

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**“CONTROL DE EMISIONES DE  
PARTICULAS DE LA INDUSTRIA DEL  
CEMENTO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :**

**INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE  
CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR :**

**OLGA ROSARIO PICON ACOSTA**

**LIMA – PERU**

**2003**

## RESUMEN

El desarrollo científico y tecnológico ha generado progreso en la humanidad, pero también nos ha llevado a una gran contaminación que crece progresivamente con el desarrollo, y las consecuencias son cada vez mayores y más graves. Por ello; las empresas deberían tener su propio sistema de gestión ambiental, de manera tal que sea política de la empresa minimizar el impacto ambiental que producen.

Entre los sectores industriales que generan partículas en sus procesos de fabricación se encuentran las empresas productoras de cemento.

Este informe enfoca el tema de la contaminación atmosférica de las empresas de cemento del país.

El trabajo parte de la relación de empresas del Perú, su nivel de producción, ubicación, proceso de fabricación y líneas principales de producción.

La evaluación ambiental se determina conociendo el proceso de fabricación, materia prima, combustible e insumos utilizados por este sector industrial.

La industria de cemento genera en su proceso de fabricación emisiones de partículas desde el inicio de sus operaciones. Esta comprende material particulado por debajo de 10 micras, así como gases de combustión.

La caracterización del aire está dada por la presencia de partículas así como de gases de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno etc.

El Perú no cuenta con límites máximos permisibles para esta actividad, solo con límites en cuanto a calidad de aire, considerando concentraciones de dióxido de azufre, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono etc.

Las opciones de prevención de la contaminación se dan con los sistemas de reducción de las emisiones, entre los que están los equipos de control como los filtros de manga, cámaras de sedimentación, multiciclones etc., y entre las nuevas tecnologías de control se encuentran los precipitadores electrostáticos.

## INDICE

<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>II</b>	<b>Impacto Ambiental de la Industria de Cemento</b>	<b>5</b>
<b>III</b>	<b>Sistema de Gestión Ambiental</b>	<b>7</b>
	3.1 Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001	7
	3.2 Política Ambiental	9
	3.3 Ventajas de un Sistema de Gestión Ambiental	10
<b>IV</b>	<b>Empresas Productoras de Cemento</b>	<b>11</b>
	4.1 Empresas Productoras Ubicación	11
	4.2 Empresas Productoras por Tipo de Proceso	11
	4.3 Volumen de Producción	13
<b>V</b>	<b>Proceso de Fabricación</b>	
	5.1 Materia Prima e Insumos	
	5.1.1 Materia Prima	15
	5.1.2 Insumos	15
	5.2 Tecnología de Fabricación	16
	5.3 Descripción del Proceso de Producción	16
	5.4 Composición del Cemento	19
	5.3 Diagrama de Proceso	20
<b>VI</b>	<b>Contaminación Ambiental</b>	
	6.1 Fuentes de Emisión	21
	6.2 Contaminantes Atmosféricos	23
	6.3 Caracterización de las Emisiones	24
	6.3.1 Aire	24
	6.3.2 Agua	25
	6.3.3 Ruidos	26
	6.3.4 Residuos Sólidos	26
	6.4 Límites Máximos Permisibles para la Emisión de Partículas	
	6.4.1 Límites Máximos permisibles Nacionales	26

6.4.2	Límites Máximos Permisibles Internacionales .....	27
VII	Tecnologías de Control de Emisiones	
7.1	Tecnologías Utilizadas	
7.1.1	Multiciclones .....	29
7.2.2	Filtros de Mangas .....	30
7.2	Tecnología Nueva	
7-2.1	Precipitadores Electrostáticos .....	31
7.3	Consideraciones Económicas .....	37
VII	Equipos de Control y Monitoreo de Partículas .....	40
8.1	Medidor Triboeléctrico .....	40
8.2	Ventajas Frente a los Sistemas Ópticos de Control .....	41
8.3	Plan de Monitoreo .....	44
IX	Conclusiones – Recomendaciones .....	46
X	Bibliografía .....	48

## ANEXOS

1-	Plan de Contingencias .....	49
----	-----------------------------	----

## **Lista de Tablas :**

**Tabla N °1 : Empresas Productoras de Cemento**

**Tabla N °2 : Empresas Productoras por Tipo de Proceso**

**Tabla N °3 : Composición del Cemento**

**Tabla N °4 : Fuentes de Emisión y Contaminantes**

**Tabla N °5 : Contaminantes de la Industria de Cemento del Perú.**

**Tabla N °6 : Emisiones Atmosféricas de la industria de cemento del Perú**

**Tabla N °7 : Límites Máximos Permisibles de Partículas del Perú**

**Tabla N °8 : Límites Máximos Permisibles Internacionales**

**Tabla N °9 : Límites Máximos Permisibles Internacionales - México**

**Tabla N °10 Velocidades de Migración de Partículas en PE para hornos de cemento**

**Tabla N °11 : Eficiencia de colectores de material particulado.**

**Tabla N °12 : División de costos de equipos de filtración**

**Tabla N °13 : Ventajas de los Sistemas Triboeléctricos**

## **I INTRODUCCIÓN**

**Las partículas sólidas constituyen una carga contaminante atmosférica de relevante potencial, dada la frecuencia de su presencia en las emisiones atmosféricas, la capacidad de inhalabilidad de las de menor tamaño y las sub-micrómicas, y su toxicidad por su posible contenido de metales pesados.**

**Uno de los sectores industriales que generan partículas en su proceso de fabricación, es la industria de cementos.**

**El Perú cuenta con seis empresas, ubicadas en la costa y sierra del Perú. La más importante de ellas, se encuentra en el Dpto. de Lima, habiendo cubierto esta casi el 50 % de la producción nacional el año 2000.**

**La industria cementera genera en su proceso de fabricación partículas, desde el inicio de sus operaciones, es decir, desde la extracción de la caliza y arcillas de las canteras. Así también en la etapa de la transformación de la materia prima, como es la molienda y calcinación.**

**Con el objetivo de reducir el impacto ambiental que producían los diversos sectores industriales, se crearon las llamadas tecnologías medio ambientales, como son los filtros de mangas, multiciclones y últimamente los precipitadores electrostáticos, que son utilizados en el sector industrial de cementos.**

**Actualmente se da importancia a que las empresas tengan un sistema de gestión ambiental propio o no, para que asuman con responsabilidad la industrialización de los recursos naturales y minimizar en lo posible la contaminación ambiental.**

**Sin embargo, hay que resaltar que la preocupación por la protección del medio ambiente, de parte de las autoridades, está concentrada más a los aspectos relacionados con el agua (aguas residuales) y a los residuos industriales (desechos industriales). Esto posiblemente, debido al hecho de que el tratamiento y control de los gases implican procesos y operaciones más complejos.**

## **II IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DE CEMENTO**

Esta actividad industrial, ocasiona un gran impacto sobre la calidad del aire del ambiente.

La generación de finas partículas es inherente al proceso de fabricación del cemento; si bien también esta industria emite gases producto de la combustión de del carbón utilizado en los hornos de calcinación.

Ha sido ya demostrado el impacto en la salud de las partículas, especialmente de las de menos de 10 micras de diámetro ( PM10 ), o menores que ellas.

Asimismo, hay que considerar que las emisiones pueden llegar bastante lejos del lugar de origen, por medio de corrientes de aire, afectando también cosechas y plantas.

### **CARACTERIZACION DE LAS ZONAS DE INFLUENCIA**

#### **ASPECTOS FISICOS**

Las empresas están ubicadas en la costa y sierra, a niveles promedio de 280 metros sobre el nivel del mar (msnm), las primeras; y las segundas, a más de 2800 msnm (ver Tabla N ° 1).

La zona correspondiente a la empresa ubicada en Lima, la mayor productora del país, está conformada por las montañas, que corresponden a la ladera occidental de los Andes de Lima. Los paisajes formados por cerros, son paisajes de fuerte pendiente.

La topografía del lugar corresponde a la de los suelos de la costa peruana, seco, desértico, sin vegetación.

El clima es frío, húmedo, con escasas precipitaciones (garúas), y con temperaturas promedio de 16 ° C.

La empresa más importante de la sierra está ubicada a 3850 msnm, en un relieve accidentado, que es atravesado por las cordilleras Occidental y Central.

El clima de la región es templado y frío por las alturas.

## ASPECTO BIOTICO

Debido a la aridez como a la topografía, los alrededores de la zona de la industria en Lima no cuenta con áreas agrícolas, por lo que se puede decir que el potencial de aprovechamiento es limitado. Por esta misma razón, la zona no dispone de fauna alguna.

En la sierra, la situación es diferente, pues se cuenta con valles fértiles, que favorecen la crianza de ganadería menor en la zona.

## ASPECTOS SOCIO – ECONOMICO

En Lima, las zonas colindantes del sector cementero están ocupadas por varios asentamientos humanos. Estos asentamientos tienen una alta densidad poblacional, la cual ha ido creciendo en la última década, por la gran inmigración causada por el terrorismo.

Estos asentamientos están ubicados en los cerros aledaños al centro cementero. Las condiciones económicas de estas es de extrema pobreza, con escasos servicios y recursos.

La actividad de esta comunidad es básicamente comercial, y muchos de sus pobladores desarrollan alguna actividad económica en Lima. . .

