



RESUMEN

ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR DE CLINKER DE COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN.

RESUMEN.

El presente estudio tiene como finalidad hacer un análisis del proceso de recolección de polvo del enfriador de clinker en el proceso de Producción de la Compañía Industrias Guapán, para de esta manera indicar y analizar cada uno de los factores que influyen en este proceso. El estudio se llevo a cabo en el proceso de clinkerizacion, en el cual se dosifican y se llevan a efecto las reacciones físico-químicas de las materias primas para la producción de clinker.

El estudio se realizo en base a variables de operación así como de las características del producto recolectado en función de las necesidades del proceso y su aporte al producto final, para el análisis de consideraron algunas variables como la dosificación de materia prima, variables de operación en el horno rotatorio, variable físico-químicas de clinker, rendimiento del sistema, requisitos



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
medioambientales. Para la recolección de cada uno de
estas variables de análisis de hicieron las diferentes
pruebas en el Departamento de Calidad y el monitoreo de
los diferentes datos o variables en el Panel Central del
Departamento de Procesos.

Cabe recalcar que la fabricación de cemento requiere de
variados y rigurosos controles, tanto en el proceso de
elaboración como en el producto terminado, por lo que
fue importante la practica de pruebas en el laboratorio de
Control de Calidad, a fin de asegurar de que estas
cumplan con los requisitos contemplados en las normas
respectivas de calidad.

Finalmente se presenta el análisis de resultados, a través
de método de análisis por rayos X, con lo que se pudo
determinar las características del material particulado,
clinker producido y crudo alimentado al horno, los
mismos que permitieron establecer la relación entre la
cantidad de material particulado recogido con variables
como la densidad aparente, producción de clinker,
temperatura de colector de polvo entre otras.

PALABRAS CLAVES:

- Filtro de mangas



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Cemento
- Clinker
- Enfriador de clinker
- Cementos Guapan
- Colector De Polvo
- Producción



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
INDICE

INDICE.

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Antecedentes	8
1.1.1. El cemento antecedentes históricos	8
1.2. Presentación de la Compañía Industrias Guapan S.A	9
1.2.1. Características Actuales de la Empresa “COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A	11
1.2.2. Objetivos de la “COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.”	12
1.2.3. Estructura y Organización.	13
1.3. Proceso de Producción de Cemento por Vía Seca	13
1.3.1 Trituración	14
1.3.2. Prehomogenización	15
1.3.3. Molienda De Crudo	16
1.3.4. Homogenización	17
1.3.5. Clinkerización y Enfriamiento	18
1.4. Control de Proceso	23

CAPITULO II: PROPOSITO Y OBJETIVOS

2.1. Propósito	25
2.2. Objetivo General	28
2.3. Modernización del Enfriador de Clinker	29
2.4. Objetivos Específicos	30

CAPITULO III: EL PRODUCTO CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO TIPO IP

3.1. Descripción del Cemento Portland Puzolanico	31
3.1.1. Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP	31



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

3.1.2. Cemento Pórtland Puzolánico Modificado tipo IPM.	32
3.2. Características de Calidad	33
3.3. Pruebas y Ensayos	34
3.4. Normas de Requisitos y Ensayos	35
3.5. Reactividad del Clinker	36
3.6. Actividad Puzolánica	39
3.6.1 Prueba de índice de actividad Puzolánica.	39

CAPITULO IV: CLINKERIZACION Y ENFRIAMIENTO

4.1. Proceso de Clinkerizacion	41
4.1.1. Esquema	43
4.2. Materias Primas Utilizadas.- Características Físico-Químicas	47
4.2.1. Caliza	49
4.2.2. Arcilla	50
4.3. Calidad del Clinker Producido	51
4.3.1. Características del Clinker	53
4.4. Proceso de Enfriamiento de Clinker	55
4.4.1. Esquema	55
4.4.2. Funcionamiento del Enfriador	57
4.5. Consumo de Energía	60
4.5.1. Por Equipo	61
4.5.2. Por Área de Producción	62
4.6. Costos de Producción	63
4.7. Rendimiento del Sistema de Clinkerizacion y Enfriamiento	65

CAPITULO V: PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO

5.1. Procesos de recolección de polvo	67
5.1.1. Filtro de Mangas	68
5.1.2. Descripción general filtro De Mangas Compañía Industrias Guapán	72



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

5.2. Norma de Manejo de Material Particulado en la Chimenea de Equilibrio del Área de Clinkerizacion	77
5.3. Norma Medioambiental para la Emisión de Material Particulado en los Procesos de Producción de Cemento	78
5.3.1. Norma de Emisión	79
5.3.2. Emisión	79
5.3.3. Material Particulado	80
5.3.4. Partículas Totales	80
5.3.5. Puerto de Muestreo	80
5.3.6. Puntos de Medición	80
5.4. Influencia en el Medio Ambiente y en el Proceso de Producción	80
5.4.1. El Cemento y el Medio Ambiente	81
5.4.2. Influencia en el Proceso de Producción	83
5.5. Descripción del funcionamiento del Colector del Filtro de Mangas	86
5.5.1. Presión Diferencial	89
5.5.2. Sistema de Limpieza Pulse-Jet	91
5.5.3. Limpieza en Línea y Fuera de Línea	92
5.5.4. Funcionamiento del Sistema de Limpieza	93
5.5.5. Relación Aire-Tela (Velocidad De Filtración)	94
5.5.6. Mangas Filtrantes	94
5.6. Capacidad de Retención del Colector del Filtro de Mangas	96
5.6.1. Calculo Del Peso Del Material Del Colector De Polvo	98
5.7. Esquema De Operación.	99
5.8. Rendimiento del sistema de recolección de polvo	102

CAPITULO VI: ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. Determinación de las características Físico-Químicas del clinker producido	104
6.2. Determinación de las Características Químicas del Material Particulado Recolectado Por El Filtro de Mangas	105
6.2.1. Características Físicas Del Material Particulado	105

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

**Tesis previa a la obtención del Título de Ing.
Industrial**

**"ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE
POLVO EN EL FILTRO DE MANGAS DEL ENFRIADOR
DE CLINKER DE COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN"**

AUTOR:

ROLANDO MERCHAN VELEZ.

DIRECTOR:

DR. EFRAIN VIVAR

FEBRERO 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

DEDICATORIA.

*A mis padres
Rolando e Irene, que me han
sabido inculcar, además han
sido el soporte e inspiración
para culminar esta etapa de
mi vida. A mis hermanos
Ismael y Juanes por su
amistad y momentos de
alegría, y a todas la personas
que han sabido apoyarme de
una u otra manera en el
camino de mi preparación
universitaria.*



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
AGRADECIMIENTO.

Un agradecimiento muy sincero al Ing. Byron Sacoto por haberme permitido realizar el presente estudio en Compañía Industrias Guapán, Al Ing. Patricio Ruíz por el interés y tiempo dedicado a la supervisión y análisis de este proyecto. Y un especial agradamimiento al Dr. Efraín Vivar por sus valiosos conocimientos los mismos que fueron de crucial importancia durante el desarrollo de este trabajo.



CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

La Compañía Industrias Guapan S.A. esta ubicada a 1 Kilometro de la ciudad de Azogues capital de la Provincia del Cañar.

La Compañía Industrias Guapán fue creada mediante Decreto Legislativo el 30 de octubre de 1954, celebra la Escritura de Constitución el 18 de Julio de 1955 con un capital inicial de S/.25.000.000,00, suscrito mediante acciones de S/. 1000,00 conformado por los siguientes accionistas: Caja del Seguro (8.500 acciones), Caja de Pensiones (8.000 acciones), Banco Nacional de Fomento (3.000 acciones). Centro de Reconvención Económica del Azuay, Cañar y Morona Santiago – CREA (3.000 acciones), Consejo Municipal de Azogues (200 acciones), Concejo Municipal de Cuenca (2.000 acciones), Concejo Municipal de Biblián (300 acciones).

El 1 de agosto de 1995 es aprobada por la Superintendencia de Compañías la reforma integral de



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
los estatutos constituyentes en Compañía Industrias
“GUAPAN S.A.”

La Compañía está constituida de la siguiente manera:

Accionistas:

- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social con el 99.8% de acciones.
- Banco Nacional de Fomento con el 0.2% de acciones.

1.1.1. El cemento antecedentes históricos

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. El cemento es un conglomerante conocido desde tiempos muy remotos, aunque su aplicación como material hidráulico solamente ha sido llevada a cabo a partir del siglo XVIII. Ya en el tiempo de los romanos, se realizaron construcciones con mezclas de cal y puzolana, con notable durabilidad y resistencia que permanecen aún hasta nuestros días.

La aparición del cemento y de su producto resultante el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente. Las variedades en la



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
construcción nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar nuestros más ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir. En todos estos aspectos, el cemento como material ha provocado desde su aparición un gran impacto relacionándose con los diferentes factores sociales, económicos, políticos y el entorno.

En la actualidad los modernos procesos de fabricación de cemento cuentan con modernos sistemas de trituración y transporte, Prehomogenización, molienda de crudo, separadores de alta eficiencia, hornos verticales y horizontales con sistemas de precalentador y precalcificación, enfriadores, molinos tubulares, empacadoras rotativas, etc. Los que conforman toda una extensa gama de tecnología que a la vez permite a las empresas manufactureras, producir un cemento de calidad.

El cemento Pórtland típico es una mezcla de silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) en diversas proporciones, junto con pequeñas cantidades de compuestos de hierro, magnesio, manganeso, fósforo, titanio, etc. Para lograr condiciones de trabajabilidad y fraguado se adiciona yeso al clinker en la etapa de molienda final.



Todas y cada una de las características de calidad de los cementos resultan de un adecuado control de calidad que se inicia en la etapa misma de extracción de la materia prima hasta la etapa de expendio y servicio al cliente, por lo que es necesario concentrar el esfuerzo y la capacitación del personal, así como la utilización de la mejor tecnología que se dispone.

1.2. Presentación de la Compañía Industrias Guapan S.A

La fábrica de Cemento "Guapan" inició su construcción en el año de 1962, y su terminación se dio en 1965.

Desde abril de 1966, se empieza a producir cemento, y es así que el 1 de junio se inaugura oficialmente, la planta tendría una capacidad de 250 toneladas métricas por día (TMPD) y su tecnología era por vía húmeda.

En el año de 1991 puso en funcionamiento su planta de producción por vía seca con una capacidad instalada de 1.300 toneladas métricas de cemento por día, siendo en la actualidad su capacidad efectiva de 1100 ton/día,



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
disponiendo con una tecnología de los años 80, dentro de
la cual consideraba un sistema de molienda de cemento
con una capacidad de 65 ton/hora.

A partir de julio del 2002, se cambió la línea de molienda
de cemento por una de tecnología reciente, que
contempló el cambio de emplacado interior del molino y
la instalación de un separador de alta eficiencia.

El monto de la inversión ascendió a USD 2, 500,000,
Esta inversión se la realizó con el propósito de
incrementar la producción, rendimiento y además, lo que
ha permitido entre otras cosas obtener un mejor grado de
fineza en el producto; lo que a la postre y en conjunción
con las demás características físico-químicas, han
permitido que éste, cumpla con las especificaciones de
calidad contempladas en la Norma INEN 490, satisfaga
las expectativas del los clientes.

El producto que elabora y expende la Compañía a través
de su planta de 1100 toneladas métricas diarias de
capacidad de producción, es Cemento Portland
Puzolanico según norma INEN para uso en construcción
de hormigón en general.



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Industrias GUAPAN atiende primordialmente con el 12%
de la producción nacional a las provincias australes de
Cañar, Azuay, Loja y Morona Santiago; constituyendo,
por tanto, su mercado preferencial.

La producción de cemento está en función de la
demanda que ejerce la industria de la construcción
privada y pública; por tanto, la capacidad de colocación
de la producción tiene relación con el crecimiento de este
sector.

Históricamente Compañía Industrias Guapan S.A, se ha
consolidado como soporte para el desarrollo socio
económico de la Región Austral y el País, a través de
brindar un producto que ha satisfecho las necesidades
del consumidor, en base al cumplimiento de las Normas
de Calidad vigentes en el País.

1.2.1. Características Actuales de la Empresa “COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A

1.2.1.1. Misión.



La Misión es la razón de ser de la empresa; por lo tanto la misión de Compañía Industrias "GUAPAN S.A se ha definido así:

"CONTRIBUIR AL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL DE LA REGION AUSTRAL, MEDIANTE LA PRODUCCIÓN Y PROVISION DE CEMENTO Y PRODUCTOS RELACIONADOS DE ALTA CALIDAD".

1.2.1.2 Visión.

Entendida como el gran objetivo empresarial, es la configuración del modelo empresarial deseado y alcanzable a mediano plazo, en definitiva es el objetivo que debe alcanzar la administración de la empresa en el horizonte planteado. Por lo tanto se determinó la siguiente visión empresarial:

"EMPRESA DE ALTA PRODUCTIVIDAD, COMPETENCIA Y CON VALOR ECONOMICO CRECIENTE; DE RECONOCIDO PRESTIGIO POR LA CALIDAD DE SUS PRODUCTOS, POR SU EXCELENTE SERVICIO AL CLIENTE, POR SU CULTURA DE CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, POR SUS RELACIONES LABORALES



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
**PREACTIVAS; Y CON PERSONAL PROFUNDAMENTE
COMPROMETIDO CON LA MISION EMPRESARIAL”.**

1.2.1.3 Política de Calidad.

Cada empresa debe establecer con claridad sus objetivos y hacerlos del conocimiento de todo su personal, y las directrices generales para alcanzarlos. Esto le obliga, a promover e indicar constantemente la importancia de ofrecer productos de calidad a sus clientes.

“COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A. PRODUCE CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO DE ALTA CALIDAD, MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN Y MEJORAMIENTO CONTINUO QUE TIENE COMO OBJETIVO ASEGURAR LA TOTAL SATISFACCIÓN DE SUS CLIENTES, EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE, EL DESARROLLO DE SUS RECURSOS, LA COMUNIDAD Y EL PAÍS”.

1.2.2. Objetivos de la “COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.”

- Estudios, exploración, implementación, y explotación de cementos y cales, yacimientos de



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
arcilla, yeso, caolín, arena, carbón, etc., y
fabricación de productos derivados.

- Compra-Venta de productos provenientes de su actividad industrial en el país o extranjero, importación-exportación de artículos para sus fines.
- Representación de empresas o compañías nacionales o extranjeras que actúen en campos similares.
- Intervenir como socio o accionista en otras compañías o fusionarse con otras sociedades similares a su actividad.
- Propiciar instalación, generación, distribución y venta de energía eléctrica.
- Promocionar, ejecutar y negociar programas de urbanizaciones.
- Instalar por sí o asociada, empresas afines a la construcción tales como: Hormigoneras, premezclados, prefabricados, bloques, adoquines, tubería etc.
- Desarrollar actividades encaminadas a la protección del ecosistema, en el entorno correspondiente a su área de influencia.
- Celebrar toda clase de actos y contratos permitidos por las leyes ecuatorianas.



1.2.3. Estructura y Organización.

La estructura organizacional se refiere a la forma en que se dividen, agrupan y coordinan las actividades de la organización en cuanto a las relaciones entre los gerentes y los empleados, entre gerentes y gerentes y entre empleados y empleados. Los departamentos de la Compañía Industrias Guapan esta estructurada como se indica a continuación en la Figura 1.

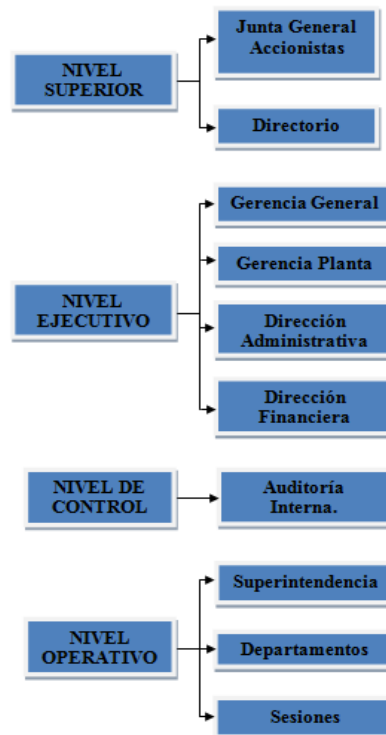


Figura 1. Estructura Organizacional Compañía Industrias Guapán

Fuente. Departamento Administrativo Compañía Industrias Guapán



1.3. Proceso de Producción de Cemento por Vía Seca

La tecnología que Compañía Industrias "GUAPAN S.A." utiliza para la elaboración del cemento es del tipo vía seca con una capacidad de 1.100 toneladas métricas por día.

El proceso tiene lugar a través de siete áreas de producción:

- Trituración.
- Prehomogenización.
- Molienda de Crudo.
- Homogenización.
- Clinkerizacion.
- Molienda de Clinker o Acabado de Cemento.
- Despacho o Expendio de Cemento.

1.3.1 Trituración





Figura2 *Área de Trituración de materia prima.*

Fuente. *Departamento de Control de Calidad de la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."*

En esta área se realiza la disminución del tamaño de la materia prima procedentes desde las canteras como se indica en la Figura 2, desde una tamaño aproximado de 1,20 metros hasta reducir a un 95% de su tamaño original.

La capacidad del triturador es de 500 TMPH (*Toneladas Métricas por hora*), la materia prima entra con una humedad de un 8%, lo suficiente para abastecer al proceso de producción con un funcionamiento de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. El accionamiento de esta maquina es mediante un motor eléctrico de 1.500 HP (*Horse Power*) y su consumo especifico de 3,5 Kwh. /ton (*Kilowatio hora por Tonelada*).

1.3.2 Prehomogenización





Figura3. Vista general del domo de Prehomogenización.

Fuente. Departamento de Control de Calidad de la
Compañía Industrias "GUAPAN S.A."

En la Figura 3 se ilustra el área de Prehomogenización la misma que esta destinada a cumplir dos objetivos fundamentales expuestos a continuación:

- Almacenar el material triturado proveniente del área de trituración.
- Realizar una mezcla con una disminución de 8:1 en desviación estándar respecto al material de trituración Figura 4.



Figura 4. Vista interna del prehomogenizador y de la máquina mezcladora.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Fuente: *Departamento de Control de Calidad de la
Compañía Industrias “GUAPAN S.A.”*

La disminución de 8:1 en la desviación estándar de las variables de calidad que controlan el proceso tales como el porcentaje de CO_3Ca^1 y granulometría, indispensable para garantizar la homogenización del producto en elaboración.

La maquinaria que realiza la Prehomogenización está dentro de un área circular, consta de un apilador Figura 5 con capacidad de 600 TMPH (*Toneladas Métricas por hora*), almacenando al material en dos pilas según el método Chevron y un recuperador con capacidad de alimentación de 200 TMPH.



¹ CO_3Ca Carbonato de Calcio o Caliza



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Figura 5 Formación de pilas del material triturado.

Fuente: Departamento de Control de Calidad de la
Compañía Industrias "GUAPAN S.A

La capacidad de almacenamiento es de 40.000 toneladas, pero por efectos de un mayor control en la calidad y disponibilidad de recuperación se lo utiliza en un 50 %, y de acuerdo a la necesidad del siguiente proceso de producción que es la molienda de crudo.

El transporte de material se lo realiza a través de una cadena con paletas al cual cae mediante el accionamiento de un rascador que deposita el material en una tolva y esta a su vez a una banda por dos vibradores instalados a la salida del recuperador. El consumo específico es de 0,53 Kwh. /TMPH tratada.

1.3.3. Molienda De Crudo

El objetivo es el de dosificar y preparar la materia prima de acuerdo a los requerimientos físico-químicos para la elaboración del clinker de cemento. Se realiza la molienda hasta una finura tal que el retenido en el tamiz



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
de 200 ASTM ²(75 micras) sea menor al 18 % con una
humedad del producto menor al 0,8%.

El equipo principal es el molino de bolas Figura 6; de tipo horizontal, consta de un tubo de acero de 3,96 metros de diámetro y una longitud de 7,93 metros dividido en dos cámaras de molienda, tiene una capacidad de producción de 90 TMPH (*Toneladas Métricas por hora*); es accionado por un motor de 2.500 HP (*Horse Power*), con un consumo específico de 34,7 Kwh. /TMPH, esta diseñada para trabajar 6 días por semana y 24 horas al día.



Figura6 Vista frontal del molino de bolas.

Fuente: Departamento de Mantenimiento Programado de la Compañía Industrias “GUAPAN S.A.”

Una función adicional de la molienda de crudo es evaporar el contenido de agua en la materia prima, y se lo realiza en la cámara de secado utilizando los gases

² ASTM American Section of the International Association for Testing Material. Organismo de normalización y control de la calidad.



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
provenientes de la torre de precalentador del horno
rotativo.

El molino dispone de dos entradas simultáneas a las dos cámaras de moliendas, tanto para los gases calientes para el secado, cuanto para el material de alimentación. A la primera cámara se alimenta material desde los dosificadores y a la segunda ingresa material procedente de la recirculación de gruesos provocados por el separador de aire.

1.3.4. Homogenización

El producto de la molienda de crudo es transportado hasta dos silos de homogenización Figura 7, cuya capacidad es de 2.340 metros cúbicos en total. Tiene la función de realizar la mezcla de la harina cruda para mejorar la homogeneidad del material. Este trabajo se lo realiza mediante la inyección de aire comprimido a impulsos para generar un movimiento interno del polvo.





UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Figura 7. Silos de Homogenización.

Fuente: *Departamento de Mantenimiento Programado de la Compañía Industrias "GUAPAN S.A*

Una vez completada la homogeneización y la comprobación de la variedad de calidad, el material es trasladado a los silos de almacenamiento, con una capacidad total de 4.540 metros cúbicos. La dosificación al horno es controlada desde el panel central, en función de determinadas variables del proceso.

1.3.5. Clinkerización y Enfriamiento

Es el área fundamental del proceso de cemento, el equipo principal es el horno rotativo Figura 8, con una capacidad de producción de 1.100 TMPD (*Toneladas Métricas por día*) de clinker de cemento, a una temperatura de descarga de 65 °C sobre la temperatura ambiente.

El horno es un tubo de acero de 4,11 metros de diámetro y 57,91 metros de longitud, revestido interiormente con material refractario, que apoya en tres bases con arcos y



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
rodillos que permiten el movimiento y accionado por un
motor de 250 HP de velocidad variable.



Figura 8 Vista longitudinal del Horno de Clinkerizacion.

Fuente: Departamento de Mantenimiento Programado de
la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."

El proceso de clinkerizacion se describe de la siguiente manera:

El material crudo procedente de los silos de almacenamiento descrito anteriormente es inyectado al ducto de salida de los gases de la segunda etapa del precalentador. El precalentador está constituido por 4 etapas de ciclones instalados en serie, la Etapa 4 es la que está ubicada a la boca de alimentación del horno:

La Etapa 1 consta de dos ciclones en paralelos Figura 9, a cuya salida de gases se encuentran el ventilador de tiro



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
del precalentador que es accionado por un motor
eléctrico de velocidad variable con una potencia de 1.250
HP.

El cual permite disponer de un caudal de aire adecuado para satisfacer los diferentes requerimientos de la alimentación, garantizando una atmósfera estable en el proceso de clinkerización.

El precalentador actúa como un intercambiador de calor entre los gases resultantes de la combustión del horno y el material pulverizado de alimentación. La otra función que desempeña el precalentador es el de colector estático ya que impide que el material sea arrastrado conjuntamente con los gases.



Figura 9. Vista de los ciclones del precalentador.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Fuente: *Departamento de Mantenimiento Programado de
la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."*

El material crudo incrementa su temperatura en aproximadamente 800°C , y la temperatura de los gases desciende hasta llegar a los 250°C .

El material al incrementar su temperatura mientras desciende por el precalentador, comienza su proceso de transformación química, la temperatura máxima alcanzada en el horno rotativo Figura 10, depende de las características del material y del tipo de clinker de cemento que se está produciendo.



Figura 10. *Vista interior del Horno de Clinkerización.*



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Fuente: *Departamento de Mantenimiento Programado de
la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."*

Parte importante del proceso de clinkerización es el enfriamiento, que se realiza en el enfriador Fuller, que consta de un parrillado metálico que produce la descarga del material enfriado mediante la transferencia de temperatura por la inyección de aire frío con 4 ventiladores.

A la salida del enfriador se encuentra el triturador de clinker que permite descargar un producto con una granulometría alrededor de 25 mm (*milímetros*). El aire necesario para la combustión es tomado del aire utilizado para el enfriamiento de clinker. Este aire que está siempre entre los 600°C y 800 °C, permite que se produzca el proceso de cocción.

En el proceso de clinkerización, se dosifican y se llevan a efecto las reacciones físico- químicas de las materias primas para la producción de clinker; se dispone de la tecnología Polysius Co. Con un enfriador de última generación (*POLYTRACK Alemania*) y un colector de polvo de mangas (*INTENSIVE Brasil*). Estos equipos



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
fueron instalados y su funcionamiento viene siendo
regular a partir del mes de septiembre del 2008.

1.3.6 Molienda de Acabado de Cemento.

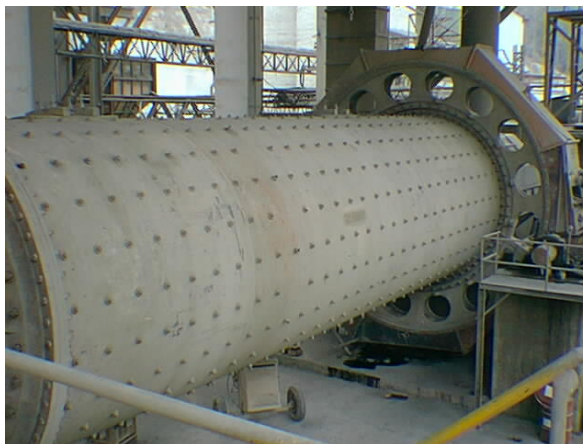


Figura 11 Vista lateral del Molino de Cemento.

Fuente: Departamento de Mantenimiento Programado de
la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."

