



**Republican de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Facultad de Ingeniería Mecánica.**

Trabajo de Diploma



**Enfriamiento por Agua como vía de aumentar la
Eficiencia en la Molienda de Cemento Tipo-1 en la
Empresa “Cementos Cienfuegos S.A”**

Autor: José Manuel Hermo Corrales.

**Tutores: Ing. Pavel Sagastume Gutiérrez.
Consultante Dr. José P. Monteagudo Yanes.**

Ciudad de Cienfuegos. Cuba 2014

Año del 56 Aniversario del Triunfo de la Revolución.



Facultad de Ingeniería Mecánica.

Declaracion de Autoria

Por este medio hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodeiguez”, como parte de la culminación de los estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica, autorizando además que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial o total; y por tanto no podrá ser presentado en eventos, ni publicado sin la aprobación de la institución.

Nombre y Apellidos del Autor. Firma

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Informacion Cientifico Tecnico
Nombre yApellidos. Firma

Vise Decano
Nombre y Apellidos. Firma

Firma del Tutor

Pensamiento

Pensamiento

“Todo y cada uno de nosotros paga puntualmente su cuota de sacrificio consciente de recibir el premio de la satisfacción del deber cumplido, conscientes de avanzar con todos hacia el Hombre nuevo que se vislumbra en el horizonte”.

Ernesto “Che” Guevara.

Dedicatoria

Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a todas las personas que me han brindado su amor, respeto y cariño especialmente:

A mis padres, mi hija y hermanos quienes siempre me han motivado.

A mis compañeros de aula gracias por su solidaridad.

Agradecimientos

Agradecimientos

La gratitud es el más legítimo pago al esfuerzo ajeno, es reconocer que todo lo que somos es la suma del sudor de los demás, es tener conciencia de que un hombre solo no vale nada y que la dependencia humana, además de obligada es hermosa.

Por eso quiero dejar constancia de mi agradecimiento a:

Mis tutores Ing. Pavel Sagastume Gutiérrez y al Ing. Mario Moreira Quiñones por su esfuerzo y dedicación para la realización de este trabajo.

Mis familiares por ayudarme en cada momento que ha sido necesario.

Mis amigos y compañeros de aula por su apoyo durante el transcurso de mis estudios.

A todas las personas que de una forma u otra han tenido que ver con la realización de este sueño.

Resumen

RESUMEN:

El presente trabajo está relacionado con la instalación de un sistema de inyección de agua al molino # 1 de la empresa Cementos Cienfuegos S.A. El objetivo fundamental es controlar la temperatura del cemento dentro del molino y prevenir la deshidratación del yeso. Además de hacer una evaluación de la eficiencia del sistema después de ser aplicado el nuevo sistema. En esta planta se presentan problemas desde el punto de vista energético y económico, en el cual al no poseer un sistema de enfriamiento adecuado la molienda es insuficiente, al igual que la calidad del cemento. Se instalara dicho sistema con todas las normas establecidas para la molienda del cemento con molino de bolas, solucionándose los problemas anteriormente mencionados.

Índice

INDICE	
INTRODUCCION:	1
CAPITULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA.	4
1.1 Descripción de la Empresa de Cementos Cienfuegos S.A.	4
1.2 Misión, Objetivos Generales de la Empresa y análisis de la inserción de la Planta de Producción dentro de ellos.	6
1.3 Configuración tecnológica de la planta, macroestructura, descripción del proceso, diagramas de bloques y flujo del proceso.	7
1.3.1 Preparación de Materias Primas.	7
1.3.2 Dosificación y molienda de crudo.	9
1.3.3 Piroproceso.	11
1.3.4 Área Clinker- Cemento.	13
1.4 Generalidades de los sistemas de enfriamientos en la industria del cemento.	15
1.5 Posibilidades de Enfriamiento del Cemento.	15
1.6 Métodos de enfriamiento durante la molienda del cemento.	17
1.6.1 Ventilación.	17
1.6.1.1 Límites fijados por velocidad del aire y por el tamaño del molino.	17
1.6.1.2 Aspectos de Desempolvamiento.	19
1.6.2 Por inyección de agua.	21
1.6.2.1 Técnicas de Inyección de agua.	21
1.6.2.2 Control de la inyección de agua.	24
1.6.2.3 Cantidad de flujo en la inyección de agua.	25
1.6.2.4 Efectos de la Inyección de agua.	26
1.6.3 Enfriamiento del Cemento Fuera del Molino.	27
1.6.3.1 Enfriamiento en el Separador.	27
1.6.3.2 Enfriadores de Cemento.	29
1.7 Conclusiones Parciales.	32
CAPITULO II: METODOLOGIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EL MOLINO # 1(561-MB1) DE CEMENTO.	33
2.1 Calor a la entrada del molino.	34
2.2 Calor a la salida del molino.	35
2.2.1 Perdidas de calor por radiación y convección.	35
2.2.2 Salida de calor a través del aire de ventilación.	36
2.3 Determinación de la tasa de inyección de agua.	37
2.4 Conclusiones Parciales.	37

