arsénico (As) y su presencia en las partículas dependerán del origen de las materias primas empleadas, así como el lugar donde se establezcan estas empresas será otro factor importante.

Debido a la complejidad de la composición de las materias primas utilizadas en este proceso es importante realizar mediciones de concentración, esto sin dejar de lado los fenómenos meteorológicos, composición química y el origen de las materias primas (Arciniégas-Suárez, 2011, pág. 195). Por lo antes mencionado el MP se le ha asociado a enfermedades respiratorias en humanos, cambio en la composición química y física del suelo, y la alteración del proceso de fotosíntesis en las hojas de los árboles, entre otros. Por lo tanto, resulta importante reflexionar sobre esta problemática ya que no existe un control riguroso para abatir los impactos que origina este proceso productivo.

Cabe señalar que el MP es regulado por la norma mexicana NOM-040-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002), ésta hace referencia a los límites máximos permisibles de emisión de los polvos provenientes del proceso de fabricación de cemento y contempla algunas de sus etapas de fabricación como fuentes emisoras:

trituration, molienda de la materia prima, molienda de cemento hidráulico, enfriamiento de clinker y calcinación de clinker.

Por otra parte, no se considera en la LGPGIR, a pesar de ello; por la naturaleza que este residuo representa y por la importancia de los impactos que significa en la degradación del ambiente y la calidad en la salud de las personas es importante incluirlo dentro de esta Ley con la finalidad de su control.

Debido a las características que presenta el MP resultado de la elaboración del cemento Portland y la falta de políticas para la prevención y gestión integral de estos residuos, es importante determinar su clasificación como residuo peligroso o residuos de manejo especial para su adecuado manejo y determinar políticas de mayor rigor.

I.3.4. Características de los residuos peligrosos.

Un residuo es considerado peligroso cuando se presentan una o varias de las características mencionadas en la LGPGIR y la NOM-052-SEMARNAT-2005 (SEMARNAT, 22 de junio de 2006) que se describen a continuación:

- I. Corrosivo: Es líquido acuoso con un $\text{pH} \leq 2.0$ o ≥ 12.5 , o puede ser un sólido que al mezclarse con agua destilada presenta un $\text{pH} \leq 2.0$ o ≥ 12.5 o bien un líquido no acuoso capaz de corroer el acero a una velocidad, tiempo y temperatura determinados.
- II. Reactivo: Es un líquido o sólido que en menos de cinco minutos en contacto con al aire se inflama, o cuando genera gases inflamables por el contacto con el agua, o bien puede ser un residuo que genera calor en contacto con el aire.
- III. Explosivo: Residuo que en presencia de energía es capaz de generar una reacción o descomposición explosiva o detonante.

- IV. Tóxico (ambiental): Se determina a través del procedimiento PECT de la NOM-053-SEMARNAT-1993 así como sus límites máximos permitidos.
- V. Inflamable: Líquido o mezcla de líquidos con un punto de inflamación <60.5° C (se excluyen las soluciones acuosas con un porcentaje de alcohol <24%) o bien puede no ser un líquido y puede generar fuego por fricción.
- VI. Biológico-Infeciosos: En la NOM-087-SEMARNAT/SSA1-2002 (SEMARNAT, 17 de febrero de 2003), los define como cualquier organismo que tiene la capacidad de producir daño en una concentración suficiente y como resultado ocasiona una enfermedad en la persona en contacto.

Cabe señalar que debido a las características que presenta el MP y de acuerdo a su origen, éstos se podrían considerar de tipo peligroso por lo señalado en el punto I.3.3 párrafo 1 de la LGPGIR (SEMARNAT, 2012, pág. 336).

I.3.5. Regulación de residuos peligrosos (RP).

La Norma Oficial Mexicana aplicable a los Residuos Peligrosos es la NOM-052-SEMARNAT-2005 (SEMARNAT, 22 de junio de 2006) y establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. El manejo que se debe realizar a los RP es por medio del tratamiento para reducir su peligrosidad, incineración controlada, confinamiento en sitios debidamente adecuados, reciclaje o reúso. El nivel gubernamental encargado de su regulación es la federación a través de sus dependencias como SEMARNAT y PROFEPA.

Por su parte la reglamentación de la LGPGIR (2014) menciona que las industrias deben cumplir con el manejo, reutilización o disposición final de sus residuos, como parte de sus obligaciones para la conservación del ambiente.

I.3.6. Características de los residuos de manejo especial (RME).

Con base en lo mencionado en los apartados I.3 y I.3.3, y debido a las particularidades que presenta el residuo en estudio, es necesario describir los residuos de manejo especial.

La LGPGIR señala en el Artículo 9 que los RME se clasifican en 8 categorías, no obstante en este trabajo solo se mencionara la primera fracción ya que señala las características particulares del residuo objeto de esta investigación:

- I. Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas, excluidos de la competencia federal conforme a las fracciones IV y V del artículo 5 de la Ley Minera (Cámara de Diputados, 2015, pág. 14).

Por su parte, la NOM-161-SEMARNAT-2011 (SEMARNAT, 1 de febrero de 2013) menciona que los RME son aquellos que se generan en actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, estos no deben poseer características de tipo domiciliario o de peligrosidad. El concepto antes mencionado señala e involucra las actividades industriales como fuentes inminentes de residuos de tipo especial.

I.3.7. Regulación de los RME.

En el reglamento de la LGPGIR (2014) para residuos de manejo especial, menciona que todos aquellos generadores se encuentran sujetos a desarrollar sus planes de manejo, controles, acciones de responsabilidad compartida, valorización y a su vez a través de revisiones o auditorias de carácter voluntario para garantizar la reducción de la contaminación por este tipo de residuos.

La Norma Oficial Mexicana que se encarga de regular los RME es la NOM-161-SEMARNAT-2011 (SEMARNAT, 1 de febrero de 2013) que establece los criterios

para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo.

La SEMARNAT (2012, pág. 332) señala que la categoría de los residuos de rocas o los productos de su descomposición no cuenta con información que ayude a su control y disposición final, esto posiblemente se debe a que los RME son de reciente regulación.

Como se ha mencionado anteriormente, debido al origen de las materias primas las características del residuo en el presente estudio, podría ser considerado como de manejo especial; no obstante, es importante considerar que esto dependerá en gran medida en donde se ubiquen las empresas cementeras y de las características de los minerales empleados.

Por lo antes mencionado es importante destacar la preocupación que existe por la falta de datos que evidencien el adecuado manejo o disposición final del MP colectado en los sistemas de captura y sus medidas de control.

I.4. El cemento y sus residuos.

I.4.1. Residuos generados en el proceso de fabricación de cemento (desde una perspectiva teórica).

En la Figura 0-4 se muestra un esquema que integra el proceso de elaboración del cemento Portland que incluye diversos residuos contaminantes del ambiente como son las emisiones de partículas (MP), emisiones gaseosas y contaminación térmica por consumo de energía. A continuación, se describen de manera detallada los residuos generados en cada etapa del proceso de producción.

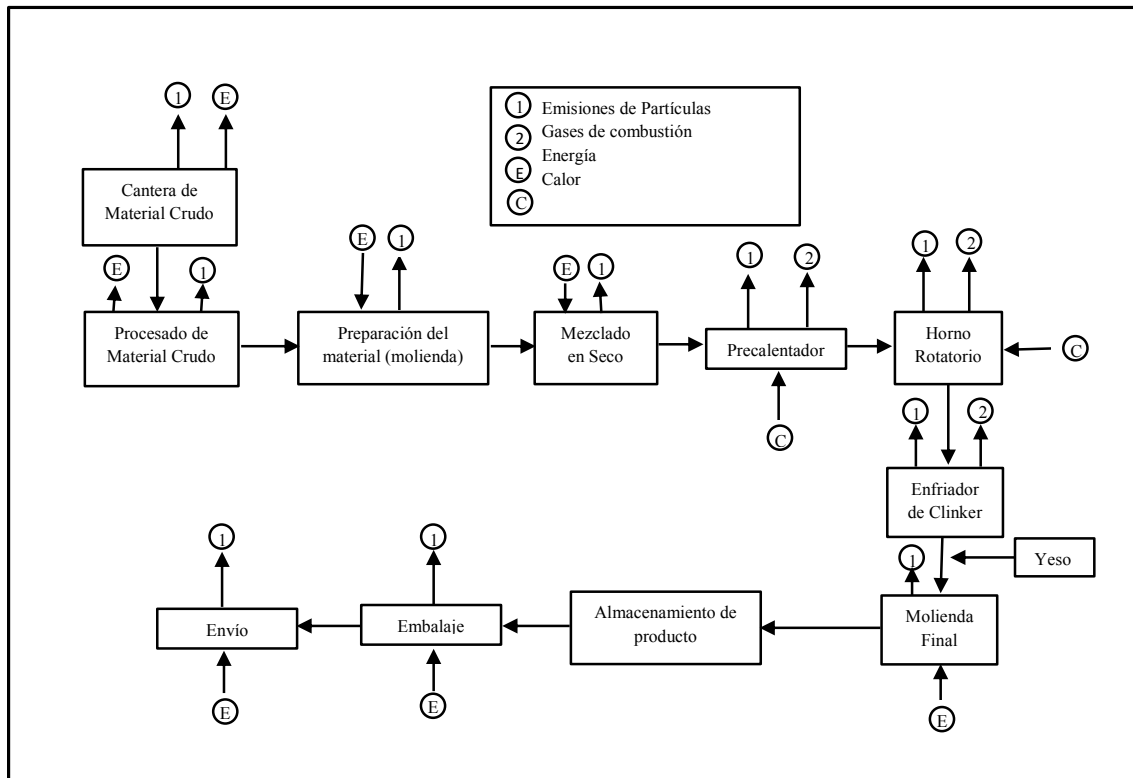


Figura 0-4. Diagrama de la elaboración del cemento: consumo de energía, calor, emisiones de partículas y gases de combustión.

Fuente: Hutzinger & Eatmon (2009, pág. 669).

Como se puede observar las etapas que generan material particulado (MP) son:

- En la extracción de la materia prima así como en el procesado del material crudo se generan emisiones de MP y adicionalmente se libera energía al ambiente.
- Para la molienda de la materia prima y el mezclado en seco existen emisiones de MP y el consumo de energía es necesario para los equipos.
- En la etapa de precalcificación y la entrada de la materia prima al horno rotatorio se generan emisiones de MP, además de gases de combustión y generación de calor.

- En el enfriador de Clinker se producen emisiones de MP y gases de combustión.
- Finalmente en las etapas de molienda final, embalaje y envío se originan emisiones de MP y existe el consumo de energía para el funcionamiento de los equipos.

I.4.2. Tipos de emisiones en la industria cementera.

Las empresas cementeras son consideradas como las industrias con mayor contribución en emisiones de MP, gases que provienen de la quema de combustibles fósiles como por ejemplo el dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), y polvos de cemento que contienen metales como el cromo, níquel, cobalto, y mercurio principalmente (Sudheer Kumar, y otros, 2008).