La molienda de cemento es una parte fundamental del proceso de fabricación. En esta área se dosifica y muelen los ingredientes finales del cemento, su equipo principal es el molino de bolas Figura11, con un diámetro de 3,66 metros y una longitud total de 11,28 metros, es de tipo horizontal dividido en dos cámaras, la primera de 3,66 metros de longitud en la que se realiza la molienda gruesa y la segunda de 7,62 metros en la que se realiza la molienda fina.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

El molino tiene un diseño con descarga periférica y por lo tanto tiene una sola entrada y salida, con una producción de 60 TMPH de cemento. Estos valores se garantizan considerando una alimentación del 82% de clinker, 15% de puzolana, 3 % de yeso con granulometría menor a 25 mm.

El sistema de molienda es de tipo cerrado con un separador de aire que clasifica el producto de acuerdo a los requerimientos establecidos por el Departamento de Calidad, actualmente la dosificación de puzolana se la hace con el objeto de centrarnos en la fabricación de cementos normalizados, con la consecuente mejora en sanidad, resistencia y durabilidad del cemento, con lo que se pretende mejorar esta dosificación con el funcionamiento del sistema de separador de alta eficiencia.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
1.3.7 Empaque y Despacho de Cemento.



Figura 12 Máquina empacadora de cemento.

Fuente: Departamento de Mantenimiento Programado de la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."

Finalmente se llega al área de empaque y despacho de cemento a los consumidores, para lo cual se dispone de un área totalmente moderna, la calidad en el peso está certificada por balanzas digitales y controladas mediante sistemas electrónicos con tecnología de punta.

El área está equipada con dos líneas completas de enfundado del cemento con ensacadoras rotativas con una capacidad de enfundar 2.500 sacos/hora cada maquina Figura 12. Posteriormente para el despacho a granel se dispone de dos sistemas de alimentación para carros cisternas.



El respectivo control en el despacho relacionado con la variable de peso (50 ± 0.5 kg. /Saco) está controlada a la salida del vehículo de transporte por una moderna báscula electrónica de 80 toneladas de capacidad y certificada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (*INEN*).

Para una mejor manipulación del producto enfundado a partir de octubre del 2000, la Compañía viene utilizando funda de fondo pegado.

1.4. Control de Proceso

La fabricación de cemento en la Compañía Industrias Guapan se realiza mediante el cumplimiento de cada uno de los pasos explicados en el punto anterior, es decir desde la recuperación del material en el Prehomogenizador hasta la descarga del clinker a los halls³, para ello dispone de un sistema semiautomático de control, comandado desde el panel central.

³ **Halls.** Depósito de materiales



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

Este sistema semiautomático realiza el control eléctrico mediante circuitos con relés electro-mecánicos y la regulación de los algoritmos de programación, además las variables de proceso se controla utilizando equipos electrónicos.

En las áreas de molienda de cemento y despacho, el control ser realiza de forma digital, es decir se cuenta con equipos de alta tecnología que realizan las tareas que hace algunos años eran realizadas por operarios, por lo que actualmente se cuenta únicamente con supervisores para el correcto funcionamiento de estos equipos con lo que se evita que colapse el proceso. Este modelo de automatización del proceso esta siendo tomando como referencia para futuras mejoras en el control global de la planta.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
CAPITULO II: PROPOSITO Y OBJETIVOS

2.1. Propósito

Históricamente la Compañía Industrias Guapan S.A., se ha consolidado como soporte para el desarrollo socio económico de la Región Austral y el País, brindando un producto que satisface las necesidades del consumidor, en base al cumplimiento de las Normas de Calidad vigentes en el País.

El desarrollo de la Región y el País, se constituyen en los grandes desafíos que tendrá que afrontar la compañía en los años venideros, y el aporte significativo que ésta pueda brindar para su consecución, estará fuertemente ligado a la eficiencia con la que se desarrollen las actividades en su interior.

Para lograr el propósito de la compañía esta realizó un análisis del entorno en el cual se desempeña, cuyo análisis describe la oportunidades y amenazas a los que la compañía esta sujeta Tabla 1. Esto además permitió a la compañía analizar como influye sobre el negocio los diferentes parámetros tales como procesos y métodos de producción, conocimientos tecnológicos y científicos,



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
 infraestructura tecnológica necesaria para la fabricación
 del producto que la empresa expende.

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<p style="text-align: center;">POLITICO-LEGAL</p> <ul style="list-style-type: none"> -Trascendencia de la empresa para el desarrollo de la Región. -Respaldo e intereses del accionista. -Apoyo político del grupo local. 	<p style="text-align: center;">POLITICO-LEGAL</p> <ul style="list-style-type: none"> -Reacción de la comunidad respecto a la afectación ambiental. -Aspiraciones exageradas de apoyo en la comunidad. -Ingerencia política en la designación de directivos. -Precios de servicios e impuestos crecientes. -Procesos burocráticos para importación.
<p style="text-align: center;">SOCIO ECONOMICO.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aportes de los emigrantes para la construcción. 	<p style="text-align: center;">SOCIO ECONOMICO.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Crecimiento de asentamientos humanos cerca de la planta y minas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

<p>-Estabilidad Macroeconómica.</p> <p>-Impulso de las autoridades de la región al auto desarrollo.</p>	<p>-Mala infraestructura vial y pocas facilidades logísticas.</p> <p>-Incremento continuo de precios de servicios.</p>
<p style="text-align: center;">TECNOLOGICO.</p> <p>-Existencia de fuentes alternas de combustible y energía.</p> <p>-Nuevas tecnologías para mejorar eficiencia en la combustión.</p> <p>-Nuevas tecnologías para explotación minera.</p> <p>-Existencia de puzolana en la zona.</p> <p>-Permisión de rango de calidad para la adición de puzolana.</p>	<p style="text-align: center;">TECNOLOGICO.</p> <p>-Escasez de materia prima a costos razonables.</p> <p>-Dependencia de combustibles y energía caros.</p>
<p style="text-align: center;">DE MERCADO.</p> <p>-Mercado regional cautivo.</p> <p>-Desarrollo de la</p>	<p style="text-align: center;">DE MERCADO.</p> <p>-Competencia basada en liderazgo de costos.</p>



construcción de la región Austral. -Grandes proyectos de obra pública.	
---	--

Tabla 1 Análisis de Oportunidades y Amenazas.

Fuente: Departamento de Administración de la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."

El crecimiento de la demanda en los mercados regional y nacional, y la vigencia de las Normas de Calidad cada vez más exigentes, nos obliga a que el proceso de producción sea revisado y ejecutado con mayor eficiencia.

En la actualidad, la inversión realizada ha permitido mejorar y controlar las características de calidad del producto final, por otro lado se han planteado otros propósitos para la Empresa como son,

- Incrementar la producción en un 25 %; es decir, de una producción de 55 ton/h a 70 ton/h.
- Reducir el consumo de energía de 49 a 45 Kwh. por tonelada producida.



El cumplimiento de estos objetivos permitirá a la Compañía ser más competitivos en el mercado y a la vez, generar mayor utilidad económica en beneficio de toda la familia que conforma la Compañía Industrias Guapan S.A.

La relación de las variables de operación en las diferentes áreas de producción con el consumo de energía y la calidad del producto final es factible en la empresa en base a la disponibilidad de equipos de control y medición para las primeras y de un moderno laboratorio de ensayos físico-químicos para el tercero, además de contar con la capacitación del personal para llevar adelante las actividades descritas.

La compañía además de los aspectos anteriores se ha visto en la necesidad de dar importancia a los diferentes valores institucionales tales como:

- Ética.
- Lealtad.
- Respeto.
- Solidaridad.
- Responsabilidad Social.
- Compromiso con la Empresa.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Comunicación Efectiva.
- Liderazgo.
- Competitividad.
- Productividad.
- Responsabilidad.
- Trabajo en Equipo.
- Desarrollo del recurso Humano.
- Definición de Objetivos Comunes

2.2. Objetivo General

El presente estudio tiene como objetivo principal el Análisis y Evaluación del sistema de recolección de polvo del enfriador de clinker en el proceso de producción de Compañía Industrias Guapan.

Este estudio se llevará a cabo en el proceso de clinkerización, en el cual se dosifican y se llevan a efecto las reacciones físico- químicas de las materias primas para la producción de clinker; se dispone de la tecnología Polysius Co. Con un enfriador de última generación POLYTRACK (Alemania) Y un colector de polvo de mangas INTENSIVE (Brasil).



Se pretende realizar el estudio sobre variables de operación así como de las características del producto recolectado en función de las necesidades del proceso y su aporte al producto final. Se considerarán variables tales como:

- Dosificación de materias primas
- Variables de operación en el horno rotatorio
- Variables físico químicas del producto (clinker)
- Variables físico químicas del producto recolectado (Polvo de clinker)
- Rendimiento del sistema
- Requisitos medio ambientales.

La fabricación de cemento, requiere de variados como rigurosos controles, tanto en el proceso como en el producto en elaboración y terminado, por lo tanto es importante realizar diversas pruebas de carácter físico-químicas en los laboratorios de control de calidad a fin de asegurarse de que éste cumple con los requisitos contemplados en las Normas respectivas de calidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
2.3. Modernización del Enfriador de Clinker

Al notar un inconveniente durante el proceso productivo ocasionado por el funcionamiento actual del enfriador y, con el propósito de superar este inconveniente se ha adquirido a Polysius un enfriador de última generación, con capacidad de manipular 1300 toneladas métricas por día.

El proyecto consta del diseño, la adquisición, el transporte, la instalación y la interconexión de los siguientes equipos:

- Un Enfriador POLITRACK, con accionamiento hidráulico.

- Un Triturador de rodillos.

- Un Sistema de purificación de gases residuales, compuesto de un intercambiador de aire-aire para reducción de temperatura; un colector de mangas para el filtrado de polvo con tecnología pulse jet, un ventilador con accionamiento variable y el sistema para



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
automatizar la operación desde la descarga del
horno hasta la salida de los gases residuales
Figura 13.



Figura 13 Vista Panorámica del Filtro de Mangas
Intensiv-Filter.

Fuente. Departamento de Mantenimiento Mecánico
de la Compañía Industrias “GUAPAN S.A.”

Con la implementación del proyecto se busca reducir el costo de producción a través de la reducción en el consumo de energía eléctrica, reducción en el consumo de combustible a través de la reducción de Kcal/Kg de clinker y la reducción del costo de mantenimiento. Con la ejecución del proyecto se espera reducir el nivel de



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
emisiones a un valor constante menor o igual a 30
mgr/m³.

2.4. Objetivos Específicos

A continuación se exponen los objetivos específicos de este análisis.

- Identificar y analizar los factores que inciden en el rendimiento del proceso de clinkerización.
- Identificar las variables significativas que inciden en el proceso de recolección de polvo del enfriador.
- Identificar la interrelación entre los factores que inciden en el rendimiento del proceso de enfriamiento de clinker y recolección de polvo en el colector de mangas.
- Analizar las características de calidad del producto final (clinker).
- Analizar las características de calidad del producto final (polvo de clinker).
- Realizar un análisis comparativo del consumo de energía eléctrica por considerarlo un parámetro crítico.



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F**



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
**CAPITULO III: EL PRODUCTO CEMENTO PORTLAND
PUZOLANICO TIPO IP**

3.1. Descripción del Cemento Portland Puzolanico.

Se denomina Cemento Pórtland, al “cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, conteniendo usualmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición de molienda”⁴

La fabricación de cemento Pórtland puzolanico se la realiza en los tipos IP e IPM, de acuerdo a los requisitos a cumplir contemplados en la Norma INEN 490, descritos a continuación.

3.1.1. Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP.

“Será un cemento hidráulico consistente en una mezcla íntima y uniforme de clinker Pórtland, yeso y puzolana finamente dividida o escoria de altos, en la cual el

⁴ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152: 2005, tercera revisión, Cemento Pórtland, requisitos. 2005-03



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
constituyente puzolana está entre el 15 y el 40% en masa
del cemento Pórtland Puzolánico”.⁵

3.1.2. Cemento Pórtland Puzolánico Modificado tipo IPM.

Será un cemento hidráulico consistente en una mezcla íntima y uniforme de clinker Pórtland, yeso y puzolana finamente dividida o escoria de altos, en la cual el constituyente puzolana menor o igual a 15%”.⁶

La calidad del cemento se describe mediante distintos parámetros interrelacionados y descritos a continuación:

- Resistencia a la compresión
- Cantidad de agua necesaria para alcanzar la rigidez y la trabajabilidad.
- Distribución del tamaño de partícula y su forma
- Finezas

⁵ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2005, tercera revisión, Cementos hidráulicos Compuestos. Requisitos. 2005-03

⁶ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2005, tercera revisión, Cementos hidráulicos Compuestos. Requisitos. 2005-03



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
• Reactividad del clinker.

La finura con la que se encuentre el producto luego de la molienda, es una de las propiedades físicas más importantes del cemento, ya que está íntimamente relacionada con su valor hidráulico.

3.2. Características de Calidad

De acuerdo a la **Norma INEN 490** se contemplan los siguientes requisitos de calidad.

CARACTERISTICA	UNIDAD	MAXIMO	MINIMO
FINEZA(BLAINE)	Cm ² /g		2800
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	Minutos		45
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL	Minutos	420	
RESISTENCIA A LA COMPRESION	Mpa		
EDAD 3 DIAS			13
EDAD 7 DIAS			20
EDAD 28 DIAS			25
EXPANSION EN AUTOCLAVE	%	0,8	
CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS	% volumen	12	
OXIDO DE MAGNESIO	%	6	
AZUFRE COMO SULFATO(SO ₃)	%	4	
PERDIDA POR CALCINACION	%	5	

Tabla 2. Requisitos de calidad para el producto
Cemento Portland.

Fuente. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN
490:2005. Tercera revisión



A través de las diferentes etapas del proceso de producción en Compañía Industrias Guapan S.A, se pretende que el producto cumpla con estos requisitos de calidad a fin de brindar al cliente un producto que satisfaga sus expectativas.

Una de las características de calidad de mayor control y petición de cumplimiento es la que se refiere a la Resistencia a la compresión, que depende de factores y características de calidad de la materia prima así como de los parámetros de control durante la producción.

Las características más significativas en este aspecto son las relacionadas a la composición físico-química del clinker, de la puzolana y del yeso que se van a adicionar durante la molienda de cemento. Sin embargo vale la pena anotar que a esta etapa de fabricación debemos llegar precisamente con una calidad en los materiales descritos.

Otra característica importante es la trabajabilidad del cemento esta se da cuando agregamos agua al cemento, lo que le comunica una determinada fluidez, la cual aumenta al incrementarse la cantidad de agua. Esta fluidez es la que se conoce como consistencia normal y



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
se controla en los laboratorios de las fábricas de cemento con la aplicación de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 157. Esta prueba se la puede considerar complementaria de otros ensayos como los tiempos de fraguado y la estabilidad de volumen puesto que la trabajabilidad del cemento es caracterizada por el requerimiento de agua que necesita para lograr la consistencia normal, el tiempo inicial y final para lograr el fraguado.

En conclusión, los factores que más incidencia tienen sobre los tiempos de fraguado y por ende la trabajabilidad del cemento son:

- La composición química del cemento,
- La finura con la que se ha molido,
- La cantidad de agua de amasado,

Otro factor importante a considerar son las condiciones de temperatura ambiente a la que se desarrolle la prueba o el uso del producto.

La resistencia mecánica del cemento endurecido es una de las propiedades de mayor importancia y la que es



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
más solicitada en el cumplimiento de las especificaciones
de calidad sobretodo por los constructores, razón por la
cual todo el proceso de producción de cemento está
direccionado a dicho cumplimiento.

3.3. Pruebas y Ensayos

Durante el desarrollo del proceso de producción en sus diferentes etapas, se realizan diversas pruebas y ensayos que tienen por objeto analizar, preparar y controlar la calidad de las materias primas, del producto en proceso y del producto terminado de tal manera que éste al momento de ser entregado al cliente cumpla con los requisitos contemplados en la Norma INEN 490 y satisfaga sus expectativas.

Además de las pruebas y ensayos controlados a través de las Normas INEN, se realizan pruebas y ensayos contemplados en los procedimientos e instrucciones que se encuentran disponibles en el Manual de Calidad de Laboratorio, concernientes al cumplimiento de la Norma



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
ISO 9000-2000⁷ en proceso de implementación, entre los
cuales podemos citar:

- Determinación de humedad
- Determinación de peso/litro
- Determinación del porcentaje de carbonato de calcio (Título)
- Determinación de la composición elemental por el método de espectrometría de rayos x.
- Finura de partículas en tamiz 75 micrones
- Finura de partículas en tamiz de 45 micrones.
- Distribución granulométrica longitudinal en molino de bolas de circuito cerrado.

3.4. Normas de Requisitos y Ensayos

En el siguiente cuadro Tabla 3, presenta el listado de Normas INEN correspondientes para las pruebas y ensayos que se realizan en el cemento, previo al cumplimiento de los requisitos de calidad contemplados en la Norma INEN 490.

⁷ Norma ISO 9000-2000 Conjunto de normas que aseguran que las empresas puedan una y otra vez entregar los bienes o servicios que satisfagan las exigencias de los clientes en materia de calidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

NORMA TECNICA ECUATORIANA	DESCRIPCION
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 151:2003	Cemento. Definiciones de términos relacionados con el cemento hidráulico. (2da.R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 152:1991	Cemento Pórtland. Requisitos. (2da. R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 156:1987	Cementos. Determinación de la densidad. (1ra. R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 158:1987	Cementos. Determinación del tiempo de fraguado .Método de Vicat. (1ra. R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 160:1987	Cementos. Análisis químico. Determinación de la pérdida por calcinación (1ra R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE	Cemento. Análisis químico. Determinación



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

192:1988	del dióxido de silicio (SiO ₂) Grupo hidróxido de amonio (GHA). Oxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO). (1ra. R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 193:1988	Cemento. Análisis químico. Determinación del óxido férrico, pentóxido de fósforo, óxido de titanio y óxido de aluminio. (1ra. R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 194:1988	Cemento. Análisis químico. Determinación del residuo insoluble. (1ra .R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 195:1987	Cemento. Determinación del contenido de aire en morteros. (1ra .R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 196:1987	Cemento. Determinación de la finura. Método de Blaine (1ra .R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE	Cemento. Determinación de la expansión. Método



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

200:1987	del autoclave (1ra .R)
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 203:1988	Cementos .Análisis químico. Determinación del trióxido de azufre.
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 488:1987	Cementos Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista (1ra R).
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 875:1987	Cemento Pórtland. Determinación del endurecimiento prematureo (1ra R).
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 957:1987	Cementos Determinación de la finura por tamizado húmedo (1ra R).
NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE 1506:1988	Cemento Pórtland. Determinación del contenido de sodio y potasio.

Tabla 3. Normas INEN pruebas y ensayos de cemento
Fuente. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490



Cabe destacar que la revisión, y aprobación de estas Normas para su posterior aplicación en la producción a nivel nacional, se lo realiza a través del Comité Técnico de Cementos del Instituto Ecuatoriano de Normalización en donde intervienen representantes de los diversos sectores que tienen que ver con la producción, regulación y consumo de cemento en el País.

3.5. Reactividad del clinker

A través de las diferentes etapas del proceso de fabricación del cemento, se preparan las materias primas en dosificación, pulverización, corrección, mezcla y homogenización, para luego entrar a la fase de clinkerización, en donde se les somete a un tratamiento térmico en grandes hornos rotatorios a temperaturas que van entre 300 y 1450 °C.

Las materias primas de partida (crudos), contienen en su composición inicial predominantemente óxidos de calcio, sílice, aluminio, hierro, magnesio, sodio, potasio y en menor proporción otros como: cloro, fósforo, titanio y residuos insolubles.



Estos elementos reaccionan químicamente en las condiciones de intercambio térmico para dar lugar a la composición potencial del clinker que es la que a su vez transmitirá o será responsable en gran parte de las características del cemento. Esta composición potencial está definida por los siguientes compuestos:

- **Alita:** Silicato tricálcico 3CaOSiO_2 (C_3S), es responsable en gran escala del desarrollo de las resistencias del cemento a través del tiempo, contenido entre 20 – y 70 % en el cemento.
- **Belita:** Silicato bicálcico: 2CaOSiO_2 (C_2S): Se hidrata más lentamente y su influencia en el desarrollo de resistencia se empieza a sentir a edades mayores a 7 días. Su proporción en el cemento es del orden de 5 – 40 %.
- **Aluminato tricálcico** (C_3A): Contribuye a una alta resistencia inicial, pero genera gran calor por las reacciones de hidratación. En construcciones de grandes masas de hormigón, es recomendable tener un cemento con un contenido máximo del 7%. Debido a que se pueden generar cambios



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
volumétricos y resistencias pobres a los sulfatos. Su

los varía %.	S	SiO ₂	proporción en cementos entre 3 – 12
	C	CaO	
	A	Al ₂ O ₃	
	F	Fe ₂ O ₃	

- **Brownmillerita:** Ferro aluminato tetracálcico: (C₄AF): Esta fase aunque disminuye la temperatura de clinkerización, debe mantenerse en un mínimo por tratarse de un relleno. En el cemento su contenido está entre el 1 – 17 %.

Para una mejor comprensión de los compuestos potenciales, a continuación se presenta la equivalencia de cada uno de los símbolos y formulas químicas Tabla 4.

Tabla 4. Simbología de elementos químicos.
Fuente. Personal



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- **Alita:** 3CaOSiO_2 (C_3S),
- **Belita:** 2CaOSiO_2 (C_2S)
- **Aluminato tricálcico:** (C_3A)
- **Brownmillerita:** Ferro aluminato tetracálcico: (C_4AF)

Todos estos compuestos tienen su incidencia en la calidad del cemento, ya sea en resistencia mecánica, así como en la trabajabilidad, propiedades de mayor importancia, que repercuten directamente en el cumplimiento de especificaciones que tendrá el producto final.

Las Normas de calidad vigentes con la consideración de la reactividad del clinker, han incrementado los valores de los requisitos, tomando en cuenta los compuestos como la Alita, Belita, Aluminato Tricálcico y la Brownmillerita; quienes aporta en mayor grado al desarrollo de las resistencia que aquellos cementos en los que la dosifican yeso.



Por lo que es importante que en desarrollo de la operación del sistema ésta se lleve con un carácter técnico en el control de los diferentes parámetros de calidad de materias primas y de operación y que las acciones correctivas sean implementadas con la finalidad de evitar la aparición de defectos que provoquen no conformidad en el producto en razón de que por los volúmenes de fabricación, resulta un inconveniente difícil de resolver en el caso de reciclar o desechar los lotes de fabricación.

3.6. Actividad Puzolánica

En los cementos en los que la molienda considera la adición de puzolana de acuerdo a la Norma que rige su producción, es importante considerar la actividad que tiene ésta en el producto.

Generalmente la adición de puzolana tiene como objetivos el de disminuir el efecto nocivo que pueda tener el exceso de cal libre que se produce durante la Clinkerización ya que este se produce por un inadecuado



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
complemento de las reacciones en la formación de la
composición potencial del clinker.

Su efecto se traduce en la expansión que provoca a través del tiempo en las construcciones en donde se ha utilizado el producto. Por otro lado, la puzolana finamente molida y en mezcla con los componentes del cemento, le transfiere a este un desarrollo mayor de las resistencias a la compresión sobretodo a edades mayores a los 14 días.

3.6.1 Prueba de índice de actividad Puzolánica.

La puzolana que se adiciona al molino de cemento, tiene que tener un índice con un valor mínimo del 75%, lo que significa que el mortero que se fabrica con la sustitución de cemento por puzolana, tiene que tener una resistencia mínima del 75% de la resistencia del mortero patrón fabricado únicamente con clinker y yeso.

Las Normas de calidad vigentes con la consideración de adición de puzolana, han incrementado los valores de los requisitos de resistencia mecánica del cemento, tomando en cuenta que la puzolana aporta en mayor grado al desarrollo de las resistencia que aquellos cementos en



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
los que la dosificación contempla únicamente clinker,
yeso.

Por lo que es importante que en desarrollo de la operación del sistema ésta se lleve con un carácter técnico en el control de los diferentes parámetros de calidad de materias primas, de operación y que las acciones correctivas sean implementadas con la finalidad de evitar la aparición de defectos que provoquen no conformidad en el producto en razón de que por los volúmenes de fabricación, resulta un inconveniente difícil de resolver en el caso de reciclar o desechar los lotes de fabricación.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
CAPITULO IV: CLINKERIZACION Y ENFRIAMIENTO

4.1. Proceso de Clinkerizacion

Es el área fundamental del proceso de fabricación del cemento, el equipo principal es el horno rotativo, con una capacidad de producción de 1.100 TMPD (*Toneladas métricas por día*) de clinker de cemento, a una temperatura de descarga de 65 °C sobre la temperatura ambiente.

Los hornos modernos tienen un sistema de precalentamiento donde los gases calientes de la combustión van precalentando la harina cruda para cemento para su cocción hasta que alcanza la temperatura de clinkerizacion de 1450 C donde se producen las reacciones que transforman los minerales en el clinker de cemento. Finalmente el clinker pasa por un sistema de parrillas de enfriamiento.

El horno esta revestido interiormente con material refractario, que se apoya en tres bases con arcos y rodillos que permiten el movimiento. El proceso de clinkerizacion se describe de la siguiente manera:



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

La harina cruda para cemento procedente de los silos de almacenamiento es inyectado al ducto de salida de los gases de la segunda etapa del precalentador. El precalentador está constituido por 4 etapas de ciclones instalados en serie, la Etapa 4 es la que está ubicada a la boca de alimentación del horno.

La primera etapa consta de dos ciclones en paralelos a cuya salida de gases se encuentran el ventilador de tiro del precalentador, El precalentador actúa como un intercambiador de calor entre los gases resultantes de la combustión del horno y el material pulverizado de alimentación. En el funcionamiento a plena capacidad, el material crudo incrementa su temperatura en aproximadamente 800°C, y la temperatura de los gases desciende hasta llegar a los 250 °C.

El material al incrementar su temperatura mientras desciende por la segunda y tercera etapa de los ciclones del precalentador, comienza su proceso de transformación química, la temperatura máxima alcanzada en el horno rotativo depende de las características del material y del tipo de clinker de cemento que se está produciendo, al aumentar la



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
temperatura aumenta también la fase líquida (*fundida del clinker*) alcanzando alrededor del 20 al 30 % en masa entre 1358 °C a 1450 °C dependiendo de la composición química del material, a estas temperaturas ya es posible la formación de Silicato Tricálcico (C3S) constituyente principal del clinker de cemento Portland. Al mismo tiempo la fase líquida (*fundida del clinker*)⁸ activa también otras reacciones incompletas dando lugar a la presencia de cal libre en el clinker compuesto no deseado debido a que provoca problemas de expansión en el cemento.