Los efectos de la contaminación producida por la emisión de gases y partículas de los hornos, recaen principalmente a las poblaciones que se hallan ubicadas en las parte más altas de los cerros aledaños.

En cuanto al centro cementero de la sierra central del Perú, las comunidades que se hallan relativamente cerca se dedican a la actividad agrícola como a la ganadería, principalmente.



## **III SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL**

### **GENERALIDADES**

Las normas ISO son normas o estándares desarrollados por la Organización Internacional de Estandarización. ( ISO ), organismo internacional no gubernamental con sede en Ginebra con más de 100 agrupaciones o países miembros.

Aún cuando las normas son elaboradas por el sector privado y tener un carácter voluntario, muchos organismos gubernamentales pueden decidir convertir una norma ISO en una disposición obligatoria o legal.

### **3.1 SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL ISO 14001**

Actualmente existen muchos Sistemas de Gestión Ambiental ( SGA ), sin embargo, el SGA llamado ISO 14001 se convirtió en el estándar internacional para un sistemas de gestión ambiental más aceptado mundialmente.

Esta norma, ISO 14001, como otra normas ISO, son normas de organización de empresas, que van a permitir establecer las pautas organizativas entre los diferentes departamentos o servicios de la organización para que puedan funcionar con calidad. La ISO 14001, enfoca un sistema de calidad para definir un sistema de gestión ambiental integrado, aplicado a todos los tipos de organización de tipo productivo o de servicios.

Un SGA es un conjunto de decisiones y acciones relacionadas con el manejo del medio ambiente, y todos los componentes que lo manejan, de tal manera que permiten crear una estructura que ayude a minimizar sus impactos ambientales y direccionar el uso racional de sus recursos

El objetivo de la adopción de un SGA, es ayudar a la organización a asegurar que sus operaciones se articulen y alcancen las metas ambientales especificadas, normalmente incluyendo al menos el cumplimiento de las leyes ambientales, manejo de los principales riesgos ambientales; así como las potenciales mejoras ambientales.

Un SGA debe contener :

- 1- Declaración de una política ambiental.
- 2- Planificación de Procedimientos para :
  - a- Identificar los aspectos ambientales de sus actividades y determinar aquellas que tienen impactos significativos sobre el medio ambiente.
  - b- Establecer Objetivos y Metas Ambientales en cada función y nivel de la organización.
- 3- Implementación y Operación de :
  - a- Una Estructura que defina las funciones, responsabilidades y Autoridades para llevar acabo una función ambiental efectiva
  - b- Procedimientos de control de operaciones y de Preparación y Respuesta ante situaciones naturales.
- 4- Verificación y acción correctiva del SGA considerando :
  - a- Procedimientos para el monitoreo y Medición Regular de las características ambientales claves de sus actividades y el cumplimiento de la legislación ambiental.
  - b- Mantener y disponer Registros Ambientales así como Programas y Procedimientos de Auditorias del SGA, como principal herramienta de control
- 5- Revisión de la Gerencia, para verificar la efectividad del SGA.

La interacción de estas actividades se visualiza en el esquema 1.

### 3.2 POLITICA AMBIENTAL

El adoptar un SGA comienza por la definición de la política ambiental de la organización, la cual debe partir de un compromiso de mejora continua y prevención de la contaminación, un compromiso de cumplimiento con la legislación y reglamentación ambiental aplicable.

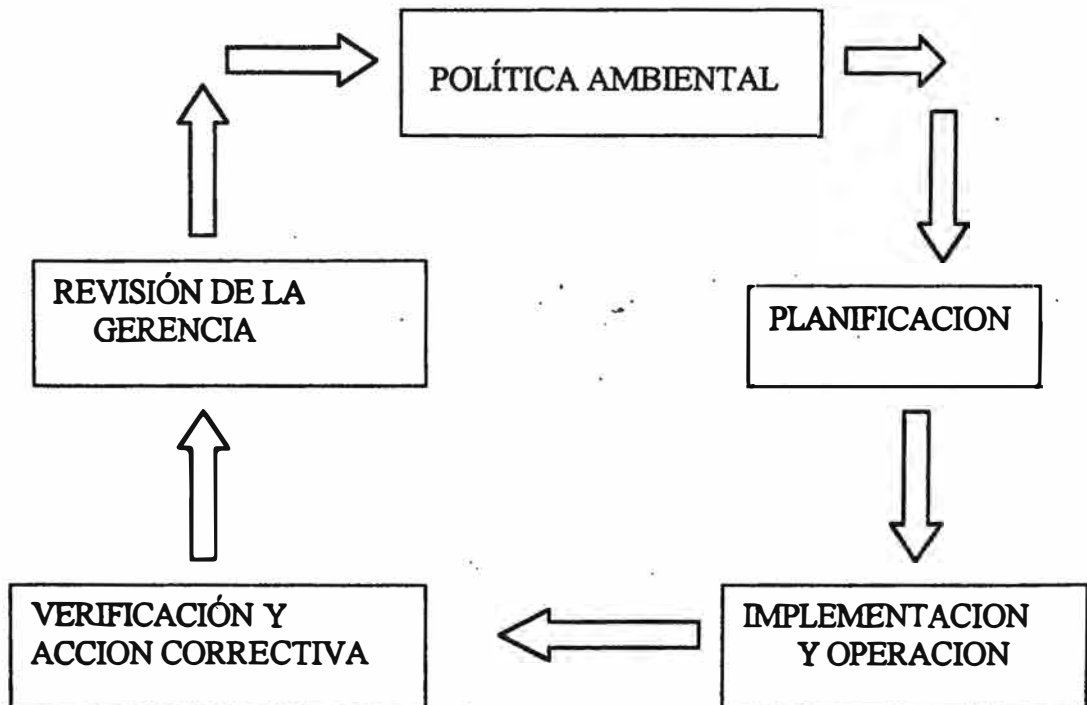
Este sector industrial debe contener en su SGA

- La prevención de la contaminación, utilizando los sistemas de reducción de emisiones, con las tecnologías más eficientes.
- Evitar cualquier sobreexplotación de los recursos o de la naturaleza que cause un daño significativo al balance ecológico.
- Implementar programas de inspección y mantenimiento preventivos, orientados a la eficiencia y mayor productividad de la planta.
- Desarrollar la actividad de recuperación de polvos, lo que generaría una mejora significativa en la calidad del aire reduciendo notablemente el impacto ambiental asociado y recuperando importantes cantidades de material.
- Desarrollar una gestión adecuada de los desechos sólidos al interior de las plantas
- Implementar una estrategia integral que conlleve a la reducción de las emisiones gaseosas que pueda incluir
  - Gestión de materiales y combustibles
  - Monitoreo del contenido de azufre y nitrógeno en los materiales de entrada.
  - Control de exceso de aire en los hornos.
  - Control y monitoreo de eficiencia térmica de combustión.
  - Uso de equipos que generen baja descarga de NOx.
  - Implementación de reguladores de óxidos de nitrógeno en los hornos.

### 3.3 VENTAJAS DE UN SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL

Entre las principales ventajas están :

- Conformidad con la regulaciones legales
- Conformidad con las exigencias de las comunidades
- La compañía tendrá mejor imagen de marketing
- Mejor utilización de recursos.
- Reducción del costo de explotación.
- Niveles de seguridad superiores.
- Acceso creciente de capital
- Limitaciones de riesgo.
- Tener un estándar internacionalmente reconocido y aceptado.



Esquema 1. Partes de un Sistema de Gestión Ambiental

## IV EMPRESAS PRODUCTORAS DE CEMENTO

### 4.1 EMPRESA PRODUCTORAS – UBICACIÓN

En el Perú existen seis plantas de cemento. Estas están ubicadas cerca a las fuentes de materia prima y a mercados importantes tanto de Lima como de otras regiones del Perú. En la Tabla 1 se muestra las empresas y su ubicación.

Tabla 1. Empresas Productoras de Cemento y Ubicación

EMPRESA	UBICACION	ALTITUD (msnm)
Cementos Lima S.A.	Lima	225
Cemento Pacasmayo S.A.A.	La Libertad	310
Cemento Andino S.A.	Junín	3850
Cemento Sur S.A.	Puno	3900
Cemento Yura S.A.	Arequipa	2500
Cemento Selva	San Martín	340

La empresa de mayor capacidad de producción es Cementos Lima, la que se encuentra ubicada en el Distrito de Villa María del Triunfo.

### 4.2 EMPRESAS PRODUCTORAS POR TIPO DE PROCESO

Los tipos de proceso utilizados son : seco y húmedo

La Tabla N ° 2 muestra los tipos de proceso que usan las empresas y el número de hornos que emplean.

Tabla N ° 2. Empresa Productoras de Cemento y Tipo de proceso

EMPRESA	TIPO DE PROCESO	
	Seco	Húmedo
Cementos Lima S.A.	2	-
Cemento Pacasmayo S.A.A.	2	-
Cemento Andino S.A.	2	-
Cemento Yura S.A.	2	-
Cemento Sur S.A.	-	2
Cemento Selva	1	-
Total de Hornos : 11	9	2

- Cementos Lima cuenta con un sistema combinado de precalentador y precalcinador y el otro solo precalentador.
- Cemento Andino no incluye el horno 1 de 250 TM / día, que se encuentra parado por decisión de la empresa.
- Cemento Selva actualmente está instalando un horno de proceso seco de 300 TM / día.