I.4.2.1. Tipos de emisiones de partículas (MP).

La emisión de partículas requiere especial atención, la US EPA (2016) menciona que la contaminación por MP puede clasificarse en dos tipos de acuerdo a su tamaño:

- **PM₁₀**. Son aquellas partículas que pueden inhalarse y entrar al organismo por medio del aparato respiratorio, su tamaño oscila entre los 10 y 2.5 micras.
- **PM_{2.5}**. Partículas finas que pueden inhalarse y al organismo por medio del aparato respiratorio, tienen un diámetro de 2.5 micras y menor.

La comparación para comprender los tamaños de estas partículas se basa en un cabello humano que mide aproximadamente 70 micras de diámetro (Figura 0-5).



Figura 0-5. Comparación de los tamaños de las partículas con un cabello humano.

Fuente: Adaptación de la US EPA (2016)

I.4.3. Impactos ambientales y sociales del MP.

Existen diversos impactos al ambiente y a la salud pública por el MP que se genera en la elaboración del cemento, destacan la perturbación de la dinámica de la flora y fauna (afectación en el proceso de fotosíntesis ya que los polvos se concentran en las hojas impidiendo que la luz solar sea suficiente para que este proceso anabólico se lleve a cabo); enfermedades respiratorias (alergias, bronquitis, asma), enfermedades en la piel, cáncer pulmonar, conjuntivitis, cegueras. Asimismo, provoca la disminución del pH en los suelos y deterioran la infraestructura de poblaciones cercanas por el salitre que se produce, y esto se debe en gran medida a la actividad de los vientos existentes en el lugar donde se establece la industria cementera (Ávila, 2009).

1.4.4. La influencia de los vientos en la dispersión del MP.

La influencia de los vientos en la propagación y acumulación de los contaminantes en la atmosfera es importante, y aún más cuando su origen es de carácter antrópico. Para el caso del estado de Morelos los patrones del flujo del viento presentan un comportamiento particular debido a las formaciones geológicas propias de la entidad, la dirección predominante de los vientos son de norte a sur, sin embargo; en algunas estaciones del año esta dirección se puede invertir (figura I.6) (Ramos-Quintana & Hernández-Rabadán, 2014).

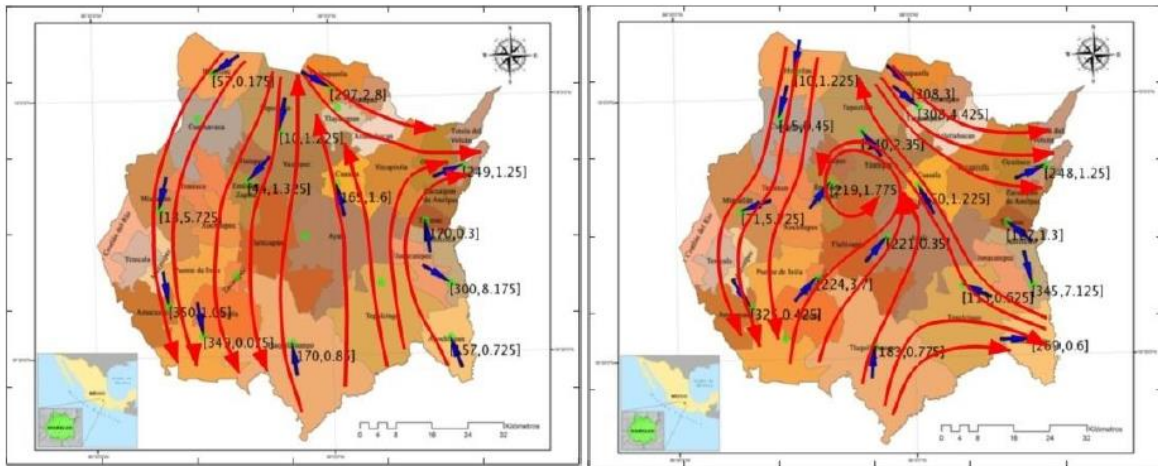


Figura 0-6. El flujo de los vientos en el estado de Morelos.

Fuente: Ramos-Quintana & Hernández-Rabadán (2014).

De acuerdo al comportamiento del flujo de los vientos es importante establecer el control de las emisiones del MP en la industria del estado de Morelos ya que su dispersión podría estar afectando tanto al entorno como a las poblaciones humanas aledaños.

CAPÍTULO II. Planteamiento del problema

Como se pudo leer en apartados anteriores, “el cemento es un material inorgánico, no metálico, finamente molido que cuando se mezcla con agua y áridos forma una pasta que fragua y endurece (morteros y hormigones), debido a la formación de silicatos cálcicos hidratados [...]. Esta propiedad de conglomerante hidráulico le ha convertido en un material básico de construcción” (ConcretOnLine, 2011, pág. s/n), pero también se emplea en otras industrias como la química e incluso médica (INEGI, 2017).

Estos usos dotan al cemento de una importancia global, colocándolo incluso como una de las materias primas de mayor uso, estimándose una producción anual de 4.19 mil millones de toneladas (INKA, 2017; Index Mundi, 2015). México se encuentra entre los 15 productores más representativos a nivel mundial por la fabricación de 3,862,041.428 toneladas anuales en promedio (INEGI, 2017), en 403 establecimientos localizados en todo el territorio nacional (INEGI, 2017) lo que genera ingresos anuales promedio de 97,164 millones de pesos y empleo directo para 25,403 personas (INEGI, 2016); cabe indicar que el estado de Morelos contribuye con el 6.9% de los ingresos mencionados (INEGI, 2017).

Lamentablemente, los beneficios referidos se encuentran ligados a efectos negativos para el ambiente. La industria del cemento genera del 5% al 7% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) pues se requieren 4.7 millones de BTU¹ de energía calórica para producir una tonelada de cemento, lo que origina casi una tonelada de CO₂ (Rubenstein, 2012). Para lograr esas temperaturas se emplea una gran variedad de combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos, como el coque de petróleo, el lignito, el gas natural, el petróleo y el carbón, pero también “ha

¹ Unidad Térmica Británica. Se define como la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius y equivale a 1055 julios (Smith, Van Ness, & Abbott, 2003).

estado utilizando grandes cantidades de combustibles residuales o combustibles de biomasa durante más de 15 años” (Stajanča & Eštoková, 2012, pág. 297). Por si lo anterior fuera poco, la misma fabricación produce la liberación de una cantidad significativa de materiales sólidos residuales.

En suma, la producción de cemento se relaciona con los siguientes efectos nocivos para el ambiente: Potencial de calentamiento global, acidificación y ecotoxicidad de los suelos y mantos freáticos, agotamiento abiótico, formación de MP que contamina el aire, desgaste de suelos por la extracción de los minerales; problemáticas que impactan la salud, la economía e incluso forma de vida de los seres humanos (Çankaya & Pekey, 2015).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (por sus siglas en inglés US EPA) menciona que la exposición al MP puede provocar una variedad de problemas de salud en atención a su tamaño; por ejemplo, aquellas que son igual y menores a 10 micrómetros (micras) de diámetro pueden penetrar hasta los pulmones incluso al torrente sanguíneo, por lo que afectan también al corazón; aquellas con un diámetro de 2.5 micras o menos pueden dificultar la visibilidad y llegar a ocasionar enfermedades respiratorias. Por ello, este tipo de contaminante se relaciona con el asma, irritación de las vías respiratorias, dificultad para respirar, ataques cardíacos, afectaciones en las funciones pulmonares y latido irregular de corazón. Las personas más susceptibles a estos daños son niños y adultos mayores (US EPA, 2016).

Los efectos ambientales se relacionan con precipitaciones acidas, agotamiento de nutrientes en suelos, daños en bosques y zonas de cultivo, acidificación de cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, lagunas) y afectación en la diversidad de ecosistemas; también se les atribuye propiedades particulares que pueden dañar materiales de construcción como estatuas, edificaciones de importancia cultural y monumentos (US EPA, 2016).

Es importante mencionar que en el estado de Morelos se encuentra presente la industria del cemento, por lo tanto, lo antes expuesto no es ajeno a los problemas ambientales y de salud en la entidad, por lo que es relevante tomar en cuenta las medidas necesarias para la aplicación de estrategias que permitan un ambiente con menores impactos y que las poblaciones aledañas sean afectadas por este tipo de actividad industrial.

II.1. Justificación.

Como se mencionó anteriormente, la industria del cemento es considerada como de las más contaminantes a nivel mundial, debido a la gran demanda de energía, la explotación de recursos naturales, pero sobre todo por la emisión de contaminantes al ambiente, en especial de MP. Además es importante mencionar que las condiciones del lugar donde se establece este tipo de industria inciden también en los resultados de la emisión y sus efectos, ya sea por las condiciones climáticas y orográficas o incluso por el tipo de flora y fauna del entorno (Sudheer Kumar, y otros, 2008). De manera adicional, la normativa ambiental de cada país de igual forma constituye un factor determinante de las emisiones.

Lo antes expuesto pone de manifiesto la importancia de tomar medidas para reducir estos impactos a través de estrategias que permitan disminuir la emisión del MP generado por la industria cementera.

Cabe destacar que no se encontró ningún reporte de esta problemática para el estado de Morelos, de ahí que sea importante realizar una investigación que permita identificar las acciones que aseguren la retención eficiente de los polvos generados en el proceso de elaboración del cemento, incluyendo además un adecuado manejo del material atrapado. Ante esto surgen las siguientes preguntas ¿Se conoce en que etapas del proceso de elaboración del cemento hay mayores emisiones de MP? ¿Existe preocupación por implementar la tecnología apropiada para atrapar los polvos generados en el proceso? y ¿Que se está haciendo con los polvos atrapados?

CAPÍTULO III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general.

Proponer una estrategia para la reducción de emisiones de MP generados en el proceso de elaboración del cemento Portland en el estado de Morelos.

III.2. Objetivos específicos.

- Identificar las principales etapas de emisión de MP en el proceso de elaboración del cemento.
- Analizar el uso de tecnologías utilizadas en la disminución de las emisiones de MP en la industria cementera.
- Proponer una estrategia para el manejo de MP generados en la producción del cemento Portland.

IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR

IV.1. Delimitación.

Dada la importancia de los impactos ambientales y a la salud humana resultado de la elaboración del cemento Portland, este trabajo se orienta hacia las emisiones de MP, residuos que se generan en distintas etapas del proceso, por lo tanto, el presente estudio comprende desde el ingreso de la materia prima hasta el envasado del producto.

IV.2. Alcance.

En el presente estudio se empleó una investigación diagnóstica, que de acuerdo con Galeana de la O y otros (1999) consiste principalmente en adquirir los conocimientos esenciales de la problemática planteada, y su principal propósito es encontrar los elementos necesarios para proponer estrategias de solución; en este caso, una exhaustiva investigación documental favorece la generación de una estrategia que permita mitigar las emisiones de MP.

IV.3. Tipo de investigación.