CAPITULO III: APLICACION DE LA METODOLOGIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EL MOLINO # 1(561-MB1) DE CEMENTO..... 39

3.1 Datos reales para el desarrollo de la metodología del sistema de enfriamiento..... 39

3.2 Determinación las pérdidas de calor en la entrada del molino..... 40

3.3 Determinación de las pérdidas de calor a la salida del molino..... 40

3.3.1 Determinación de las pérdidas de calor por radiación y convección. 41

3.3.2 Salida de calor a través del aire de ventilación. 41

3.4 Determinación de la tasa de inyección de agua a utilizar. 41

3.5 Calculo de los parámetros fundamentales del Sistema de Enfriamiento. 42

3.5.1 Datos de la bomba para el sistema..... 43

3.5.2 Cálculo del sistema según la bomba seleccionada. 43

3.5.2.1 Cálculo de longitud de los tramos rectos de la tubería. 43

3.5.2.2 Cálculo de la velocidad a la salida de la boquilla de la lanza. 44

3.5.2.3 Cálculo de las perdidas friccionarías. 44

3.5.2.4 Cálculo de las pérdidas en los tramos rectos de la tubería. 45

3.5.2.5 Cálculo de las pérdidas en accesorios en la succión..... 46

3.5.2.6 Cálculo de las pérdidas en accesorios en la descarga. 46

3.5.2.7 Cálculo de la caída de presión del sistema..... 47

3.5.2.8 Cálculo de la cavitación de la bomba. 47

3.6 Conclusiones Parciales..... 49

CAPITULO IV: VALORACION TECNICO – ECONOMICO DE LOS RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL MOLINO # 1 (561-MB1) DE CEMENTO. 51

4.1 Relación y costos de los materiales empleados. 51

4.2 Calculo de mano de obra para el montaje. 52

4.1.1 Cálculo del ahorro de dinero por concepto de rendimiento del molino..... 52

4.3 Conclusiones Parciales..... 54

Recomendaciones

Bibliografía

Introducción

INTRODUCCION:

La Empresa de Cemento Cienfuegos S.A dedicada a la fabricación de cemento y Clinker presentaba problemas con la calidad del cemento tipo 1, debido a las altas temperaturas a la salida del producto final, provocando un falso fraguado, perdidas de resistencia, problemas asociados al manejo y almacenamiento por la formación de grumos. Dicha empresa y su colectivo técnico se dio a la tarea de restablecer un sistema de inyección de agua para aumentar la eficiencia. Esta situación motivo retomar la metodología de cálculo para un mejoramiento absoluto en la molienda, constituyendo el **Objetivo de Estudio** del presente **Trabajo de Diploma**.

HIPOTESIS:

La determinación de los parámetros de eficiencia de la molienda en la producción de cemento tipo 1 aplicando el sistema de enfriamiento por inyección de agua.

OBJETIVO GENERAL:

Hacer uso de la metodología y cálculo de las tasas de ventilación y de inyección de agua al molino # 1 para lograr una mayor eficiencia en la molienda.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Profundizar en las características de los sistemas de enfriamientos en la industria del cemento:

1. Búsqueda bibliográfica de las características generales de los sistemas de enfriamiento por agua.
2. Describir la metodología general existente en la literatura especializada para el cálculo de las tasas de inyección de agua.
3. Aplicar la metodología de cálculo para las tasas de inyección de agua.
4. Comparar los factores de eficiencia antes y después de ser instalado el sistema de enfriamiento por agua.