El precalentamiento es un proceso que hace más eficiente los procesos de tratamiento térmico, que constituyen una de las etapas más críticas en la obtención industrial del cemento. Ello se traduce en importantes ahorros de energía y el uso de equipos con mayor eficiencia; reduciendo significativamente los costos de

operación y mantenimiento a la vez que aumenta la capacidad de procesamiento de materiales en la planta.

#### **4.3 VOLUMEN DE PRODUCCIÓN**

La industria peruana de cemento tiene una capacidad instalada total de producción anual de 7 millones de toneladas de cemento. El uso máximo de esta capacidad instalada fue el año 2000 con 3,69 millones de toneladas de producción.

Las plantas tienen una capacidad de producción instalada que varía de 50,000 a 4,5 millones de toneladas por año. La utilización de su capacidad instalada ha ido variando de 62 % en 1995 a 85 % el año 1999.

En el cuadro de la siguiente página se muestran las últimas estadísticas de la producción de cemento, de los años 2001 y 2002, por empresa y a nivel nacional, proporcionados por ASOCEM.

## VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO (TM)

### INDICADORES AL MES DE DICIEMBRE 2002

PERIODO	C. Lima	C. Pacasmayo	C. Andino	Yura	C. Sur	C. Selva	Total
Diciembre 2002	130,123	71,718	73,685	48,769	15,002	9,670	348,967
Ene-Nov. 2002	1,685,813	669,745	700,106	472,035	136,860	106,676	3,771,235
Ene-Dic 2002	1,815,936	741,463	773,791	520,804	151,862	116,346	4,120,202

### COMPARACIONES DE PRODUCCIÓN 2001 – 2002

PERIODO	C. Lima	C. Pacasmayo	C. Andino	Yura	C. Sur	C. Selva	Total
Ene-Dic. 2002	1,815,936	741,463	773,791	520,804	151,862	116,346	4,120,202
Ene-Dic. 2001	1,598,956	659,374	684,843	422,528	168,062	55,601	3,589,364
VARIACION %	13,57	12,45	12,99	23,26	9,64	109,25	14,79



## V PROCESO DE FABRICACIÓN

### 5.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

#### 5.1.1 MATERIA PRIMA

La industria cementera peruana tiene la ventaja de tener recursos naturales abundantes y fácilmente accesibles, los que están constituidos por :

**CALIZA** .- La piedra caliza está compuesta de cal, sílice, alúmina, y de óxidos de hierro, pero principalmente es rica en calcio, que es el elemento importante . También utilizan pirita para aumentar el contenido de hierro.

**ARCILLA** .- La arcilla es el segundo elemento más importante en la fabricación del cemento. Está compuesta por silicatos de los metales alcalinos y alcalinos terreos, en especial los fedespatos y micas; siendo los portadores de silicio y aluminio, segundos elementos fundamentales en el proceso del cemento.

**YESO** .- Este mineral, que es un compuesto de sulfato de calcio hidratado, participa con alrededor de 5% (en peso) en la fabricación del cemento.

#### 5.1.2 INSUMOS

Como insumos importantes están :

**COMBUSTIBLE** : Como combustible para los hornos de calcinación se utiliza carbón bituminoso y aceite combustible industrial.

**AGUA** : El consumo típico de agua es de 0,25 a 0,30 m<sup>3</sup> por tonelada métrica de cemento, valores que dependen desde luego de los métodos de operación practicados y de la antigüedad de tecnología aplicada.

**ENERGIA ELECTRICA** : El uso adecuado de la energía eléctrica en la industria de cemento, constituye un factor importante. El consumo típico recomendado es de 150Kw-h /TM cemento que depende de las características de la tecnología de proceso utilizada.

Las plantas de cemento obtienen su energía eléctrica del sistema nacional de distribución de electricidad, pero disponen de sus propios generadores diesel para

compensar los déficit o posibles cortes. Sin embargo, la empresa Cementos Lima cuenta ya con su propia planta de Generación Eléctrica ( GEA ), destinada a suministrar energía eléctrica a los hornos y parcialmente a la planta de molienda durante los periodos de corte de suministro o restricciones. De igual forma, Cemento Andino también cuenta con su propia central Eléctrica.

## 5.2 TECNOLOGIA DE FABRICACIÓN

Existen dos tecnologías de fabricación del cemento

**Proceso Seco.** – Donde las materias primas son reducidas a un tamaño apropiado, luego son molidas y mezcladas, y alimentadas al horno para formar el clinker, al cual después se le agrega yeso; y la me final es molida para formar el cemento.

**Proceso Húmedo.** – Mediante este proceso, a la materia prima se le agrega agua durante la molienda, alimentándose al horno en forma de lodo.

El 96 % de la producción nacional utiliza el proceso seco. Solo la empresa Cementos Sur utiliza un proceso húmedo para producir clinker de cemento.

De las empresas que utilizan el proceso seco, cuatro plantas emplean la tecnología del horno con precalentador/precalcinador, la más moderna tecnología empleada en el mundo.

Cabe mencionar, que el proceso húmedo es usado generalmente para la obtención de cemento blanco.

## 5.3 DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Las fábricas productoras de cemento en nuestro país, actualmente realizan el mismo proceso productivo.

El proceso de producción se inicia con la extracción de la materia prima de las canteras, mediante un sistema de explotación superficial a tajo abierto.

La caliza se transforma en un producto intermedio debidamente balanceado denominado clinker, por un proceso de transformación físico químico a una temperatura promedio de 1450 ° C. El clinker finamente molido con yeso, da como producto final los cementos Pórtland.

Las etapas del proceso de producción se describen a continuación :

#### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCION

PROCESO	OPERACION
<p>EXTRACCIÓN DE LA CALIZA DE LA CANTERA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Perforación y voladura.</b>- Se extrae 34 000 TN por día de roca de las cuales 18 000 son caliza</li> <li>- <b>Carguío y Acarreo.</b>- Se transporta a la cancha de trituración.</li> </ul>
<p>REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LA CALIZA Y SU HOMOGENIZACION</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Chancadora Primaria.</b>- Se reduce el tamaño de la caliza de un máximo de 1,5 m a 25 cm</li> <li>- <b>Chancadora Secundaria .</b>- Se reduce el tamaño anterior a 19 o 50 mm, para la molienda en molino de bolas o en prensa de rodillos.</li> <li>- <b>Zarandas.</b> – Separan las partículas anteriores para la siguiente operación.</li> <li>- <b>Molienda y Homogenizado.</b> – Se realiza la última reducción de tamaño a un estado llamado “ harina cruda”</li> </ul>

PROCESO	OPERACION
<p>OBTENCIÓN DEL CLINKER</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Pre-Calentamiento.</b> – Son edificios que cuentan con una torre de ciclones. La llamada “harina cruda” se alimenta por el extremo superior del pre-calentado pasando a través de los ciclones, donde se calienta por acción de los gases generados en el quemador del horno, iniciándose el proceso de descarbonatación y transformación termo-química del crudo.</li> <li>- <b>Clinkerización .-</b> El crudo descarbonatado ingresa a los hornos y por efecto del calor generado por la combustión del carbón o petróleo residual N ° 6, llegando a temperaturas de 1 400-1450 ° C. Estos hornos (2), son tubos de acero cuyos promedios son 84 m de largo y 2,5 m de radio.</li> <li>- <b>Enfriamiento.</b> – En el enfriador el aire es insuflado por la parte inferior, bajando la temperatura de 1 200 a 180 ° C.</li> </ul>
<p>OBTENCIÓN DEL CEMENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Molienda.</b> – El clinker es transportado a una cancha de almacén donde termina el enfriamiento, pasando luego a los Molinos de Bola o Prensa de rodillos de cemento.</li> <li>- <b>Mezclado.</b> - La mezcla de clinker y yeso constituye el cemento Pórtland.</li> </ul>
<p>ENVASE Y DESPACHO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El cemento extraído de los silos, es despachado en bolsas con llenado automático, para transportarlo luego a los camiones por un sistema de fajas.</li> <li>- El despacho a granel es en camiones especiales de hasta 30 toneladas.</li> </ul>

#### 5.4 COMPOSICIÓN DEL CEMENTO

El cemento es un compuesto de sales de cuatro elementos fundamentales : calcio, silicio, aluminio y hierro.