Se utilizó el método Inductivo para esta investigación, específicamente este método parte de hechos particulares para concluir en un planteamiento de carácter general, es decir; los resultados obtenidos de otras investigaciones que tienen relación directa sirven como apoyo para reforzar los conocimientos generales (Baena López, 2009; Ruíz, 2017). En este caso el presente estudio se apoyó a partir de investigaciones relacionadas con la problemática planteada para la obtención de una solución a nivel regional, y que al integrarse al conocimiento general permita enfrentar el problema de las cementeras.

IV.4. Enfoque.

Del mismo modo esta investigación utilizó un enfoque cualitativo, puesto que se enfoca en la estructura inductiva y subjetiva de los procesos (Cook & Reichardt, 1986); el cual la presente investigación se refuerza a través de la investigación documental como base para la implementación de la propuesta sugerida.

IV.5. Técnicas de recolección de datos.

En esta tesina se obtuvo información relevante principalmente a través de una revisión documental; que incluyó artículos científicos, sitios web de instituciones como la USEPA y/o de empresas cementeras, estadísticas nacionales de carácter gubernamental, libros, normatividad y reglamentos nacionales, trabajos de tesis de universidades nacionales y extranjeras.

Cabe mencionar que la revisión documental empleada aborda el tema de las principales etapas donde se generan mayores emisiones de MP en la producción del cemento Portland.

Asimismo, a través de investigaciones enfocadas en la reducción de emisiones de MP, se utilizaron como base para proponer las tecnologías con mayor eficiencia en la colección de polvos para aquellas etapas reportadas con emisiones de partículas.

Y por último se describe el manejo de los polvos una vez que son capturados. Este manejo dependerá en gran medida al tipo de residuo que resulte en las pruebas de laboratorio previamente realizados, es fundamental mencionar que la bibliografía citada en el presente trabajo toma en cuenta la reducción, la reutilización y el reciclaje así como su disposición final, debido a que la normatividad mexicana y la reglamentación no lo integran en su contenido y consideramos importante que éstos sean tratados o dispuestos de manera adecuada para minimizar los impactos a la salud humana y al ambiente.

Los motores de búsqueda utilizados fueron los siguientes:

- Google académico: Es un buscador especializado en la exploración de documentos de carácter académico como son artículos, libros, documentos de congresos principalmente. La información obtenida proviene de diversas fuentes: universidades, asociaciones profesionales, editoriales entre otros.
- Redalyc: Es una plataforma creada por la Universidad Autónoma de Estado de México como parte de la iniciativa a la información científica de acceso abierto, incluye revistas iberoamericanas y contempla todas las áreas del conocimiento. Esta hemeroteca en línea permite leer, descargar y compartir artículos científicos de forma gratuita.
- ResearchGate: Es una red social de carácter académico dirigido a la comunidad científica de cualquier rama de la ciencia. Además posibilita el acceso a publicaciones, la formulación de preguntas, compartir experiencias dentro de esta plataforma.

El periodo de tiempo para la búsqueda de información fue del año 2002 al 2017.

Las palabras seleccionadas en la búsqueda de información fueron:

Las emisiones de partículas en la industria cementera, tecnología para reducir las emisiones de partículas, controles para reducir la contaminación en la industria del cemento, equipos para controlar las emisiones de partículas, la sustentabilidad en la industria cementera, los usos de los polvos de horno de clinker, los distintos usos de los polvos generados en la industria cementera, las amenazas ambientales de los polvos de horno de clinker, medidas para reducir las emisiones de partículas en la industria del cemento, los polvos de horno de clinker de cemento.

Particle emission in the cement industry, technology to reduce particle emissions, controls to reduce pollution in the cement industry, equipment to control particulate emissions, sustainability in the cement industry, the uses of clinker oven powders, the different uses of powders generated in the cement industry, the environmental threats of clinker kiln dust, measures to reduce particle emissions in the cement industry, cement clinker kiln dusts.

V. PRINCIPALES HALLAZGOS

V.1. Etapas del proceso de fabricación del cemento Portland con mayores emisiones de MP.

Los fundamentos de la propuesta parten de la identificación de las etapas con mayores emisiones de MP en el proceso de fabricación del cemento Portland; al respecto, el Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud (2002, pág. 8), menciona que “las principales fuentes de partículas se encuentran en el horno rotatorio, molino de materias primas, enfriador de clinker y molino de cemento respectivamente” (figura V-1).

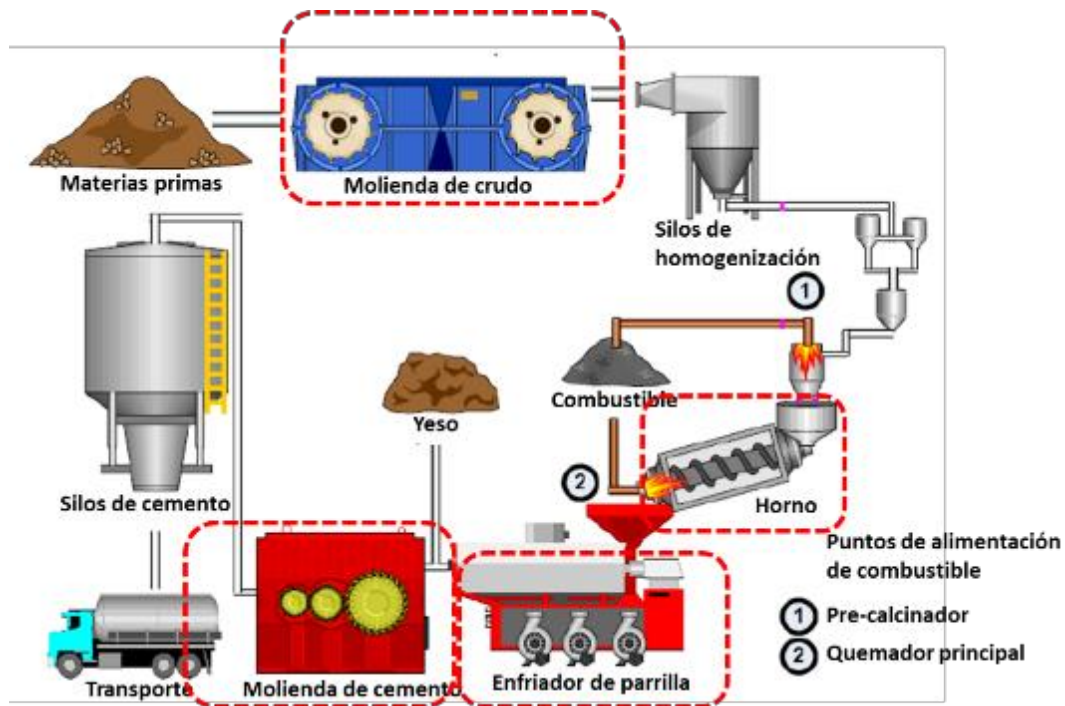


Figura V-1. Etapas del proceso de elaboración del cemento Portland.

Fuente: Nithikul (2007, pág. 14).

Por su parte Chen y otros (2010) lograron identificar la etapa del proceso donde se registra una mayor emisión de partículas contaminantes, esto a través de la metodología “Evaluación del Ciclo de Vida” (LCA por sus siglas en inglés) que consiste en el análisis del proceso productivo de la industria del cemento contemplando la extracción de la materia prima, el proceso, el consumo y la disposición final. El resultado mostró que los impactos más significativos por emisiones de partículas se concentran en el horno rotatorio (figura V-2); cabe mencionar que dentro de las conclusiones del análisis realizado se encontró que los impactos directos del horno del cemento, presentan variación en el contenido de contaminantes en las distintas plantas de elaboración del Cemento Portland evaluadas.



Figura V-2. Horno rotatorio para la obtención de Clinker.

Fuente: FEECO INTERNATIONAL, INC. (2018).

Por su parte Romay Díaz (2011) a través del documento de referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) en la industria del cemento de España, señala específicamente que las principales fuentes de emisión de MP en el proceso de elaboración del cemento son los hornos rotatorios (figura V-2), los enfriadores del clinker (figura V-3) y los molinos de cemento (figura V-4).

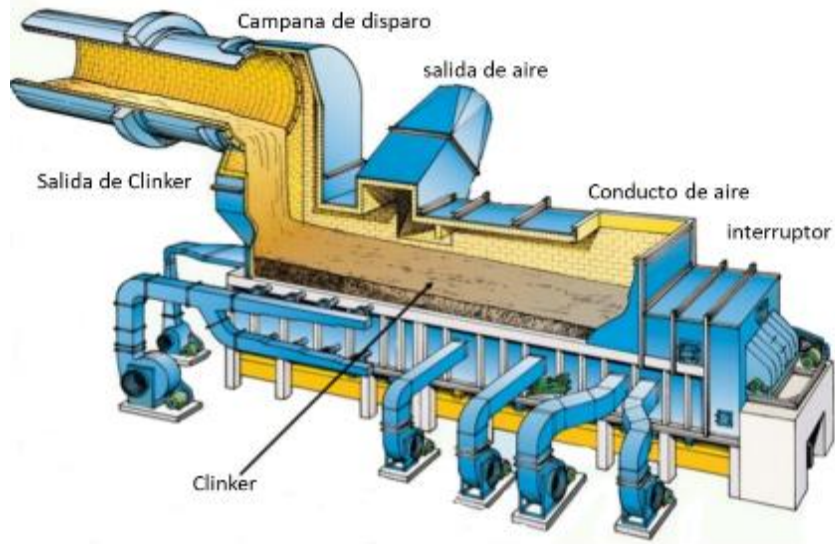


Figura V-3. Enfriador de Clinker.
Fuente: Kjersgaard Nielsen (2012).

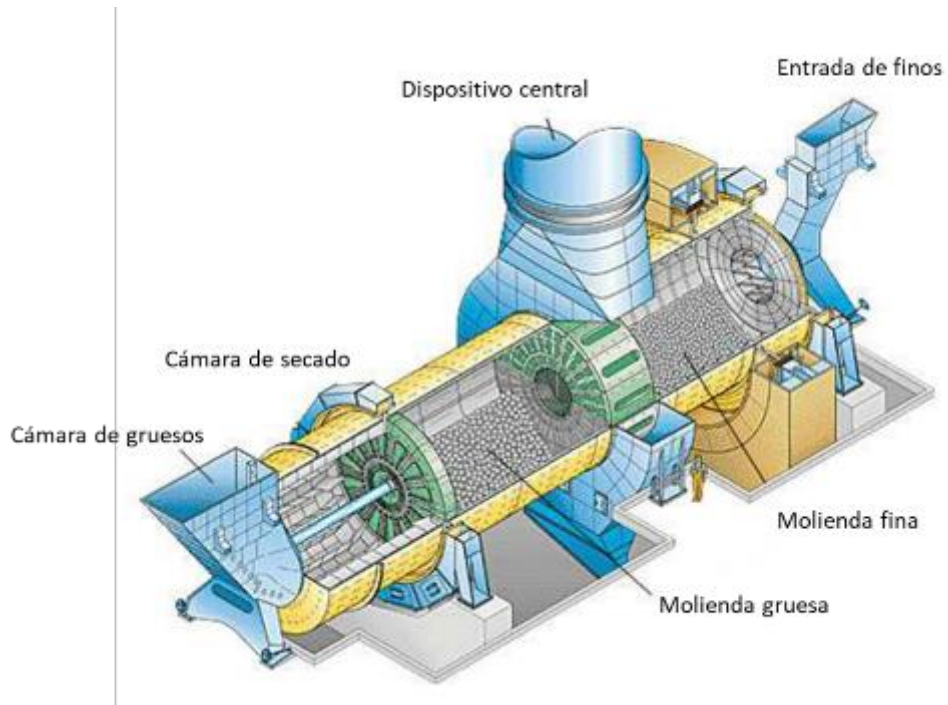


Figura V-4. Molino de cemento.
Fuente: Universidad de Buenos Aires (2015).