Estructura de la Tesis.

Esta tesis se encuentra estructurada en cuatro capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

Capítulo II: Metodología de cálculo para el sistema de enfriamiento por agua para el molino # 1 de cemento.

Capítulo III: Aplicación de la metodología de cálculo para el sistema de enfriamiento por agua para el molino # 1 de cemento.

Capítulo IV: Valoración técnico-económico de los resultados de la eficiencia del molino # 1.

Capítulo I

CAPITULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA.

1.1 Descripción de la Empresa de Cementos Cienfuegos S.A.

Cementos Cienfuegos SA es una empresa mixta perteneciente al Ministerio de la Industria Básica, destinada a la producción y comercialización de Clinker.

Se ubica en el Municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos. Se evidencia acciones transformadoras del hombre, fundamentalmente por la agricultura, la extracción de minerales y diferentes tipos de construcciones.

Se encuentra entre las empresas que con sus inversiones mejoran las condiciones medioambientales en el territorio.

Esta importante instalación industrial, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

- Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros.
- Al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua.
- Al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico
- Al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, encontrándose ésta aproximadamente a 14 Km de la fábrica.

En la constitución geológica del lugar donde se encuentra la fábrica se observa la presencia, de manera predominante, de rocas carbonatadas de la Formación Cantabria, compuesta por margas de color cremoso amarillento, calizas, calcarenitas, conglomerados. Donde tanto las margas como las calizas alternan en transiciones litológicas paulatinas, de Edad Cretácico Superior Maestrichtiano, con espesores variables entre 10 y 800 m.

El relieve del área está formado por una extensa llanura de origen fluvial, asociada al río Caunao, donde además se observan manifestaciones acumulativas

y ondulaciones con alturas variables desde 60 hasta 100 m sobre el nivel medio del mar.

Los suelos predominantes en el área son del tipo pardo, con carbonatos.

La instalación se localiza en los límites de las cuencas subterráneas, Cienfuegos y Cumanayagua, estas cuencas tienen una profundidad de las aguas entre 5 a 10 m, pudiendo oscilar hasta 2 m. En ambas cuencas existen reservas de agua subterránea.

Desde el punto de vista climático, la fábrica se encuentra en una zona tropical poco húmeda de valle, la cual se caracteriza por ser caliente y lluviosa, más seca en los meses de Noviembre a Abril y húmeda de Mayo a Octubre.

La zona es afectada por los sistemas de vientos locales, como son las brisas de valle y una débil influencia de la brisa marina, los vientos de mayor persistencia son los Alisios con componente ENE, predominante en el área de interés.

Toda el área es sensible de ser afectada por la trayectoria de huracanes, fundamentalmente en el mes de Octubre.

Los factores climatológicos inciden en el comportamiento de la distribución de las emisiones a la atmósfera, en particular por las emisiones de gases y partículas de polvo que genera el proceso.

La flora del territorio está compuesta por residuos de bosque semicaducifolio sobre caliza degradado, cultivos agrícolas, áreas de pastos y residuos de palmares, siendo además, característico, que aparezcan árboles frutales y maderables en grupos o individuos aislados en casi todo el territorio.

El entorno socioeconómico de la fábrica se caracteriza por la presencia, en primer lugar, de un sistema de asentamientos, desarrollado sobre la base de la presencia de núcleos, tanto urbanos, como rurales, así como la existencia, de pequeños núcleos de población dispersa. La población residente, posee en la zona varias

fuentes de empleo, destacándose las actividades, agrícolas, pecuarias, industriales, científico - educativas, turísticas y sociales.

1.2 Misión, Objetivos Generales de la Empresa y análisis de la inserción de la Planta de Producción dentro de ellos.

Cementos Cienfuegos S.A. tiene como misión modernización, rehabilitación, optimización, operación, mantenimiento, ampliación de la capacidad y explotación de la Planta, la explotación, extracción, transporte y proceso industrial de los minerales de calizas, margas, tobas, limonitas y areniscas ubicados en los yacimientos autorizados en las concesiones mineras que se transferirán o que posteriormente se otorguen, así como la producción, exportación almacenamiento, transporte terrestre y marítimo, distribución, comercialización de Clinker, cemento, aditivos de cemento y modificantes especiales de cemento.