En la Tabla N° 3 se listan los compuestos predominantes del cemento :

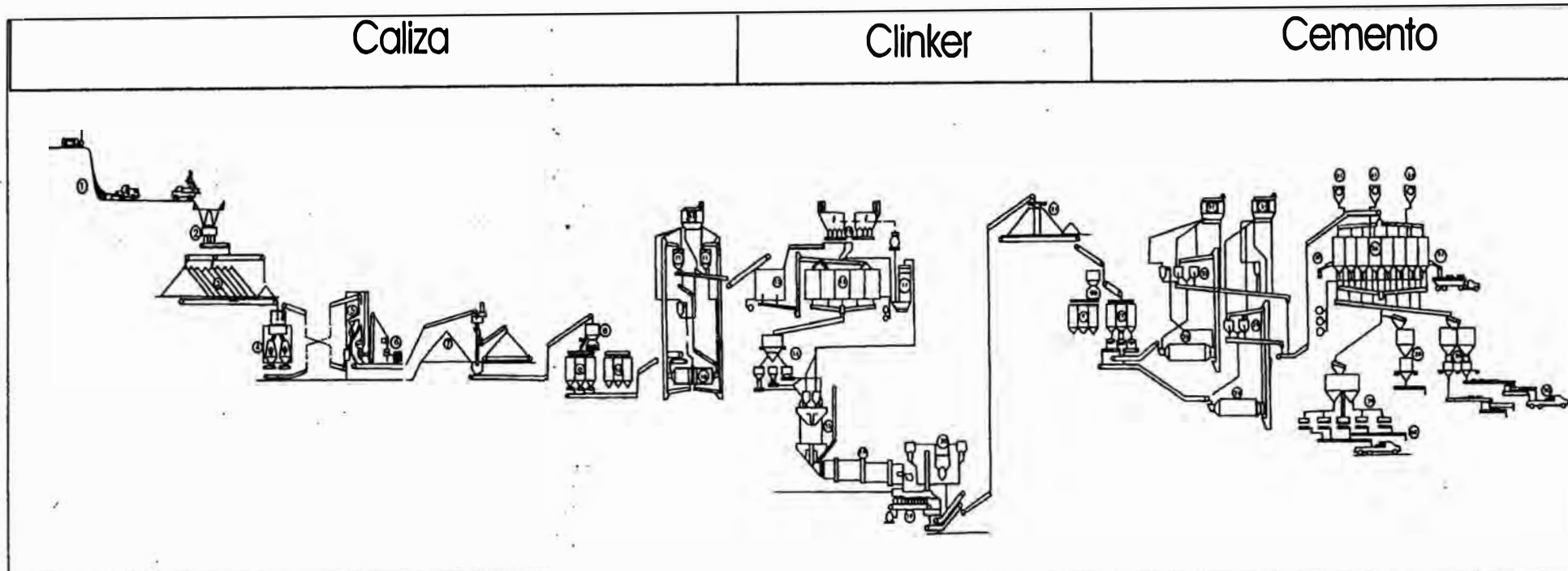
Tabla N° 3. Composición del cemento

FORMULA	NOMBRE	ABREVIATURA
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Silicato dicálcico	C2S
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Silicato tricálcico	C3S
$3\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3$	Aluminato tricálcico	C3A
$4\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{FeO}_3$	Aluminoferritotetra Cálcico.	C4AF
MgO	Oxido de magnesio al estado libre.	M

#### 5.5 DIAGRAMA DE PROCESO

En la siguiente página se muestra el diagrama de proceso.

## DIAGRAMA DE PROCESO



1. CANTERA
2. CHANCADORA PRIMARIA
3. DEPOSITO DE MATERIA PRIMA
4. CHANCADORA SECUNDARIA
5. TRANSFERENCIA Y CRIBADO
6. ESTACION DE MUESTREO
7. PREHOMOGENEIZACION

8. CHANCADORA AUXILIAR
9. SILOS DE CALIZA
10. MOLINO DE CRUDOS N° 1
11. SEPARADORA DE CRUDOS
12. SILOS DE HOMOGENEIZACION
13. SILOS DE ALMACENAMIENTO
14. BOMBAS DE TRANSPORTE NEUMATICO
15. PRECALENTADOR
16. HORNO
17. TORRE DE ENFRIAMIENTO
18. FILTROS ELECTROSTATICOS
19. ENFRIADOR
20. MULTICICLONES

21. CANCHA DEPOSITO DE CLINKER
22. SILOS DE CLINKER, YESO Y PUZOLANA
23. MOLINOS DE CEMENTO N° (SWING)
24. MOLINO DE CEMENTO N° 3
25. SEPARADORAS DE CEMENTO
26. SILOS DE CEMENTO
27. DESPACHO A GRANEL
28. ENVASADORAS ROTATIVAS
29. ENVASADORAS ESTACIONARIAS
30. DESPACHO - SISTEMA DE FAJAS
31. COLECTORES DE POLVO

## **VI CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La industria de cementos tiene un impacto ambiental, el cual está constituido fundamentalmente por partículas, gran parte de estas, por partículas de diámetro menor de 10micras ( PM10 ), y por gases de combustión. Pero este sector también produce ruidos de considerable magnitud, que están comprendidos como un elemento perturbador de la calidad del aire.

Otro aspecto que también se considera como posible contaminante, son los efluentes líquidos, que aunque las principales operaciones del proceso no la generan, se evalúan los parámetros que pueden alterar las fuentes receptoras, como es la temperatura, el grado de alcalinidad / acidez ( PH), la DBO ( Demanda Bioquímica de Oxígeno ) y sólidos totales sedimentables.

### **6.1 FUENTES DE EMISIÓN**

El sector cementos, tiene claramente definidos dos fuente de emisión de partículas, que producen impactos en la calidad del aire tanto en zonas inmediatas como alejadas de las fuentes de emisión, las cuales son :

**Fuentes Fijas :** Están constituidas por las chimeneas de los hornos. Producen impactos en zonas relativamente alejadas del punto de emisión.

**Fuentes Difusas:** La conforman las emisiones producidas por el tránsito y movimiento de materiales. Producen impactos en las áreas inmediatas a los puntos de emisión.

La tabla N °4 muestra las principales fuentes y tipos de emisiones :

Tabla N °4. Fuentes de emisión y Tipos de Contaminantes

FUENTES	EMISIONES
Chancado, Pre-homogeneización Pre- calentamiento, Enfriador de clinker	Partículas ( caliza, clinker, hollín)
Horno	Gases de combustión, partículas
Molienda final, Transporte Embolsado y despacho	Partículas (polvo)

En la planta de procesamiento industrial se han encontrado los siguientes fuentes de emisión :

**Chancadora Primaria :** En este sistema, la emisión de polvo se produce en la tolva de alimentación . Las chancadoras poseen generalmente un ciclón para la captación de polvo.

**Chancadora Secundaria** En este sistema, la emisión de polvo se debe principalmente a fugas de material. Algunas chancadoras trabajan en sistemas cerrados y tienen filtros de mangas para la captación de polvo.

**Pre- Homogeneización :** Aquí la emisión de polvo es fugitiva y se encuentra en el punto de descarga a la cancha de pre-homogeneización.

**Molienda de Crudo :** Esta operación se realiza con prensas de rodillos y/o molinos de bolas, trabajando con separadores ciclónicos con sus respectivos ductos y elevadores que descargan sus emisiones en sistemas de control de polvos, de allí pasan al exterior por las chimeneas.



**Horno :** La mayor fuente de material particulado en la mayoría de las plantas de cemento es en la alimentación al horno. La velocidad de rotación del horno y los altos flujos de los gases de combustión arrastran grandes cantidades de polvo (entre 10 a 12 % de la harina cruda alimentada al horno) fuera del horno.

En este sistema destacan como principales fuentes de emisión, las chimeneas de

- . enfriadores de clinker
- . almacenes de clinker
- . filtros de mangas

**Molienda de Cemento :** Está constituida por prensas de rodillos y molinos de bolas con circuitos cerrados independientes. El aire de arrastre de la carga es depurado en sistemas de control de polvo.

## 6.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Si bien el parámetro de contaminación más importante de la industria de cemento es el material particulado, también se presentan otros contaminantes.

En este sector se considera para su evaluación, los efluentes líquidos, que si bien son mínimos, se exige el control de sus aguas residuales que van al alcantarillado o a una fuente receptora.

Entre los gases de combustión, se evalúa la emisión de bióxido de azufre, el cual también se considera entre los parámetros de los límites máximos de emisión.

La Tabla N ° 5 muestra los contaminantes de este sector industrial, considerando tanto los que están en el aire como los que están en los efluentes líquidos.

TABLA N ° 5. Contaminantes de la Industria de Cemento

AREA	CONTAMINANTES
AIRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SO<sub>2</sub></li> <li>- NO<sub>x</sub></li> <li>- CO</li> <li>- Material Particulado en Suspensión</li> <li>- Generación de ruidos</li> </ul>
AGUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DBO</li> <li>- PH</li> <li>- Sólidos Suspendidos Totales</li> </ul>

NO<sub>x</sub> : representan los óxidos de nitrógeno de manera general.

### 6.3 CARACTERIZACION DE LAS EMISIONES

#### 6.3.1 AIRE

**PARTICULAS** : La generación de finas partículas es inherente a la fabricación de cemento, y se da en todas las etapas del proceso de fabricación. Sin embargo, la mayor fuente de partículas dentro de las plantas está en el proceso pirolítico; que incluyen las chimeneas del horno y del enfriador de clinker. La partículas del horno están constituidas por sílice y caliza fundamentalmente.

También hay emisiones de polvo en el proceso de molienda y transporte de material.

Para tener una idea de la cantidad de polvo emitido de los hornos, se puede mencionar el control hecho en la empresa Cemento Andino, donde reportan un nivel de 3,65 toneladas diarias de harina cruda.

**GASES** : Los gases de combustión como el monóxido de carbono ; CO, dióxido de azufre ; SO<sub>2</sub>, óxidos nitrosos ; NO<sub>x</sub> , son los principales contaminantes de esta industria. Estos provienen de los hornos, que utilizan como combustible carbón y aceite industrial.

La tabla N° 6 muestra el rango de emisiones atmosféricas de esta industria :

Tabla N° 6. Emisiones Atmosféricas de la Industria de Cemento del Perú

PARÁMETRO	RANGO DE CONCENTRACIONES (mg/m <sup>3</sup> )
Material Particulado	81 - 1552
SO <sub>2</sub>	13,1 – 461,05

### 6.3.2 AGUA

Las plantas producen aguas residuales, principalmente cuando el polvo generado en el proceso es eliminado por vía húmeda. El agua usada en el proceso es reutilizada y no hay significativamente agua del proceso.