Por otro lado, Khattak y otros (2013, pág. 203), mencionan que las etapas como el procesado de la materia prima, la molienda de cemento y el horno rotatorio se caracterizan por ser las principales fuentes de emisión de MP, basándose en investigaciones realizadas en la problemática que enfrenta la industria del cemento en el mundo.

Las etapas con mayores emisiones de MP reportadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla V-1. Etapas con mayores emisiones de partículas en la elaboración del cemento.

	Etapas	Emisión de MP (mg/m³)	Autores
1	Molienda de materia prima	300	Khattak y otros (2013) Ministerio de Medio Ambiente (2004) Instituto Sindical de trabajo ambiente y salud (2002)
2	Horno rotatorio	500	Khattak y otros (2013) Romay Díaz (2011) Chen y otros (2010) Ministerio de Medio Ambiente (2004) Instituto Sindical de trabajo ambiente y salud (2002)
3	Enfriador de clinker	20	Romay Díaz (2011) Ministerio de Medio Ambiente (2004) Instituto Sindical de trabajo ambiente y salud (2002)
4	Molienda de cemento	300	Khattak y otros (2013) Romay Díaz (2011) Ministerio de Medio Ambiente (2004) Instituto Sindical de trabajo ambiente y salud (2002)

V.2. Tecnología para la reducción de emisiones de MP, en el proceso de fabricación del cemento.

La reducción del MP en el proceso de fabricación del cemento Portland es uno de los mayores retos que enfrenta este tipo de industria, esto con la finalidad de evitar problemas sociales y ambientales, debido a las causas expuestas en apartados anteriores. Una de las alternativas a las cuales puede apostarle es a la tecnología especializada para afrontar y de alguna manera disminuir los impactos generados por las emisiones de partículas.

Ante esta situación, la elección de las diferentes opciones el control de las emisiones no es tarea fácil, debido a que, se tienen que considerar aspectos económicos, energéticos, disponibilidad de componentes en caso de daños en su sistema, técnicos y ambientales, y no solo se debe elegir la opción que posea la mayor eficacia en el control de la contaminación, aunque en términos estrictos debería ser la más óptima. Por otro lado cabe destacar que no solo la tecnología especializada para combatir la contaminación es la mejor ni la única opción, ya que también se deben incluir otras técnicas como son cambios o mejoras en las materias primas de tal manera que favorezcan la reducción de contaminantes, o bien realizar cambios y/o modificaciones en el proceso productivo (MJ Brandley & Associates, 2005, págs. 112, 120).

Asimismo, Hassanbeigi y otros (2017) mencionan que a los equipos empleados se les debe dar mantenimiento (limpieza) con la finalidad de evitar la sobresaturación de polvos atrapados, e impedir la reducción de su eficiencia. El control de las emisiones de partículas en los hornos rotatorios, enfriadores de Clinker y molinos de cemento puede llevarse a cabo con la instalación de precipitadores electrostáticos (PE) o filtros de mangas, los cuales pueden conseguir valores de emisión de MP de hasta 10 mg/m^3 , por lo que es recomendable el uso de estos equipos en instalaciones de cementeras.

Por otro lado, un estudio de caso en Pakistán realizado por Khattak y otros (2013), respalda la efectividad de los precipitadores electrostáticos ya que se realizaron algunas pruebas, en el cual se comprobó que estos equipos poseen una máxima eficiencia de retención de polvos, aunque fue todo un reto poder adecuar este tipo de equipo en un proceso de fabricación de cemento, al final los resultados fueron satisfactorios ya que las adecuaciones realizadas tuvieron un alto valor de éxito en el atrapamiento de las partículas generadas principalmente en los hornos y los molinos de cemento.

La Alianza Aire Limpio de China (CAAC por sus siglas en inglés) mencionan que los filtros de mangas son una excelente alternativa que puede emplear la industria del cemento en su línea de producción por su alta eficiencia en la captura de polvos, estos equipos pueden emplearse en las etapas de trituradoras, molinos de cemento y de carbón, maquinas empacadoras y enfriadores (Secretariat for Clean Air Alliance of China, 2013, pág. 24).

En relación al problema Jiménez-Matías (2015) realizó un análisis en el área de trituración, considerada como una de las etapas con mayor emisión de MP durante el proceso de elaboración del cemento, tomó en consideración diversas alternativas de equipos de desempolvado con la finalidad de reducir las emisiones de partículas, se basaron en parámetros como la eficiencia, factores técnicos, económicos y condiciones de trabajo. El resultado de su análisis concluye en que el mejor equipo para este fin es el filtro de mangas tipo Pulse Jet por su mejor capacidad de retención de partículas.

Además de lo planteado en los párrafos anteriores, Hoffmann & Stein (2007) menciona que los ciclones (ver figura V-8) pueden ser un equipo de apoyo para aumentar la capacidad de captura de los polvos generados en las distintas etapas del proceso, además otras de las ventajas que presenta este equipo son los bajos costos en la recolección de polvos, una baja inversión para su operación, construcción simple y que puede ser diseñado con una amplia variedad de

materiales que le permiten soportar altas presiones y temperaturas, todas estas características permiten un fácil mantenimiento.

En la tabla V-2 se presentan aquellos equipos de recolección de polvos para las distintas etapas donde se generan mayores cantidades de partículas.

Tabla V-2. Equipos con mayor eficiencia en la recolección de MP en diferentes etapas con mayores emisiones de partículas.

Etapas	Equipo de recolección	Autores
Molienda de materia prima	Filtros de mangas (tipo Pulse Jet)	Jiménez-Matías (2015) Secretariat for Clean Air Alliance of China (2013)
Horno rotatorio	Precipitadores electrostáticos Filtros de mangas	Hassanbeigi y otros (2017) Khattak y otros (2013) López y otros (2012)
Enfriador de clinker	Precipitadores electrostáticos Filtros de mangas	Hassanbeigi y otros (2017) Secretariat for Clean Air Alliance of China (2013) López y otros (2012)
Molienda de cemento	Precipitadores electrostáticos Filtros de mangas	Hassanbeigi y otros (2017) Khattak y otros (2013) Secretariat for Clean Air Alliance of China (2013) López y otros (2012)

En la tabla V-3 se muestra una comparación de tecnologías de recolección de acuerdo a la reducción del MP, eficiencia, durabilidad, costos económicos y costos en mantenimiento.

Tabla V-3. Comparación entre los equipos para la reducción de MP en la industria del cemento.

Equipo	Reducción	Eficiencia	Durabilidad	Costos	Mantenimiento
Filtro de mangas	**10 mg/m ³	*96%	*20 años	*1.4 millones de dólares	*0.15 dólares Ton/Clinker
Precipitador electrostático	**10 mg/m ³	*99%	*20 años	*1.1 millones de dólares	*0.15 dólares Ton/Clinker

*Hassanbeigi y otros (2017)

** López y otros (2012)

V.2.1. Descripción de equipos para la captura de MP.

V.2.1.1. Precipitadores electrostáticos.

Este tipo de tecnología funciona a través de un campo electrostático por todo el espacio donde pasa la corriente de aire con partículas, estas últimas obtienen una carga negativa y posteriormente viajan hacia unas placas colectoras que poseen una carga positiva (figura V-5 y V-6). Una vez atrapadas las placas colectoras se someten a una serie de golpeteos o vibraciones para su limpieza, el polvo atrapado se capta en tolvas colocadas debajo de estos precipitadores (US Environmental Protection Agency, 2002).

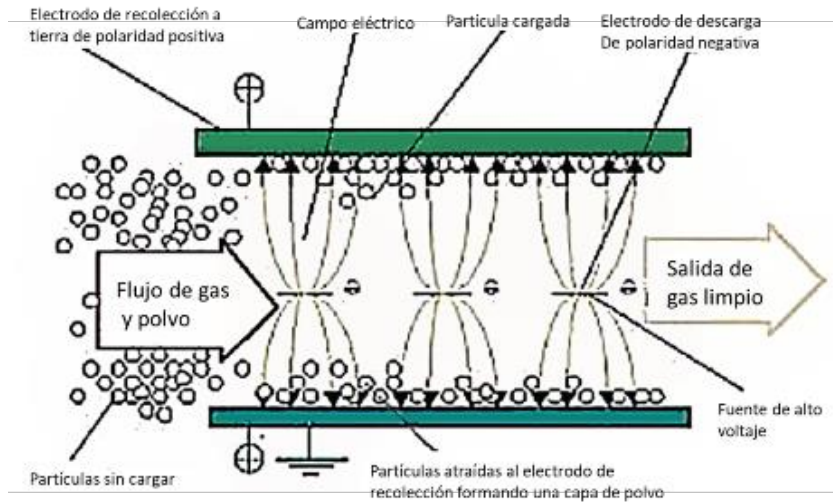


Figura V-5. Principio de un precipitador electrostático.

Fuente: Rodríguez y otros (2017).

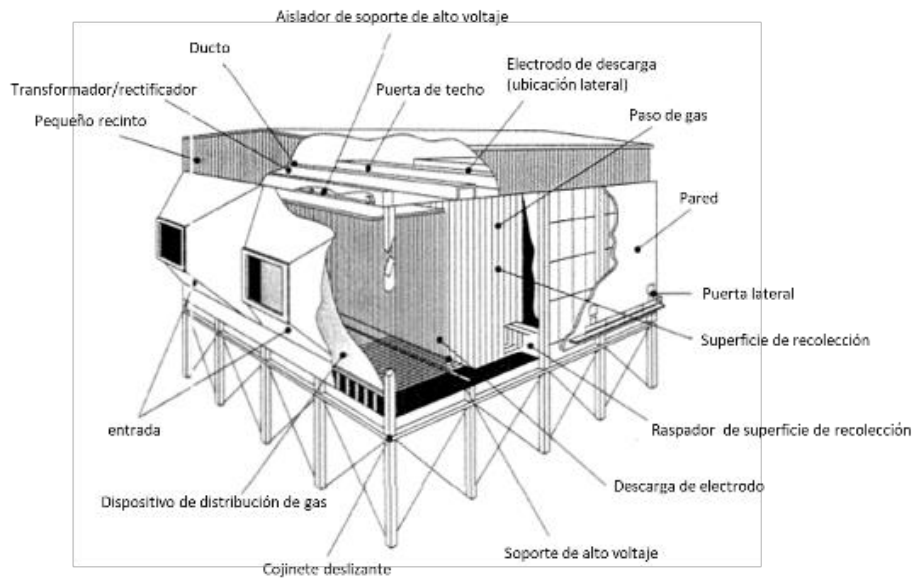


Figura V-6. Precipitador electrostático y sus componentes.