Al mismo tiempo cuenta con una estrategia de “Gerencia del cambio”, dirigida a los siguientes objetivos generales:

1. Producir con calidad para ganar el mercado,
2. La rentabilidad con la mejora de los procesos,
3. Trabajo en equipo,
4. Elevar la cultura empresarial recuperando la confianza de los colaboradores.

Todo lo anterior ha permitido contar con una estrategia que cubre cuatro elementos vitales: mercado, financiero, producto y personal.

En todos los elementos que conforman la filosofía empresarial se establece que la calidad y la satisfacción de los clientes es su razón de ser, la calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado de un esfuerzo de la inteligencia.

En este sentido se establece como Visión: Ser una empresa de referencia fabricante de cemento en Cuba, con gestión de excelencia, rentable, con un equipo de trabajo comprometido en todas las actividades que realiza, protegiendo

su personal y el medio ambiente, satisfaciendo las expectativas de sus clientes y sus accionistas.

1.3 Configuración tecnológica de la planta, macroestructura, descripción del proceso, diagramas de bloques y flujo del proceso.

1.3.1 Preparación de Materias Primas.

La caliza, marga, zeolita y el perdigón son transportados por camiones desde las canteras actuales hasta el secador ubicado en la nueva instalación. Todos los materiales (caliza, caliza margosa, marga y perdigón) deberán ser secados y triturados en el área de la trituradora primaria existente. La criba de alta eficiencia 221-CT1 se encuentra instalada antes de la tolva de alimentación 211-TL1 de la trituradora primaria para separar los finos (granulometría menor que 75 mm), que serán alimentados directamente al secador rotatorio ubicado en esta área.

Las materias primas trituradas, son conducidas por la banda transportadora hasta los seis silos de caliza (2 por línea). En el caso de la marga y el perdigón, toba y feldespato, son transportados inicialmente hasta la fábrica por medio de las bandas para caliza y conducidos a la nave para materiales secos por medio de la banda transportadora 291-BTA de 500 T/h. Una vez dispuestos en la nave de materia prima seca, la marga y el hierro son transportados por las bandas 311-BT1 – 311-BT6 hacia las tolvas de almacenaje intermedio para la dosificación de crudo.

El desempolvado en el área de trituración se realiza mediante 2 separadores ciclónicos 291-VR1 y VR2, a la salida del secador se encuentra instalado el filtro de mangas (casa de bolsas) 221-FT1 y en cada torre de transferencia de las bandas transportadoras hasta la fábrica se instalaron filtros de mangas con niveles de emisión máxima de 20 mg/m³N de polvo.

Equipos fundamentales

- Criba de alta eficiencia de 500 t/h
- Trituradora de martillos de doble rotor. Dimensiones: 2000 x 2000 mm, Capacidad: 600 T/h
- Desempolvado: Batería de 2 ciclones en paralelo. Filtros de mangas.
 - Nivel de emisión de polvo de los ciclones: 20 mg/m³N Flujo de aire para casa de bolsa del secador: 371 000 m³/h
 - Nivel de emisión de polvo: 50 mg/m³N
- Secador de tambor rotatorio. Dimensiones: Diámetro: 5 m. Longitud: 34 m.
- Capacidad: Perdigón: 250 T/h, Marga: 300 T/h.



Figura 1.1 Trituración y secado de la materia prima.



Figura 1.2 Transporte de la materia prima.

1.3.2 Dosificación y molienda de crudo.

La caliza desde las instalaciones del secador se envía a los silos 293-3S2; 293-3S1 mediante las bandas transportadoras 291-BT7, 291-BT8 y 291-BT9. La marga, el perdigón y la zeolita se envían al almacén mediante las bandas 291-BT7, 291-BTA y 291-BTD.

Mediante las bandas 331-BT1, 311-BT2, 311-BT3, 311-BT4, 311-BT65 y 311-BT6 se envía la marga y el perdigón a las tolvas 313-S1, S2; las que son dosificadas y conducidos juntos a la caliza hasta la estación de molienda de crudo.