Los efluentes de la planta vinculados al proceso, están relacionados a la limpieza ocasional durante la paralización de la planta y a los desagües domésticos de las oficinas y campamentos.

### 6.3.3 RUIDOS

Los diferentes procesos que se llevan a cabo en la fabricación de cemento se relacionan directamente con operaciones de fuerza y fricción que generan ruidos. Dentro de las plantas, los ruidos se generan de varias fuentes, como las trituradoras, chancadoras, molinos de bolas, compresoras, bombas, hornos etc., que generan niveles sonoros de considerable magnitud, con promedio de 160 decibeles. Si bien la operación automática de los procesos desde la sala de control, limita la exposición del personal en estos ambientes, se busca que el ruido interno pueda minimizarse con correcciones y mejoras tecnológicas, y que el ruido en la frontera de la planta no exceda los 80 decibeles.

Usualmente las plantas realizan un mapeo de ruidos para zonificar áreas críticas y restringir la circulación del personal, quienes cuentan con equipos de protección auditiva.

### 6.3.4 RESIDUOS SÓLIDOS

La planta de proceso industrial y los servicios de mantenimiento generan desechos sólidos típicos de una instalación industrial como por ejemplo : aceites, filtros de aceite, parte de equipos antiguos, equipos de embalaje etc., así como residuos de carácter doméstico y de oficina.

## 6.4 LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA EMISIÓN DE PARTICULAS

### 6.4.1 LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES NACIONALES

En cuanto a Emisiones Atmosféricas, se hace mención como referencia, la Resolución Ministerial N ° 315-96-EM/VMM del 19.07.96, y que ha servido como base para establecer los límites máximos permisibles aplicables al Subsector Cemento, los que se muestran en la Tabla N ° 7

Tabla N °7. Límites Máximos Permisibles de Partículas de la Industria de Cemento

PARÁMETRO	LMP ( mg/m <sup>3</sup> )
Material Particulado	150 – 250
SO <sub>2</sub> (promedio 24 h.)	300

#### 6.4.2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES INTERNACIONALES

La Tabla N ° 8 muestra los límites fijados en algunos países para los hornos.

Tabla N ° 8. Límites Máximos Permisibles Internacionales

PAIS	PARTICULAS
Venezuela	150 - 250 mg/m <sup>3</sup>
España	250 - 450 mg/m <sup>3</sup>
Estados Unidos	0,15 Kg/tn alim.

Para MEXICO, los niveles permisibles están en función de la alimentación al horno, como se ve en la Tabla N ° 9.

Tabla N ° 9 Límites Máximos Permisibles para México.

PROCESO DE CALCINACION	LMP DE PARTICULAS (k/hr.)
Menor a 300 ton/hr.	$0.6319^{0.752} (C)$
Igual o mayor a 300 ton/hr.	0.15 ( C )

Donde C = Cantidad alimentada a hornos en toneladas por hora.

Actualmente; los países de la comunidad europea tienen en general un límite máximo de emisión de 50 mg/m<sup>3</sup>, y a raíz de las innovaciones tecnológicas en cuanto al control de partículas pretenden que estos límites sean reducidos a la mitad.

## **VII TECNOLOGÍAS DE CONTROL DE EMISIONES**

### **7.1 TECNOLOGIAS UTILIZADAS**

#### **7.1.1 MULTICICLONES**

Los multiciclones o ciclones múltiples, se utilizan cuando se manejan grandes volúmenes de gases.

#### **PRINCIPIO DE OPERACIÓN**

Los ciclones separan partículas del aire al transformar la velocidad de la corriente de entrada de un vórtice doble confinado dentro de la cámara del ciclón. El vórtice principal lo forma el gas de entrada y 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.

#### **TIPOS**

La entrada del ciclón produce el vórtice, mientras que la salida axial descarga el aire limpiado, acumulándose el polvo en la parte inferior del equipo.

Existen diferentes disposiciones para la entrada y salida de los ciclones

- Entrada tangencial y descarga periférica.
- Entrada tangencial y descarga axial.
- Entrada axial y descarga periférica.

También, de acuerdo al tamaño de partículas a tratar, se clasifican de forma general como

- Ciclones Convencionales : para partículas mayores de 25 micras.
- Ciclones de Alta Eficiencia : para partículas mayores de 5 micras

## CARACTERÍSTICAS

- Tamaño de partículas : generalmente para mayores de 10 micras.
- Estos equipos pueden colocarse en paralelo, con ciclones de pequeño diámetro (alta eficiencia), para manejar grandes volúmenes de gas.
- También pueden operarse en serie.
- El espacio requerido es pequeño.
- La temperatura máxima : 480 ° C

### 7.1.2 FILTROS DE MANGAS

Constituyen uno de los equipos comerciales de mayor rendimiento en la depuración de partículas presentes en emisiones atmosféricas de instalaciones industriales.

En estos equipos se realiza la filtración de partículas presentes en los gases de escape, mediante tejidos de fibras sintéticas o naturales, interpuestos al paso de los gases y que retienen las partículas.

### PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Los mecanismos principales que intervienen para que se produzca el choque de las partículas con la fibra son

- Interceptación o captación directa : tiene lugar cuando una partícula que se aproxima a un elemento filtrante, sin desviarse de su trayectoria, choca contra él.
- Impacto, o deposición, por inercia : se produce cuando la masa de la partícula es lo suficientemente grande para no seguir la trayectoria de las líneas de flujo de los gases, no desviándose lo bastante del obstáculo como para evitar chocar con él.
- Difusión browniana : se da en partículas muy pequeñas y se superponen al movimiento de flujo de los gases. Se atribuye a las colisiones con las partículas de las moléculas de gas que las rodean.



## CARACTERÍSTICAS

- Capacidad : para grandes volúmenes de gases.
- Concentración óptima de las partículas (mg/m<sup>3</sup>) : mayor de 3.500
- Rango de temperatura (° C) : 80 hasta 260
- Velocidad de los gases a su paso por el tejido (cm/s) : 0,5 a 15
- Espacio requerido : relativamente grande.
- Limitaciones :
  - Sensibilidad a la velocidad de filtración.
  - Los gases con alta temperatura deben ser enfriados.
  - Afectados por alta humedad relativa.
  - Susceptibilidad del tejido al ataque químico.

### Ventajas :

- Rendimiento o eficacia global máxima en la colección de partículas, (% en peso) : mayor de 99 %.

## 7.2 TECNOLOGIAS NUEVAS

### 7.2.1 . PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

Los precipitadores electrostáticos, constituyen la tecnología medioambiental que se ha desarrollado más, por la gran variedad de aplicaciones que tiene. En realidad, ésta existe desde la década de los 70, pero se utilizaban inicialmente en aquellas industrias en las que el material separado poseía valor comercial, especialmente la industria química. Posteriores mejoras han ampliado su campo al área de industrias eléctricas, industria metalúrgica, industria de productos minerales, destacando aquí el subsector cemento, industria del petróleo etc.

Los cambios fundamentales que se han desarrollado en estos equipos son las distintas configuraciones, según la forma de sus electrodos.

De manera general, existen dos tipos de diseño : de una etapa y de dos etapas. Los de una etapa, de separación seca, eliminan partículas de los gases industriales que las contienen, mientras que el diseño de separación húmeda también puede manejar partículas líquidas (nieblas). El diseño de dos etapas se emplea para aplicaciones de acondicionamiento de aire.

Estos equipos se recomiendan no solo en los hornos de las plantas de cemento, sino también para las otras operaciones de esta actividad, como en la trituración y en la mezcla de materias primas.

#### PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Un precipitador electrostático es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia la superficie de recolección.

Una carga eléctrica es impartida a las partículas encauzadas cuando pasan a través de una “ corona ”, esto es, la región donde fluyen los iones en fase gaseosa. Los electrodos ubicados en el centro del plano del flujo se mantienen a un alto voltaje y generan un campo eléctrico que fuerza a las partículas hacia las paredes recolectoras

En los precipitadores electrostáticos secos ( PES ), los recolectores son golpeados o martillados por varios métodos mecánicos para desprender el material particulado que se desliza hacia una tolva en donde es recolectado.

La tolva es evacuada periódicamente a manera que esta se llena. El polvo se retira a través de una válvula hacia un sistema que se lleva el polvo, tal como un transportador neumático, y después se desecha de una manera apropiada.

## TIPOS

La clasificación de los precipitadores electrostáticos ( PE) es diversa. Una primera clasificación es : PE secos, PE húmedos y PE calientes. Estos últimos están en desuso por los problemas de operación.