Fuente: EPA (1999, pág. 6).

V.2.1.2. Filtros de mangas.

La función de este tipo de tecnología se basa en el uso de membranas de tejido en el que pueden atravesar los gases pero no los polvos presentes, para prevenir la ineficiencia en su función los filtros de mangas pueden estar divididos en compartimentos que se aíslan de manera individual en caso de que se presente alguna ruptura en alguna de sus mangas. Para comprender como es que los gases fluyen entre las mangas, estos las atraviesan a presión desde el exterior hacia el interior y debido a esto pueden crearse grandes acumulaciones de polvo que es necesario retirar a través de limpieza con la aplicación de métodos como la inversión del flujo de los gases, agitación, vibraciones o el uso de aire comprimido que intervenga como impulsor (figura V-7) (MJ Brandley & Associates, 2005). Es preciso mencionar que el uso de estos equipos en el proceso descarta la necesidad de emplear agua para controlar las emisiones de polvos al aire, por lo que sus ventajas son importantes debido a que se eliminan los impactos al recurso agua en esta fase de control de la contaminación (Cagiao Villar, y otros, 2010).

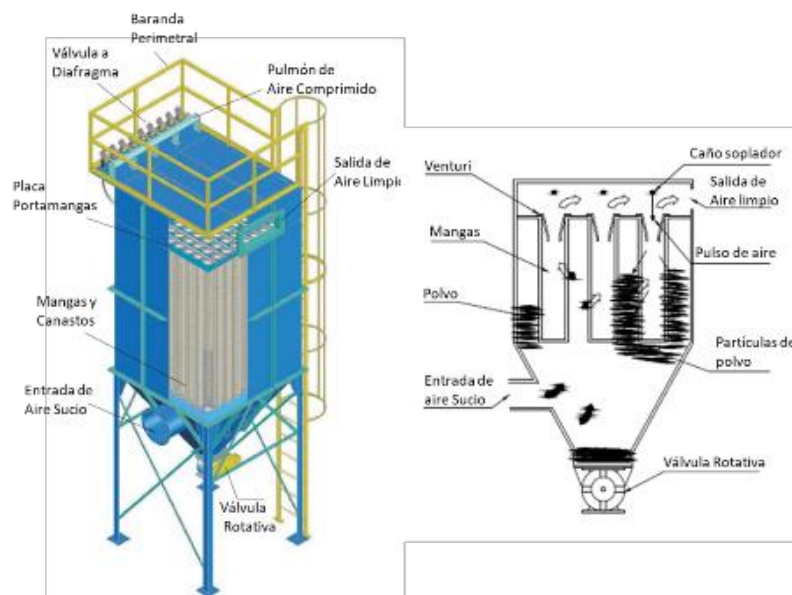


Figura V-7. Filtro de mangas tipo Pulse-Jet.

Fuente: Industrias Tomadoni S.A. (2014).

V.2.1.3. Ciclón.

Este equipo separa las partículas contenidas en el aire al transformar la velocidad de la corriente, su entrada es a través de un vórtice doble confinado dentro de la cámara del ciclón el cual tiene una dirección hacia abajo en forma de espiral. El vórtice secundario asciende siguiendo una trayectoria en espiral por el centro de la estructura del ciclón, terminando a la salida de la cámara del equipo y todos aquellos polvos quedan colectados en la zona inferior del equipo (Echeverri, 2006) (figura V-8).

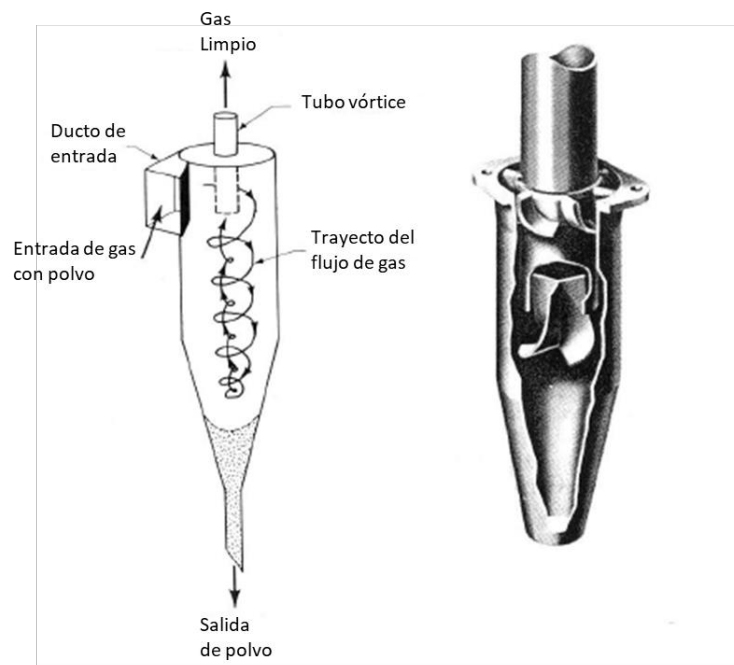


Figura V-8. Ciclón tipo Lapple.

Fuente: Cooper & Callejón (2017).

V.3. Manejo o disposición final de los polvos provenientes del proceso de fabricación del cemento Portland.

V.3.1. Reincorporación del MP al proceso del cemento.

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente de España (2004, pág. 68) y Cagiao Villar y otros (2010, pág. 38) mencionan que “el polvo atrapado en el filtro del horno del Clinker puede ser incorporado de nuevo al proceso, esta acción permite reducir el consumo de recursos y las emisiones de MP al aire, y sobre todo se evita que estos polvos sean dispuestos; sin embargo; se recomienda verificar y tener control de todas las sustancias que se introduzcan a los hornos, a fin de evitar la disminución de la calidad del producto así como contaminantes que puedan ocasionar mayores impactos al ambiente y la salud humana”.

Por su parte Chen y otros (2010) y Çancaya & Pekey (2015), con el objetivo de revisar las cuestiones ambientales relacionadas con la producción del cemento Portland, emplearon la metodología del ciclo de vida e identificaron los impactos ambientales y la sostenibilidad de la producción del cemento, los resultados finales revelaron que varios residuos principalmente los polvos pueden incorporarse al proceso productivo por lo que se respalda aún más la propuesta de reintroducir estos residuos al proceso, como se mencionó anteriormente.

En México la industria CEMEX manifiesta dentro de su plan de manejo de residuos, que los polvos recuperados en su planta en Hidalgo son reincorporados al proceso como parte del tratamiento que le proporciona a este tipo de residuos, asimismo, resalta la importancia de la limpieza de sus equipos para garantizar su eficiencia. A través de este programa hace énfasis de la reducción de sus residuos por mantenimiento y limpieza, así como el reúso de residuos susceptibles de ser valorizados principalmente en hornos, además del control de la generación de sus residuos con la finalidad de almacenarlos y disponerlos adecuadamente, a todo esto

conlleva a hacer conciencia en sus trabajadores de la importancia del manejo integral de sus residuos (Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L., 2018).

En Estados Unidos existe un programa a nivel nacional para la manufactura del cemento de una forma sustentable que integra la ideología para la conservación de los recursos naturales y de energía, este tipo de industria se ha estado renovando con nuevas tecnologías que permiten el reúso de los polvos generados en los hornos de cemento. De acuerdo con datos del año 2006, el gobierno estadounidense respalda la disminución de la disposición final del MP en sitios autorizados. Las cementeras que participan como voluntarias en este programa se encuentran ubicadas en los estados de Oklahoma, Texas, Pennsylvania, Ohio e Illinois (Adaska & Taubert, 2008).

V.3.2. El uso de los MP en la industria de la construcción.

Otra alternativa de sustentabilidad para la industria del cemento es que los polvos que se generan en su línea de producción pueden ser aprovechados en la industria de la construcción, específicamente como complemento en los materiales para la elaboración de concretos y asfaltos, mismos que son empleados en la cimentación de edificios, carreteras entre otras. Los resultados en su aplicación parecen ser favorables ya que los concretos y asfaltos procesados con estos polvos le confieren características de alta calidad y durabilidad (Sreekrishnavilasam & Santagata, 2006).

Como parte del manejo sustentable de los polvos de cemento, Mosa y otros (2017) demostraron que la industria de la construcción resulta ser beneficiada, como es el caso de las ciudades iraquíes Maesan, Wasit, Karbala y Najaf donde se construyó una carretera de aproximadamente 180 km., en Wasit alrededor de 17 km de esta carretera se utilizaron polvos de horno de cemento, los resultados demuestran la reducción en los costos de materiales ya que el grosor de la carretera

se redujo de 250 mm a 175 mm, este hecho no comprometió la calidad de la cimentación de la construcción, además cabe mencionar que los polvos fueron obtenidos de forma gratuita en una planta cementera de Irak.

Por otra parte Abdel-Ghani y otros (2017) menciona que en el año 2015, el gobierno Egipcio en conjunto con algunas empresas cementeras comprometidas con el medio ambiente, realizaron pruebas para la fabricación de materiales de construcción denominados “verdes” (utilizaron polvos generados en el proceso de fabricación del cemento) entre los que destacan concretos, paredes de soporte para puentes, ladrillos y pavimentos de alta resistencia y durabilidad que cumplen con las normas de ese país, así como normas europeas. Como consecuencia de estos hallazgos se planea construir una planta que utilice estos residuos valorizados.

Naik y otros (2003) mencionan que en los Estados Unidos se han estado empleando MP para la fabricación de nuevos productos, entre los que destacan la construcción de carreteras con la mejora en su calidad. La asociación de cemento Portland reporta que ha recibido solicitudes de empresas para patentar productos para la industria de la construcción en los que se emplean polvos provenientes de la industria del cemento. El compromiso de la reducción del impacto de esta industria ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías para utilizar el MP en otros procesos productivos.

Otra investigación desarrollada en Egipto y reportada por El-Attar y otros (2016) menciona el uso del MP provenientes de la industria del cemento para la fabricación de ladrillos. Estos materiales al contener una determinada cantidad de polvos adquieren mayor calidad y disminuyen los costos en su elaboración, aunado a esto garantiza una mayor seguridad en las edificaciones por las agresiones ambientales.

V.3.3. Otros usos del MP.