Parte importante del proceso de clinkerización es el enfriamiento, que se realiza en el enfriador Polysius, que consta de un parrillado metálico que produce la descarga del material enfriado mediante la transferencia de temperatura por la inyección de aire frío con 4 ventiladores.

⁸ (*fundida del clink*
Fe₂O₃(Oxido Férrico)
predominantes para la
forma líquida debido a



reacciones del Al₂O₃ (Alumina) y
ruda, debido a que son los fundentes
ras especificadas, se encuentran en



Figura 14 Torre de enfriamiento aire-aire.

Fuente: Departamento de Calidad de la Compañía Industrias "GUAPAN S.A."

Los 2 primeros ventiladores a la vez que enfrían el clinker, por intercambio de calor generan el aire secundario utilizado en el proceso de combustión y los otros 2 que completan el enfriamiento, hacen que este aire caliente cargado de partículas de polvo lleve estas hacia la torre de enfriamiento aire- aire Figura 14 hasta tener una temperatura de 130 C o menos e ingresar al colector de mangas para reciclarle al proceso de producción,

A la salida del enfriador se encuentra el triturador de clinker que permite descargar un producto con una granulometría alrededor de 25 mm. Además el aire necesario para la combustión es tomado del aire utilizado para el enfriamiento de clinker, a este aire se le denomina aire secundario; y se encuentra entre los 600°C y 800 °C,



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
permite que se produzca el proceso de cocción y el aire del enfriador que no es utilizado para la combustión en el horno, es evacuado mediante un ventilador.

Es decir que la fabricación del clinker involucra conversión de altas temperaturas de una mezcla de origen natural en una mezcla de minerales con propiedades hidráulicas estos absorben muchos componentes de los gases de combustión provenientes de los combustibles o de la transformación de la propia materia prima y son incorporados al clinker.

4.1.1. Esquema

Se podría decir que en el área de clinkerización ocurren las diferentes reacciones entre materiales calcáreos y arcillosos como se puede observar en la siguiente ilustración

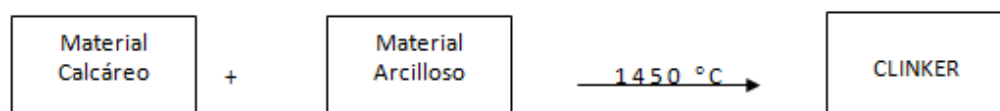


Figura 15 Reacciones en el proceso de clinkerización.
Fuente: Personal



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

La calcinación de la mezcla uniforme comienza con una serie de reacciones y solo el último estado de la calcinación se forma la fase líquida, haciendo que las reacciones que producen los compuestos del clinker se lleven con mayor rapidez.

A continuación se representa mediante la Figura 16 un diagrama de flujo representativo del aérea de clinkerización, a la vez se detalla cada una de las partes que la conforman Tabla 5.

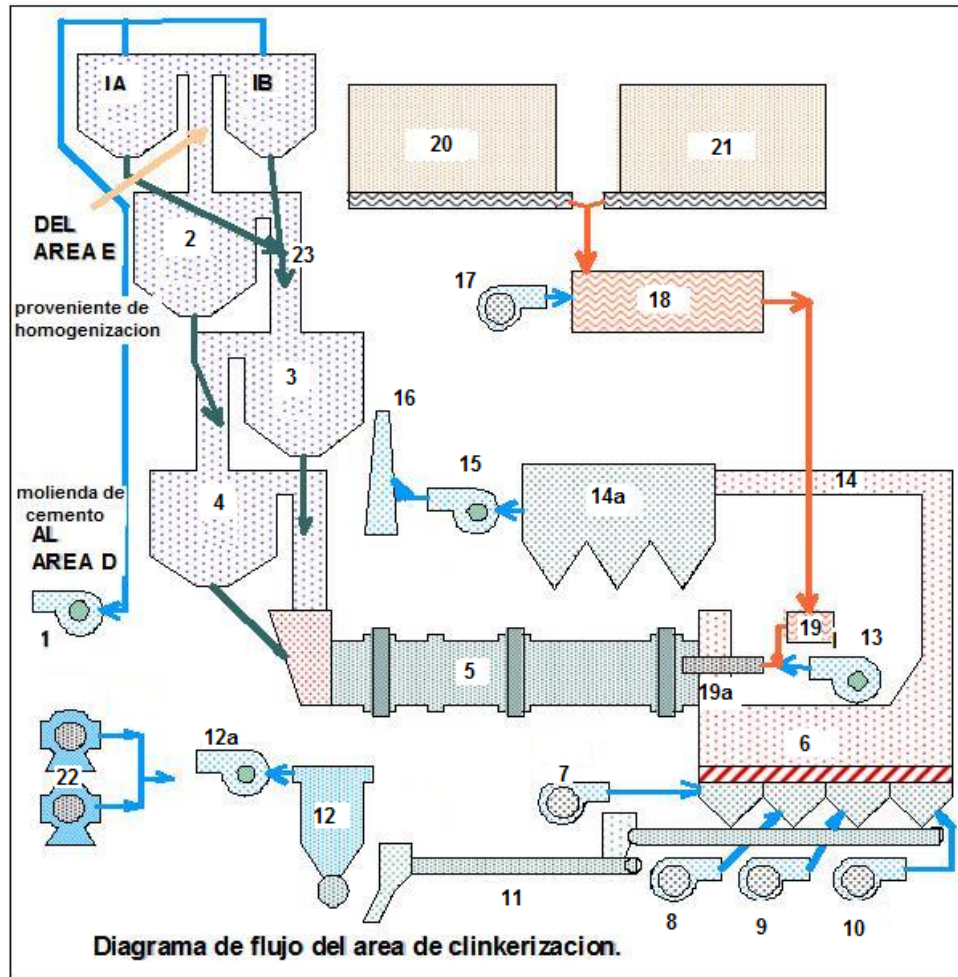


Figura 16 Diagrama de flujo de clinkerizacion.
Fuente: Departamento de Procesos de Compañía
 Industrias Guapan



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

1	Ventilador exhaustor; succiona los aires calientes del horno cicloneando el precalentador y llevando estos gases para calentar al molino de crudo
1a,1b	Etapas gemelos; es la ultima fase de cicloneo de la harina cruda para cemento con los gases del horno
2,3,4	Etapas simples; donde se produce el cicloneo y separación de la harina cruda para cemento que ingresa al horno
5	Horno; donde se produce la descarbonatación y clinkerizacion
6	Parrilla del enfriador; en donde el clinker se enfría.
7,8	Ventiladores; donde se produce la primera etapa de enfriamiento de clinker y sus gases son utilizados para la combustión.
9,10	Ventiladores; segunda etapa del enfriamiento del clinker
11	Transportador de artesas; transporta el clinker frio hacia el hall
12, 12a	Colector y ventilador; succiona y recicla el polvo de clinker a la caída del hall
13	Ventilador; aire primario para la combustión
14	Torre de enfriamiento aire-aire; ingresa aire caliente cargado con partículas de polvo de clinker del enfriador, y baja la temperatura por medio de ventiladores para ingresar al colector de polvo
14a	Colector de polvo; retiene las partículas del polvo de clinker y estas son enviadas al hall.



15	Ventilador; arrastra los gases limpios del colector
16	Chimenea de equilibrio; expulsa los gases limpios
17	Ventilador; produce aire de combustión del caldero
18	Caldero; calienta aceite térmico, que sirve para calentar el residuo cementero o bunker
19	Intercambiadores; aumenta la temperatura del residuo cementero o bunker
19a	Quemador principal; produce la llama para la cocción de la harina cruda para cemento
20,21	Tanques; recipientes para almacenaje de combustible-220000 Gl cada uno
22	Compresores; producen aire comprimido para instrumentos de los equipos
23	Tubo alimentador; alimenta la harina cruda para cemento al precalentador

Tabla 5 Simbología Diagrama de flujo de clinkerización.
Fuente: Personal

Dentro del horno y a través del proceso de clinkerización ocurren los siguientes efectos:

- *Zona de Descarbonatación:* Zona en la que propiamente se alcanza la temperatura de reacción del carbonato de calcio o descomposición de la caliza (900 °C). $(\text{CO}_3\text{Ca} \rightarrow \text{O Ca} + \text{CO}_2)$. Se produce en primera instancia la disociación del carbonato de magnesio (hacia 400°C). El CO_2 empieza a desprenderse hacia 550-650 °C (final



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
hacia 1000 °C). Desde el principio de la
Descarbonatación, el Oca (cal) se combina con
alúmina y dióxido de silicio (SiO₂) para formar
aluminatos cálcicos y silicatos dicálcicos. El Oca
aparece en estado libre solamente cuando los
álcalis se saturan, es decir, por encima de 900 °C. A
temperaturas más altas el OCa reacciona con el
silicato dicálcico, aluminato cálcico y para dar (SC₃,
Ac₃) silicato y aluminato tricálcico.

- *Zona de Clinkerizacion o zona de sinterización.* En la zona de desecado se forma un nódulo irregular mezclado con polvo y esta mezcla más o menos fluidificada atraviesa la zona de Descarbonatación y con aparición de la primera fase líquida (*principio de fusión*), la materia empieza a aglomerarse para formar nódulos redondeados debido a la rotación del horno, los cuales constituyen el clinker. Las reacciones que corresponden a esta zona parten de la combinación de la cal con los minerales de la arcilla, es decir, se produce la formación de los componentes mineralógicos del cemento.
- *Zona de enfriamiento:* Una vez que se ha producido la formación del clinker el producto se enfría hasta



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
unos 1000 °C, antes que este caiga en el enfriador
de clinker.



4.2. Materias Primas Utilizadas.- Características Físico-Químicas

El clinker resulta del producto de las reacciones físicas y químicas de los componentes calcáreos y arcillosos que contienen los crudos que son dosificados en los hornos de las fábricas de cemento.

Estos interactúan en el horno rotatorio para dar lugar al clinker, compuesto básico y mayoritario en la dosificación final al molino de cemento y aportarte de los llamados compuestos potenciales del cemento conocidos como: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, ferro aluminato tetracálcico, responsables de las características de resistencia y trabajabilidad del cemento.

El silicato tricálcico, conocido también como alita, es la fase principal en la mayoría de los clinkerés Pórtland y de ella dependen en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica; el silicato tricálcico (C3S) endurece más rápidamente y por tanto tiene mayor influencia en el tiempo de fraguado y en la resistencia inicial de los cementos.



Otro componente importante que ayuda a las características del clinker es la Belita o silicato bicálcico: 2CaOSiO_2 (C_2S): Se hidrata más lentamente y su influencia en el desarrollo de resistencia se empieza a sentir a edades mayores a 7 días. Su proporción en el cemento es del orden de 5 – 40 %

El Aluminato tricálcico (C_3A) contribuye a una alta resistencia inicial, pero genera gran calor por las reacciones de hidratación.

En construcciones de grandes masas de hormigón, es recomendable tener un cemento con un contenido máximo del 7%. Debido a que se pueden generar cambios volumétricos y resistencias pobres a los sulfatos. Su proporción en los cementos varía entre 3 – 12 %.

Por ultimo tenemos que la Brownmillerita o Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) esta fase aunque disminuye la temperatura de clinkerizacion, debe mantenerse en un mínimo por tratarse de un relleno. En el cemento su contenido está entre el 1–17 %.



Además, se ha podido observar en la práctica que los clinker Portland con mayor contenido de alita, son más fáciles de moler.

S	SiO ₂
C	CaO
A	Al ₂ O ₃
F	Fe ₂ O ₃

Para una mejor comprensión de los compuestos del clinker expuestos anteriormente a continuación se expone una tabla en la que consta la equivalencia de cada uno de los símbolos y formulas químicas Tabla 6.

Tabla 6. Simbología compuestos del clinker

Fuente. Personal

- **Alita:** 3CaOSiO₂ (C₃S),
- **Belita:** 2CaOSiO₂ (C₂S)
- **Aluminato tricálcico:** (C₃A)
- **Brownmillerita:** Ferro aluminato tetracálcico: (C₄AF)

Todos estos compuestos tienen su incidencia en la calidad del cemento, ya sea en resistencia mecánica, así como en la trabajabilidad, propiedades de mayor importancia, que repercuten directamente en el



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
cumplimiento de especificaciones que tendrá el producto
final.

Las Normas de calidad vigentes con la consideración de la reactividad del clinker, han incrementado los valores de los requisitos, tomando en cuenta los compuestos como la Alita, Belita, Aluminato Tricálcico y la Brownmillerita; quienes aporta en mayor grado al desarrollo de la resistencia que aquellos cementos en los que la dosifican yeso.

Por lo que es importante que en desarrollo de la operación del sistema ésta se lleve con un carácter técnico en el control de los diferentes parámetros de calidad de materias primas y de operación y que las acciones correctivas sean implementadas con la finalidad de evitar la aparición de defectos que provoquen no conformidad en el producto en razón de que por los volúmenes de fabricación, resulta un inconveniente difícil de resolver en el caso de reciclar o desechar los lotes de fabricación.

4.2.1. Caliza



El Carbonato de Calcio, materia fundamental para la elaboración del cemento, abunda en la naturaleza en estado nativo en distintas formaciones geológicas, de las cuales la forma más pura es el "Espato Calizo" o Calcita, y el Aragonito.

La caliza está formada por carbonato cálcico CO_3Ca , en el cual el 50 % es de óxido de calcio CaO , y el 44%, anhídrido carbónico CO_2 . Las calizas están siempre impurificadas por otras sustancias: Sílice (SiO_2), Alúmina (Al_2O_3), Oxido de Hierro (Fe_2O_3), Magnesia (MgO).

Químicamente la roca caliza Carbonato de calcio (CaCO_3) al recalentarse se disocia en cal viva óxido de calcio (CaO) y en anhídrido carbónico (CO_2). Este proceso se efectúa rápidamente a 1000°C o sea cuando el material incandescente adquiere un color rojo vivo.

Debido a que 1 Kg. de roca caliza contiene aproximadamente 0.44 Kg. de anhídrido carbónico (CO_2). Los pequeños poros capilares existentes en la cal viva absorben, cual esponja el agua de apagado y así la reacción del óxido de calcio con el agua, transformándose en hidrato cálcico se efectúa en todo su



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F interior, este proceso se denomina "hidratación "y "apagado".

El verdadero endurecimiento que corresponde a la cal, es el producido por la acción del gas: anhídrido carbónico, contenido en el aire, dicho gas es el mismo componente que había sido expulsado durante la cocción de la roca caliza. El gas carbónico penetra gradualmente a través de sus poros, transformando el hidróxido cálcico en carbonato de calcio petrificado.

Las materias primas para cemento poseen un contenido de CaCO_3 comprendido entre el 74 % y 77% en masa.

Las Margas, son Calizas que van acompañadas de materiales arcillosos, óxido de hierro, alúmina y sílice. La clasificación geológica de este material, les establece como rocas sedimentarias que se originaron por los depósitos sucesivos de CaCO_3 , además de material arcilloso, y al contener este último en mayor cantidad su dureza respecto a la caliza disminuye. Las margas calcáreas hallan aplicación en la fabricación del denominado cemento natural.



4.2.2. Arcilla

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado, siendo blanca cuando es pura, dependiendo del contenido mineral de la tierra, la arcilla surge de la descomposición de rocas que contienen feldespatos⁹.

La arcilla esta conformada por cristales muy pequeños y superficie lisa. El peso específico es de 2.25 y su punto de fusión de este material está entre los 1150 °C y 1785 °C. Una arcilla aproximadamente tiene la siguiente composición Tabla 7.

⁹ Feldespato. Grupos de minerales constituyentes fundamentalmente de las rocas ígneas aunque pueden encontrarse en cualquier otro tipo de roca.



Sílice	SiO ₂	<60%
Alúmina	Al ₂ O ₃	20%
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	8%
Cal	CaO	6%
Magnesia	MgO	3%
Álcalis	NaO ₂ + K ₂ O	2%

Tabla 7. Simbología compuestos de la arcilla
Fuente. Personal

4.3. Calidad del Clinker Producido

Existen diferentes métodos para apreciar la calidad del clinker de cemento, en la mayor parte de los casos se utilizan varios de ellos simultáneamente. Como el análisis químico completo que se lo realiza mediante rayos x el cual da información acerca de la composición del conjunto o muestra. Además se pueden emplear marchas analíticas mediante complexometría¹⁰

¹⁰ Complexometría: Método de análisis químico, que utiliza ácido clorhídrico y sustancias complexométricas como el EDTA (Etilen Diamino Tetra-Acético) y sulfato de cobre.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

A partir del mismo se pueden calcular los estándares de cal, módulos de sílice (MDS), modulo de fundente (MF), los cuales proporcionan una visión clara acerca de la calidad del clinker producido.

En compañía industrias Guapan en base a la dosificación de componentes calcáreos como calizas y margas y arcillas, se produce una mezcla de harina cruda para cemento con las siguientes características Tabla 8.

SiO 2 (%)	Al2 O3 (%)	Fe2 O3 (%)	Ca O (%)	Mg O (%)	Na 2O (%)	K2 O (%)	SO 3 (%)	TIT ULO	LS F	MF	M DS
13,371	3,08	2,02	42,712	0,582	0,191	0,277	0,359	76,9	95,24	1,503	2,629
13,186	2,954	1,978	42,791	0,567	0,197	0,293	0,444	76,86	96,79	1,493	2,603

Tabla 8. Características de harina cruda para cemento
Fuente. Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

En la Tabla 8 se observa los diferentes componentes de la muestra tomada obtenidos mediante la prueba de



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
rayos X realizada en la Compañía Industrias Guapan, a
continuación se detalla el significado de los estándares
tomados en cuenta en la fabricación del clinker Tabla 9.

ITULO	Porcentaje de Cal
LSF	Limite saturación de fundente
MF	Modulo de fundentes
MDS	Modulo de Silice
SiO ₂	Silice
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Oxido Férrico
CaO	Cal
MgO	Oxido de Magnesio
Na ₂ O	Alcalis
K ₂ O	Alcalis
SO ₃	Trioxido de Azufre

Tabla 9. Identificación de componentes de muestra de harina cruda para cemento
Fuente. Personal

Esta harina cruda para cemento es alimentada al horno con un grado de fineza sobre los tamices de 75 y 180 micras equivalente a 16 y 3% respectivamente. Con lo



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
que se da lugar a través del proceso de clinkerizacion del
producto en proceso denominado clinker portland, cuyas
definiciones están expuestas a continuación:

- *Clinker portland*. El clinker es una piedra sintética con formas esféricas de tamaño variable, que por molienda y la adición de yeso y puzolana se transforma en el producto final cemento. Además al clinker portland se lo conoce como un producto artificial compuesto principalmente por silicatos de calcio hidráulico cristalizados, el cual se obtiene por la calcinación de las materias primas, calizas y arcillas, en un proceso controlado, a fin de que dichos productos formen la composición química y la constitución mineralógica adecuada.
- “*Clinker Pórtland*. Es un producto constituido en su mayor parte por silicatos, aluminatos y ferro-aluminatos cálcicos, obtenidos por calcinación hasta fusión parcial de una mezcla predeterminada y homogénea de materiales que contienen principalmente óxido de calcio (CaO), sílice (SiO₂),



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
alúmina (Al₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃) y otros
óxidos en pequeñas proporciones.”¹¹

4.3.1. Características del Clinker

Entre algunas de las características más importantes del clinker podemos citar las siguientes Tabla 10:

- La molienda más fina favorece la combinación química de los materiales crudos.
- Con un mejor clinker, se puede hacer un mejor cemento

Si	Al	Fe	C	M	S	Na	K									Fa
O	2O	2O	a	O	3	2	O									se
2	3	3	O	(	(	O	(									M
(%)	(%)	(%)	(%)	%	%	(%)	%	LS	M	C4	C	C	C	F	D	líq
)	)	)	)	)	)	)	)	F	F	AF	3A	3S	2S	C	S	uid
)	)	)	)	)	)	)	)	F	F	AF	3A	3S	2S	C	S	a
21	5,0	2,9	65	1,	0,	0,	0,	94	1,	9,	8,	64	12	25	2,	24,
,2	7	7	,3	3	8	26	1	,1	7	02	41	,2	,6	,9	63	2

¹¹ Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 007:2006



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

1			6	5	4		3	6	1	5	9	7			9		
			66	1,	0,		0,	94	1,	8,	8,	67		25	2,		
21	5,1	2,9	,3	3	2	0,	0	,6	7	92	78	,5	10	,7	63	23,	
	,4	9	3	2	6	5	12	7	2	7	7	5	5	,7	2	5	85
21			65	1,	0,		0,	94	1,	8,	8,	65	12	25	2,		
	,2	5,1	2,9	,7	3	8	0,	1	,3	7	92	59	,1	,2	,8	64	24,
9	2	3	8	6	1	22	4	9	4	8	3	1	2	3	5	26	
21			66	1,	0,		0,	94	1,	8,	8,	67		25	2,		
	,4	5,1	2,9	,2	3	2	0,	0	,4	7	91	79	,0	11	,7	63	23,
2	9	3	3	6	5	11	7	3	7	5	4	9	,1	9	8	83	

Tabla 10. Características del clinker.

Fuente. Departamento de calidad de Compañía Industrias Guapán

Para una mejor comprensión de los símbolos y formulas químicas a continuación se expone una tabla en la que consta las equivalencias de cada uno de estos Tabla 11.

LSF	Limite saturación de fundente
MF	Modulo de fundentes
MDS	Modulo de Silice
SiO ₂	Silice
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Oxido Férrico



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

CaO	Cal
MgO	Oxido de Magnesio
Na ₂ O	Alcalis
K ₂ O	Alcalis
SO ₃	Trioxido de Azufre
C ₄ Af	Alumino Ferrito Tetracálcico (Brownmillerita)
C ₃ A	Aluminato Tricalcico
C ₃ S	Silicato Tricalcico o Alita
C ₂ S	Silicato Dicalcico
FC	Formación de Costra
Fase Líquida	Fundida del Clinker, se dan reacciones del Alumina y oxido Férrico con los componentes de la harina cruda

Tabla 11. Equivalencia de características del clinker.

Fuente. Personal

Para determinar la calidad del clinker producido se realizara un análisis químico del Clinker en el cual se determinarán los componentes principales del clinker como:



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Silicato tricálcico (C3S)
- Silicato dicálcico (C2S)
- Aluminato tricálcico o(C3A)
- Alúminoferrito tetracálcico o (C4AF)
- Cal Libre.

Además en el análisis de la calidad del clinker se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Bajo contenido de cal de saturación
- Clinker elaborado con crudo relativamente grueso.
- Efecto causado por residuos silíceos gruesos.
- Efecto por insuficiencia de cal.
- Textura esponjosa del clinker por la cristalización incipiente.
- Evidencia de falta de cal con buen contenido de fase líquida.
- Conglomerados de C2S (*Silicato Dicalcico*) causados por residuos gruesos.
 - Cal libre causada por partículas gruesas de caliza.
 - Bajo contenido de fase líquida.
 - Alto contenido de C2S.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
• Concentración de cal libre y de C2S.

4.4. Proceso de Enfriamiento de Clinker

El enfriamiento del clinker influye sobre su estructura, composición mineralógica, molturabilidad y con ello sobre las propiedades del cemento.

El enfriamiento del clinker es necesario por las siguientes razones:

- El clinker en rojo no es transportable.
- El clinker caliente influye desfavorablemente en la molienda del cemento
- El aprovechamiento del contenido térmico del clinker caliente disminuye los costos de producción.
- Un proceso de enfriamiento adecuado perfecciona las propiedades del cemento.

El enfriamiento del clinker se debe realizar en forma rápida ya que así se frenara la formación de cristales y esto ayuda posteriormente a la estabilidad del volumen del cemento.



4.4.1. Esquema

El esquema del enfriador de clinker se trata de un diseño que combina un fondo de aireación estático, posicionado horizontalmente, con un sistema de transporte dispuesto sobre el mismo como se ilustra en la Figura 17.

Además se destaca su eficaz principio de transporte y la escrupulosa separación entre las funciones de transporte y aireación que aporta:

- Una distribución transversal óptima del clinker, lo que garantiza un enfriamiento homogéneo y eficaz de todas las fracciones de grano sobre todo el ancho del enfriador.
- Una altura constructiva muy reducida.
- Un elevado rendimiento térmico.
- Un diseño robusto, pobre en desgaste y mantenimiento, que resulta en una elevada disponibilidad.

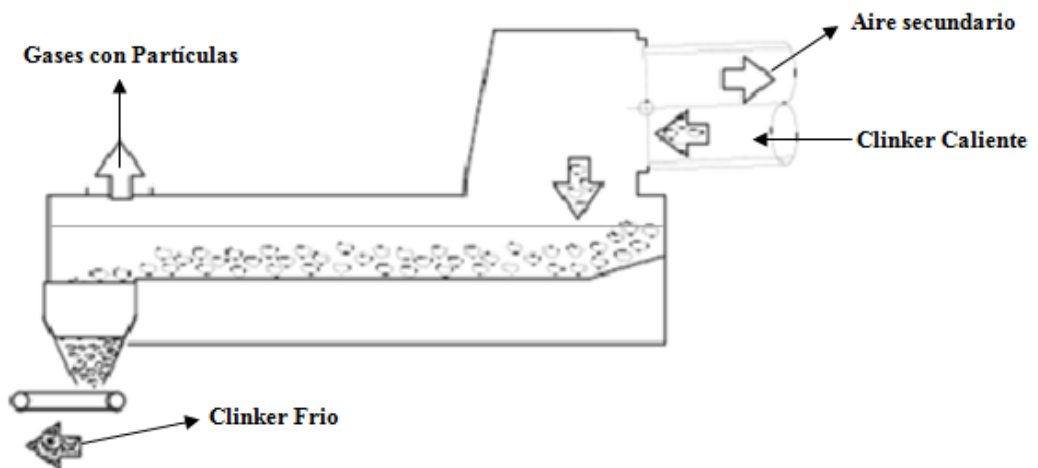


Figura 17. *Enfriador de Clinker*
Fuente. *Manual de enfriador de Clinker Polytrack*

La Figura18 nos muestra la construcción modular del enfriador POLYTRACK. Los distintos módulos llegan al lugar de obra en estado premontado y se ensamblan en longitud y anchura constituyéndose el enfriador completo. En los puntos de unión se deberán montar piezas adicionales.