La materia prima dosificada, mediante la banda 333-BT13 se envía al triturador secador de impacto (333-TB1), el grueso pasa al molino y el polvo de arrastre para al separador 333-SP1, el grueso pasa al el molino de bolas (361-MB1) y el fino pasa a la batería de ciclones 363-CI1; CI2, CI3, CI4, CI5, el materia separado pasa al sinfín 393-GU1 y el aire pasa a la torre estabilizadora 423-TA1 donde se enfría y se envía al Electrofiltros 423-PE1, el material separado se incorpora mediante los sinfines 423-GU8 al elevador 423-TY5 de ahí en cascada al elevador

433-EC1, donde se envía mediante los sinfines 433-AZ3 y 433-AZ4 a la salida del ciclón 433-Z13 situado en el precalentador 443-PR1.

Posteriormente, por descarga neumática mediante gases calientes provenientes del horno el producto de la molienda, se conduce al sistema de separación (363-SP1), retornando el material grueso al molino y el de finura adecuada pasa a la batería de ciclones separadores 363-CI7, CI8, CI9, CIA, CIB, CIC donde se separa la harina cruda como producto terminado, los gases de arrastre con polvo pasan a la torre estabilizadora siguiendo el mismo recorrido que el anterior. Por medio del elevador de cangilones 393-EC1 la harina cruda es transportada a los silos de mezcla u homogeneización 393-3S2, 3S1, que en su parte inferior son silos de almacenaje. A la entrada del elevador de cangilones se encuentra instalado el toma muestra automático 393-MU1 para la determinación de la composición química de la harina antes de los silos.



Figura 1.3 Dosificación y molienda de crudo.

1.3.3 Piroproceso.

Combinados en unas determinadas proporciones, los Óxidos de Calcio, silicio, aluminio y hierro son llevados a un horno rotatorio, en el cual avanza en contracorriente con los gases producidos por la combustión de carbón, petcoke o combinación de ambos, y crudo cubano.

El calor suministrado por los gases de combustión provoca la descarbonatación del Carbonato de Calcio, que así se descompone en CaO y CO_2 , la pérdida de agua de constitución de la arcilla que proporciona la alúmina y sílice, la fundición de óxidos de hierro y la elevación de temperaturas hasta los 1 700°C aproximadamente. Alcanzadas estas condiciones los óxidos se combinan en distintas formas entre sí, con lo cual se obtiene el Clinker, como producto fundamental a la salida del horno.

De los silos de almacenaje, los elevadores de cangilones 423-TY5 y 433-EC1 conducen la harina homogeneizada a la parte superior del precalentador, donde comienza a ponerse en contacto con los gases calientes provenientes de la combustión (petcoke) en los ciclones 443-ZI1, ZI2, ZI3, y ZI4, ZI5, terminando su cocción en el en el horno rotatorio 463-HR1 donde ocurre la clinkerización,

La fuente de calor del horno es el petcoke, durante el proceso normal y durante la arrancada se utiliza el diesel para el precalentamiento por un tiempo de 8 – 10 horas. El producto que sale del horno ya es Clinker que debe ser enfriado por el enfriador de parrillas 473-EB1 que utiliza aire a temperatura ambiente y pasa por un intercambiador tipo radiador con ventiladores. .

La mezcla de aire caliente y polvo de Clinker desde la cabeza del enfriador pasa al enfriador tubular 473-EA1 donde es enfriado hasta una temperatura inferior a los 70 °C, pasando posteriormente al filtro 473-FT1 donde se separa el Clinker del aire incorporándose mediante el sinfín 493-GU9, y GUA al transportador de placa 493-TC1.

Posteriormente el Clinker es transportado por la cadena de arrastre y elevador de cangilones 493-EC1 a silos 493-3S2 y 493-3S1 y mediante la banda 493-TC2 al elevador de cangilones 492-EC1 a los silos 492-3S2 y 492-3S1.

Equipos fundamentales.

- Molino de carbón.
- Precalentador.
- Horno rotatorio.
- Ventilador de tiro inducido
- Analizadores de gases del horno.
- Casa de bolsas para ventilación del molino.
- Filtros de mangas.
- Electrofiltros.



Precalentamiento de la harina



Horneada producción de Clinker



Enfriamiento del Clinker

Figura 1.3 Piroproceso.

1.3.4 Área Clinker- Cemento.