Adaska & Taubert (2008), Rahmand y otros (2011) y Estrucplan (2017) demuestran la viabilidad de utilizar el MP para la estabilización de suelos en la agricultura, lo que permite obtener un pH adecuado y los nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos. El uso de estos polvos en el tratamiento de aguas y lodos residuales es otra opción que permite mejorar su la calidad, ya que en las aguas permite ahorrar costos en sustancias químicas que ayuden a este fin, para el caso de los lodos como fuente de nutrientes en suelos destinados para agricultura. Sin embargo, es importante mencionar que debido a la escasa investigación en el uso de MP para estos fines, los resultados obtenidos son solo a nivel de laboratorio por lo que aún pueden perfeccionarse los métodos y técnicas que permitan la viabilidad en el empleo de los MP en estas actividades.

Por otro lado en caso de que no fuera posible la reutilización de estos polvos debido a que sus características representen una amenaza para la salud humana, el ambiente o al producto derivado de un análisis previo, éstos deberán ser separados y dispuestos de tal manera que se tenga total cuidado ya que estos poseen la capacidad de ser solubles en agua, por lo que no deben representar riesgo a las aguas subterráneas y esto se puede lograr a través de un confinamiento total (Estrucplan, 2017).

IX. Conclusiones

De acuerdo a la investigación documental realizada sobre las emisiones de MP en la industria del cemento Portland, se puede concluir que la etapa con mayores emisiones de partículas son los hornos rotatorios con una concentración de 500 mg/m³.

Del análisis de los equipos utilizados para la reducción de MP se observó que existen similitudes entre su eficiencia, costos y mantenimiento. Sin embargo, los precipitadores electrostáticos presentan mejores características para disminuir las emisiones de partículas durante el proceso de fabricación del cemento.

Además de la tecnología planteada, se deben considerar los cambios o mejora en las materias primas y en el proceso productivo, de tal manera que favorezcan la reducción de contaminantes.

Por otra parte, el manejo de los polvos generados en la industria del cemento una vez que son recolectados, pueden ser reincorporados al mismo proceso, o bien; pueden ser utilizados para la fabricación de otros sub-productos. Cabe mencionar que en caso de aplicarse algún uso, estos deben ser regulados para su correcta disposición a fin de evitar potenciales riesgos a la salud humana o al ambiente.

X. Perspectivas

1. A través de un análisis de laboratorio conocer las características de las materias primas empleadas en el proceso de elaboración del cemento Portland, en el estado de Morelos, y de esta manera implementar un adecuado manejo de los MP que se generan.
2. Realizar un diagnóstico de percepción social de la población aledaña a las plantas cementeras, y de esta manera desarrollar una estrategia de prevención de riesgos a la salud.
3. Realizar la estimación de emisiones de partículas en las plantas cementeras con la metodología propuesta por la US EPA.
4. Realizar cuantificación de MP cercanos a las plantas cementeras y conocer los efectos a la flora y fauna cercanas.
5. Realizar entrevistas al personal de las cementeras para conocer su percepción acerca de la problemática en torno a la cementera.
6. Gestionar la creación de una norma mucho más exigente e incluir con carácter obligatorio que la industria de este giro implemente mejoras tecnológicas para la reducción de MP y su reúso como materia prima para otros productos o de no ser posible garantizar su disposición final adecuada.

ANEXO

Como soporte adicional, es importante observar los cuadros IX-1 y IX-2 para lograr la sustentabilidad en la industria del cemento aplicando políticas y acciones que brinden apoyo en esta transición.

Tabla IX-1. Legislación y políticas aplicables a la industria del cemento para la sustentabilidad.

Legislación/Norma	Contenido
Reglamento comunitario de Eco-Gestión y Eco-auditoria de la Unión Europea (EMAS por sus siglas en inglés)	Normativa Europea de carácter voluntario aplicable en todo el mundo, en el que se reconoce a aquellas organizaciones que han implementado un Sistema de Gestión Ambiental (EMAS, 2017)
Organización Internacional de Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) Serie ISO 14000 Serie ISO 9000 Serie ISO 26000	Normas Internacionales voluntarias para la certificación de un sistema integral de gestión ambiental, calidad y responsabilidad social mediante la cual las organizaciones identifican, priorizan y gestionan diversos criterios incluyendo a los riesgos ambientales como parte de las prácticas empresariales (International Organization Standardization, 2018)
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Art. 4, párrafo II, menciona que toda persona tiene el derecho a un ambiente sano, por lo tanto el daño o deterioro ocasionado al ambiente concebirá responsabilidad para quien lo provoque en todo caso el Estado tiene la facultad de hacer valer ese derecho (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	Art. 11 y 28 hacen alusión a la evaluación del impacto ambiental como procedimiento por el cual la autoridad establecerá las condiciones de aquellas actividades que realice la industria del cemento y que causen desequilibrio ecológico, su objetivo principal es evitar o reducir la degradación del ambiente, por lo que dicho sector industrial deberá contar con la autorización previa a sus acciones (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2015)

Legislación/Norma	Contenido
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	Dentro de su contenido esta Ley gestiona la problemática de los residuos, incluyendo aquellos que se generan en la industria, realza los principios de las 3R y describe los instrumentos de prevención, la gestión integral, planes de manejo, la participación de todos los sectores así como asumir la responsabilidad por contaminación ambiental o la remediación de sitios contaminados. Además involucra el uso racional de los recursos naturales por medio de la reducción de su explotación ya que puede considerarse la creación de materia prima a través de residuos (SEMARNAT, 2016, pág. 341)
Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos	Ley de orden estatal que hace referencia al cuidado del ambiente, manifiesta la importancia del desarrollo económico a través de actividades sustentables, entre éstas los de la industria establecida en el Estado de Morelos así como su cumplimiento y la responsabilidad con la normatividad en materia ambiental (Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos, 2017)
Certificación Industria Limpia Reconocimiento de excelencia ambiental	Certificaciones expedidas por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), este programa permite integrar un sistema de gestión ambiental en la industria y a su vez facilita cumplir con los requerimientos legales en materia ambiental, promueve normas oficiales de la SEMARNAT para la vigilancia de emisiones al aire, aguas residuales, residuos, protección a la flora y fauna, emisiones de ruido (PROFEPA, 2018)
NOM-040-SEMARNAT-2002	Principal norma aplicable a la industria del cemento en la que se vigila la protección ambiental a través de los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera por la fabricación de cemento, toma el criterio establecido por la LGEEPA para la calidad del aire (SEMARNAT, 2002).

Legislación/Norma	Contenido
Bolsas de valores sustentables	Agrupar a empresas cuyo desempeño ambiental y social les permite tener acceso a capital de inversionistas preocupados por la sustentabilidad (Grupo BMV, 2017)
Empresa Socialmente Responsable (ESR)	Reconocimiento otorgado a todas aquellas empresas como organizaciones voluntariamente comprometidas con la sociedad, este distintivo agrega valor y rentabilidad a la marca. Éste toma en cuenta cuatro categorías: ética y gobernabilidad empresarial, calidad de vida de la empresa, vinculación y compromiso con la comunidad y su desarrollo, y preservación del ambiente (CEMEFI, 2018)

Tabla IX-2. Factores, subfactores y líneas de acción para la sustentabilidad en la industria del cemento en México.

Factor de sustentabilidad	Subfactor	Acciones
Prevención de la contaminación	Control de las emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de las emisiones de gases y partículas • Programas internos para vigilar el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable • Programa de auditorías ambientales internas • Implementación de una estrategia para la captura de partículas • Control de emisiones de CO₂ para disminuir sus aportaciones al cambio climático
	Manejo de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de un plan de manejo integral de los residuos que se generen en la planta
	Control de la generación de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un programa de manejo integral del agua • Establecer un programa de mantenimiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales generadas en la planta • Diseñar e implementar una estrategia de concientización que reduzca el consumo de agua

Factor de sustentabilidad	Subfactor	Acciones
		<ul style="list-style-type: none"> • Monitorear y reportar la calidad de agua tratada • Reutilizar el agua tratada en las instalaciones
Gestión de los recursos naturales	Aprovechamiento razonable de las materias primas	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar estrategias de generación de materias primas a partir de residuos con la finalidad de reducir el consumo de los recursos naturales • Incorporar un porcentaje de materiales reciclados a su producción
	Áreas verdes	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el cuidado de las áreas verdes que se encuentren dentro y fuera de las instalaciones • Establecer programas de reforestación con flora nativa
Inversión verde	Inversión para el consumo sustentable de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de procesos • Alumbrado inteligente • Sistemas de energía renovable • Administración y control de insumos
	Inversión en tecnología ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de tecnología de vanguardia y amigables con el ambiente • Adopción de equipos con mayor eficiencia y menor consumo
Responsabilidad social	Valores éticos y sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Adopción de un código de ética • Rechazo a prácticas discriminatorias • Acciones para evitar actos de corrupción
	Programas sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo a instituciones educativas y sociales • Proyectos de voluntariado en las comunidades • Inversiones para el beneficio de las comunidades y su entorno
Ciencia para el desarrollo sustentable	Asignación de recursos para apoyar proyectos en materia de sustentabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Convenios de colaboración y financiamiento con Instituciones de Educación Superior

Literatura citada

- Abdel-Ghani, N., El-Sayed, H., & El-Habak, A. (23 de november de 2017). Utilization of by-pass cement kiln dust and air-cooled blast-furnace steel slag in the production of some “green” cement products. *HBRC Journal*. doi:doi.org/10.1016/j.hbrcj.2017.11.001
- Adaska, W., & Taubert, D. (may de 2008). Beneficial uses of cement kiln dust. (IEEE- IAS, Ed.) *Cement Industry Technical*, 1-19. Recuperado el 18 de junio de 2018, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.465.2054&rep=rep1&type=pdf>
- Arciniégas-Suárez, C. A. (12 de agosto de 2011). *Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10*. Recuperado el 12 de enero de 2018, de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742012000100012&script=sci_abstract&tlng=pt
- Ávila, J. (2009). Contaminación atmosférica en las empresas cementeras en el marco de la responsabilidad social ante las comunidades adyacentes. *Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 6(1), 48-69. Recuperado el 25 de noviembre de 2017
- Baena López, G. A. (2009). *I+E Investigación estratégica*. Barranquilla, Barranquilla, Colombia: De Marketing Colombia. Recuperado el 11 de diciembre de 2017, de <https://books.google.com.mx/books?id=4JWxFGLWuu4C&pg=PA46&dq=investigacion+inductiva+y+deductiva&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjEktytrIPYAhUBTt8KHTMRD38Q6AEILDAB#v=onepage&q=investigacion%20inductiva%20y%20deductiva&f=false>

Becker, E. A. (2017). *Cemento Portland. Características y usos*. Recuperado el 06 de diciembre de 2017, de Loma Negra C.I.A.S.A.: www.arquitectogustavo.com.ar/Archs/CementoPortland-Clasificacion-LomaNegra.pdf

Cagiao Villar, J., Gómez Meijide, B., Doménech Quesada, J. L., Gutiérrez Mainar, S., Gutiérrez Lanza, H., Martínez Abella, F., & González Fonteboa, M. B. (2010). *Huella ecológica del cemento*. Coruña, España: Laboratorio de ingeniería sostenible. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de http://www.lis.edu.es/uploads/640bc719_c071_46e4_86fc_8632bc5b6c0c.pdf