El enfriador esta compuesto por tres módulos detallados a continuación:

- A Parrilla previa estática
- B Módulo inicial
- C Módulo final.



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
El transporte del clinker se produce por el movimiento de avance en común de todas las barras transportadoras.

Los cañones de aire instalados entre los escalones de la parrilla estática previa son una solución eficaz para eliminar la formación local de snow-men o monolitos.

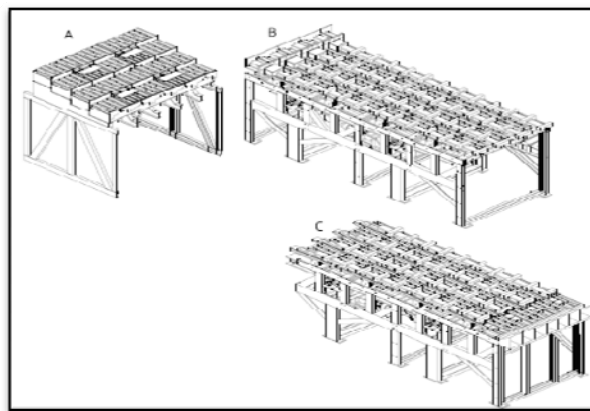


Figura 18. Módulos de Enfriador de Clinker
Fuente. Manual de enfriador de Clinker Polytrack

4.4.2. Funcionamiento del Enfriador

El enfriador de clinker POLYTRACK se emplea para enfriar material cocido en trozos pequeños o granulado. Para el enfriamiento del material se insufla aire frío desde abajo, a través del fondo de aireación y a través de la capa de material a enfriar que se encuentra sobre él.



El material a enfriar procedente del horno rotatorio cae a través del pozo de entrada del enfriador de clinker sobre el principio estático del enfriador.

El enfriador de clinker POLYTRACK es una combinación constituida por un fondo de aireación estático con un dispositivo de transporte dispuesto por encima, que trabaja según el principio del fondo pendular. Los elementos de transporte, como se observan en la Figura 19 están constituidos en forma de barras y están dispuestos paralelos en el sentido de transporte con una separación determinada.

El enfriador completo está constituido en forma modular. Se han previsto 3 anchuras de módulos de 1,5 m, 2,0 m y 2,5 m.



Figura 19 Elementos de transporte Del Enfriador De Clinker

Fuente Manual del enfriador de clinker POLYTRACK



A partir de aquí se constituyen las anchuras de enfriador necesarias. La longitud de los módulos es de 4,8 m, son posibles las longitudes adaptadas de 2,4 m. La parte superior de la carcasa está provista por dentro de un revestimiento refractario y limitada por arriba mediante una tapa refractaria.

En el principio del enfriador de clinker, el aire calentado es extraído de la parte superior de la carcasa, empleándose posteriormente en la instalación de horno como aire secundario o terciario (en caso de que haya una tubería de aire terciario).

El aire de escape procedente de la zona final del enfriador es conducido al exterior a través de un dispositivo de desempolvado o puede ser conducido a otras áreas de la instalación, como por ejemplo Para el secado de material crudo.

En el enfriador de clinker existen orificios para mediciones y cámara TV así como puertas y mirillas para el control de los interiores durante el servicio y para realizar trabajos de control y mantenimiento durante una parada.



El enfriador de clinker con trituradora final está ejecutado con un nivel de aireación que puede estar dispuesto horizontalmente o con inclinación. Se puede usar una trituradora de rodillos como trituradora final.

Para el transporte, el sistema de barras completo Figura 20 se desplaza en el sentido de transporte, en una longitud de carrera de aprox. 100 a 230 mm hacia adelante y recoge así el material a transportar. Después tiene lugar la carrera atrás de las barras en pasos individuales separados. Primeramente, las barras 1 y 4 se desplazan en la longitud de carrera hacia atrás, después siguen las barras 2 y 5 y finalmente la barra 3.

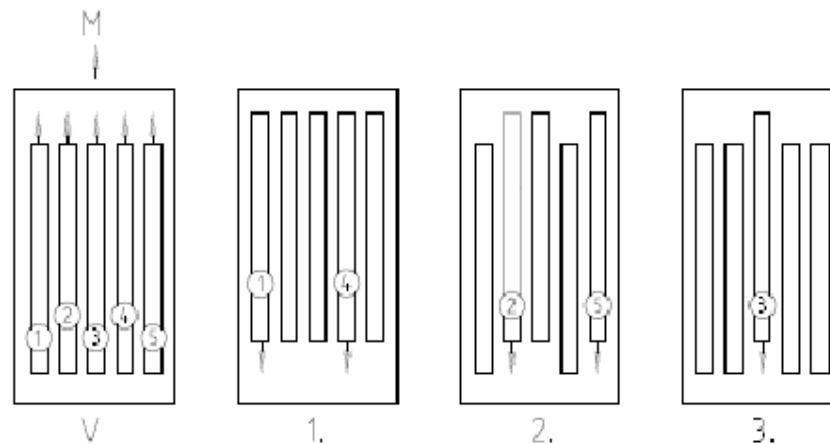


Figura 20 Sistema de transporte con 5 barras Del
Enfriador De Clinker

Fuente Manual del enfriador de clinker POLYTRACK.

Donde se observa que:



- **M** Sentido de flujo del material
- **V** Carrera hacia adelante
- 1ª carrera atrás
- 2ª carrera atrás
- 3ª carrera atrás

De esta manera finaliza un ciclo de transporte. En la fase siguiente se repite este ciclo. El material a transportar es transportado con las carreras hacia adelante. En las carreras hacia atrás, la fuerza de fricción entre las barras y el material a transportar no es suficiente para llevarse a éste de vuelta.

Para esto el accionamiento de las barras transportadoras tiene lugar hidráulicamente, La velocidad de transporte del material es regulable en un amplio rango. Depende del intervalo cíclico del desplazamiento de avance o de retroceso de las barras transportadoras, así como de la longitud de carrera ajustable.

La presión del aire de enfriamiento impide la entrada de clinker en la cámara de aire de enfriamiento. La distribución de aire de enfriamiento en el lecho de clinker es realizada por elementos de aireación especiales.



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Laberintos impiden la entrada de clinker en la cámara de
aire de enfriamiento. La zona de salida del aire y el fondo
del elemento de aireación son protegidos contra el
desgaste mediante un lecho de clinker inmóvil.

4.5. Consumo de Energía

Aproximadamente el 75% del consumo total de energía eléctrica en una planta de cemento corresponde a la utilizada por la molienda de crudo, molienda de cemento y trituración. Únicamente el sistema de molienda de cemento alcanza valores de aproximadamente 42 % y el de clinkerización un 20%.

El grado de eficacia en función del rendimiento se ha constituido en motivo de variadas interpretaciones.

“Se sostiene que la energía que el molino de cemento requiere para transformarla en trabajo de desmenuzamiento queda situado entre el 2 y el 20%. , el resto se distribuye en rozamiento de las partículas entre sí, de éstas con las paredes del molino, ruido, calor,



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
vibración, rendimientos del motor y del molino, elevación
del material al interior de éste, etc.”¹²

Las características físico-químicas de los materiales que se adicionan al sistema de molienda de cemento, especialmente las referidas al clinker, repercuten en un mayor o menor consumo de energía cuando se trata de alcanzar un producto con una fineza requerida y la distribución de partículas (retenido en tamiz de 45 micrones), los cuales en conjunto con las propiedades químicas proveen al cemento las características que van a satisfacer los requerimientos de la norma que rige su calidad.

4.5.1. Por Equipo

En el sistema de Clinkerizacion como se pudo observar anteriormente se encuentran instalados y en funcionamiento equipos como:

- Ventilador del precalentador.
- Precalentador de cuatro etapas.

¹² DUDA, Walter, H. “Manual Tecnológico del Cemento”. editores asociados S.A, Barcelona España, 1977,pág.71



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Horno
- Quemador.
- Enfriador de clinker
- Ventiladores del enfriador de clinker de las cámaras I, II, III, y IV
- Triturador de rodillos
- Cadena transportadora
- Transportador de cangilones
- Ducto de gases calientes
- Enfriador aire-aire
- Filtro
- Ventilador del filtro.

El consumo de energía eléctrica a determinarse por equipo en el sistema de Clinkerización requiere de la medición de amperajes o a través de las lecturas en los paneles correspondientes. De acuerdo a esta metodología, la tabla 12 presenta datos de consumo de energía eléctrica en los equipos componentes del sistema de Clinkerización.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

EQUIPO	DENOMINACION	VALORES	UNIDAD	PORCENTAJE
F4 A	VENTILADOR PRECALENTADOR	720	Amps	50,13
F7	MOTOR DEL HORNO	175	Amps	12,19
F17	VENTILADOR ENFRIAMIENTO I CAMARA	52	Amps	3,62
F18	VENTILADOR ENFRIAMIENTO I CAMARA	45	Amps	3,13
F19	VENTILADOR ENFRIAMIENTO II CAMARA	76,25	Amps	5,31
F20	VENTILADOR ENFRIAMIENTO III CAMARA	59,27	Amps	4,13
F21	VENTILADOR ENFRIAMIENTO IV CAMARA	78,16	Amps	5,44
F22- 01	VENTILADOR	28,2	Amps	1,96
F23	CADENA TRANSPORTADORA	16,3	Amps	1,13
F23 A 01	TRANSPORTADOR DE CANGILONES	8,5	Amps	0,59
F23 B 01	TRANSPORTADOR DE CADENA	5,9	Amps	0,41
F24- 01	VENTILADOR ENFRIADOR	31,8	Amps	2,21
F27	VENTILADOR DEL FILTRO	139,8	Amps	9,73
TOTAL		1436,18		100

Tabla 12. Consumo de energía por equipo en el área de clinkerización.

Fuente. Departamento de procesos de Compañía Industrias Guapán

La tabla 12 nos permite observar que el equipo con mayor porcentaje de utilización de energía eléctrica es el ventilador del precalentador representando un **50,13%**, otro equipo con un mayor consumo de energía representado con el **12,19%** es el motor del horno. Siendo estos 2 equipos los que mayor consumo de energía tienen en el área de Clinkerización.

4.5.2. Por Área de Producción



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

En la tabla 13 que a continuación se detalla presenta una distribución porcentual del consumo de energía eléctrica en las etapas del proceso productivo del cemento en la planta de producción de Compañía Industrias Guapan S.A.

AREA DE PRODUCCION	CONSUMO ENERGIA(KW H)	PORCENTAJ E (%)
TRITURACION	96836	2,42
PREHOMOGENIZACION	41175	1,03
MOLIENDA DE CRUDO	1095679	27,40
HOMOGENIZACION	292947	7,33
CLINKERIZACION	712858	17,83
MOLIENDA DE CEMENTO	1628325	40,72
EMPAQUE	82245	2,06
PLANTA DE AGUA	29424	0,74
EXTRAS	19421	0,49
TOTAL	3998910	100

Tabla 13. Consumo de energía por área de producción
Fuente. Departamento de procesos de Compañía Industrias Guapán



Como se puede apreciar, Clinkerizacion tiene un consumo del **17,83 %** del total de energía eléctrica de la Planta.

Siendo así, que se hace imprescindible en razón del costo que significa en gasto de energía, se deberá aplicar conceptos técnicos para manejar de mejor manera el proceso productivo a fin de que sea rentable a los intereses y objetivos en materia de competitividad que persigue la Organización.

4.6. Costos de Producción

La tecnología que se aplica en la industria cementera además de la complejidad de sus operaciones, supone un proceso de producción que acompañado con los aleatorios de carácter administrativo y de gestión, significan costos elevados comparados con otros procesos industriales. Así tenemos por ejemplo que se consideran costos tales como:

- Compra de materia prima
- Materiales e insumos



- Equipos
- Gastos por servicios auxiliares y administrativos
- Combustibles
- Energía eléctrica
- Mano de obra

Dada la importancia que en el coste de producción tiene el factor energético, la industria cementera se ha venido esforzando en la mejora de la eficiencia energética, y lo sigue haciendo, incorporando a su proceso productivo mejoras tecnológicas en todas la áreas; es así que Compañía Industrias Guapan S.A., llevó a cabo la modernización del sistema de molienda de cemento, cambiando el sistema de emplacado interno del molino y la instalación de un separador de aire de alta eficiencia para permitir por un lado la obtención de un producto que satisfaga la Normativa vigente y también un incremento en la producción.

De igual manera se ha instalado un moderno sistema de enfriamiento de clinker y recolección de polvo a partir del mes de julio del 2008 con la consiguiente mejora en el tratamiento y uso del mismo como parte del producto en proceso a ser dosificado en la molienda de cemento con



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
reducción sobretodo del nivel de emisiones de material
particulado por la chimenea de equilibrio.

La tabla 14 nos resume el porcentaje referente al coste de producción en el área de clinkerizacion en relación al mes de Septiembre del 2009, mes en el que se practicaron las pruebas experimentales:



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

COSTO DE PRODUCCION DE CEMENTO EN EL MES DE SEPTIEMBRE DE 2009				
PROCESO DE PRODUCCION	NRO. DE TONEL ADAS	VALOR UNITA RIO	VALOR ES PARCI ALES	VALOR ES TOTAL ES
<u>CLINKERIZACION</u>				
<u>N</u>				
Inventario Inicial	16337, 32	83,01		1356233 ,75
Transferencia del molino de crudo coeficiente de transformación	40926 -15347	24,34		996123, 32
Mano de obra			44965, 09	
Carga fabril			916418 ,54	961383, 63
Costo de producción del mes	25579	37,58		1957506 ,95
Total al costo promedio	41916, 32	79,06		3313740 ,7



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

				-
Pasan al molino				1474554
de cemento	-18652	79,06		,34
	23264,			1839186
Inventario final	32	79,06		,36

Tabla 14. Costo de producción en el área de Clinkerizacion

Fuente. Departamento Financiero de Compañía Industrias Guapán

4.7. Rendimiento del Sistema de Clinkerizacion y Enfriamiento

Para el calculo del rendimiento de estos sistemas se ha tomado en consideración durante un funcionamiento normal, variables de operación así como las lecturas correspondientes en cuanto al consumo de energía, datos proporcionados por los departamentos de producción y mantenimiento eléctrico, de los cuales se tienen los siguientes resultados, habiéndose de considerar para efectos de análisis el correspondiente al mes de septiembre de 2009, en el cual la producción se ha mantenido con mayor estabilidad que los meses anteriores, como se puede apreciar en la tabla 15 de rendimiento del sistema de clinkerizacion y enfriamiento.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

a de clinkerizacion

RENDIMIENTO

Consumo de energía mes de Septiembre (KWH)	712858
Toneladas producidas (TON)	25579

Tabla 15 *rendimiento del sistema de clinkerizacion y enfriamiento.*

Fuente. *Departamento de procesos de Compañía Industrias Guapán*

Para el cálculo del rendimiento del sistema de clinkerizacion y enfriamiento se relaciona el consumo de energía y las toneladas producidas durante el mes de análisis como se indica en la ecuación 1.

De los datos históricos que mantiene la empresa, proporcionado por la gerencia de planta, se tiene un valor de 27,35Kwh/Ton correspondiente al mes de Enero del 2003, con promedios de otros años mayores a 29, datos que nos permiten comparar con el resultado de nuestra investigación, con la finalidad de aportar criterios y



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
sugerencias que tiendan a disminuir este valor por el
orden descrito.

Además se tiene que el total de Kcal/KgKK producido en el mes de Septiembre de 2009 es igual a 1125 Kcal/KgKK, dicho valor es tomado ANEXO 1 referente al funcionamiento del horno del mes de septiembre de 2009.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
**CAPITULO V: PROCESO DE RECOLECCION DE
POLVO**

En el proceso de recolección de polvo el sistema que principalmente se utiliza son los denominados colectores de polvo cuyo propósito principal es eliminar las partículas del flujo de gas antes de que el gas llegue a la atmósfera.

5.1. Procesos de recolección de polvo.

En la fabricación de cemento Pórtland el factor más importante de emisión son las partículas sólidas, a las cuales que generalmente se las califica de polvo. Para su separación la industria del cemento utiliza los siguientes tipos desempolvadores de tipo mecánico:

- Ciclones para desempolvadura, preferentemente.
- Cámaras de polvo, en menor escala.
- Filtros de tejidos.
- Desempolvadores por capas de gravilla.
- Filtros electrostáticos.



Para estar en consonancia con las normas relativas a las emisiones, es necesario combinar los distintos tipos de desempolvadores, según la concentración y la temperatura de las partículas emitidas.

Ya no se usan en la industria del cemento aquellos dispositivos que emplean agua como elemento activo en la separación del polvo, dado a lo complicado que resulta el recoger y reciclar el polvo húmedo, ya que su posterior manipulación crea nuevos problemas de polvo.

- Los desempolvadores se valoran según su rendimiento.

“Esta es la relación, expresada en porcentaje, de la cantidad de polvo recogida por el desempolvador, a la recibida por este, por tanto si en un desempolvador que recoge 95 gramos de polvo por cada 100 gramos que entran, el rendimiento es del 95%. La depresión o pérdida de carga de los desempolvadores se mide en mm de agua”¹³.

¹³ Fuente: DUDA, Walter, H. “Manual Tecnológico Del Cemento”. editores asociados S.A, Barcelona España, 1977,pág.297



5.1.1. Filtro de Mangas

En los últimos años, los filtros de mangas han sufrido una gran evolución tanto en su diseño mecánico como en su rendimiento, influyendo en esto la gran variedad de fibras textiles existentes en el mercado. Estas ofrecen un excelente comportamiento frente a factores tales como alta temperatura, agentes químicos, corrosión, humedad etc.

Los filtros de fibras textiles se usan ampliamente en la industria del cemento para depurar el aire procedente de molinos tubulares, molinos de rodillos, secadores, trituradoras, cribas, instalaciones de manipulación y transporte, silos, depósitos y plantas de envase y carga.

En conjunción con los enfriadores de aire para rebajar la temperatura del aire cargado de polvo que se admite, tales filtros pueden hacer frente al aire salido de los enfriadores de la parrilla para clinker.

La precipitación del polvo en medio filtrante textil se cumple según el proceso siguiente:



- *Interceptación:* Las fibras del medio filtrante actúan como un tamiz o colador.
- *Inercia:* La corriente gaseosa es desviada alrededor de las fibras, mientras que las partículas de polvo se precipitan en virtud de su inercia.
- *Difusión y fuerzas eléctricas:* Sólo tienen significación para las partículas pequeñas.

Consecuentemente el rendimiento de captación de un medio técnico filtrante aumentará si:

- La porosidad disminuye, por ejemplo, por resultante del polvo recogido en los poros (taponamiento de los huecos).
- El espesor del medio filtrante aumenta.
- El diámetro de la fibra disminuye.

Si se desea conseguir un alto rendimiento en la captación de polvo, se pretende que el medio filtrante tenga una baja porosidad al aire combinada con un peso por unidad de superficie elevada.

Sin embargo hay que considerarse el efecto del polvo depositado encima o dentro del medio filtrante, y la



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
periódica remoción de parte de este polvo por acción
limpiadora.

Además del rendimiento de captación, la caída de presión (correspondiente a la resistencia al flujo). Se debería considerar además la caída de presión debida a la caja del filtro.

Luego de formarse una capa de polvo sobre el medio filtrante, se observa una nueva caída de presión que se suma a la propia del medio.

La caída de presión en filtros de tejido queda entre 8 y 10 mbar, (800 y 1000Psi) debe también tomarse en cuenta la caída de presión en las tuberías, por lo tanto la presión desarrollada por el ventilador debe situarse entre 20 y 50 mbar. (2000 y 5000Psi). Los filtros de tejidos generalmente se encuentran formados por las siguientes fibras:

- *Paños tejidos.* compuesto por hilos dispuestos en una malla rectangular de trama y urdimbre, según patrones varios tales como tejidos lisos, trenzados, etc.



- *Paños no tejidos*, formados y reforzados por acción mecánica, o sea, mediante agujas (*fieltros de agujas*) o con adhesivo.

Las propiedades filtrantes de los filtros de fibra pueden mejorarse por medio de un adecuado tratamiento mecánico, térmico, químico o por tratamientos especiales para así complementar ciertas prescripciones técnicas o reglamentos de seguridad:

- *Termofijación*. (*estabilidad al calor*) que concede a los materiales estabilidad en su forma y propiedades.
- *Impregnación* para volverlos resistentes a la humedad, al fuego, al atascamiento por el polvo o al ataque por los insectos. Estos tratamientos causan efectos desfavorables a las propiedades filtrantes.
- *Adición* de fibras de acero y de fibras textiles conductoras de la electricidad, impregnación antiestática o conexión a tierra de los filtros de mangas, por medio de cables o alambres cosidos



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
por encima o por dentro, para evitar las cargas
electrostáticas.

- *Recubrimiento* de los tejidos de vidrio con silicona, grafito, para mejorar las propiedades mecánicas y el comportamiento de las fibras en la limpieza.

Los filtros se disponen en forma de mangas tubulares, exactitud en dimensiones, material, confección de costuras. Se usan filtros simples o múltiples, individualmente o interconectados.

La caja donde son instalados los filtros pueden ser circular o rectangular. El término bag-house se aplica a grandes filtros conteniendo un elevado número de mangas. En general el aire cargado de polvo atraviesa el filtro por aspiración, el tiro forzado se emplea muy raramente.

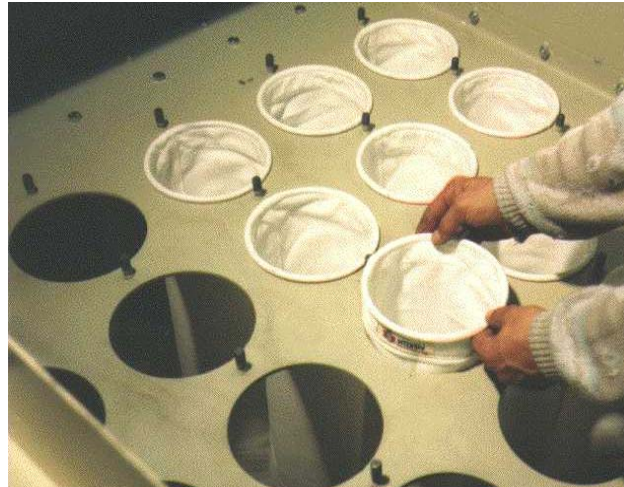
La Figura 20 nos muestra el montaje de las mangas, para dicho montaje se debe seguir los siguientes pasos:

- Se debe introducir la manga filtrante doblada (conforme suministrada) a través del orificio de la chapa espejo.



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Luego se desdobra la manga moviéndola para arriba y para abajo y debe ser ajustada de tal forma que el anillo superior descansa sobre la chapa espejo.



Orificio Chapa
Espejo

Figura20 Montaje de Mangas Filtrantes
Fuente Manual del filtro de manga INTENSIV

Los métodos de limpieza generalmente son:

- *Limpieza mecánica* por golpeteo, sacudidas o vibraciones, generalmente combinados con la inversión de la corriente gaseosa.
- *Limpieza neumática* con aire a baja presión (corriente de aire invertida para limpieza de las



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
mangas con aire de limpieza procedente de un
ventilador propio), a media presión de aire
(suministrado en una corriente pulsatoria), aire de
alta presión (aire comprimido por impulsos, sistema
de limpieza a chorros.)

5.1.2. Descripción general Del filtro De Mangas De Compañía Industrias Guapan

Los filtros de mangas que utiliza Compañía Industrias Guapan son equipos destinados al desempolvamiento con un sistema de limpieza de doble etapa, de operación totalmente automática, mediante el impulso de aire comprimido. Son utilizados en general para la recuperación de material seco granulado de un flujo de gases de evacuación.

El filtro de mangas IFJC (*Intensiv Filter Jet Coanda*) es compuesto por elementos de construcción estándar. Para atender las variadas condiciones de operación, pueden ser agrupados varios módulos los que se podran observar en la Figura 21 y 22.

En construcción normal, cuando no hay paredes intermediarias entre los Diferentes módulos, son



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
instalados en la cámara de gas sucio unos tubos de
refuerzo los cuales garantizan la estabilidad de la
carcasa del filtro.

Los deflectores¹⁴ instalados detrás de la brida de
entrada son utilizados para distribuir los gases sucios tan
pronto entran en el filtro y para proteger las mangas de
un flujo directo. La cámara de gas sucio está formada por
la carcasa y por las paredes de la tolva . La cámara de
gas sucio es aislado del plenum de gas limpio a través de
la placa espejo .

Cerca de 15 a 80 mangas son instaladas en la placa
espejo, en cinco hileras de 3 a 16 unidades, las jaulas
soporte son encajadas a bocas de entrada e impiden el
colapso de las mangas.

Ademas se tienen barras de tensión rectas y dobladas
que son instaladas en los tornillos soldados a la placa
espejo, y situadas de modo que presionen la brida de la
boca de entrada contra el anillo de impermeabilización de
la manga y este contra la placa espejo.

¹⁴ **Deflectores.** Aparato usado para desviar la dirección de fluidos.

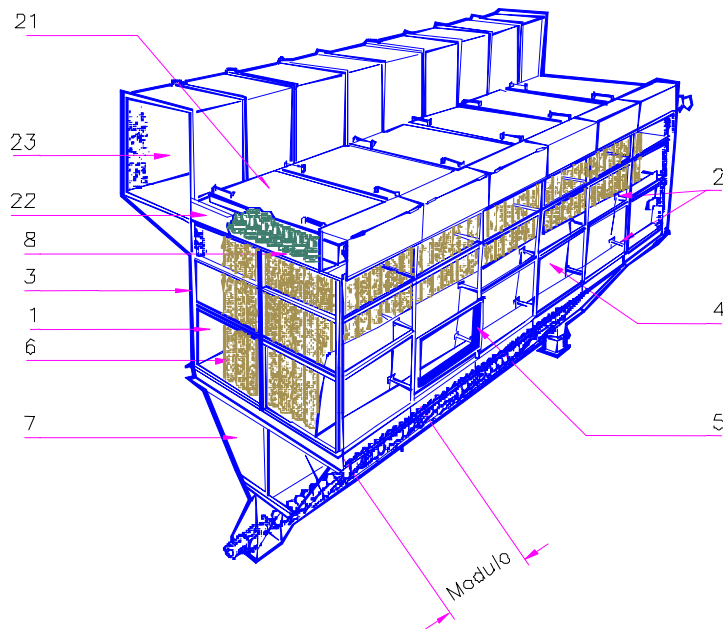


Figura21 Esquema constructivo filtro de mangas
Fuente Manual del filtro de mangas Intensiv

Para esto se utilizada una tuerca especial que protege los hilos de la rosca del tornillo para asegurar un desmontaje simple de los elementos. El anillo superior de la manga garantiza una impermeabilización entre la cámara de gas sucio y el plenum¹⁵ de gas limpio. Las jaulas pueden ser suministradas en una pieza única en el caso de filtros montados en ambientes externos.