La clasificación de los precipitadores electrostáticos según la forma de sus electrodos es :

- De placa – cobre
- De placa – cable húmedo
- De electrodos planos
- Tubular

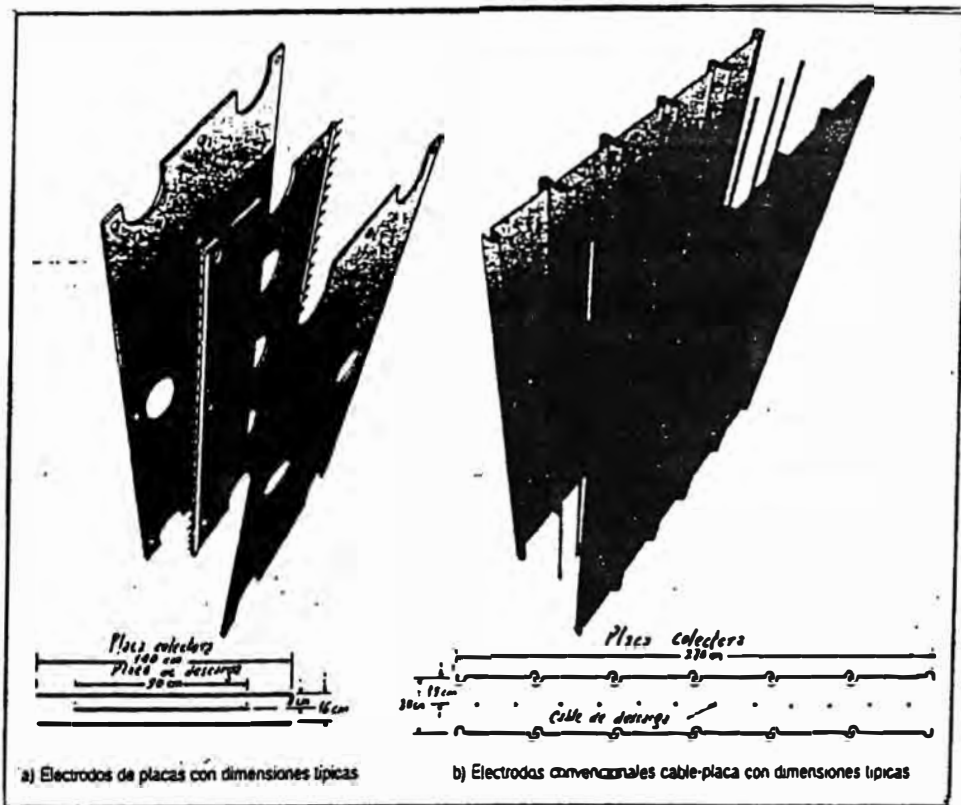
En la figura 1 se muestran los PE Cable-Placa y Placa- Placa

El PE más usual es :

### · DE PLACAS COLECTORAS Y DE CABLE EMISOR

- Descripción : Cables de ionización (-) de los gases colocados entre placas (+) paralelas de recogida de partículas. Se elige corona desde el electrodo negativo porque soporta un mayor voltaje.
- Aplicación : Recogida de partículas en e las placas colectoras; se pueden eliminar las muy finas. Normalmente se recogen en seco, mediante golpeteo de las placas.
- Mantenimiento : Es escaso, a menos que se manejen materiales adhesivos y/o corrosivos. Poseen pocas partes móviles.
- Tamaño óptimo de partículas : mayor de 2 micras
- Rango de temperatura admisible ( ° C ) : 15 a 450
- Consumo de energía ( KWh /1000 m<sup>3</sup> ) : 0,3 a 1.0
- Velocidad de los gases ( m/s ) : 0,9- 3
- Limitaciones :
  - Costo de inversión relativamente alto
  - Sensibilidad a variaciones en la carga contaminante y en los caudales.

## CONFIGURACIONES DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS



## CONFIGURACIONES DE P.E. CABLE PLACA Y PLACA - PLACA

- Se requieren medidas de precaución para salvaguardar la seguridad del personal por la utilización de alto voltaje.
- Espacio requerido : importante
- Rendimiento (% en peso) : menor de 95 % , para este caso de una sola etapa.

#### Condiciones de los gases

Caudal de los gases - el rendimiento de los PE varía con el caudal de los gases. Según los caudales a tratar, ciertos tipos de PE se consideran o no aplicables en la práctica.

Temperatura - la temperatura incide en la resistividad de las partículas, variando estas en forma inversamente proporcional.

#### Características de las partículas

Resistividad – la resistividad eléctrica global de las partículas es el parámetro fundamental en el rendimiento del PE, pudiendo hacer en la práctica inviable su

implantación. La resistividad debe encontrarse en el rango de  $1 \times 10^4 - 2 \times 10^{10}$

Ohm-cm.

Composición de partículas – la resistividad de las partículas está directamente relacionada con la composición química de las partículas. Son factores de resistividad alta : el contenido bajo de azufre; los compuestos alcalinos como el calcio; los contenidos de silicio como SiO<sub>2</sub> y alúmina como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Son factores de resistividad baja : el contenido de hierro como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En la Tabla N° 10 se muestra la velocidad de migración (cm/s) de las partículas y eficacias de diseño respectivas para diversos tipos de PE, que son aplicados a hornos de la industria de cemento.

**Tabla N °10. Velocidades de Migración de Partículas para PE en Hornos de Cemento**

TIPO DE PE	Velocidades de Migración de Partículas (m/s)			
	95	99	99,5	99,9
Eficacia de Diseño del PE (%)	95	99	99,5	99,9
PE De Cable Placa	1,5	1,5	1,8	1,8
PE Húmedo de Cable Placa	6,4	5,6	5,0	5,7
PE De Placas Planas	2,4	2,3	3,2	3,1

#### COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE COLECTORES DE PARTICULAS

La Tabla N ° 11 muestra una comparación de eficiencias de los equipos utilizados para la depuración de material particulado en la industria del cemento.

**TABLA N ° 11. Eficiencia de Colectores de Material Particulado (%)**

Equipo / Diámetro (micras)	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 44	> 44
Ciclón de baja presión	12,0	33,0	57,0	82,0	91,0
Ciclón de alta presión	40,0	54,0	74,0	95,0	98,0
Filtro de Mangas	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0
P. E.	97,0	99,0	99,5	100,0	100,0

## COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FILTROS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO

En el diagrama N ° 1 se comparan las características de los equipos más utilizados en la industria del cemento.

### 7.3 CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Estimar el costo de los equipos de control en términos genéricos es una tarea difícil, por su gran variabilidad. Sin embargo, el costo de adquisición del equipo puede correlacionarse con el tipo de equipo y con el tipo de gas que de este deberá salir ( con una dispersión relativamente pequeña ), lo que no sucede con los costos de instalación y operación. La división promedio de estos costos se muestran en la Tabla N° 12 .

Tabla N° 12. División de costos de los equipos de Filtración

EQUIPO	ADQUISICIÓN (%)	INSTALACIÓN (%)	OPERACIÓN %ANUAL
Filtro de Mangas	85	15	17
Ciclones	88	12	51

En los gráficos 1 y 2 de la siguiente página, se muestran las variaciones de los precios de los ciclones y del filtro de mangas en función del caudal de gases a tratar.

En cuanto a los PE, las estimaciones están expresadas en función de la superficie de precipitación en m<sup>2</sup>. Para el caso de un PE típico, de 10000 m<sup>2</sup> de superficie de precipitación, sus precios tienen un promedio de :

- Instalación : de 65 ,000 a 400 ,000 \$/m<sup>2</sup> y
- Costo de operación y mantenimiento : de 10 ,000 a 20 ,000 \$/m<sup>2</sup>.