Cámara de Diputados. (8 de octubre de 2015). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Ciudad de México: Congreso de la Unión. Recuperado el 2017 de noviembre de 24

Cámara de diputados del H. congreso de la unión. (2014). *Reglamento de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*. Ciudad de México, México: Secretaría de servicioc parlamentarios. Recuperado el 12 de agosto de 2018, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2015). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental*. Ciudad de México, México: Secretaria de Servicios Parlamentarios. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2017). *Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México, México: Secretaría de Servicios

- Parlamentarios. Recuperado el 30 de junio de 2018, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150917.pdf
- Çankaya, S., & Pekey, B. (2015). Identifying environmental impacts of cement production with life cycle assessment: literature review. *Ecology & Safety. Journal of International Scientific Publications*, 9, 251-267.
- CEMBUREAU. (20 de noviembre de 2017). *The manufacturing process*. Recuperado el 1 de diciembre de 2017, de CEMBUREAU The European Cement Association: <https://cembureau.eu/cement-101/the-manufacturing-process/>
- CEMEFI. (junio de 2018). *El concepto de responsabilidad social empresarial*. Recuperado el 26 de junio de 2018, de www.cemefi.org: https://www.cemefi.org/esr/images/stories/pdf/esr/concepto_esr.pdf
- Cemento Cruz Azul. (2017). *Etapas de producción*, digital. Recuperado el 8 de diciembre de 2017, de Cementos Cruz Azul: <https://cementocruzazul.com.mx/nuestro-cemento/>
- Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y., & Jullien, A. (04 de Enero de 2010). Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. (ELSEVIER, Ed.) *Journal of cleaner production*(18), 478-485. doi:10.1016/j.jclepro.2009.12.014
- ConcretOnLine. (2011). *Información general sobre la industria del cemento*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de ConcretOnLine: http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=736&Itemid=35
- Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. (2017). *Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos*. Cuernavaca, Morelos, México: Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Recuperado el 2 de julio de 2018, de

<http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes/pdf/LAMBIENTEM.pdf>

Cook, T. D., & Reichardt, C. S. (1986). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa* (primera ed.). (G. Solana, Trad.) Madrid, España: Ediciones Morata, S. L. Recuperado el 11 de diciembre de 2017, de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42343500/Cook_Reichardt.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1513057966&Signature=cm5P3%2BuxDuE%2B72Owspk0objx4FQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCook_Reichardt.pdf

Cooper, C. D., & Callejón, F. C. (13 de abril de 2017). *Ciclones*. Recuperado el 18 de junio de 2018, de Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia: <https://cultivopalma.webcindario.com/Ciclones.pdf>

Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L. (2018). *Plan de manejo de residuos de manejo especial*. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de [cementocruzazul.com.mx: https://cementocruzazul.com.mx/comunicacion-progreso/publicado/enfoque-de-gestion-e-indicadores/planta-cruz-azul-hidalgo/gerencia-corporativa-de-ecologia/plan-de-manejo-de-residuos-de-manejo-especial/index.html](https://cementocruzazul.com.mx/comunicacion-progreso/publicado/enfoque-de-gestion-e-indicadores/planta-cruz-azul-hidalgo/gerencia-corporativa-de-ecologia/plan-de-manejo-de-residuos-de-manejo-especial/index.html)

Echeverri, C. A. (22 de agosto de 2006). Diseño óptimo de ciclones. *Revista ingenierías*, 123-139. Recuperado el 25 de mayo de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/750/75050911.pdf>

ELA EUZKAL SINDIKATUA. (25 de mayo de 2012). *Consecuencias ambientales del capitalismo: la deuda ecológica*. Recuperado el 13 de marzo de 2018, de MANU ROBLES-ARANGIZ INSTITUTUA FUNDAZIOA: <https://www.mrafundazioa.eus/es/articulos/consecuencias-ambientales-del-capitalismo-la-deuda-ecologica>

- El-Attar, M. M., Sadek, D. M., & Salah, A. M. (16 de december de 2016). Recycling of high volumes of cement kiln dust in bricks industry. *Journal of cleaner production*, 143, 506-515. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de file:///C:/Users/RENE%20IVAN/Downloads/1-s2.0-S0959652616321461-main.pdf
- EMAS. (december de 2017). *ec.europa.eu*. Recuperado el 24 de junio de 2018, de environment: http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm
- Enseñat de Villalonga, A. (1977). *La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica*. Recuperado el 12 de Enero de 2018, de Materiales de construcción: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewArticle/1180>
- EPA. (1999). Precipitadores electrotáticos. En J. Tuner, P. Lawless, T. Yamamoto, & D. Coy, *Controles de materia particulada* (pág. 66). Estados Unidos: Research Triangle Park. Recuperado el 28 de mayo de 2018, de <https://www3.epa.gov/ttnatc1/dir2/cs6ch3-s.pdf>
- Estrucplan. (02 de mayo de 2003). *Impactos ambientales y activiades de producción*. Recuperado el 14 de junio de 2018, de estrucplan on line: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=258>
- Estrucplan. (8 de diciembre de 2017). *Impactos ambientales y actividades productivas*. Recuperado el 12 de enero de 2018, de Estrucplan On Line: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=258>
- FEECO INTERNATIONAL, INC. (2018). *Rotatory Kilns*. Recuperado el 6 de junio de 2018, de FEECO INTERNATIONAL, INC.: <http://feeco.com/rotary-kilns/>

- Fernández-Bernal, B. L., & Hernández-Saavedra, K. A. (2008). *Diagnóstico de la Industria del Cemento en Colombia y Evaluación de Alternativas Tecnológicas para el Cumplimiento de Emisión de Fuentes Fijas*. Bogotá, Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle. Recuperado el 19 de noviembre de 2017
- Galeana de la O, S., Ortega-García, L., & Zuñiga-Macías, E. (1999). Conceptualización y propuesta metodológica del estudio-diagnóstico de comunidad. En S. Galeana de la O, *Promoción social* (primera ed., págs. 61-72). México, D.F., México: Plaza y Váldes. Recuperado el 05 de diciembre de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/162390160/Promocion-social-Silvia-Galeana-de-la-O-pdf>
- Gil, D. (23 de febrero de 2016). *Cómo influye el crecimiento económico en el medio ambiente*. Recuperado el 13 de marzo de 2018, de Universitat de Valencia: <https://www.uv.es/uvweb/master-politica-economica-economia-publica/es/blog/influye-crecimiento-economico-medio-ambiente-1285949223224/GasetaRecerca.html?id=1285959012054>
- Grupo BMV. (2017). *Informe de sustentabilidad*. Recuperado el 25 de junio de 2018, de <http://www.bmv.com.mx>:
http://www.bmv.com.mx/es/Grupo_BMV/Reporte_de_sustentabilidad
- Hassanbeigi, A., Khanna, N., & Price, L. (marzo de 2017). *Air Pollutant Emissions Projections for the Cement and Steel Industry in China and the Impact of Emissions Control Technologies*. China Energy Group, Energy Analysis and Environmental Impacts Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. China: Berkeley Lab. Recuperado el 24 de noviembre de 2017, de <https://eta.lbl.gov/publications/air-pollutant-emissions-projection>
- Hoffmann, A. C., & Stein, L. E. (2007). *Gas cyclones and swirl tubes* (Second ed.). Houston, United States: Springer. Recuperado el 18 de junio de 2018, de

http://www-edc.eng.cam.ac.uk/~dds11/Book-Gas_Cyclones_and_Swirl_Tubes/0%20front-matter.pdf

Hutzinger, D. N., & Eatmon, T. (2009). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 17, 668-675. doi:10.1016/j.jclepro.2008.04.007

Index Mundi. (2015). *Hydraulic Cement: World Production, By Country*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de Index Mundi Statistics: http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/cement/cement_t22.html

Industrias Tomadoni S.A. (2014). *Filtro de mangas*. (Signos, Ed.) Recuperado el 15 de junio de 2018, de Tomadoni.com: http://tomadoni.com/imagenes/publicidad/1410801514_600%20-%20Filtro%20de%20Mangas%20General.pdf

INEGI. (2016). *Principales características de la fabricación de cemento y productos de concreto*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de INEGI. Encuesta Anual de la Industria Manufacturera (EAIM): <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/default.aspx>

INEGI. (2017). *Cemento. Clasificaciones y Catálogos*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN 2013): <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/SCIAN/scian.aspx>

INEGI. (septiembre de 2017). *Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM). Volumen y valor de producción de cemento*. Recuperado el 1 de diciembre de 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

- INEGI. (septiembre de 2017). *Industria manufacturera según subsector de actividad por entidad federativa. Valor de producción. Morelos*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM): <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/default.aspx>
- INEGI. (2017). *Número de establecimientos. 3273 Fabricación de cemento y productos de concreto*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM, datos anuales): <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=10800070#D10800070>
- INEGI. (2017). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN 2013)* . Recuperado el 1 de diciembre de 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/SCIAN/scian.aspx>
- INEGI. (septiembre de 2017). *Volumen de fabricación de cemento y productos de concreto. En toneladas*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM): <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/default.aspx>
- INKA. (17 de enero de 2017). *Producción de cemento en el mundo*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de Cemento INKA: <http://www.cementosinka.com.pe/blog/produccion-cemento-mundo/>
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, A.C. (enero de 2016). *El cemento en la obra. Problemas, causas y conclusiones*. Recuperado el 6 de diciembre de 2017, de Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, A.C.: <http://imcyc.com/revistacyt/pdf/enero2016/problemas.pdf>
- Instituto Sindical de trabajo ambiente y salud. (junio de 2002). *Posibles afecciones y riesgos ambientales derivados de las emisiones procedentes de los hornos cementeros*.