¹⁵ **Plenum.** Cámara donde se encuentra el gas limpio.



Quando el filtro sea montado en ambientes que no tengan altura suficiente para la remoción de las jaulas, se utilizan jaulas subdivididas y, en este caso, se emplean anillos de conexión, cuyo objetivo es el de dividir a la jaula en tantos segmentos cuantos sean necesarios para permitir la remoción de las jaulas de forma sencilla.

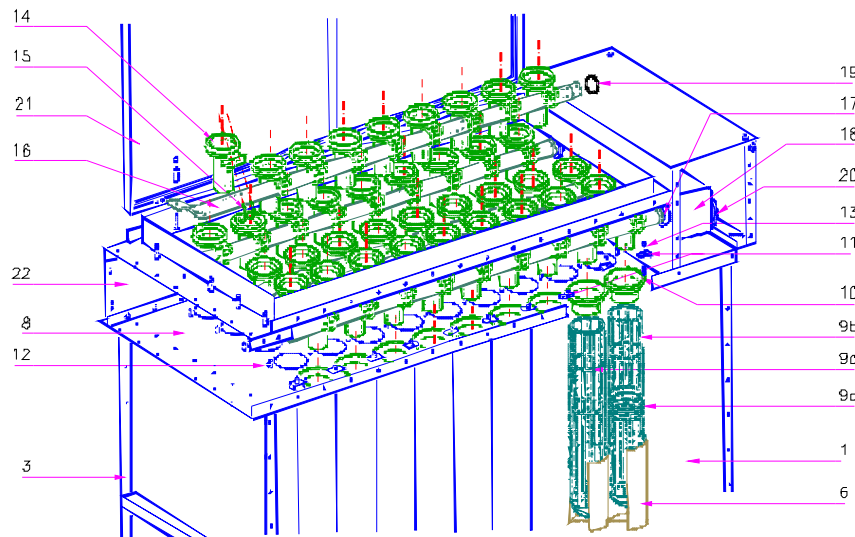


Figura22 Esquema constructivo filtro de mangas-Plenum de aire limpio

Fuente Manual del filtro de mangas Intensiv

Inyectores Coanda son montados sobre las bocas de entrada, formando con estos el sistema de limpieza de doble etapa. Los inyectores son fijados con el uso de horquillas a los tubos de soplo. El conjunto con el tubo de



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
soplo y los inyectores es encajado al tubo de
alimentación de aire del reservatorio de aire comprimido.

Un anillo **O** es utilizado para la impermeabilización entre el tubo de alimentación y el tubo de soplo. Impulsos de aire comprimido serán suministrados a los inyectores de una línea por medio de la válvula diafragma controlada electroneumáticamente. El control de estas válvulas es hecho a través de una unidad de control electrónico.

Una gran puerta de inspección es montada sobre cada módulo, lo que garantiza fácil acceso al plenum de gas limpio. El plenum de gas limpio es conectado lateralmente a la tubería de gas limpio , por donde los gases son expedidos.

Para una mayor comprensión de las partes que consta el filtro de mangas la tabla 16 detalla e identifica los componentes de dicho filtro:

(1)	Tubos de refuerzo
(2)	Carcasa del filtro



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

(4)	Deflectores
(5)	Brida de entrada
(6)	Mangas
(7)	Paredes de la tolva
(8)	Placa espejo
(9)	Jaulas de soporte
(10)	Boca de entrada
(11)	Barras de tension
(12)	Placa espejo
(13)	Tuerca protectora
(9 ^a)	Jaula pieza unica
(9b)	Jaula subdividida
(9c)	Anillos de conexion
(14)	Inyectores coanda
(15)	Horquillas
(16)	Tubos de soplo
(17)	Tubo alimentacion de aire
(18)	Reservorio aire comprimido
(19)	Anillo
(20)	Valvula diafragma
(21)	Puerta de inspeccion
(22)	Plenum gas limpio



(23)	Tuberia gas limpio
------	--------------------

Tabla 16. Elementos del filtro de mangas
Fuente. Personal

Para una mejor observacion en la figura 23 se tiene con mayor detalle los componentes (9^a) y (9^b)

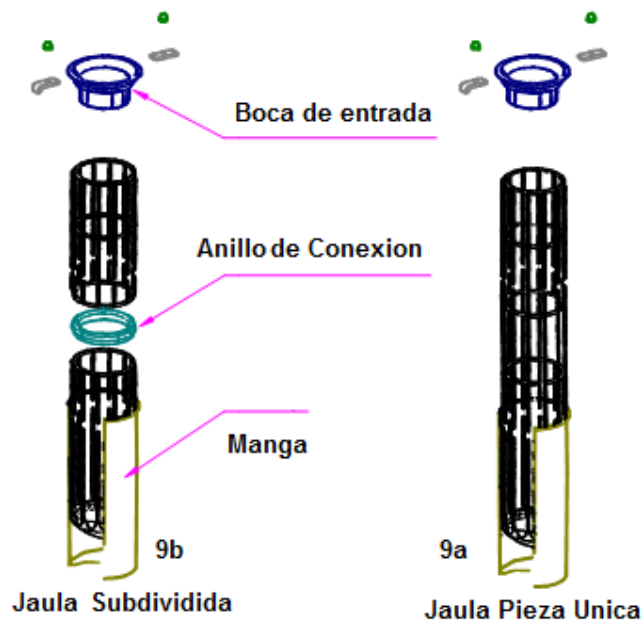


Figura 23. Tipos de Jaulas para Mangas filtrantes
Fuente. Manual del filtro de mangas Intensiv

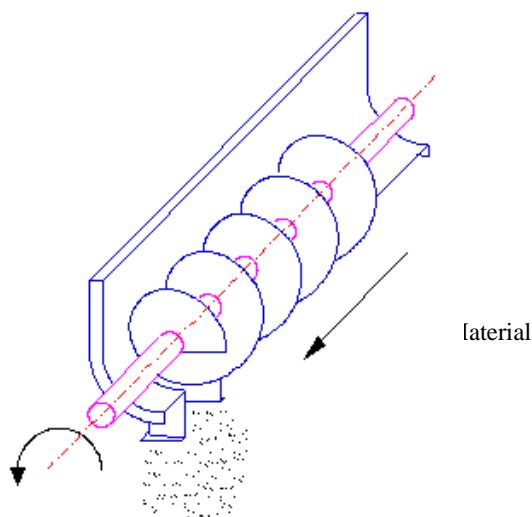
Las jaulas de soporte de una pieza (*ejecución continua*) son utilizadas cuando haya espacio (*altura*) suficiente. Si



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
no hay altura suficiente para la remoción de las jaulas o
cuando éstas son muy largas, el uso de jaulas en dos o
más partes es esencial.

Las partes de la jaula subdividida son unidas entre sí a
través de un anillo de conexión. Para esa finalidad, y
también para permitir el encaje de la boca de entrada,
poseen una abertura en el último anillo.

Luego de que el material particulado es recuperado por el
filtro de mangas es transportado mediante roscas
transportadoras hacia el hall de clinker, la Figura 24 nos
muestra como funciona la rosca transportadora de
material Particulado. La cual realiza el recorrido del
material a traves de la canaleta tubular que este posee.





UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Figura 24. *Funcionamiento rosca transportadora de material Particulado*
Fuente. *Manual del filtro de mangas Intensiv*

5.2. Norma de Manejo de Material Particulado en la Chimenea de Equilibrio del Área de Clinkerizacion

La chimenea es el conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

De hecho el material particulado que es permanente succionado desde el sistema de enfriamiento, y luego trasladado al filtro de mangas, por sus características físico-químicos, se constituye en un material a ser mezclado con el clinker en las tolvas de dosificación del molino de cemento.

De las pruebas realizadas se desprende un material con un 16 % pasante del tamiz de 75μ . y un 2,2 % En el tamiz de 180μ .

Con estos antecedentes, el proceso de producción en su etapa de Clinkerización, a la salida del enfriador, acondiciona el aire con el contenido particular



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F mencionado a fin de que sea reciclado en las condiciones que permitan depositarlo en los Halls de almacenamiento de clinker para su posterior uso en el molino de cemento. En el caso de realizar mantenimiento del filtro interiormente dicho, el material recolectado puede ser por sus características evacuado y adicionado al proceso de producción bien sea a través del área de molienda de crudo o en su defecto ser mezclado con clinker, yeso y puzolana en la molienda de cemento, sin alterar las características del producto final.

5.3. Norma Medioambiental para la Emisión de Material Particulado en los Procesos de Producción de Cemento

De los límites máximos permisibles de emisiones al aire para procesos específicos en la elaboración de Cemento según la Tabla 17 tenemos:

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO	UNIDADES
Partículas totales	Horno de clinker	150	50	mg/m ³
	Enfriador de clinker	100	50	mg/m ³



Oxido de Nitrógeno	-	1800	1300	mg/m ³
Dióxido de Azufre	-	800	600	mg/m ³

Tabla 17 *Limites máximos permisibles de emisiones al aire para la elaboración de Cemento.*

Fuente. *Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULAS).*

A continuación se detalla la composición de gases y material particulado de las emisiones provenientes del horno de clinker de Compañía Industrias Guapan, esta prueba se realizo con el fin de satisfacer así con el cumplimiento de Manejo Ambiental que ejecuta la empresa.

Los resultados de las pruebas se indican en la tabla 18 y 19 respectivamente, los valores de los parámetros normados por la legislación, se expresan en condiciones que pide la norma, esto es, 1013 mili bares de presión, 0 °C de temperatura y corregidos al 7% de O₂; según lo estipulado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULAS).

	PARÁMETROS QUE SE MIDEN PARA COMPOSICION
--	---



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

MEDICION	T ga s °C	O ₂ %	CO 2 %	CO * pp m	SO 2 * pp m	NO _x * ppm	Núm ero de humo	Materia l particul ado mg/m ³
1	14 8	16, 5	12, 5	65	< 5	21	0	58,06

Tabla 18 primera medición de parámetros de composición de polvo

Fuente. Departamento de Medio Ambiente de Compañía Industrias Guapan

MEDICION	PARÁMETROS QUE SE MIDEN PARA COMPOSICION							
	T ga s °C	O ₂ %	CO 2 %	CO pp m	SO 2 pp m	NO _x ppm	Núm ero de humo	Materia l particul ado mg/m ³
2	13 6,9	15	10, 5	65	< 5	20	0	41,08

Tabla 19 Segunda medición de parámetros de composición de polvo

Fuente. Departamento de Medio Ambiente de Compañía Industrias Guapan



Como conclusión se tiene que en las dos mediciones, el Horno de Clinker muestra cumplimiento con los límites permitidos por la Norma Ambiental. Y como observación principal de los resultados obtenidos se tiene que:

- El filtro de mangas que utiliza compañía Industrias Guapan, para retención de material particulado es uno de los sistemas de control más eficientes en el mercado.

5.3.1. Norma de Emisión

Se define por norma de Emisión al valor que señala la descarga máxima permitida de los contaminantes del aire definidos.

5.3.2. Emisión

La descarga de sustancias en la atmósfera, para propósitos de esta norma la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.



5.3.3. Material Particulado

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales.

5.3.4. Partículas Totales

Para efectos de emisiones desde fuentes de combustión, se designa como partículas totales al material particulado que es captado en un sistema de muestreo similar en características al método de medición de emisiones de partículas.

5.3.5. Puerto de Muestreo

Son los orificios circulares que se hacen en las chimeneas o conductos para facilitar la introducción de los elementos necesarios para mediciones y toma de muestras.



5.3.6. Puntos de Medición

Son puntos específicos, localizados en las líneas de muestreo, en los cuales se realizan las mediciones y se extrae la muestra respectiva.

5.4. Influencia en el Medio Ambiente y en el Proceso de Producción

En la actualidad la sociedad está cada vez más preocupada del medio ambiente y su preservación viene enfocando sus nuevas legislaciones a la conservación, respeto de la misma. Ya que las emisiones de gases se han convertido en una constante en la industria en general, teniendo importante influencia en el medio ambiente; para la cual se busca soluciones la cual nos permita fomentar la reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización de residuos, favoreciéndose de las posibles subvenciones que llevan estas actividades.

Otro aspecto importante para evitar la contaminación seria la reducción del consumo de combustibles no renovables permitirán que las industrias y los procesos



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F productivos, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂).

5.4.1. El Cemento y el Medio Ambiente

El cemento es un material básico en el desarrollo sostenible, evidenciando un excelente desempeño ecológico.

Tradicionalmente el concreto se ha utilizado predominantemente como material de construcción de viviendas, hospitales, vías de comunicación e irrigación, contribuyendo a mejorar el nivel de vida la población. Esto ha sido posible por su economía, fácil disponibilidad y adecuación a variados requerimientos.

Pero además, el concreto es inmejorable en las obras destinadas a mantener el equilibrio ecológico.

El concreto se utiliza en la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable en las ciudades. Con concreto también se construyen las plantas de tratamiento de las aguas residuales, para



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
evitar la contaminación de ríos y mares. Además es un
material necesario en la defensa de riveras para impedir
el desborde de los ríos.

Una importante característica del concreto es constituir el material de construcción de menor consumo de energía. En efecto, para una misma capacidad resistente, se requiere un volumen de concreto que en su fabricación consume menor cantidad de energía fósil que otros materiales alternativos.

Por ejemplo, un metro cúbico de concreto requiere en su fabricación la mitad de la energía requerida por un metro cúbico de asfalto.

El cemento es útil para consolidar residuos sólidos, sean estos mineros, industriales o urbanos. Es un magnífico estabilizante para los residuos destinados a los rellenos sanitarios.

En la fabricación de cemento es posible aprovechar residuos de otras industrias y evitar que contribuyan a la contaminación del ambiente, como es el caso de las



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
escorias de altos hornos. Asimismo, se pueden utilizar
los hornos de cemento para incinerar residuos dañinos.

La emisión de polvo de una planta cementera puede ser clasificada en dos categorías:

- Una parte las que tienen carácter local, que son debidas a la explotación de yacimientos, el transporte y almacenamiento de materias primas y su molienda, todas las cuales constituyen emisiones locales.
- Y la segunda las emisiones que van a la atmósfera por las chimeneas, están constituidas por partículas de cal y arcilla. La composición de estos polvos es similar a la materia extraída del yacimiento.
- Las plantas de cemento en la actualidad cuentan en todas las etapas de fabricación de elementos de desempolvado, como los filtros de mangas y electrofiltros. Estos equipos modernos limitan permanentemente la emisión de polvo y rara vez se producen anomalías.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

Los filtros de mangas, más antiguos en su concepción, han tenido un rápido desarrollo en los últimos años, con la aparición de nuevos tejidos resistentes a altas temperaturas, constituidos por poliéster, vidrio y eventualmente lana o algodón según la temperatura de los fluidos.

Por estas y por otras muchas razones Compañía Industrias Guapan S.A. al tener actualmente en funcionamiento un Filtro de Mangas, las emisiones de material particulado que van al ambiente provenientes de las diferentes etapas de fabricación de cemento disminuyen considerablemente estando actualmente ubicadas en valores muy inferiores a los que exige el Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador a través de sus correspondientes departamentos.

Por lo tanto a través de este nuevo proceso de recolección se está mejorando la calidad del ambiente al interior de la empresa, la calidad del ambiente alrededor del entorno de la misma empresa y por consiguiente el medio ambiente ya que en la actualidad este aspecto es uno de los puntos críticos en consideración ya que las actuales leyes son mas rigurosas y estrictas en cuanto se refiere a la protección del medio ambiente.



De esta manera Compañía Industrias Guapan S.A. actualmente a más de aportar en el desarrollo de la región en el aspecto industrial es una de las actuales compañías que participa activamente en la conservación del medio ambiente poniendo en práctica sus políticas establecidas y continuamente buscando nuevos objetivos y metas con los cuales se pueda llegar a mejorar y optimizar todos los aspectos en los cuales participa la Compañía.

5.4.2. Influencia en el Proceso de Producción

Los gases producto del sistema de clinkerización son arrastrados principalmente por el ventilador **F4A** y además es ayudado por el ventilador del colector **F25** el mismo que realiza una función de balance o equilibrio de aire, controlado por medio de un **PT502** (*controlador de presión*).

Una vez realizado el equilibrio, el exceso de gas del enfriador es conducido por un ducto que ingresa a la torre de enfriamiento aire-aire Figura 24 con el objeto de bajar la temperatura a un máximo de 130 °C y así ingresar al filtro.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F



Figura 24. Enfriador aire-aire F24
Fuente. Departamento de procesos de
Compañía Industrias Guapán



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

A continuación en la tabla 20 se presentan las temperaturas de entrada y salida del colector de polvo:


TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL COLECTOR			
		T° ENTRADA AL COLECTOR (°C)	T° SALIDA DEL COLECTOR (°C)
FECHA:	31/07/2009	121	114
FECHA:	06/08/2009	119	106
FECHA:	13/08/2009	122	114
FECHA:	24/08/2009	118	112
FECHA:	26/08/2009	125	104
FECHA:	01/09/2009	117	109
FECHA:	04/09/2009	121	117
FECHA:	07/09/2009	109	105
FECHA:	10/09/2009	119	109
FECHA:	11/09/2009	80	60
PROMEDIO		115,1	105



Tabla 20. *Temperaturas de entrada y salida del colector*

Fuente. *Departamento de procesos de Compañía Industrias Guapán*

Los gases provenientes de la torre de enfriamiento en la que posee un tornillo sin fin **PIF26MTT01**, en donde se deposita parte del polvo recuperado, ingresan al filtro **F25** Figura 25, que posee dos tolvas con sus respectivos tornillos sin fin **PIF26MTT04** y **PIF26MTT05** y estos a su vez se unen con otro tornillo sin fin el **PIF26MTT08** el cual permite transportar el material particulado hacia el hall de Clinker, los gases limpios circulan hacia la chimenea para luego ser depositados al exterior.

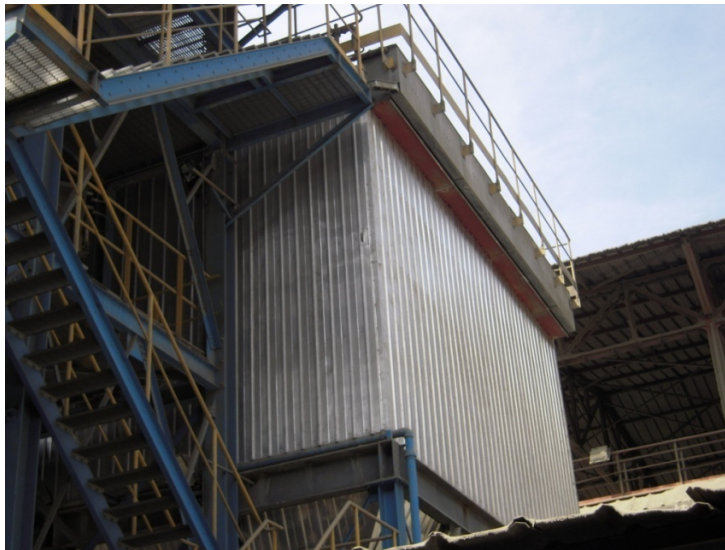


Figura 25. *Vista filtro de mangas F25*
Fuente. *Departamento de procesos de Compañía Industrias Guap*



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

F4A	Ventilador de tiro de la etapa de clinkerizacion, el término F hace referencia al área de clinkerizacion y 4A se refiere al sistema de ventilador de tiro de la etapa 1
------------	---

Para una mejor comprensión de los términos utilizados anteriormente en la Tabla 21 se explica el significado de cada término:



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

F25	El término F hace referencia al área de clinkerización; y 25 hace referencia al ventilador del colector.
PT502	Controlador de presión; donde PT significa control de presión y 502 número de serie del equipo.
PI-F-26-MTT01	Transportador de tornillo sin fin; el término PI se refiere a la Planta de Producción de Cemento de 1100 Toneladas por Día, el término F se refiere al área de Clinkerización, 26 se refiere al sistema de evacuación de polvo del filtro al hall de clinker, el término M significa mecánico y TT se refiere al transporte de material y 01 es el número de unidades.
PI-F-26-MTT04	Transportador de tornillo sin fin; el término PI se refiere a la Planta de Producción de Cemento de 1100 Toneladas por Día, el término F se refiere al área de Clinkerización, 26 se refiere al sistema de evacuación de polvo del filtro al hall de clinker, el término M significa mecánico y TT se refiere al transporte de material y 04 es el número de unidades.



PI-F-26- MTT05	Transportador de tornillo sin fin; el término PI se refiere a la Planta de Producción de Cemento de 1100 Toneladas por Día, el término F se refiere al área de Clinkerizacion, 26 se refiere al sistema de evacuación de polvo del filtro al hall de clinker, el termino M significa mecánico y TT se refiere al transporte de material y 05 es el número de unidades.
PI-F-26- MTT08	Transportador de tornillo sin fin; el término PI se refiere a la Planta de Producción de Cemento de 1100 Toneladas por Día, el término F se refiere al área de Clinkerizacion, 26 se refiere al sistema de evacuación de polvo del filtro al hall de clinker, el termino M significa mecánico y TT se refiere al transporte de material y 08 es el número de unidades.

Tabla 21. *Nomenclatura Equipos Utilizados Por Compañía Industrias Guapan en El Proceso de Producción*

Fuente. *Departamento de procesos de Compañía Industrias Guapán*



5.5. Descripción del funcionamiento del Colector del Filtro de Mangas

La Compañía Industria Guapán hace uso de los filtros de mangas Intensiv-Filter estos son equipos destinados al desempolvamiento con un sistema de limpieza de doble etapa, de operación totalmente automática, con uso de impulso de aire comprimido. Son utilizados en general para la recuperación a seco de material granulado de un flujo de gases de extinción, en la Figura 26 podemos observar un esquema de las diferentes partes y el respectivo funcionamiento del filtro.

Los gases que contienen material granulado son conducidos desde su origen hasta la cámara de gas sucio del filtro a través de una tubería. Al chocarse con el deflector en la entrada del filtro, las partículas gruesas son separadas del flujo de gases. Este flujo, con el polvo restante pasa por encima y por abajo del deflector, hacia la cámara de gas sucio, así que el granulado se deposita uniformemente en la superficie externa de la manga.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

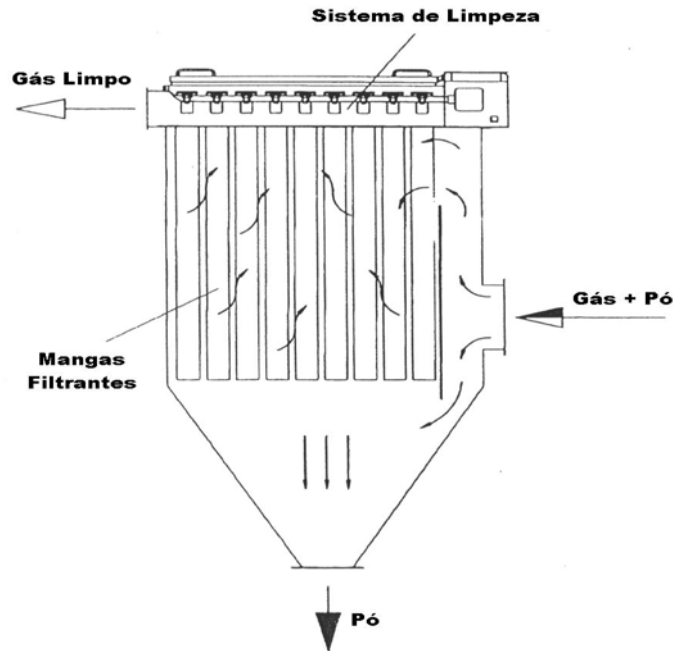


Figura 26. *Funcionamiento del Colector del Filtro de Mangas*
Fuente *Manual del filtro de mangas Intensiv*

Debido a la diferencia de presión entre los lados externo e interno de la manga (en razón de la resistencia al pasaje de los gases a través del material), ésta es forzada contra la jaula, adquiriendo la forma de una estrella.

El polvo queda retenido en el lado externo de la manga y los gases limpios pasan al Plenum O camara de gas limpio a través de la boca de entrada, y de ahí para el conducto de gas limpio y para el ventilador de extinción.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

Además el propósito del colector de polvo es eliminar las partículas del flujo de gas antes de que el gas llegue a la atmósfera. Los colectores de polvo, incluidos los de diseño PULSE-JET, pueden ser sistemas de presión positiva o negativa de acuerdo al lugar donde esté ubicado el ventilador principal.

Si el ventilador se encuentra antes de la unidad, se trata de un sistema de presión positiva. El gas cargado de polvo del proceso es forzado o empujado hacia el interior del colector. En un sistema de presión negativa que es el que se encuentra en funcionamiento en Compañía Industrias Guapan S.A. lo que ocurre es exactamente lo contrario. El ventilador está ubicado después del colector y succiona el gas hacia el interior del colector. El ventilador en los sistemas de presión positiva normalmente requiere más mantenimiento debido al pasaje de partículas de tamaño considerable a través del ventilador.

Los diseños de la mayoría de los colectores PULSE-JET con mangas tienen un solo compartimiento, aunque existen modelos con varios compartimientos o módulos. Las unidades que tienen varios módulos se encuentran principalmente en colectores de proceso que tienen un



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
tiempo de parada limitado para mantenimiento y limpieza.
El diseño de los colectores en módulos permite hacer la
limpieza de un módulo fuera de línea, mientras los demás
compartimientos están en funcionamiento.