## COSTO - CAUDAL DE TRATAMIENTO DE GASES

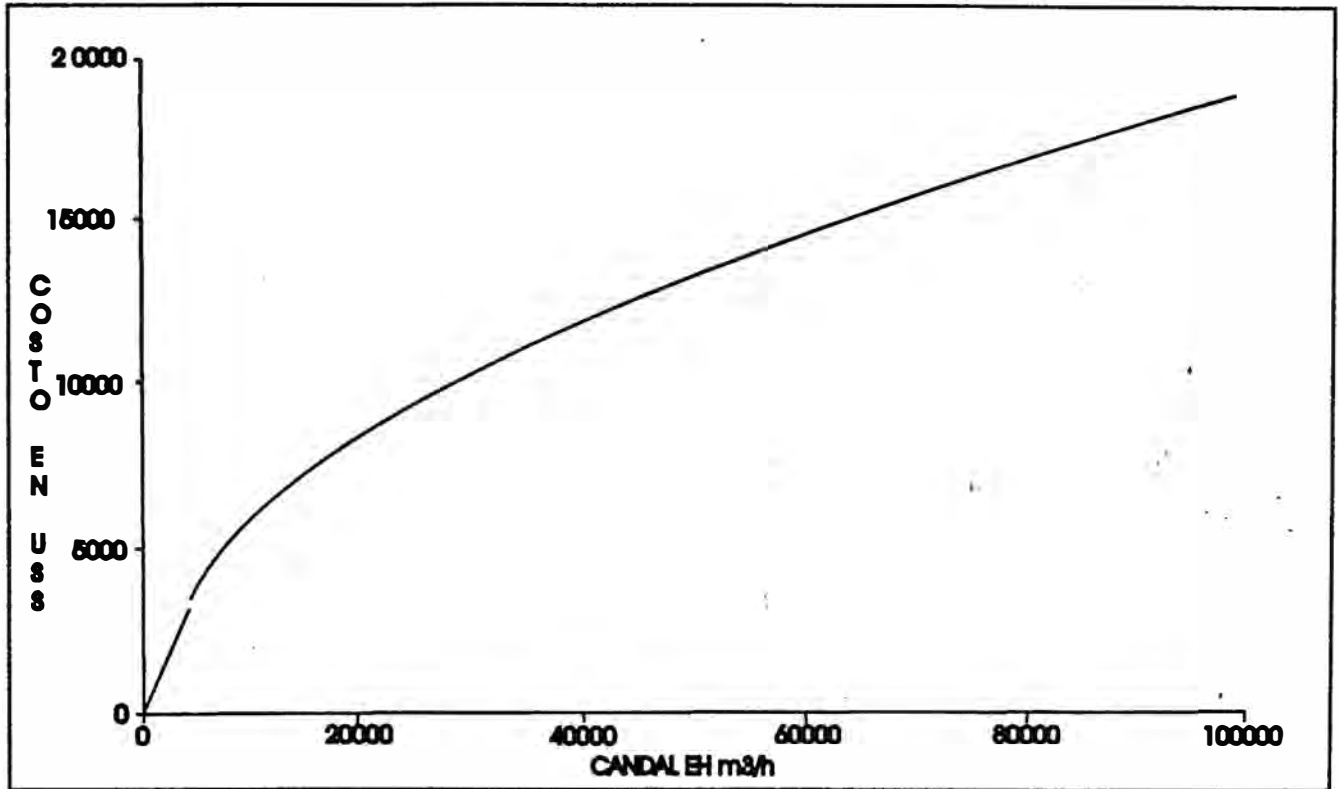


GRAFICO 1 FUNCION DE COSTO DE LOS CICLONES

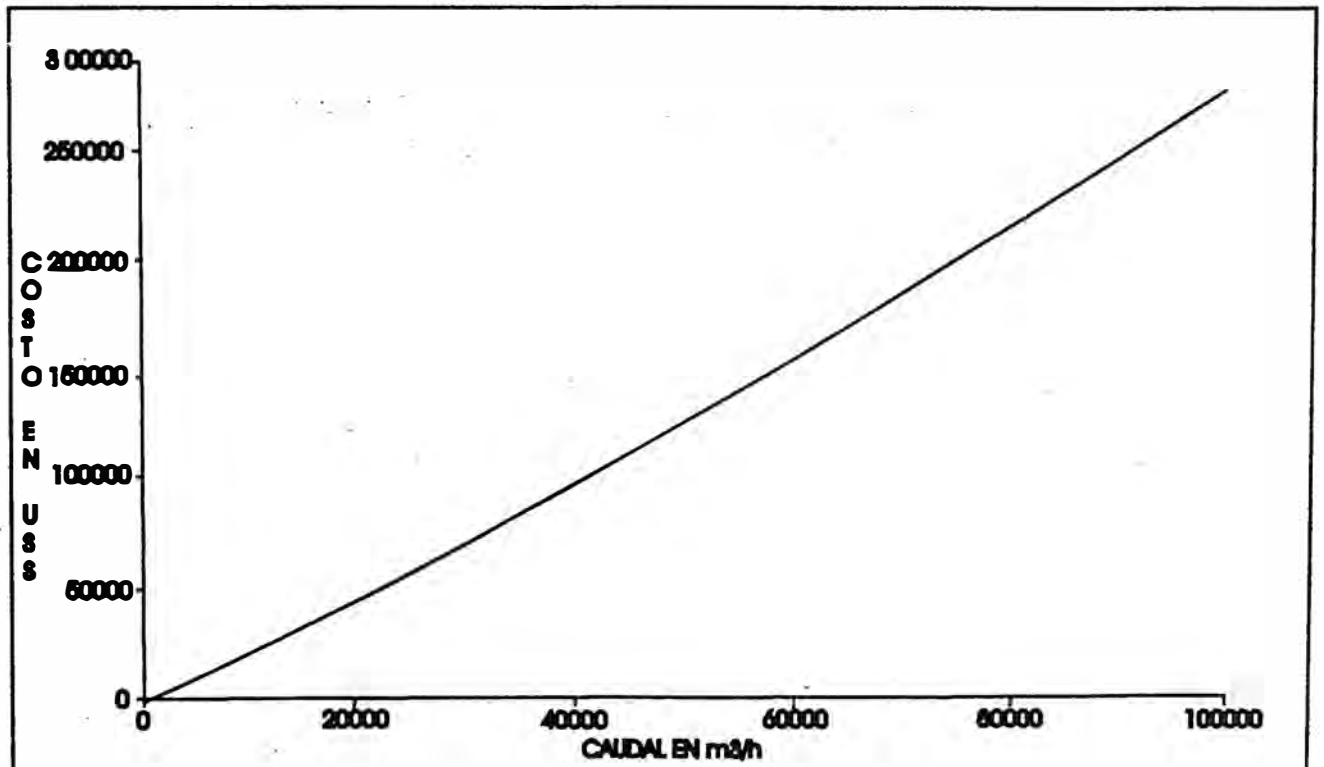


GRAFICO 2 FUNCION DE COSTO DE LOS FILTROS DE MANGAS



**DIAGRAMA 1 : DIFERENCIAS ENTRE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA DE CEMENTO**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>FILTRO DE MANGAS</b>	<b>MULTICICLON</b>	<b>P.E.</b>
<b>Principio de Operación</b>	<b>Aspiración o captación directa</b>	<b>Efecto de centrifugación y gravedad</b>	<b>Atracción de partículas por fuerzas electrostáticas</b>
<b>Temperatura ( ° C )</b>	<b>De 100 a 285</b>	<b>Hasta 370</b>	<b>Hasta 450</b>
<b>Pérdida de presión</b>	<b>De 60 a 150 mm H2O</b>	<b>De 130 a 180 mm H2O</b>	<b>De 15 a 20 mm H2O</b>
<b>Tamaño de partículas (micras)</b>	<b>&gt; de 1</b>	<b>&gt; de 20</b>	<b>&gt; de 0,5</b>
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>91.95</b>	<b>&lt; 85 %</b>	<b>99,9</b>
<b>Velocidad de flujo (m3/seg)</b>	<b>Promedio de 17</b>	<b>25</b>	<b>1 m</b>

## **VIII EQUIPOS DE CONTROL Y MONITOREO DE PARTICULAS**

Las empresas de cemento, si bien en la mayoría de los casos cuentan con sistemas de reducción de emisiones de partículas como son los filtros de mangas, los multiciclones o los PE, esto no asegura que los límites de emisión a la atmósfera, se encuentren por debajo de los límites permisibles.

Muchos de los equipos de depuración de emisiones, se basan en medios filtrantes que son muy eficientes en condiciones de diseño (algunas veces con eficiencias superiores a 99%), pero que al no constituir un elemento directamente productivo; pueden presentar un bajo nivel de mantenimiento y supervisión, lo que posibilita la aparición de episodios contaminantes.

Algunos avances tecnológicos han permitido dar un salto cualitativo y cuantitativo en el control y monitoreo de partículas. Hasta hace pocos años, los sistemas ópticos, basados en la dispersión de un haz de luz, eran los que dominaban el mercado, hasta la aparición del nuevo sistema triboeléctrico.

### **8.1. MEDIDOR TRIBOELECTRICO DE PARTICULAS**

#### **PRINCIPIO DE OPERACIÓN**

Cuando dos cuerpos sólidos entran en contacto por fricción o choque, se transfiere una carga eléctrica. Los átomos de la superficie del cuerpo intercambian electrones, formándose una capa límite con carga eléctrica positiva o negativa en una pequeña distancia a nivel molecular. Esta carga distinta representa la base de los medidores triboeléctricos, los cuales utilizan dicho cambio de carga entre el sensor de medida y la cercana capa generada por el impacto directo de las partículas. La representación de este principio se muestra en el Esquema 2.

La señal de salida de los equipos triboeléctricos depende de las propiedades mecánicas y eléctricas de las partículas a medir. Aparte de la concentración de

partículas, es la velocidad de los gases la que tiene la mayor influencia en la transferencia de la carga.

El equipo más sencillo de vigilancia lo constituye el formado por un sensor de medida, una varilla de acero inoxidable de longitud adecuada, que debe instalarse en el conducto de gas limpio, a la salida del filtro. Aquí se obtiene el valor medio de la señal durante 30 minutos, lo que constituye una medida similar solicitada por la normatividad de muchos países.

Una versión alternativa lo constituye el equipo que consta de dos unidades : el sensor de medida y el módulo electrónico de medida. En la Figura 2 se muestra este tipo de equipo.

#### MEDIDA DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTICULAS

El tipo de equipo adecuado para medir la concentración de partículas se ve en la figura 3. Este consiste de dos sensores triboeléctricos de medida en paralelo además de un sensor Pitot para medir la velocidad del gas. El conjunto se completa con un sensor de temperatura. Tipo PT 100 .

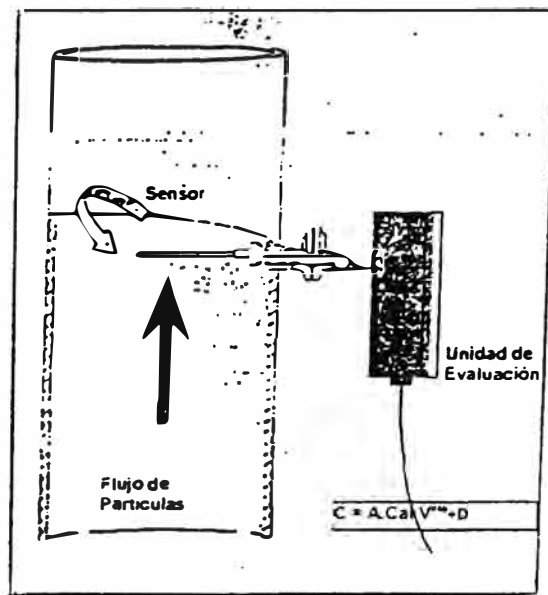
El resto del equipo lo conforma la unidad electrónica de medida. En dicha unidad se calcula de forma automática la concentración de partículas, de manera que ya nos suministra los valores estandarizados de acuerdo a la normativa vigente. Los cambios de caudal se corrigen de manera automática mediante el software de la unidad de control.