Recuperado el 25 de mayo de 2018, de ISTAS:
<http://www.istas.net/web/abreenlace.asp?idenlace=1661>

International Organization Standardization. (2018). *ISO 14000 family. Environmental management*. Recuperado el 24 de junio de 2018, de www.iso.org:
<https://www.iso.org/home.html>

Jiménez Matías, F. X. (2015). *Selección de un sistema de despolvo en área de trituración en la industria cementera*. Guayaquil, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37720>

Khattak, Z., Ahmad, J., Muhammad, H., & Shah, S. (January de 2013). Contemporary Dust Control Techniques in Cement Industry, Electrostatic Precipitator - A Case Study. *World Applied Sciences Journal*, págs. 202-209. doi:DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.22.02.2276

Kjersgaard Nielsen, J. (20 de august de 2012). *Cement manufacturing*. Recuperado el 06 de junio de 2018, de [Slideshare.net](https://www.slideshare.net/featured/category/technology):
<https://www.slideshare.net/featured/category/technology>

López, A., Cobo, C., Blanco, F., & Gutiérrez, M. A. (2012). Mejora del rendimiento en una cementera mediante el empleo de combustibles alternos. *M+A Revista electrónica de medio ambiente*, 12, 47-61. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41209/52_M+A_Geografia.pdf

Martínez, A. (2014). *Estudio del sector cementero a nivel mundial y nacional, con particularización de una empresa cementera situada en la Comunidad Valenciana*. (F. d. empresas, Ed.) Valencia, España: Universitat Politecnica de Valencia. Recuperado el 13 de marzo de 2018

Ministerio de Medio Ambiente. (2004). *Guía de mejores técnicas disponibles en España de fabricación de cemento*. Madrid, España: Centro de publicaciones secretaria general técnica ministerio de medio ambiente. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de <http://www.prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Cemento-BA18C5917BE0DC9D.pdf>

MJ Brandley & Associates. (2005). *Mejor tecnología disponible para el control de la contaminación atmosférica en América del Norte: directrices para el análisis y estudios de caso*. Montreal, Canadá: 1000 Elm Street. Recuperado el 10 de mayo de 2018, de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2195-best-available-technology-air-pollution-control-es.pdf>

Mosa, A. M., Taher, A. H., & Al-Jaberi, L. (20 de June de 2017). Improvement of poor subgrade soils using cement kiln dust. *ELSEVIER, VII*, 138-143. Recuperado el 02 de agosto de 2018, de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S221450951730061X?token=B788D684CED11D4FF12BC1239E1FD9EA255010DA21D6FFC4782C700E2A4E768868ADA8930BF07417772EFCEACA239BC5>

Naik, T. R., Canpolat, F., & Chun, Y. (2003). *Uses of CDK other than for flue gas desulfurization*. University of Wisconsin, Department of civil engineering and mechanics. Wisconsin: Holcim US. Recuperado el 3 de septiembre de 2018, de <https://www4.uwm.edu/cbu/Papers/2003%20CBU%20Reports/REP-529.pdf>

Nithikul, J. (2007). *Potential Of Rrefuse Dderived Fuel Production*. Bangkok, Thailand: Asian Institute of Technology. Recuperado el 27 de mayo de 2018, de CEMEX.com: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.501.4998&rep=rep1&type=pdf>

- Notas de concreto. (2009). *Tamaño de las partículas y finura del cemento*. Obtenido de Notas de concreto: <http://notasdeconcretos.blogspot.mx/2011/04/tamano-de-las-particulas-y-finura-del.html>
- OECD. (2018). *¿El comercio internacional es bueno o malo para el medio ambiente?* Recuperado el 13 de marzo de 2018, de L'Organisation de coopération et de développement économiques: <http://www.oecd.org/fr/echanges/elcomerciointernacionalyelmedioambiente.htm>
- Pérez, J. (15 de enero de 2014). *Crecimiento económico y conservación del medio ambiente*. Recuperado el 13 de marzo de 2018, de El orden Mundial en el S. XXI: <https://elordenmundial.com/2014/01/15/crecimiento-economico-y-conservacion-del-medio-ambiente/>
- PROFEPA. (2018). *Programa Nacional de Auditoría Ambiental México*. Recuperado el 24 de junio de 2018, de profepa.gob.mx: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/26/1/mx/programa_nacional_de_auditoria_ambiental.html
- Quantachrome instruments. (2013). *La densidad del cemento*. Obtenido de Quantachrome: http://www.quantachrome.com/materials_applications/Cement_density_spanish.htm
- Rahmand, M. K., Rehman, S., & Al-Amoudi, O. S. (april de 2011). Literature review on cement kiln dust usage in soil and waste stabilization and experimental investigation. *IJRRAS*, 7(1), 77-87. Recuperado el 16 de junio de 2018, de <https://pdfs.semanticscholar.org/3495/bdb9a3e4f8a62dd346da18f99ef627feca10.pdf>

- Ramos-Quintana, F., & Hernández-Rabadán, D. (2014). Modelos predictivos y de construcción de campos de flujo de viento. En E. Sánchez-Salinas, M. L. Ortiz-Hernández, & M. L. Castrejón-Godínez, *Contaminación Urbana del Aire: Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales* (Primera ed., págs. 135-166). Cuernavaca, Morelos, México: UAEM. Recuperado el 3 de septiembre de 2018, de https://www.uaem.mx/progau/archivos/libros/2014_LIBRO_CONTAMINACION%20URBANA%20DEL%20AIRE.%20ASPECTOS%20FISICOQUIMICOS%20MICROBIOL%C3%93GICOS%20Y%20SOCIALES.pdf
- Rodríguez, J., Alarcón, U., García, O., & Benavides, G. (diciembre de 2017). Diseño y prototipo de un precipitador electrostático. (C. Díaz, Ed.) *MUTIS*, VII(2), 86-95. doi:doi.org/10.21789/22561498.1237
- Romay Díaz, M. (septiembre de 2011). Las mejores técnicas disponibles en la industria del cemento. *Revista Técnica Cemento-Hormigón*(946), 52-62. Recuperado el 10 de mayo de 2018, de http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Sustentabilidad/C3943hor_11_10_romay_mejores.pdf
- Rubenstein, M. (9 de mayo de 2012). *Emissions from the Cement Industry*. Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de State of the planet. News from the Earth Institute. Columbia University: <http://blogs.ei.columbia.edu/2012/05/09/emissions-from-the-cement-industry/>
- Ruíz, R. (2017). *La ciencia y el método científico*. Recuperado el 11 de diciembre de 2017, de [www.ilustrados.com](http://www.ilustrados.com/documentos/ciencia-metodo-cientifico-210807.pdf): <http://www.ilustrados.com/documentos/ciencia-metodo-cientifico-210807.pdf>

Secretariat for Clean Air Alliance of China. (april de 2013). *"TWELFTH FIVE-YEAR PLAN" On Air Pollution Prevention and Control in Key*. Obtenido de Clean Air China: <http://www.cleanairchina.org/file/loadFile/9.html>

SEMARNAT. (1 de febrero de 2013). *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT. (17 de febrero de 2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-040-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Fabricación de cemento hidráulico. Niveles máximos de emisión a la atmósfera*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT. (2012). Residuos. En S. d. Naturales, *Informe de la situación del medio ambiente en México* (págs. 318-360). Distrito Federal, México: SNIARN. Recuperado el 12 de diciembre de 2017, de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

SEMARNAT. (2016). Residuos. En SEMARNAT, & S. N. Naturales (Ed.), *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015* (págs. 429-479). Ciudad de México, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/index.html>

SEMARNAT. (22 de junio de 2006). *Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Características, Procedimiento de Identificación, Clasificación y los Listados de*

los Residuos Peligrosos. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Smith, J., Van Ness, H., & Abbott, M. (2003). *Introducción a la termodinámica de la ingeniería química*. México: McGraw-Hill Education.

Sreekrishnavilasam, A., & Santagata, M. C. (2006). *Development of criteria for the utilization of cement kiln dust (CKD) in high infrastructures*. Indiana, Indiana, United State: Purdue University. doi:10.5703 / 1288284313395

Stajanča, M., & Eštoková, A. (2012). Environmental impacts of cement production. *Lviv Polytechnic National University Institutional Repository*, 296-302.

Sudheer Kumar, S., Ajay Singh, N., Kumar, V., Sunisha, B., Preeti, S., Deepali, S., & Ravindra Nath, S. (2008). Impact of dust emission on plant vegetation in the vicinity of cement plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 31-35. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ajay_Nagpure/publication/220016971_Impact_of_dust_emission_on_plant_vegetation_in_the_vicinity_of_cement_plant/links/0deec525c0d1cb3b97000000/Impact-of-dust-emission-on-plant-vegetation-in-the-vicinity-of-cement-plant.

Universidad de Buenos Aires. (2015). *Industrias I*. Recuperado el 06 de junio de 2018, de [http://www.uba.ar: file:///C:/Users/RENE%20IVAN/Documents/EGIR/Metodolog%C3%A1Da/Proyecto/06_Apunte%20Molienda.pdf](http://www.uba.ar/file:///C:/Users/RENE%20IVAN/Documents/EGIR/Metodolog%C3%A1Da/Proyecto/06_Apunte%20Molienda.pdf)

US Environmental Protection Agency. (2002). *Manual de costos de control de contaminación del aire de la EPA* (sexta ed.). Triangle Park, Carolina del Norte, Estados Unidos: Air Quality Planning and Standards. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir2/c_allchs-s.pdf

- US EPA. (27 de septiembre de 2016). *Emissions Factors and Quantification AP 42, Fifth Edition, Volume I*. (E. HOME, Ed.) Recuperado el 03 de diciembre de 2017, de epa.gov: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/index.html>
- US EPA. (12 de septiembre de 2016). *Fundamentos de materia particulada (MP)*, digital. Recuperado el 2017 de noviembre de 28, de EPA.gov: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- US EPA. (1 de July de 2016). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Recuperado el 3 de diciembre de 2017, de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- Vázquez-Castellar, N. (09 de enero de 2009). *Crecimiento económico versus desarrollo sostenible*. Recuperado el 13 de junio de 2018, de cambio climático.org: <http://www.cambioclimatico.org/content/crecimiento-economico-versus-desarrollo-sostenible>
- Vera-Martínez, P. S. (2013). *La industria del cemento entre la sustentabilidad y la inestabilidad financiera: Cemex, Holcim y Lafarge*. Ciudad de México, D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 21 de noviembre de 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CEIB
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN BIOTECNOLOGÍA

Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 14 de enero de 2019

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
PRESENTE**

Como miembro del Jurado del alumno **C. RENE IVÁN SANTIAGO GUERRERO** con número de matrícula **10010307**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada **“PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND, EN EL ESTADO DE MORELOS”**, considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. C. Enrique Sánchez Salinas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CEIB
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN BIOTECNOLOGÍA

Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 14 de enero de 2019

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

Como miembro del Jurado del alumno **C. RENE IVÁN SANTIAGO GUERRERO** con número de matrícula **10010307**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada **“PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND, EN EL ESTADO DE MORELOS”**, considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Efraín Tovar Sánchez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CEIB
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN BIOTECNOLOGÍA

Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 14 de enero de 2019

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
PRESENTE**

Como miembro del Jurado del alumno **C. RENE IVÁN SANTIAGO GUERRERO** con número de matrícula **10010307**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada **“PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND, EN EL ESTADO DE MORELOS”**, considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Rafael Monroy Ortiz



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CEIB
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN BIOTECNOLOGÍA

Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 14 de enero de 2019

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
PRESENTE**

Como miembro del Jurado del alumno **C. RENE IVÁN SANTIAGO GUERRERO** con número de matrícula **10010307**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada **“PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND, EN EL ESTADO DE MORELOS”**, considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M.MRN. Benedicta Macedo Abarca



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CEIB
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN BIOTECNOLOGÍA

Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 14 de enero de 2019

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
PRESENTE**

Como miembro del Jurado del alumno **C. RENE IVÁN SANTIAGO GUERRERO** con número de matrícula **10010307**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada **“PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND, EN EL ESTADO DE MORELOS”**, considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia



M.MRN. Julio César Lara Manrique