En ambos sistemas, el gas cargado de partículas es dirigido hacia el colector a través del tubo de entrada generalmente ubicado en la tolva. Las tolvas cuentan con deflectores que disminuyen la velocidad del gas que ingresa, de manera que las partículas más pesadas se desprenden del gas y caen a la parte inferior de la tolva. Luego el flujo de gas es dirigido a la cámara de recolección (*el Plenum de aire sucio*) donde las partículas que todavía permanecen en el flujo de gas son recolectadas del lado exterior de las mangas cuando el gas las atraviesa.

El flujo de gas filtrado sale por el extremo superior de las mangas al Plenum de aire limpio por donde regresa a la atmósfera. En algunos casos, el aire filtrado puede pasar a través de filtros secundarios y regresar a la planta.

La diferencia principal entre las unidades tipo PULSE-JET y los colectores de sacudido o de aire reverso (*también llamados unidades de contracorriente*) es que



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
en los primeros las partículas son recolectadas en el lado exterior de las mangas. Los sistemas de limpieza de las mangas o filtros son una característica distintiva.

Durante la operación es importante que el filtro sea capaz de retener y luego desprender el polvo recolectado. La efectividad de este proceso depende del medio filtrante utilizado. La mayoría de los medios filtrantes necesitan mantener una precapa de polvo¹⁶.

Es esta capa la que en realidad realiza la filtración primaria del polvo, mientras que el medio filtrante actúa como estructura de soporte. Sino se permite la formación de la precapa de polvo, se corre el riesgo de que las partículas muy finas atraviesen el material y algunas pueden quedar atrapadas en los intersticios¹⁷ de las fibras. Cuando esto ocurre tanto la eficiencia de filtración, como la limpieza se verán afectadas.

¹⁶ **Precapa de polvo.** Material agregado al caudal de gas en el proceso de puesta en marcha inicial para favorecer la formación de una capa de polvo protectora alrededor de las mangas, mediante un proceso de adsorción, conocida como acumulación previa de sólidos que ayudan a la operación de retención del material; proceso similar a otros procesos de filtración en donde la presencia de la precapa se conoce como torta.

¹⁷ **Intersticios.** Espacio pequeño que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.



5.5.1. Presión Diferencial

La presión diferencial, también llamada caída de presión o pérdida de carga (ΔP) es un indicador de la resistencia del flujo de aire a través de las mangas y se mide en milímetros de columna de agua (mm H₂O) con medidores Magnehelic (Los manómetros diferenciales MAGNEHELIC, miden la presión diferencial en un colector, se caracterizan por su gran precisión, usan tecnología de movimiento sin fricción, lo que les permite mostrar rápidamente las mediciones de presión en aire o gases no corrosivos, sin importar que las presiones sean positivas, negativas o diferenciales. Su exclusivo diseño resiste golpes, vibraciones y sobre presiones, no hay que preocuparse por líquidos que se evaporen, que congelen o que causen problemas de intoxicación) o Photohelic (Interruptor análogo de gran precisión, utilizado para medir la presión diferencial y controlarla con niveles seleccionados, de amplio diámetro, gran visibilidad, posibilidad de medición de presión negativa, positiva o diferencial, resistente a vibraciones y sobre presiones).

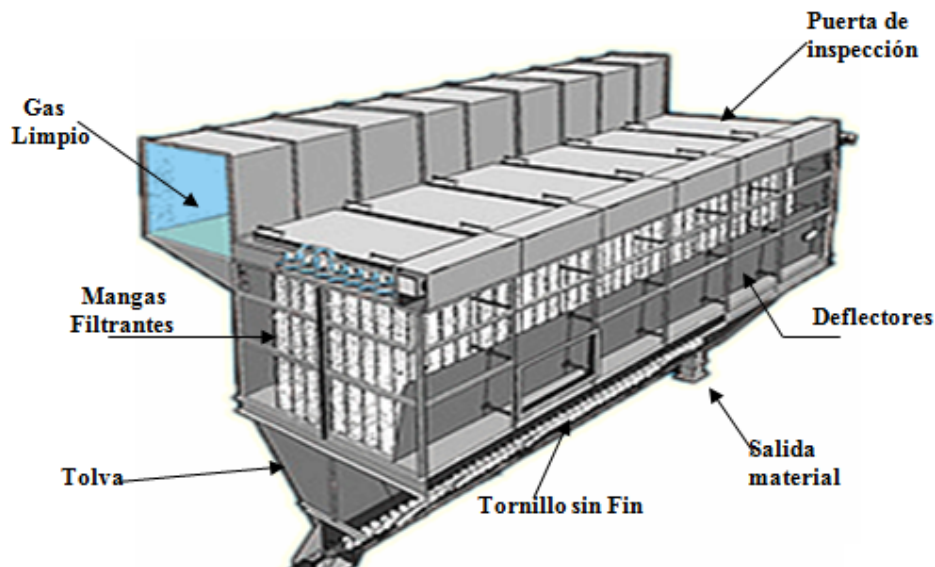


Figura 27. Componentes del Colector del Filtro de Mangas
Fuente. Manual del filtro de mangas Intensiv

Los transductores de presión (Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, en otro tipo de señal normalmente eléctrica) y los manómetros en "U" también pueden ser utilizados con este fin. El aumento o disminución de la presión diferencial puede indicar un problema en el colector (obstrucción de mangas, fugas, deficiencias de limpieza, entre otros) que requiere atención inmediata. La figura 27 muestra los distintos componentes donde se podrían trabajar si ocurre algún



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F problema en el del filtro de mangas que posee Compañía Industrias Guapan.

Se tiene que el rango de funcionamiento normal para colectores PULSE-JET varía de acuerdo al tamaño de la unidad, el tipo de aplicación, el material filtrante utilizado, entre otras características de diseño. Sin embargo, la mayoría de los sistemas PULSE-JET deben funcionar de 76.2 mm (3") a 152 (6") milímetros de columna de agua (mm H₂O) cuando se utilicen mangas de material filtrante convencional, en Compañía Industrias Guapan S.A. se maneja una presión de alrededor de 5" (*127 mm de columna de agua*).

La presión diferencial proporciona una buena indicación sobre la eficiencia de limpieza del colector y la presencia de problemas. Sin embargo, la presión diferencial no debe ser considerada como indicador para estimar que tan eficiente es el colector con respecto al control de las emisiones.

Esta distinción es sutil, porque si la presión diferencial sube, esto indica que por alguna razón el colector no esta funcionando correctamente y como consecuencia puede haber un aumento en las emisiones. Si la presión



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
diferencial es sostenida, todavía se pueden registrar
emisiones y pueden ser el resultado de otros problemas.
Por esta razón se recomienda utilizar un sistema
adicional para el monitoreo de emisiones, como el
Monitoreo Continuo de Partículas (*CPM*).

5.5.2. Sistema de Limpieza Pulse-Jet

A intervalos periódicos durante la operación las mangas filtrantes deben ser limpias a través de cortos impulsos de aire comprimido, se debe permitir el desprendimiento de parte del polvo acumulado en las mangas con el fin de mantener la presión diferencial apropiada y mantener la limpieza y la eficiencia de filtración a un nivel óptimo.

Los colectores PULSE-JET recibieron su nombre debido al exclusivo método de limpieza de filtros que utilizan. En lugar de utilizar un sistema de sacudido mecánico como el utilizado en las unidades de sacudido, o un sistema de limpieza de módulos con aire de baja de presión como el caso del sistema de aire reverso, los colectores PULSE-JET utilizan un chorro de aire comprimido de alta presión dirigido al interior de los filtros.



Este chorro de aire crea una onda de impacto que hace que los filtros se flexionen momentáneamente. A medida que la onda viaja hacia la parte inferior del filtro, la capa de polvo en el filtro se fractura y una parte cae en la tolva. El polvo remanente se redistribuye y se redeposita sobre la manga. Esto hace que la presión diferencial del sistema baje levemente ya que el caudal de gas encuentra menos resistencia.

5.5.3. Limpieza en Línea y Fuera de Línea

Existen dos tipos de limpieza en los sistemas PULSE-JET enumeradas a continuación:

- En línea
- Fuera de línea.

Cuando el ciclo de limpieza se realiza en línea que es con el cual opera el filtro de mangas instalado en Compañía Industrias Guapan S.A, el caudal de gases cargado de partículas continúa alimentándose al colector durante el proceso de limpieza. Aunque puede parecer una contradicción, la acción de pulsación todavía es capaz de flexionar el material filtrante y desprender parte



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F de la capa polvo. Durante el proceso de limpieza en línea, parte del polvo puede ser reintroducido al sistema, sin embargo el proceso no deja de ser efectivo.

El sistema de limpieza en línea es muy común en la mayoría de las unidades PULSE-JET. La limpieza fuera de línea se utiliza solo cuando la unidad tiene varios módulos.

En estos casos, uno de los módulos o compartimientos es puesto fuera de servicio durante algunos segundos. Cuando se realiza la limpieza fuera de línea, la compuerta detiene la entrada de flujo de gas a ese compartimiento. Entonces, el aire comprimido es introducido en los filtros de la misma manera que en el sistema de limpieza en línea. El polvo se desprende de los filtros, cae en la tolva y el compartimiento se pone en funcionamiento nuevamente.

5.5.4. Funcionamiento del Sistema de Limpieza

En los sistemas de limpieza en línea y fuera de línea, las filas de filtros se limpian individualmente. El ciclo de limpieza se inicia normalmente automáticamente



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
basándose en la presión diferencial seleccionada o a
intervalos de tiempo determinados en un panel
temporizador programable o un controlador lógico
programable. Los ciclos de limpieza también pueden
iniciarse manualmente.

Como se mencionó brevemente en la sección anterior,
cuando una señal eléctrica de un controlador secuencial
energiza la válvula solenoide, el émbolo de la válvula se
eleva y permite que el aire comprimido almacenado en la
cámara frontal de la válvula de diafragma (*que produce la
pulsación*) sea expulsado. Esto produce una presión
desigual en la válvula que hace que el diafragma se abra.

Ello permite que el aire comprimido fluya desde cabezal e
ingrese a la *flauta (tubo con boquillas)* y de allí pase a los
filtros.

La limpieza del filtro se realiza de la siguiente manera en
función de la caída de presión: Un controlador lógico
envía una señal a una terminal y esta se encarga de
accionar tres válvulas solenoides designadas de entre el
conjunto que existe en los diez compartimentos, luego de
liberar el aire transcurre un tiempo muerto y el
controlador envía otra señal para que el terminar ordene



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
la abertura de otras tres válvulas así mismo
indistintamente de entre los diez compartimentos.

La limpieza no puede hacerse entre mangas consecutivas pues la limpieza de una afectaría a la otra que ya se encuentra limpia. El sistema de limpieza posee memoria para no repetir el ciclo. La caída de presión indica una buena limpieza pues se reduce la resistencia del flujo de aire a lo largo de la manga. Si ya han transcurrido dos, tres o más ciclos de limpieza y la presión diferencial ha disminuido automáticamente la limpieza termina, volviendo automáticamente al punto de partida por lo que cuando se accione nuevamente el ciclo de limpieza no comenzará donde quedo sino nuevamente desde el primer ciclo.

5.5.5. Relación Aire-Tela (Velocidad De Filtración)

La relación entre los A (Actuales) $m^3 / min.$ (o ACFM pies cúbicos actuales por minuto) que fluyen a través de un colector de polvo y la superficie total en m^2 de medio filtrante disponible se denomina relación AIRE- TELA.



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
En los sistemas de PULSE-JET, la relación AIRE – TELA es en general más alta que en los sistemas de sacudido y de aire reverso (o contracorriente) y puede variar de “1 m³/ m² min. y llegar a 3 m³ / m² min.”¹⁸

La relación AIRE – TELA par unidades PULSE-JET con cartuchos de papel es en general de 0.61 m³ / m² min. o menor.

5.5.6. Mangas Filtrantes

Las mangas filtrantes son proyectadas según los siguientes datos:

- Diámetro nominal
- Extensión nominal
- Material de construcción
- Otros (por ejemplo: detalles especiales de fabricación – debido a la especial manufactura necesaria para cada tipo de material filtrado, las dimensiones nominales de las mangas pueden no ser en nada idénticas a las dimensiones del producto acabado). En la

¹⁸ m³ / m² min: m³= caudal ; m²= área filtrante; min= tiempo



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
figura 28 se observa la manga filtrante y sus
diferentes componentes.

La calidad del material filtrante es de suma importancia para el correcto funcionamiento del filtro y es seleccionado según las exigencias particulares de cada aplicación.

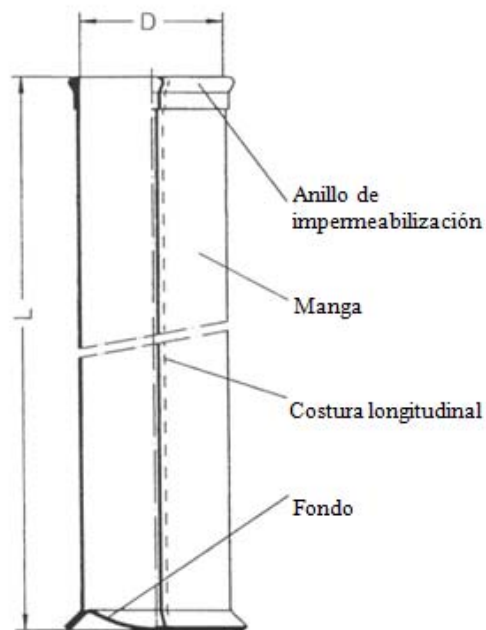


Figura 28. Manga Filtrante
Fuente. *Manual del filtro de mangas Intensiv*

Los factores determinantes son:



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Tipo de polvo, composición de los gases y distribución granulométrica y concentración del granulado en los gases de entrada
- Características del proceso / quitar el polvo de la planta
- Contenido requerido de polvo residual en los gases limpios

Los factores abajo deterioran el funcionamiento del filtro de mangas

- Selección incorrecta del material de las mangas
- Fabricación incorrecta o imprecisa.
- Condiciones inadecuadas de almacenaje
- Daños causados por manuseo o instalación inadecuados.

Cuando se utilizan mangas distintas de las fabricadas originalmente por la Intensiv-Filter ocurre el riesgo de causar daños a la salud del personal que trabaja en el área de influencia, debido a la insuficiencia de extinción del filtro, o por exceder los límites legales admisibles para el contenido residual de polvo en los gases limpios.



De acuerdo al fabricante de los colectores la duracion de las mangas en operación normal duran aproximadamente 2 años, al ser remplazadas por este tiempo antes mencionado o por defecto de fabricacion de algunas de estas, las mismas deben ser cambiadas por las especificaciones dadas por el fabricante.(relacion aire-tela, tipo de material que puede ser polyester, nomex, etc) caso contrario el colector no trabajaria con la misma eficiencia que fue diseñada provocando salida de polvo residual hacia el ambiente.

5.6. Capacidad de Retención del Colector del Filtro de Mangas

En base a la descripción del manual del filtro de mangas proporcionado por la compañía Intensiv que hace relación a la operación en mantenimiento del colector de polvo, se puede establecer en función de la operación de este equipo en el proceso de producción las diferentes variables con las que se maneja, con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos de captación de polvo.

El principal propósito de este colector es de eliminar las partículas del flujo de gas antes de que estas lleguen a la



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
atmósfera. El colector de polvo que dispone Compañía
Industrias Guapan S.A. es de presión negativa puesto
que el ventilador que extrae los gases se encuentra
situado después de la unidad de recolección de polvo
succionando el gas hacia el interior del colector.

En el sistema instalado y de acuerdo al diseño, el gas
cargado de partículas es dirigido hacia el colector a
través de un tubo principal por donde circula el fluido
gaseoso proveniente del área del horno de
Clinkerización.

Las variables importantes en esta operación la
constituyen: La presión diferencial llamada también caída
de presión o pérdida de carga, la relación Aire-Tela que
nos da la velocidad de filtración, limpieza en línea y fuera
de línea, funcionamiento del sistema de limpieza, además
de las variables de operación que van a influir en la
capacidad y eficiencia de retención de las partículas y su
aporte a la limpieza del medio ambiente y al proceso de
producción como tal.

La capacidad de retención de las mangas se basa en la
formación de una precapa de polvo en las diferentes
mangas del colector, puesto que el fenómeno que se



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
presenta es el conocido como adsorción (Unión de los átomos, iones o moléculas de un gas o de un líquido a la superficie de un sólido o líquido. En los sólidos porosos o finamente divididos la adsorción es mayor debido al aumento de la superficie expuesta. De forma similar, la superficie adsorbente de una cantidad de líquido se incrementa si el líquido está dividido en gotas finas), siendo este fenómeno la causa de la retención del material particulado por las mangas.

La presencia de esta precapa favorece considerablemente la retención del material particulado puesto que el diámetro de las partículas es muy variado yendo desde tamaños muy pequeños los cuales pasarían libremente por los intersticios de la manga ocasionando un aumento en el caudal de emisiones hacia la atmósfera. En tanto que con la formación de esta precapa estas partículas muy pequeñas son retenidas y devueltas al proceso cumpliéndose de esta manera con el objetivo que tiene el filtro de mangas.

Esta precapa se encuentra constituida por el propio material particulado que con el transcurso del tiempo se ha ido acumulando en la parte exterior de la manga, no obstante esta precapa no altera de ninguna manera el



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
 proceso de retención debido a su espesor y no produce
 atoramiento de material en los intersticios de las mangas.

La capacidad de retención teórica que nos proporciona el fabricante de este equipo es superior al 99 % del material que circula en el flujo de gas que ingresa al filtro de mangas.

La determinación práctica de esta capacidad de retención de material particulado se la realiza empleando diferentes pruebas en el laboratorio de calidad de Compañía Industrias Guapan, la determinación práctica se lo realiza en el hall de clinker en donde es depositado el polvo de clinker. De las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados los cuales se detallan en la tabla 22:

Mediciones	Fecha	Toneladas (Ton)	Densidad aparente (kg)	Retenido 200(%)	Retenido 80(%)	Peso material colector de polvo (ton/	T. entrada colector(°C)	L S F (%)	Fin a 200(%)	Fi ne za 80(%)	MD S(%)
------------	-------	-----------------	------------------------	-----------------	----------------	---------------------------------------	-------------------------	-------------	--------------	----------------	----------



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

						h)					
	31/0							9			
	7/20		1,39	55,4	19,2	0,170		2, 16,			
1	09	75	5	0	0	1	121	8 0	1,4	2,5	
	06/0							9			
	8/20		1,35	58,4	10,0	0,179		3, 13,			
2	09	66	5	0	0	1	119	4 6	1,4	2,6	
	13/0							9			
	8/20		1,39	22,6		0,181		4, 18,			
3	09	76,5	5	8	9,40	8	122	2 2	3,4	2,6	
	24/0							9			
	8/20			58,2	10,4	0,225		4, 16,			
4	09	70	1,45	0	0	9	118	0 0	2,2	2,6	
	26/0							9			
	8/20		1,46	73,2	24,6	0,171		6, 17,			
5	09	72	5	0	0	6	125	1 8	2,4	2,5	
	01/0							9			
	9/20			62,6	25,2	0,245		3, 17,			
6	09	75	1,48	0	0	1	117	5 6	2,6	2,6	
	04/0							9			
	9/20		1,40	65,8	26,8	0,485		7, 20,			
7	09	75	5	0	0	7	121	2 0	3,6	2,6	
	07/0			76,6	31,8	0,575		9 12,			
8	9/20	75	1,39	0	0	1	109	7, 2	1	2,6	



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

	09							4			
	10/0							9			
	9/20			80,8	46,4	0,597	119	4,	14,		
9	09	67	1,53	0	0	6		3	8	1,6	2,6
	11/0							9			
	9/20		1,40	20,8		0,076	80	4,			
10	09	65	5	0	4,60	5		3	14	2,4	2,6

Tabla 22. Pruebas realizadas para obtener el peso del material del colector de polvo

Fuente. Departamento de Calidad de Compañía Industrias Guapán

5.6.1. Calculo Del Peso Del Material Del Colector De Polvo

Luego de haber recolectado el material particulado en los diferentes recipientes se procede al calculo del peso de dicho material detallado en la tabla 23, en el cual primeramente se procede a pesar en la bascula la muestra recolectada este peso vendría a ser el peso bruto, y para determinar el peso total de la muestra se resta el peso bruto del material menos el peso del recipiente previamente calculado. Se realiza el mismo procedimiento para la segunda muestra tomada, con el total de estas dos muestras obtenemos el total de



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F muestra recolectada, esta muestra recolectada tiene como unidades de trabajo (kg/min), pero para una mejor trabajabilidad de los datos de la muestra se realizo el cambio de unidades a (TON/hora).

PESO BRUTO 1 (Kg)	TOTAL MUESTRA 1 (Kg)
PESO RECIPIENTE 1 (Kg)	
PESO BRUTO 2 (Kg)	TOTAL MUESTRA 2 (Kg)
PESO RECIPIENTE 2 (Kg)	
TOTAL MUESTRA (Kg/min)	Total muestra1+Total Muestra2
TOTAL MUESTRA (TON/hora)	

Tabla 23. *Calculo del peso del material del colector de polvo*
Fuente. *Personal*

5.7. Esquema De Operación.

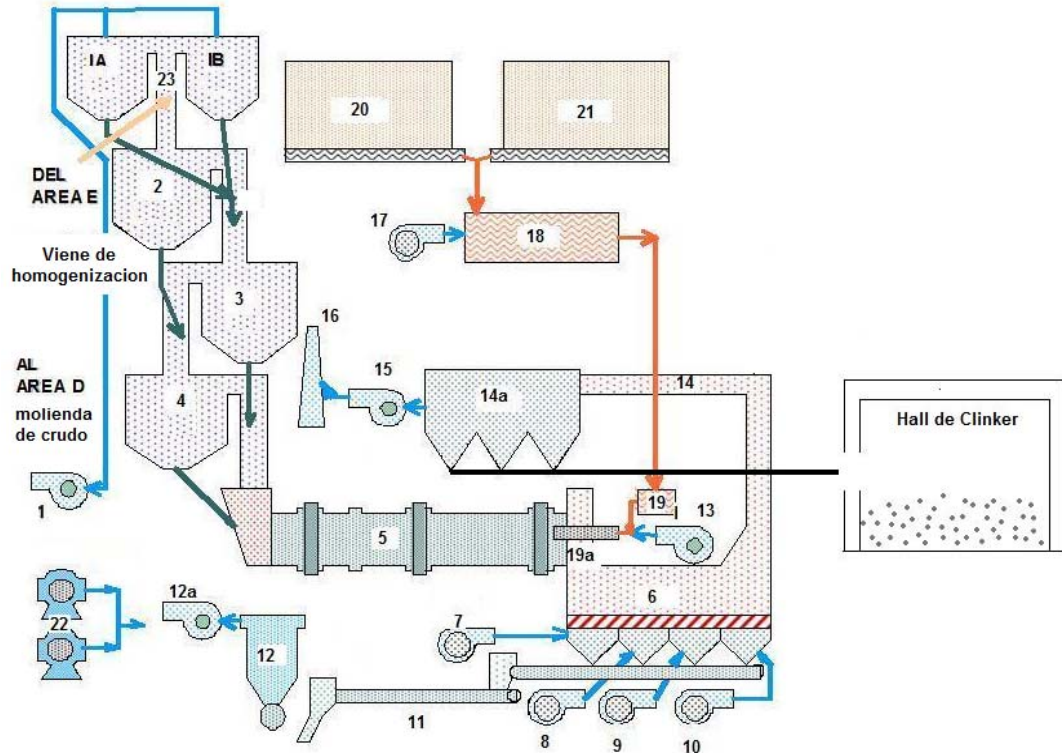


Figura 29. Esquema Clinkerizacion y Captación de polvo
Fuente. Departamento de Procesos Compañía Industria
 Guapan

A continuación la Tabla 24 contiene la nomenclatura utilizada en el esquema anterior; para lograr comprender de mejor manera cada una de sus partes.

1	Ventilador exhaustor; succiona los aires calientes del horno cicloneando el precalentador y llevando estos gases para calentar al molino de crudo
1a,1b	Etapas gemelos; es la ultima fase de cicloneo de la harina cruda para cemento con los gases del



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

	horno
2,3,4	Etapas simples; donde se produce el cicloneo y separación de la harina cruda para cemento que ingresa al horno
5	Horno; donde se produce la descarbonatación y clinkerización
6	Parrilla del enfriador; en donde el clinker se enfría.
7,8	Ventiladores; donde se produce la primera etapa de enfriamiento de clinker y sus gases son utilizados para la combustión.
9,10	Ventiladores; segunda etapa del enfriamiento del clinker
11	Transportador de artesas; transporta el clinker frío hacia el hall
12, 12a	Colector y ventilador; succiona y recicla el polvo de clinker a la caída del hall
13	Ventilador; aire primario para la combustión
14	Torre de enfriamiento aire-aire; ingresa aire caliente cargado con partículas de polvo de clinker del enfriador, y baja la temperatura por medio de ventiladores para ingresar al colector de polvo
14a	Colector de polvo; retiene las partículas del polvo de clinker y estas son enviadas al hall.
15	Ventilador; arrastra los gases limpios del colector
16	Chimenea de equilibrio; expulsa los gases limpios
17	Ventilador; produce aire de combustión del caldero
18	Caldero; calienta aceite térmico, que sirve para calentar el residuo cementero o bunker



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

19	Intercambiadores; aumenta la temperatura del residuo cementero o bunker
19a	Quemador principal; produce la llama para la cocción de la harina cruda para cemento
20,21	Tanques; recipientes para almacenaje de combustible-220000 Gl cada uno
22	Compresores; producen aire comprimido para instrumentos de los equipos
23	Tubo alimentador; alimenta la harina cruda para cemento al precalentador

Tabla 24 Simbología Diagrama de flujo.

Fuente: Personal

Los gases producto del sistema de clinkerización son arrastrados principalmente por el ventilador **F4A** y además es ayudado por el ventilador del colector **F25** el mismo que realiza una función de balance o equilibrio de aire, controlado por medio de un **PT502** (*controlador de presión*).



Figura 30. Ducto de gas Torre de enfriamiento



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
Fuente. *Departamento de Procesos Compañía Industria
Guapan*

Una vez realizado el equilibrio, el exceso de gas del enfriador es conducido por un ducto Figura 30 que ingresa a la torre de enfriamiento aire-aire con el objeto de bajar la temperatura a un máximo de 130 °C y así ingresar al filtro.