Así pues, el equipo de medida continua dispone de tres señales de salida distintas :

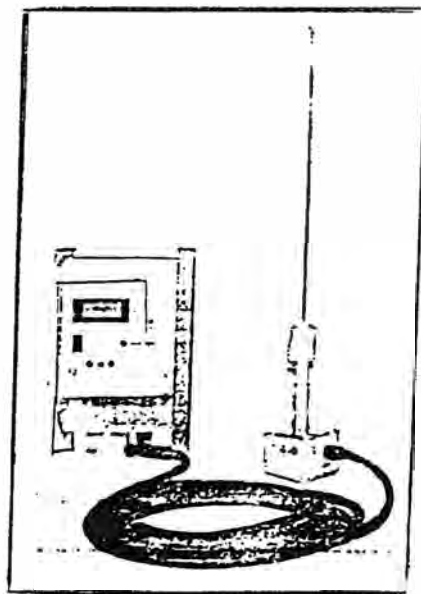
- Concentración de partículas
- Caudal de gas
- Temperatura de salida.

#### 8.2 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS TRIBOELECTICOS FRENTE A LOS SISTEMAS ÓPTICOS

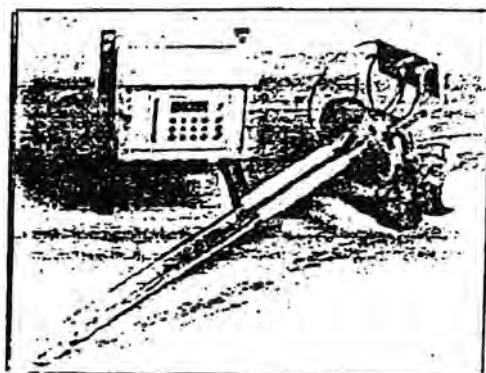
# MEDIDOR TRIBOELECTRICO DE PARTICULAS



Principio triboeléctrico de medida



Sensor triboeléctrico y medidor eléctrico



Equipo triboelectrico

En el cuadro N° 13 se muestra las ventajas de los sistemas triboeléctricos frente a los sistemas ópticos.

Tabla N° 13. Ventajas de los Sistemas Triboeléctricos

CRITERIO	SISTEMAS OPTICOS	SISTEMAS TRIBOELECTRICOS
DISEÑO	Estructura compleja. Partes ópticas y mecánicas móviles.	Diseño muy simple
MONTAJE	Elevada complejidad. Se precisan especialistas y herramientas especiales	Muy sencillo. Solo se requiere el montaje de una brida
OPERACIÓN	Elevados costos de operación	Costos de operación muy bajos
MANTENIMIENTO	Los servicios de mantenimiento deben ser realizados por especialistas	El servicio de mantenimiento puede ser realizado por el cliente.
MULTIAREA	Una única señal de medida por instrumento.	Tres señales de medida por instrumento : - Concentración de partículas - Caudal - Temperatura del gas.

### 8.3 PLAN DE MONITOREOS

El material particulado en la atmósfera, representa un problema serio en la calidad de aire, situación que se agrava por la falta de supervisión y monitoreos en la industria de parte de los entes reguladores responsables de la calidad del aire. Por otro lado, las industrias deberían poner en práctica métodos de monitoreos y control adecuados, como parte de un plan de gestión ambiental propio.

Un plan de monitoreo debe contemplar dos áreas :

a. Para Fuentes Fijas :

OPERACION	PARÁMETRO (mg/m <sup>3</sup> )	FRECUENCIA
Calcinación	- Partículas	Semestralmente
Molienda de mat.primas	- Partículas	Semestralmente
Molienda de cemento	- Partículas	Semestralmente
Enfriamiento de clínker	- Partículas	Semestralmente

Los muestreos deben realizarse en forma simultanea en cada una de las chimeneas para la descarga de partículas generadas durante una operación o proceso de fabricación del cemento.

Para los hornos de calcinación también se debería registrar

- La alimentación en promedio horario y totales por día, mes y año
- Registro de temperatura de los gases de salida.
- Tipo de combustible y su consumo por hora.

**b. Para Fuentes Difusas**

Para el control de las emisiones fugitivas se plantea :

- Colocar mamparas o cobertizos en los lugares de descarga de las materias primas
- Cubrir con cobertizos los apilamientos de materiales o realizar almacenamientos en tolvas.
- Colocar equipos de control en los silos de almacenamiento.
- Confinar los transportadores de bandas e instalar equipos de control en los puntos de transferencia de materiales.
- Colocar cobertizos donde se efectúe la carga a granel del producto .
- Pavimentar y mantener limpias las áreas destinadas al tránsito vehicular.

## **IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- En la producción de cemento, se necesitan alrededor de 1,65 toneladas de materia prima para producir una tonelada de cemento.
- El parámetro de contaminación más importante de una industria de cemento, es el material particulado en suspensión, siendo las partículas de menos de 10 micras (PM 10), las más perjudiciales para la salud.
- La adopción de un SGA permitiría disminuir la enorme erosión de las cantera por la extracción continua de caliza y otros materiales.
- Los procesos de fabricación de cemento secos, que utilizan el sistema de precalentamiento y precalcificación, son económica y ambientalmente preferibles, por el menor consumo de energía (3)
- Entre los sistemas de control de emisiones, la tecnología más eficiente es la de los PES, pero también es la menos económica.
- La eficiencia de los sistemas de control de emisiones, depende tanto de su diseño y construcción, como de su control y mantenimiento
- Los equipos de control más utilizados para la emisión en los hornos, en la industria nacional son los filtros de mangas y los electrofiltros o PE.

### **RECOMENDACIONES**

- Considerar un desarrollo sostenible como un proceso que afronta las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones para



afrontar sus propias necesidades, es decir, asegurar una gestión eficaz de los recursos.

- Una gestión empresarial respetuosa con el medio ambiente, se basa también, en la necesidad de obtener un máximo rendimiento de la utilización energética.
- Se debe considerar un desarrollo sostenible como un proceso que afronta las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones para afrontar sus propias necesidades.
- Se requieren realizar levantamientos estadísticos de índices de contaminación, identificación específica de causas y efectos e implementar laboratorios de control al respecto.
- Se deben llevar a cabo monitoreos y controles permanentes del aire mediante una instrumentación adecuada.
- La problemática del ruido se subestima, pero cargas de ruido pueden provocar lesiones permanentes. De ahí que es preciso observar también valores límites para este parámetro, dentro y fuera de la planta; y evitar que se continúen edificando viviendas cada vez más próximas.
- Se requiere tener información de los índices de productividad y control ambiental de las empresas de mayor capacidad a fin de amparar los procesos productivos y la competitividad empresarial.

## X BIBLIOGRAFIA

- 1- CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Contaminación Ambiental por Material Particulado y Mortalidad, 1997.
- 2- Austin, G., Manual de los Procesos Químicos en la Industria, 5ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, Texas, 1988, pg. 201.
- 3- Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank Group, 1988, pg. 275.
- 4- ASOCEM, Asociación de Productores de Cemento, Estadística de Producción del año 2002.
- 5- [www.minproduce.gob.pe](http://www.minproduce.gob.pe)
- 6- [www.cementoslima.com.pe](http://www.cementoslima.com.pe)
- 7- GTZ, Manual de Tratamiento de Aguas Residuales.
- 8- Anaya, A., Contaminantes en Efluentes Gaseosos, Ing. Quim., 2001, N° 384, pg. 206.
- 9- Feal, A., Precipitadores Electrostáticos, Ing. Quim., 2001, N° 381, pg. 177.
- 10- Feal, A., Precipitadores Electrostáticos, Ing. Quim., 2001, N° 383, pg. 147.
- 11- Feal, A., Precipitadores Electrostáticos, Ing. Quim., 2001, N° 385, pg. 129.
- 12- Feal, A., Precipitadores Electrostáticos, Ing. Quim., 2002, N° 387, pg. 117.
- 13- CEPAL, Políticas para la Gestión de los Residuos Urbanos e Industriales, 1999.
- 14- Pallisé, Perspectivas en el Control de Partículas en Emisiones Atmosféricas, Ing. Quim., 2002, N° 394, PG. 486.

## **ANEXO 1**

### **1- PLAN DE CONTINGENCIAS**

**Las medidas y acciones a tomar en caso de**

**a. Deslizamiento de taludes**

**Hacer trabajos de estabilización de taludes, lo que podría llevar a construir barreras o muros de contención.**

**b. Polvorines por la rotura o daño en las fajas transportadoras del cemento :**

**Para este caso, se debería contar con sistemas de nieblas de agua, supresores químicos de polvo o cortinas antipolvo, las cuales deben activarse de inmediato, en caso de ocurrir un polvorín.**

**c. Incendios en la planta :**

**Se debe contar con un sistema de abastecimiento de agua contra incendios y equipos portátiles y rodantes contra incendios.**

**Asimismo se debe contar con los planos y características generales de las Instalaciones y un plan de entrenamiento permanente.**