Figura 31. *Tornillo sin fin filtro de mangas
Fuente.* *Departamento de Procesos Compañía Industria
Guapan*

Los gases provenientes de la torre de enfriamiento, poseen un tornillo sin fin **PIF26MTT01**, donde se deposita parte del polvo recuperado, dichos gases ingresan al filtro **F25**, que posee dos tolvas con sus respectivos tornillos sin fin **PIF26MTT04** y **PIF26MTT05** Figura 31 y estos a su vez se unen con otro tornillo sin fin el **PIF26MTT08** el



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F cual permite transportar el material particulado hacia el hall de Clinker figura 32., los gases limpios circulan hacia la chimenea para luego ser depositados al exterior.



Figura 32. Material particulado retenido en el filtro y depositado en los Hall de Almacenamiento.

Fuente. Departamento de Procesos Compañía Industria Guapan

5.8. Rendimiento del sistema de recolección de polvo

A continuación se indican las mediciones de los valores de Toneladas de alimentación de crudo, toneladas de producción de Clinker y Pesos recuperados por el colector en los meses comprendidos entre a Julio y Septiembre, los mismos que aportan al cálculo del porcentaje de recuperación, Tabla 25.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

FECHA	Toneladas de alimentaci3n crudo	Toneladas de producci3n clinker	Peso recuperado del colector(ton/h)	% Recuperaci3n
31/07/2009	75	41,67	0,1701	0,40
06/08/2009	66	36,67	0,1791	0,48
13/08/2009	76,5	42,5	0,1818	0,42
24/08/2009	70	38,89	0,2259	0,58
26/08/2009	72	40	0,1716	0,42
01/09/2009	75	41,67	0,2451	0,58
04/09/2009	75	41,67	0,4857	1,16
07/09/2009	75	41,67	0,5751	1,38
10/09/2009	67	37,22	0,5976	1,60
11/09/2009	65	36,11	0,0765	0,21



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

9				
			Total	
			%Recuperación	0,72
			n	

Tabla 25 Rendimiento sistema de recolección de polvo

Fuente: Personal

Para la obtención del porcentaje de recuperación que tiene el sistema de captación de polvo se prosiguió a realizar, los siguientes cálculos.

$$\begin{aligned} \%Recuperacion &= \frac{0,1701}{41,67} \times 100 \\ &= 0,40\% \quad \text{Ecuacion 2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Recuperacion &= \frac{0,1791}{36,67} \times 100 \\ &= 0,48\% \quad \text{Ecuacion 3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Recuperacion &= \frac{0,1818}{42,5} \times 100 \\ &= 0,42\% \quad \text{Ecuacion 4} \end{aligned}$$



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F**

Los cálculos tienen como operación principal la de relacionar al peso recuperado del colector dividido para las toneladas de producción de clinker.

Luego de hacer las operaciones respectivas y obteniendo el porcentaje de recuperación se calcula el total recuperado lo que nos da igual a 0,72% de recuperación del material producido, con lo que se determina que la mayoría de producto es alimentado a los halls.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
CAPITULO VI: ANALISIS DE RESULTADOS

A través del método de análisis por rayos X, se ha podido determinar las características físico-químicas del material particulado, clinker producido, crudo alimentado al horno.

Con la consiguiente obtención de datos tanto de operación de sistemas de producción así como de calidad de los materiales alimentados y producidos, base de datos que nos permitirán más adelante establecer la relación de la cantidad de material particulado recogido con variables tales como.

- Densidad Aparente
- Producción De Clinker
- Retenido 200 (Tamiz de 75 micras según norma ASTM)
- Retenido 80 (Tamiz de 180 micras según norma ASTM)
- Harina Cruda Alimentada
- Temperatura Colector
- LSF (Limite saturación de fundente)
- MDS (Modulo de Silice)



6.1. Determinación de las características Físico-Químicas del clinker producido.

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LSF	MF	C ₄ AF	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S	FC	MDS	Fase Líquida
2145	5,17	3,04	66,26	157	0,64	0,2	0,1	94,32	1698	9,263	8,543	65,91	12,05	26,3	2,612	24,66
2141	5,17	3,15	66,13	135	0,58	0,2	0,09	94,15	164	9,598	8,367	65,61	12,18	26,7	2,572	24,63
2142	5,2	3,24	66,07	145	0,44	0,16	0,08	93,93	1607	9,851	8,312	65,41	12,34	27,1	2,537	24,86
214	5,2	3,17	65,97	139	0,34	0,13	0,07	93,92	1637	9,656	8,4	65,57	12,18	26,8	2,557	24,52
2139	5,19	3,05	66,1	132	0,47	0,15	0,08	94,26	1703	9,28	8,603	65,98	11,84	26,4	2,595	24,32
2141	5,16	2,94	66,22	141	0,41	0,12	0,09	94,48	1758	8,94	8,712	66,79	11,3	25,8	2,643	24,01
2145	5,22	3,12	65,82	144	0,23	0,14	0,09	93,52	1675	9,485	8,561	64,78	12,9	26,9	2,572	24,43
2143	5,14	2,81	66,81	134	0,14	0,1	0,06	95,42	1828	8,565	8,87	70,15	8,818	24,8	2,692	23,3
214	5,13	2,96	65,9	185	1,18	0,18	0,1	94,11	1731	9,022	8,586	63,63	13,62	26,3	2,642	25,2
2147	5,16	2,84	66,63	155	0,11	0,09	0,05	94,95	1814	8,652	8,858	69,07	9,747	25,2	2,683	23,58

Tabla 26 Características Físico-Químicas del Clinker Producido

Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

6.2. Determinación de las Características Químicas del Material Particulado Recolectado Por El Filtro de Mangas

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LSF	MF	C ₄ AF	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S	FC	MDS	Fase Líquida
21,42	5,15	2,85	66,3	1,49	0,34	0,13	0,05	94,6	1,81	8,671	8,82	67,35	10,9	25,37	2,68	23,74
21,32	5,17	3,01	66,6	1,47	0,72	0,19	0,1	95,3	1,72	9,158	8,61	67,95	10,17	25,82	2,61	24,58
21,43	5,14	2,92	66,3	1,35	1,56	0,16	0,04	94,5	1,76	8,884	8,68	63,82	13,56	26,11	2,66	24,93
21,44	5,13	2,85	66,1	1,31	0,36	0,12	0,05	94,4	1,8	8,667	8,78	66,79	11,37	25,42	2,69	23,51
21,41	5,12	2,62	66,3	1,27	0,44	0,08	0,04	95	1,95	7,985	9,14	67,78	10,54	24,48	2,76	23,03
21,24	5,1	2,77	65,3	1,27	0,29	0,08	0,06	94	1,84	8,432	8,84	65,18	12,02	25,22	2,7	23,17
21,24	5,07	2,63	65,8	1,17	0,15	0,06	0,05	95	1,93	8,017	8,99	68,25	9,719	24,22	2,76	22,52
21,45	5,11	2,61	66,1	1,3	0,15	0,08	0,04	94,6	1,96	7,946	9,13	67,66	10,76	24,45	2,78	22,7
21,22	5,09	2,63	64,9	1,36	3,33	0,22	0,01	93,6	1,93	8,016	9,02	55,45	19,26	26,16	2,75	25,88
21,32	5,11	2,57	65,1	1,39	1,39	0,2	0,19	93,6	1,99	7,831	9,2	60,85	15,48	25,27	2,77	24,1

Tabla 27 Características Químicas del Material Particulado

Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan



6.2.1. Características Físicas Del Material Particulado

Mediciones	Fecha	Retenido 200(%)	Retenido 80(%)
1	31/07/2009	55,40	19,20
2	06/08/2009	58,40	10,00
3	13/08/2009	22,68	9,40
4	24/08/2009	58,20	10,40
5	26/08/2009	73,20	24,60
6	01/09/2009	62,60	25,20
7	04/09/2009	65,80	26,80
8	07/09/2009	76,60	31,80
9	10/09/2009	80,80	46,40
10	11/09/2009	20,80	4,60

Tabla 28 Características Físicas del Material Particulado
Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

La determinación de dichas características se las realizó en el laboratorio de ensayos Físico-Químicos del Departamento Control de Calidad de la Compañía.


Las determinaciones Físico-Químicas que se detalla en la tabla 27 y 28 se la realizaron con muestras de Material



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
particulado retenido en el filtro de mangas y depositado
en los Hall de Almacenamiento de Clinker, ya que este
lugar es el mas adecuado y seguro para realizar la toma
de las muestras.

Para realizar las pruebas Físicas y Químicas se tomo en
consideración las normas de ensayo Tabla 29 que rigen
el control de calidad en la Compañía y que constan en el
de procedimientos e instrucciones del laboratorio del
Departamento de Calidad.

	Análisis de Muestras por Rayos X	Revision:00
	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	Codigo:I.CK- 7,1-12

1. PROPOSITO:

Establecer el procedimiento para la realización de
análisis de muestras por rayos x.

2. ALCANCE:

Se aplica esta instrucción al análisis de muestras de
arcillas, caliza, crudo, clinker, yeso, puzolana, cemento.



3. DEFINICIONES:

- *Arcilla*: Suelo o roca sedimentaria, plástica y tenaz cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina.
- *Caliza*: Tipo común de roca sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, CaCO_3). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol.
- *Yeso*: Mineral común consistente en sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- *Crudo*: Material calcáreo que a pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- *Clinker Pórtland*: Es la producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla íntima de materiales



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su
cocción y en proporciones determinadas.

- *Cemento Pórtland*: Producto de moler a una fineza determinada el clinker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.
- *Espectrómetro*: Instrumento que genera, analiza y registra espectros y que permite determinar la composición química por medio de la incidencia de rayos x sobre la muestra de estudio.

4. RESPONSABILIDADES:

La elaboración de esta instrucción es responsabilidad del Ingeniero de calidad, su revisión del Jefe de Calidad y su aprobación del Gerente de Planta.

5. EQUIPO:

- Chapas de aluminio



- Vibromolino
- Prensa Hidráulica
- Pinza
- Plancha térmica
- Bandeja de aluminio
- Espectrómetro

6. INSTRUCCIONES:

- 6.1. Tomar la muestra preparada
- 6.2. Colocar una película fina de vaselina en las paredes interiores de la cámara de muestras de la prensa neumática.
- 6.3. Llenar un 90% de la cámara de la prensa neumática con la muestra a analizar.
- 6.4. Cerrar y Prensar la muestra con el accionamiento, pulsando el botón principal.
- 6.5. Abrir y accionar la prensa para sacar la muestra prensada (pastilla).
- 6.6. Mantener por 1 minuto la pastilla sobre una chapa de aluminio en la plancha térmica.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- 6.7. Colocar la(s) muestra(s) en el cargador identificando su posición y cerrar la compuerta en el menor tiempo posible.
- 6.8. Verificar si se encuentra en el programa OPERADOR.
- 6.9. Trabajar en la computadora y posesionar el indicador en LOADER.
- 6.10. En la pantalla borrar todos los datos que esté cargado.
- 6.11. Tabular la identificación (códigos) de la siguiente forma:

Código	hora
TR para trituración	XXH
MC para molino de crudo	XXH
SC para silo comprobado	N1,N2/S1, S2
AH para alimentación al horno	XXH
KK para clinker	XXH
FF para cemento de fabricación	XXH



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

EE para cemento de expedio	XXH
Cualquier etiqueta para el resto de materiales	XXH

6.12. Posesionarse en la siguiente casilla que se presenta en blanco, seleccionar y pulsar ENTER el programa respectivo considerando:

- *CRUDO* Molino de crudo, material de trituración.
- *AHORNOM* Material del silo de fabricación y alimentación al horno.
- *CLINKER* Para clinker.
- *FFYEE* Cemento de fabricación y expedición.
- *PUZOLANA* Para puzolanas.
- *YESOL* Para yeso de la provincia de Loja
- *YESOP* Para yeso proveniente de Perú

6.13. Verificar que esté correcta la indicación de códigos y posiciones.

6.14. Comprobar que la impresora este lista.

6.15. Pulsar F10.

7. REFERENCIA:



Manual del espectrómetro

Tabla 29 Norma de Análisis de Muestras Por Rayos X
Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

6.3. Determinación De La Cantidad De Material Particulado Recolectado Por El Filtro De Mangas

Ton	Densidad aparente (kg)	produccion clinker(Ton)	Retenido 200(%)	Retenido 80(%)	Peso material colector de polvo(ton/h)	temp. entrada colector (°C)	LSF (%)	Fineza 200(%)	Fineza 80(%)	MDS(%)
75	1,395	41,67	55,40	19,20	0,1701	121	92,8	16,0	1,4	2,5
66	1,355	36,67	58,40	10,00	0,1791	119	93,4	13,6	1,4	2,6
76,5	1,395	42,50	22,68	9,40	0,1818	122	94,2	18,2	3,4	2,6
70	1,45	38,89	58,20	10,40	0,2259	118	94,0	16,0	2,2	2,6
72	1,465	40	73,20	24,60	0,1716	125	96,1	17,8	2,4	2,5
75	1,48	41,67	62,60	25,20	0,2451	117	93,5	17,6	2,6	2,6
75	1,405	41,67	65,80	26,80	0,4857	121	97,2	20,0	3,6	2,6
75	1,39	41,67	76,60	31,80	0,5751	109	97,4	12,2	1	2,6
67	1,53	37,22	80,80	46,40	0,5976	119	94,3	14,8	1,6	2,6
65	1,405	36,11	20,80	4,60	0,0765	80	94,3	14	2,4	2,6

Tabla 30 Determinación Material Particulado Recolectado por el Filtro de Mangas

Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

Para determinar la cantidad de material particulado recolectado por el Filtro de Mangas se procede a realizar la respectiva prueba en el laboratorio de calidad de Compañía Industria Guapan, el cual consiste en recolectar en el área donde se encuentra ubicado el hall de clinker, el polvo que es depositado en el colector y



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F que, a través del sistema de transporte es conducido hacia el hall. Esta prueba se lo realizo además tomando en cuenta las toneladas alimentadas al horno como se observa en la tabla para así poder prestar atención el comportamiento diferente que realiza el filtro de mangas.

6.3.1. Calculo Del Peso Del Material Del Colector De Polvo

Luego de haber recolectado el material particulado en los diferentes recipientes se procede al calculo del peso de dicho material, en el cual primeramente se procede a pesar en la bascula la muestra recolectada este peso vendría a ser el peso bruto, y para determinar el peso total de la muestra se resta el peso bruto del material menos el peso del recipiente previamente calculado. Se realiza el mismo procedimiento para la segunda muestra tomada, con el total de estas dos muestras obtenemos el total de muestra recolectada, esta muestra recolectada tiene como unidades de trabajo (kg/min), pero para una mejor trabajabilidad de los datos de la muestra se realizo el cambio de unidades a (TON/hora).



PESO BRUTO 1 (Kg) PESO RECIPIENTE 1 (Kg)	<u>TOTAL MUESTRA 1 (Kg)</u>
PESO BRUTO 2 (Kg) PESO RECIPIENTE 2 (Kg)	<u>TOTAL MUESTRA 2 (Kg)</u>
TOTAL MUESTRA (Kg/min)	Total muestra1+Total Muestra2
TOTAL MUESTRA (TON/hora)	

***Tabla 31** Calculo Peso Material Particulado Recolectado por el Filtro de Mangas*

***Fuente:** Personal*

6.4. Relación Con el Sistema de Clinkerizacion, Enfriamiento y Recolección de Polvo



Para establecer la relación de los diferentes componentes del sistema se toma en consideración el funcionamiento continuo desde la alimentación de harina cruda al horno hasta la recolección de polvo que sale del colector, estableciéndose para el efecto los parámetros de operación del horno, enfriador, colector de polvo y, las características físico químicas del material previo y después de las reacciones de transformación.

Para este efecto disponemos de:

- Análisis químico de materia prima alimentada al horno:
- Parámetros de operación del horno
- Parámetros de operación del enfriador
- Parámetros de operación del colector
- Análisis de producto terminado



De acuerdo a la tabla 32 tenemos:

HORNO			ENFRIADOR			COLECTOR				LABORATORIO			
t-h	°C	gl/h	°C	mm bar	°C	°C	°C	mmH ₂ O	mmH ₂ O	%	%	%	%
TON	Temp. zona	Combustible total	temp. salida clink	presion camara 2	temp. entra resfri	Temp. entra	temp salida	presion entrada	presion salida	LSF	fineza 200	fineza 80	MDS
75.6	1345	1258	1097	51	316	121	114	-20	-64	92.8	16,0	1.4	2.5
72	1250	1218	1097	61	196	119	106	-23	-12	93.4	13.6	1.4	2.6
76.3	1283	1284	1095	54	296	122	114	-15	-51	94.2	18.2	3.4	2.6
70.4	1300	1188	1096	47	255	118	112	-7	-39	94,0	16,0	2.2	2.6
70.8	1270	1277	1098	53	414	95	104	-7	-48	96.1	17.8	2.4	2.5
75.4	1308	1280	1090	54	241	117	109	-25	-80	93.5	17.6	2.6	2.6
75.3	1340	1230	1095	52	310	121	117	-23	-81	97.2	20,0	3.6	2.6
75,6	1325	1214	1100	44	180	109	105	-34	-71	97,4	12,2	1,0	2,6
68	1400	1141	1096	47	248	119	109	-20	-46	94,3	14,8	1,6	2,6
64	1400	1191	1094	27	310	80	60	-6	-27	94,3	14,0	2,4	2,6

Tabla 32 Relación sistema de Clinkerizacion, Enfriamiento y Recolección de Polvo

Fuente: Personal

6.5. Análisis Del Rendimiento

Como hemos podido observar a lo largo de las pruebas realizadas y los datos tomados del proceso de fabricación de cemento en el área de clinkerizacion, se ha determinado de acuerdo a la tabla siguiente el rendimiento del sistema durante el tiempo establecido.

Históricamente se dispone de un consumo energético correspondiente al mes de de Enero del año 2003 como un referente para aspectos de comparación. De



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
igual manera es muy importante tomar en consideración el consumo de combustible para establecer el total de kilocalorías usadas en la fabricación del clinker, lo cual para la Compañía significa un aspecto de medición de la eficiencia del proceso. Datos de referencia en este sentido están por el orden de 920 Kcal por Kg de clinker. Para nuestro caso este valor está por el orden de las 1125 Kcal por Kg de clinker, lo cual significa que se debe establecer parámetros de operación que permitan lograr valores cercanos al de referencia y por lo tanto mejora en la eficiencia y rentabilidad de la compañía aunque hay que considerar el deterioro cada vez mas creciente de la calidad del combustible utilizado.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
6.6. Presentación De Resultados

- Polvo Del Enfriador

DATOS	MUESTRA POLVO ENFRIADOR	
Hora: 11AM Fecha: 31/07/2009 Horno:75 Ton Peso Bruto1(kg):3,77 Peso Recipiente1(kg):1,18 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Total Muestra1= 2,59</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Kg</div> Peso Bruto2(kg):4,48 Peso Recipiente2(kg):1,4 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Total Muestra2= 3,08Kg</div>	1) HUMEDAD	2) DENSIDAD APARENTE
	La muestra para humedad es 50 gr, la tara inicial de la balanza es de 107,90 gr la tara final debe ser de 157,90 Luego la muestra de 50g se pone a secar. Luego de secarla es llevada	Para iniciar la tara es de 1,005Kg. Peso de la Muestra 2,400Kg. Cálculo: 2,400kg- 1,005kg <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">RESULTAD</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">O: 1,395 Kg</div>
		3) RETENIDO



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

<p>Muestra</p> <p>total=5,67Kg/min</p> <p>Recolectado=0,1701Ton/h</p>	<p>nuevamente a la balanza y se obtuvo un peso de 157,80g.</p> <p>El cálculo de la humedad es el siguiente:</p> $(157,90 - 157,80) * 2$ <p>RESULTADO: 0,2%</p>	<p>En tamiz de 200. La muestra es de 5gr es tamizado y secado, posterior al secado es llevado a la balanza dándonos un peso= 2,77gr.</p> <p>Calculo=$(2,77 * 20)$</p> <p>Resultado= 55,4%</p> <p>Tamiz de 80 se realizo el mismo procedimiento. Peso= 0,96 gr</p> <p>Calculo=</p>
---	--	--



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

	<p>(0,96*20)</p> <p>Resultado=</p> <p>19,2%</p>
--	--

Tabla 33 Datos de Muestra polvo Enfriador
Fuente: Personal

- Harina Cruda Alimentada Al Horno

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	TITULO	LSF	MF	MD S
13,3	3,00	2,00	42,7	0,5	0,19	0,2	0,3		95,	1,5	2,6
71	8	2	12	82	1	77	59	76,9	24	03	29
13,1	2,95	1,97	42,7	0,5	0,19	0,2	0,4		96,	1,4	2,6
86	4	8	91	67	7	93	44	76,86	79	93	03

Tabla 34 Datos Harina Cruda Alimentadas al Horno
Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industria

Guapan

- Características Del Clinker Producido



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F"

SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LSF	MF	C ₄ AF	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S	FC	MDS	Fase líquida
0,84	0,26	0,13	94,16	1,71	9,025	8,419	64,27	12,6	25,9	2,639	24,2
0,25	0,12	0,07	94,62	1,77	8,927	8,785	67,55	10,7	25,72	2,635	23,85
0,81	0,22	0,14	94,39	1,74	8,928	8,593	65,11	12,22	25,83	2,645	24,26
0,25	0,11	0,07	94,43	1,77	8,915	8,794	67,09	11,1	25,79	2,638	23,83

Tabla 35 Características del Clinker Producido y Nomenclatura

Fuente: Departamento de calidad Compañía Industria Guapan

LSF	Limite saturación de fundente
MF	Modulo de fundentes
MDS	Modulo de Silice
SiO ₂	Silice
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Oxido Férrico
CaO	Cal
MgO	Oxido de Magnesio
Na ₂ O	Alcalis
K ₂ O	Alcalis
SO ₃	Trioxido de Azufre



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

C ₄ Af	Alumino Ferrito
	Tetracalcico (Brownmillerita)
C ₃ A	Aluminato Tricalcico
C ₃ S	Silicato Tricalcico o Alita
C ₂ S	Silicato Dicalcico
FC	Formación de Costra
Fase Líquida	

- Consumo De Energía Por Equipo

EQUIPO	DENOMINACION	VALORES	UNIDAD	PORCENTAJE
F4 A	VENTILADOR PRECALENTADOR	720	Amps	50,13
F7	MOTOR DEL HORNO	175	Amps	12,19
F17	VENTILADOR ENFRIAMIENTO I CAMARA	52	Amps	3,62
F18	VENTILADOR ENFRIAMIENTO I CAMARA	45	Amps	3,13
F19	VENTILADOR ENFRIAMIENTOII CAMARA	76,25	Amps	5,31
F20	VENTILADORENFRIAMIENTOIII CAMARA	59,27	Amps	4,13
F21	VENTILADOR ENFRIAMIENTO IV CAMARA	78,16	Amps	5,44
F22- 01	VENTILADOR	28,2	Amps	1,96
F23	CADENA TRANSPORTADORA	16,3	Amps	1,13
F23 A 01	TRANSPORTADOR DE CANGILONES	8,5	Amps	0,59
F23 B 01	TRANSPORTADOR DE CADENA	5,9	Amps	0,41
F24- 01	VENTILADOR ENFRIADOR	31,8	Amps	2,21
F27	VENTILADOR DEL FILTRO	139,8	Amps	9,73
TOTAL		1436,18		100

Tabla 36 Consumo de Energía por Equipo
Fuente: Departamento de Procesos Compañía Industria
 Guapan



- Consumo De Energía Por área de producción

AREA DE PRODUCCION	CONSUMO ENERGIA(KW H)	PORCENTAJ E (%)
TRITURACION	96836	2,42
PREHOMOGENIZACION	41175	1,03
MOLIENDA DE CRUDO	1095679	27,40
HOMOGENIZACION	292947	7,33
CLINKERIZACION	712858	17,83
MOLIENDA DE CEMENTO	1628325	40,72
EMPAQUE	82245	2,06
PLANTA DE AGUA	29424	0,74
EXTRAS	19421	0,49
TOTAL	3998910	100

Tabla 37 Consumo de Energía por Área de Producción

Fuente: Departamento de calidad Compañía Industria

Guapan

- Costo De Producción

COSTO DE PRODUCCION DE CEMENTO EN EL MES DE SEPTIEMBRE DE 2009				
PROCESO DE PRODUCCION	NRO. DE TONEL	VALOR UNITA	VALOR RE PARC	VALORES TOTALES



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

	ADAS	RIO	IALE	
<u>CLINKERIZACION</u>				
Inventario Inicial	16337,			1356233,7
Transferencia del	32	83,01		5
molino de crudo	40926	24,34		996123,32
coeficiente de				
transformación	-15347			
Mano de obra			44965,	
			09	
			91641	
Carga fabril			8,54	961383,63
Costo de producción				1957506,9
del mes	25579	37,58		5
Total al costo	41916,			
promedio	32	79,06		3313740,7
				-
Pasan al molino de				1474554,3
cemento	-18652	79,06		4
	23264,			1839186,3
Inventario final	32	79,06		6

Tabla 38 Costo de Producción Cemento Septiembre 2009

Fuente: Departamento de Proceso Compañía Industria Guapan



- Rendimiento del sistema de clinkerizacion y enfriamiento


RENDIMIENTO

Consumo de Energía mes de Septiembre (KWH)	712858
Toneladas producidas (TON)	25579

Tabla 39 Rendimiento Sistema de Clinkerizacion y Enfriamiento

Fuente: Departamento de Proceso Compañía Industria Guapan

- Temperatura Colector de Polvo

TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL COLECTOR			
		T° ENTRADA AL COLECTOR (°C)	T° SALIDA DEL COLECTOR (°C)
			
FECHA:	31/07/2009	121	114
FECHA:	06/08/2009	119	106



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

FECHA:	13/08/2009	122	114
FECHA:	24/08/2009	118	112
FECHA:	26/08/2009	125	104
FECHA:	01/09/2009	117	109
FECHA:	04/09/2009	121	117
FECHA:	07/09/2009	109	105
FECHA:	10/09/2009	119	109
FECHA:	11/09/2009	80	60
PROMEDIO		115,1	105

Tabla 40 Temperaturas Colector de Polvo
Fuente: Departamento de Proceso Compañía Industria
Guapan

- Características del Material Particulado-VARIABLES de Operación y de Calidad

Medición	Fecha	Hora	Toneladas (Ton)	Densidad aparente (kg)	Retenido 200 (%)	Retenido 80 (%)	Peso material colector de polvo (ton/h)	T. entrada colector (°C)	LS F (%)	Finza 200 (%)	Finza 80 (%)	MD S (%)
----------	-------	------	-----------------	------------------------	------------------	-----------------	---	--------------------------	----------	---------------	--------------	----------



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

1	31/07/09	11 a m	75	1,395	55,40	19,20	0,1701	121	92,8	16,0	1,4	2,5
2	06/08/09	14 p m	66	1,355	58,40	10,00	0,1791	119	93,4	13,6	1,4	2,6
3	13/08/09	11 a m	76,5	1,395	22,68	9,40	0,1818	122	94,2	18,2	3,4	2,6
4	24/08/09	10 a m	70	1,45	58,20	10,40	0,2259	118	94,0	16,0	2,2	2,6
5	26/08/09	10 a m	72	1,465	73,20	24,60	0,1716	125	96,1	17,8	2,4	2,5
6	01/09/20	9a m	75	1,48	62,60	25,20	0,2451	117	93,5	17,6	2,6	2,6
7	04/09/20	10 a m	75	1,405	65,80	26,80	0,4857	121	97,2	20,0	3,6	2,6
8	07/09/20	10 a m	75	1,39	76,60	31,80	0,5751	109	97,4	12,2	1,1	2,6
9	10/09/20	15 p m	67	1,53	80,80	46,40	0,5976	119	94,3	14,8	1,6	2,6
10	11/09/20	11 a m	65	1,405	20,80	4,60	0,0765	80	94,3	14,14	2,4	2,6

Tabla 41 Características del Material Particulado-

Variables de Operación y de Calidad

Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industria

Guapan



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Rendimiento del sistema de recolección de polvo

	A	B	C	D=C/B x100
FECHA	Toneladas de alimentación crudo	Toneladas de producción clinker	Peso recuperado del colector(ton/h)	% Recuperación
31/07/2009	75	41,67	0,1701	0,40
06/08/2009	66	36,67	0,1791	0,48
13/08/2009	76,5	42,5	0,1818	0,42
24/08/2009	70	38,89	0,2259	0,58
26/08/2009	72	40	0,1716	0,42
01/09/2009	75	41,67	0,2451	0,58
04/09/2009	75	41,67	0,4857	1,16
07/09/2009	75	41,67	0,5751	1,38
10/09/2009	67	37,22	0,5976	1,60



UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
 TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

9				
11/09/200				
9	65	36,11	0,0765	0,21

Tabla 42 Rendimiento sistema de recolección de polvo
Fuente: Personal

Para la obtención del porcentaje de recuperación que tiene el sistema de captación de polvo se prosiguió a realizar, los siguientes cálculos $D=C/B \times 100$

Características Químicas del clinker producido.

SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO3 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	LSF	MF	C4AF	C3A	C3S	C2S	FC	MDS	Fase líquida
2145	5,17	3,04	66,26	1,57	0,64	0,2	0,1	94,32	1,698	9,263	8,543	65,91	12,05	26,3	2,612	24,66
2141	5,17	3,15	66,13	1,35	0,58	0,2	0,09	94,15	1,64	9,598	8,367	65,61	12,18	26,7	2,572	24,63
2142	5,2	3,24	66,07	1,45	0,44	0,16	0,08	93,93	1,607	9,851	8,312	65,41	12,34	27,1	2,537	24,86
214	5,2	3,17	65,97	1,39	0,34	0,13	0,07	93,92	1,637	9,656	8,4	65,57	12,18	26,8	2,557	24,52
2139	5,19	3,05	66,1	1,32	0,47	0,15	0,08	94,26	1,703	9,28	8,603	65,98	11,84	26,4	2,595	24,32
2141	5,16	2,94	66,22	1,41	0,41	0,12	0,09	94,48	1,758	8,94	8,712	66,79	11,3	25,8	2,643	24,01
2145	5,22	3,12	65,82	1,44	0,23	0,14	0,09	93,52	1,675	9,485	8,561	64,78	12,9	26,9	2,572	24,43
2143	5,14	2,81	66,81	1,34	0,14	0,1	0,06	95,42	1,828	8,565	8,87	70,15	8,818	24,8	2,692	23,3
214	5,13	2,96	65,9	1,85	1,18	0,18	0,1	94,11	1,731	9,022	8,586	63,63	13,62	26,3	2,642	25,2
2147	5,16	2,84	66,63	1,55	0,11	0,09	0,05	94,95	1,814	8,652	8,858	69,07	9,747	25,2	2,683	23,58

Tabla 43 Características Químicas del clinker producido y Nomenclatura

Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

LSF	Limite saturación de fundente
-----	-------------------------------



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

MF	Modulo de fundentes
MDS	Modulo de Silice
SiO ₂	Silice
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Oxido Férrico
CaO	Cal
MgO	Oxido de Magnesio
Na ₂ O	Alcalis
K ₂ O	Alcalis
SO ₃	Trioxido de Azufre
C ₄ Af	Alumino Ferrito Tetracalcico (Brownmillerita)
C ₃ A	Aluminato Tricalcico
C ₃ S	Silicato Tricalcico o Alita
C ₂ S	Silicato Dicalcico
FC	Formación de Costra
Fase Líquida	



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

- Características Químicas del material particulado Recolectado por el Filtro de Mangas.

SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO3 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	LSF	MF	C4AF	C3A	C3S	C2S	FC	MDS	Fase Líquida
21,42	5,15	2,85	66,3	1,49	0,34	0,13	0,05	94,6	1,81	8,671	8,82	67,35	10,9	25,37	2,68	23,74
21,32	5,17	3,01	66,6	1,47	0,72	0,19	0,1	95,3	1,72	9,158	8,61	67,95	10,17	25,82	2,61	24,58
21,43	5,14	2,92	66,3	1,35	1,56	0,16	0,04	94,5	1,76	8,884	8,68	63,82	13,56	26,11	2,66	24,93
21,44	5,13	2,85	66,1	1,31	0,36	0,12	0,05	94,4	1,8	8,667	8,78	66,79	11,37	25,42	2,69	23,51
21,41	5,12	2,62	66,3	1,27	0,44	0,08	0,04	95	1,95	7,985	9,14	67,78	10,54	24,48	2,76	23,03
21,24	5,1	2,77	65,3	1,27	0,29	0,08	0,06	94	1,84	8,432	8,84	65,18	12,02	25,22	2,7	23,17
21,24	5,07	2,63	65,8	1,17	0,15	0,06	0,05	95	1,93	8,017	8,99	68,25	9,719	24,22	2,76	22,52
21,45	5,11	2,61	66,1	1,3	0,15	0,08	0,04	94,6	1,96	7,946	9,13	67,66	10,76	24,45	2,78	22,7
21,22	5,09	2,63	64,9	1,36	3,33	0,22	0,01	93,6	1,93	8,016	9,02	55,45	19,26	26,16	2,75	25,88
21,32	5,11	2,57	65,1	1,39	1,39	0,2	0,19	93,6	1,99	7,831	9,2	60,85	15,48	25,27	2,77	24,1

Tabla 44 Características Químicas del material particulado

Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

- Características Físicas del Material Particulado.

Mediciones	Fecha	Retenido 200(%)	Retenido 80(%)
1	31/07/2009	55,40	19,20
2	06/08/2009	58,40	10,00
3	13/08/2009	22,68	9,40
4	24/08/2009	58,20	10,40
5	26/08/2009	73,20	24,60
6	01/09/2009	62,60	25,20



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F

7	04/09/2009	65,80	26,80
8	07/09/2009	76,60	31,80
9	10/09/2009	80,80	46,40
10	11/09/2009	20,80	4,60

Tabla 45 Características Físicas del material particulado
Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan

- Relación sistema de clinkerización, enfriamiento y recolección de polvo

HORNO			ENFRIADOR			COLECTOR				LABORATORIO			
t-h	°C	gl/h	°C	mm bar	°C	°C	°C	mmH ₂ O	mmH ₂ O	%	%	%	%
TON	Temp. zona	Combustible total	temp. salida clink	presion camara 2	temp. entra resfri	Temp. entra	temp salida	presion entrada	presion salida	LSF	fineza 200	fineza 80	MDS
75.6	1345	1258	1097	51	316	121	114	-20	-64	92.8	16,0	1.4	2.5
76.3	1283	1284	1095	54	296	122	114	-15	-51	94.2	18.2	3.4	2.6
70.4	1300	1188	1096	47	255	118	112	-7	-39	94,0	16,0	2.2	2.6
70.8	1270	1277	1098	53	414	95	104	-7	-48	96.1	17.8	2.4	2.5
75.4	1308	1280	1090	54	241	117	109	-25	-80	93.5	17.6	2.6	2.6
75.3	1340	1230	1095	52	310	121	117	-23	-81	97.2	20,0	3.6	2.6
75,6	1325	1214	1100	44	180	109	105	-34	-71	97,4	12,2	1,0	2,6
68	1400	1141	1096	47	248	119	109	-20	-46	94,3	14,8	1,6	2,6
64	1400	1191	1094	27	310	80	60	-6	-27	94,3	14,0	2,4	2,6

Tabla 45 Relación Sistema Clinkerización
Enfriamiento y recolección de Polvo
Fuente: Departamento de Calidad Compañía Industrias Guapan



6.7. Análisis Estadístico

De las presentes graficas que a continuación se detallan, en resumen se realiza la comparación de la variable correspondiente al peso del material recogido luego del colector de polvo, con variables tanto de operación del sistema de clinkerización, enfriamiento, colector de polvo, así como de calidad de materia prima y producto terminado.

- Peso Material Colector de Polvo - Toneladas Horno

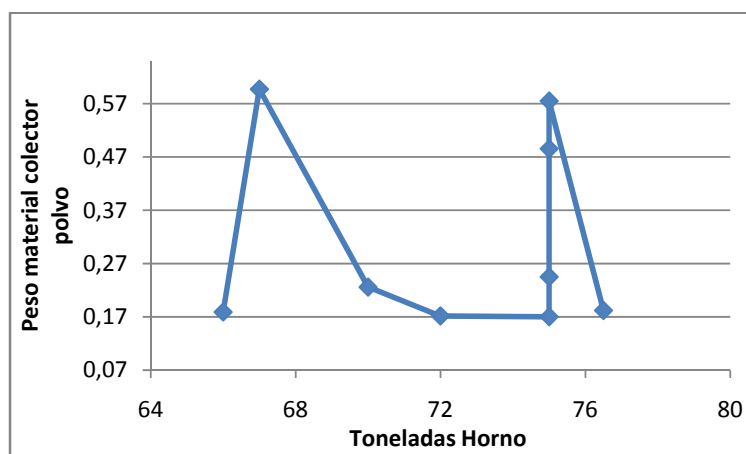


Figura 33 *Peso Material Colector de Polvo - Toneladas Horno*
Fuente: Personal

En la figura 33 podemos observar que no existe una relación directa entre las dos variables puesto que se



TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
presenta un mayor retenido de polvo en un tonelaje igual a 68, e igualmente en un tonelaje igual a 75, en uno de los casos y no así en los otros que presenta un comportamiento diferente, tomados en diferentes días, por lo que podemos decir que estaría esta recolección dependiendo de las condiciones de operación y características del material alimentado al horno, por lo que cada medición presentara resultados diferentes.

- Peso material colector de polvo - Densidad Aparente

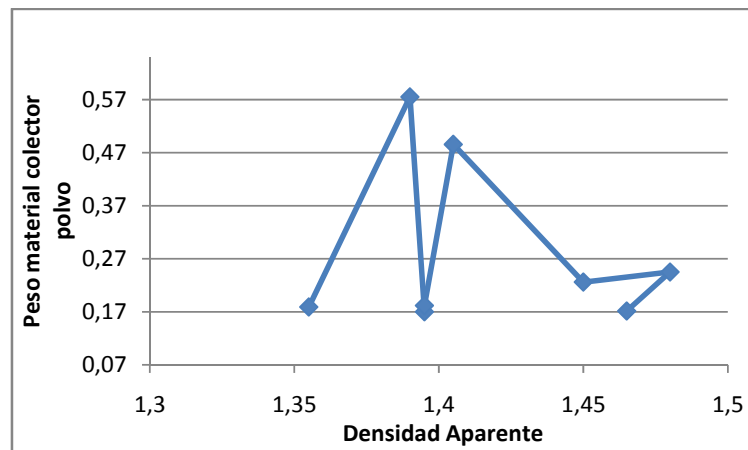


Figura 34 *Peso Material Colector de Polvo – densidad Aparente*
Fuente: *Personal*

En la figura 34 podemos aseverar al igual que en el caso anterior una falta de relación directa entre estas dos



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F variables, debiendo por lo tanto considerar en cada determinación las condiciones de operación y calidad de material alimentado al horno.

Peso material colector de polvo – Retenido 200

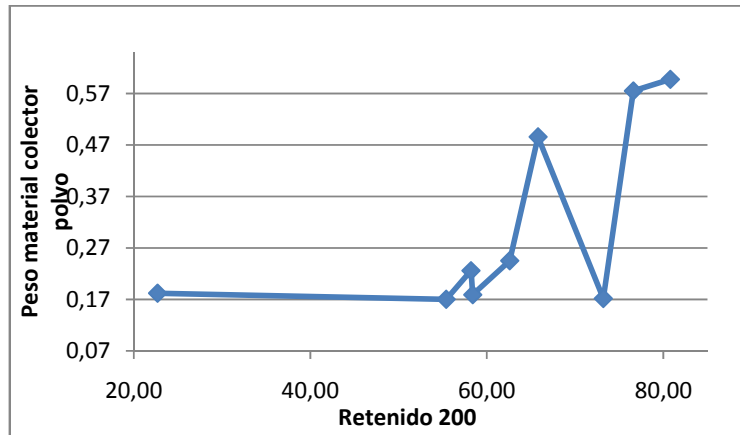


Figura 35 *Peso Material Colector de Polvo – Retenido 200*

Fuente: Personal

• Peso material colector de polvo – Retenido 80

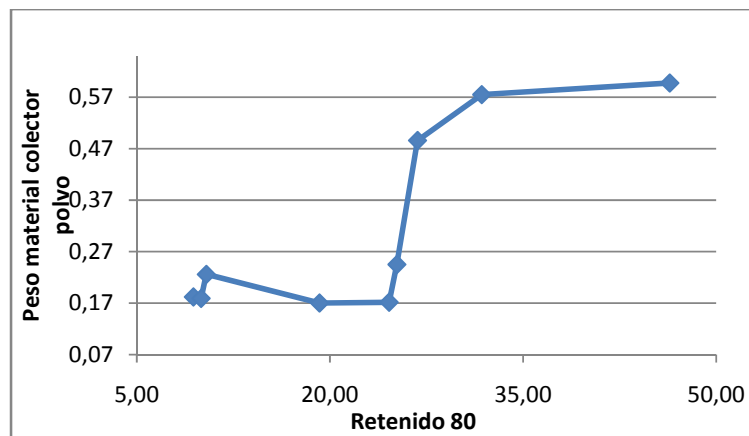


Figura 36 *Peso Material Colector de Polvo – Retenido 80*

Fuente: Personal



En las figuras 35 y 36 Se podría considerar igualmente que no existe relación directa entre las variables puesto que la variable correspondiente al retenido en el tamiz de 200 ASTM (75 micras) y 80 ASTM (180 micras) puede obedecer más bien al proceso de consolidación del clinker, enfriamiento, trituración dentro del enfriador y aire de arrastre al colector.

- **Peso Material Colector de Polvo – Temperatura entrada Colector**

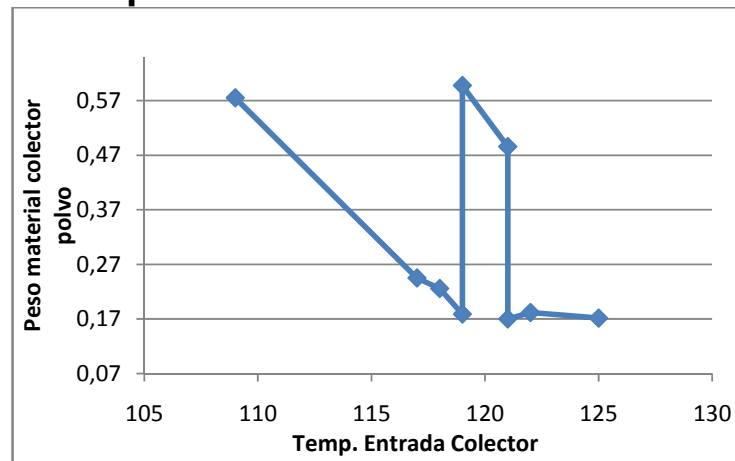


Figura 37 *Peso Material Colector de Polvo – Temperatura entrada Colector*

Fuente: Personal

Podemos observar que no existe relación alguna entre las variables por lo tanto cada una de las mediciones dependerá de las condiciones de operación en el sistema de clinkerización, enfriamiento y recolección de polvo, así como de las características físico-químicas del material en proceso



- **LSF – Peso material colector de polvo**

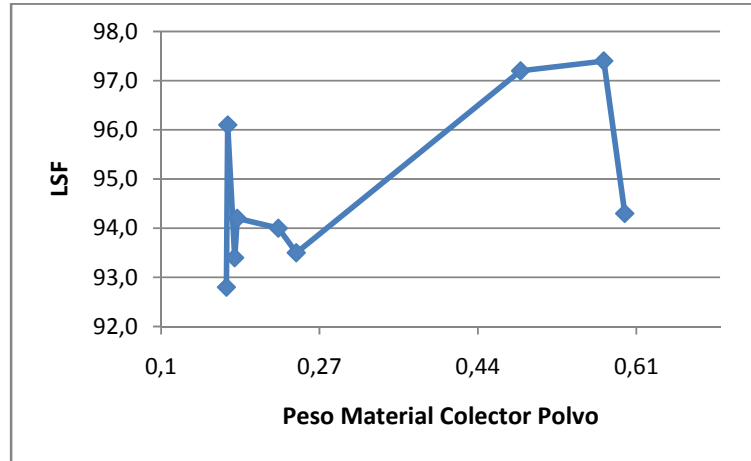


Figura 38 LSF - Peso Material Colector de Polvo
Fuente: Personal

El LSF es el limite de saturación de fundentes que nos da las reacciones de formación de clinker entre el oxido de calcio, Aluminio, hierro, Silice ,magnesio y otros en menor escala como el sodio y el potasio por lo que este valor no guarda relación con el peso del material recolectado en el polvo, puesto que depende de las condiciones de quemas en el horno así como de la calidad del material alimentado.

6.8. Conclusiones y Recomendaciones

6.8.1. Conclusiones



De las observaciones y las tareas llevadas a cabo durante la presente investigación, se concluye entre otras cosas lo siguiente:

- Los procesos de recolección de polvo en las fabricas de cemento dependen en un buen grado del proceso de producción así como de la calidad del material alimentado, por lo que para la Compañía Industrias Guapan es importante tomar en consideración parámetros de operación y calidad de materia prima que permitan balancearlos eficientemente con la consecuente mejora económica.
- Los procesos de mantenimiento debidamente programados ya sea en las mangas del filtro como también en los enfriadores de clinker, ejecutados y controlados conducen a que estos se desarrollen de la mejor manera, con el objetivo de mejorar el sistema de purificación de gases residuales.
- Es básico el consumo de energía en tanto y cuanto se puedan lograr la reducción de costos



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F de fabricación y trasladar los mismos a una mayor rentabilidad de la compañía, actualmente la compañía cuenta con un consumo de energía de 3998910 KWH en el área de producción como se aprecia en la Tabla 37 capitulo 6.

- En cuanto a las partículas recolectadas en el proceso de clinkerizacion a través de los equipos auxiliares, a la vez que son reinsertadas al proceso, disminuyen la concentración en las emisiones, ajustándose a la normativa, esto se logra en base a la tecnología instalada y a las condiciones de operación y materia prima descritas.
- La toma de muestras de este material así como el registro de las condiciones en el proceso de producción, nos ha permitido evaluar desde los puntos de vista físico químico y ambiental, para lo cual se ha establecido relaciones entre variables.
- Luego de hacer las operaciones respectivas y obteniendo el porcentaje de recuperación se calcula el total recuperado lo que nos da igual a



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
0,72% de recuperación del material producido,
con lo que se determina que la mayoría de
producto es alimentado al deposito de clinker.

6.8.2. Recomendaciones

Entre las recomendaciones podemos considerar:

- Complementar estudios con análisis especializados en materia ambiental a fin de establecer la incidencia del material particulado tanto en el medio interno así como en el externo a la compañía, podría realizarse corrientemente con la instalación de monitores de partículas de polvo en la chimenea de equilibrio y en sitios cercanos al punto de emisión
- Continuar con los procesos de recolección de información en situaciones que nos permitan evaluar en momentos críticos, y normales de la producción.
- Establecer procedimientos y normativas que permitan desarrollar las actividades. Estos



TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
procedimientos se pueden desarrollara mediante
el control de operación de equipos de una
manera correcta y estandarizada a fin de evitar
en lo posible las variaciones en el proceso.

- Incrementar actividades ya sean de revisión, operación y mantenimiento del colector y filtro de mangas a fin de mantenerle en las condiciones más favorables para la eficiencia de los procesos.
- Es necesario establecer medidas de contingencia con el propósito de evitar daños en la salud, ya sea en el caso de existir deficiencia o fallas en el sistema de recolección de polvo y evitar en lo posible afecciones tanto a la producción así como al medio ambiente.
- Hacer extensivo a la colectividad sobre los resultados de los monitoreos ambientales tales como el de Captación de Polvo en el filtro, Expulsión de Gases Residuales entre otros, realizados como parte del compromiso con la sociedad y las políticas de la compañía.



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
ANEXOS.**

Anexo 1

FUNCIONAMIENTO DEL HORNO

MES: SEPTIEMBRE DEL 2009

Día	HORAS		Produc	Rendim (T/H)	Consumo		Kcal/Kgkk	Aceite usado	Kcal/Kgkk	Residuo industrial	Kcal/Kgkk	TOTAL Kcal/Kgkk
	Funct	Produc			Caliza	Bunker	Bunker		A. usado		R. Industrial	
1	24	24	909	37,88	1454	0	0	0	0	27862	1160,1	1160,1
2	21	15	509	33,93	814	0	0	0	0	17401	1293,91	1293,91
3	24	24	944	39,33	1511	0	0	0	0	28935	1160,11	1160,11
4	24	24	995	41,46	1592	0	0	0	0	31228	1187,87	1187,87
5	24	24	965	40,21	1544	0	0	0	0	30286	1187,86	1187,86
6	24	24	894	37,25	1430	0	0	0	0	28058	1187,87	1187,87
7	18	17	706	41,53	1130	0	0	0	0	19952	1069,62	1069,62
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1500	0	0
10	24	20	623	31,15	997	0	0	0	0	23104	1403,61	1403,61
11	23	22	955	43,41	1528	0	0	0	0	26800	1062,14	1062,14
12	24	24	1075	44,79	1720	0	0	0	0	27998	985,75	985,75
13	24	24	1026	42,75	1642	0	0	0	0	26782	987,97	987,97
14	24	23	952	41,39	1523	0	0	0	0	26802	1065,56	1065,56
15	24	24	983	40,96	1573	0	0	0	0	31663	1219,12	1219,12
16	24	24	955	39,79	1528	0	0	0	0	31115	1233,15	1233,15
17	24	24	941	39,21	1506	0	0	0	0	27494	1105,85	1105,85
18	24	24	911	37,96	1458	0	0	0	0	26618	1105,87	1105,87
19	24	24	919	38,29	1470	0	0	0	0	26851	1105,84	1105,84
20	24	24	919	38,29	1470	0	0	0	0	26851	1105,84	1105,84
21	24	24	853	35,54	1365	0	0	0	0	26217	1163,28	1163,28
22	24	24	869	36,21	1390	0	0	0	0	25396	1106,1	1106,1
23	24	24	870	36,25	1392	0	0	0	0	25425	1106,9	1106,9
24	24	24	965	40,21	1544	0	0	0	0	29195	1145,06	1145,06
25	24	24	983	40,96	1573	0	0	0	0	29740	1145,08	1145,08
26	24	24	981	40,88	1569	0	0	0	0	29679	1145,06	1145,06
27	24	24	974	40,58	1559	0	0	0	0	29468	1145,09	1145,09
28	24	24	981	40,88	1569	0	0	636	23,86	27364	1055,75	1079,61
29	24	24	966	40,25	1546	0	0	636	24,23	25154	985,55	1009,78
30	24	24	956	39,83	1529	0	0	212	8,16	23952	948,27	956,43
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	667	649	25579	39,41	40926			1484	2,14	758890	1122,91	1125,04



BIBLIOGRAFIA

[1] ASOCEM, Asociación de Productores de Cemento (febrero, 2005). IX Simposium de Tecnología en la Industria del Cemento. "Ahorro de energía en la Molienda". Ing. Jorge Acosta. Cementos Lima – Perú.

[2] Duda, Walter H. (1977). Manual Tecnológico del cemento, Editores Técnicos Asociados S.A, Barcelona-España

[3] Gomá, F. (1979). El cemento Pórtland y otros aglomerantes. Editores Técnicos Asociados S.A, Barcelona-España.

[4] Labahn y Kohlhaas. (1985). Prontuario del cemento. Editores Técnicos Asociados S.A (5ª edición Española) , Barcelona - España.

[5] Rabilero, Antonio. (1999). Manual de procedimientos para el uso de las puzolanas en la producción de cemento. Compañía Industrias Guapán S.A.

[6] Rabilero, Antonio. (1999). Propuesta de ensayo de molturabilidad. Compañía Industrias Guapan S.A.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TEMA: "ESTUDIO DEL PROCESO DE RECOLECCION DE POLVO EN EL F
[7] Sánchez de Guzmán, Diego. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Biblioteca de la Construcción. (5ª edición). Bogotá-Colombia.

[8] Fuller Co., Manual de operación del Horno de 1.100 TMD

[9] Polysius Co. Manual de operación del enfriador

[10] Intensive Co. Manual de operación del colector de mangas del sistema de enfriamiento de clinker.