Al final del proceso, el Clinker producido en el horno se muele y mezcla, normalmente en molinos de bola, junto con yeso. También es usual agregar otros componentes a la mezcla, tales como zeolita, cenizas, consideradas como adiciones activas, o calizas.

De los silos 492-3S2 y 492-3S1 el Clinker se extrae mediante las des ensiladora 531-RE1 (con sistema de desempolvado) a la banda 531-BT1 donde se dosifica los aditivos y se envía a los molino de cemento 561-MB1 junto con yeso para su molienda y la obtención de cemento Portland gris. A la salida del molino los gruesos son nuevamente enviados al molino mediante el elevador 661-EC1 y los finos pasan a los ciclones separadores 561-MC1, los finos son enviados mediante el sinfín 561-GU1 a las tolvas 591-3B1 y de ahí a los silos de cementos mediante las bandas 591-BT1 y BT2; la mezcla de gases y polvo generado en los ciclones pasan al electrofiltro 561-PE1 donde son finalmente separados enviándose los gases a la chimenea 561-3K1 y los finos se incorporan a las tolvas 591-BT1 y BT2.

El producto final transportado a silos de almacenaje es posteriormente despachado a granel o en bolsas para medios de transporte automotor o por ferrocarril. Para el llenado de bolsas se cuenta con 3 máquinas ensacadoras

Sistemas de desempolvado fundamentales.

- Electro filtros: Sistema combinado de molino de crudo-horno y molinos de cemento.
- Filtros de mangas: Silos de homogeneización, transporte de harina, transporte de Clinker (cadenas de arrastre y elevadores), transporte de cemento, carga de cemento a granel y en bolsas, dosificación de materias primas.
- Baterías de ciclones: Enfriadores de Clinker.

Sistemas auxiliares para la producción.

- Planta de generación de vapor (caldera). Saldrá fuera de servicio al introducirse el carbón.
- Estación de compresores y sopladores para aire comprimido
- Planta de tratamiento de agua para uso industrial
- Sistema de recepción, almacenaje y trasiego de petróleo crudo nacional y fuel oíl. Se pondrá fuera de servicio al introducirse el carbón más el petcoke.



Figura 1.4 Molienda de cemento.

1.4 Generalidades de los sistemas de enfriamientos en la industria del cemento.

El calor generado en un molino de cemento se compone del calor de la molienda y del calor aportado por la masa de Clinker.

Parte de esta entrada de calor se elimina del molino por radiación y convección, y la otra parte abandona el molino con el cemento que sale del mismo. El resto debe ser eliminado a través de la ventilación y por medio de enfriamiento interno o externo del cemento.

Al aumentar la potencia de operación del molino aumenta la producción de este; el diámetro del molino, el corte transversal interno y la superficie de la corteza, sin embargo, no aumenta al mismo ritmo; es decir, en los molinos grandes a veces no resulta posible eliminar el calor únicamente por ventilación, sino que se requieren sistemas de enfriamiento adicionales.

La ventilación del molino y el sistema de enfriamiento del cemento más relevante, sea adentro o fuera del molino tiene como objetivo principal evitar una temperatura demasiado elevada del cemento. Las temperaturas altas del cemento causan frecuentemente una eficiencia de molienda pobre, la misma es debida a la formación de adherencias en los elementos molturadores y en el blindaje del molino, a la formación de aglomeraciones y al comportamiento pobre del flujo del cemento.

Además, la ventilación inapropiada del molino o insuficiente enfriamiento del cemento dan lugar a problemas con la calidad del cemento (deshidratación del yeso, fraguado falso, pérdida de fuerzas, etc.) o con su manejo y almacenamiento (formación de grumos), debido a la elevada temperatura del cemento.

1.5 Posibilidades de Enfriamiento del Cemento.

Los molinos de **circuito abierto**, el cemento puede ser enfriado únicamente dentro del molino a través de la ventilación del mismo o de inyección de agua. Con frecuencia se instalan enfriadores de cemento externos después del molino, con el fin de disminuir la temperatura del cemento o con el fin de mantener temperaturas aceptables para la planta de ensacado.

Los molinos pequeños fueron con frecuencia enfriados por medio de agua dispersada sobre la parte externa de la corteza del molino. Este sistema ya no se aplica actualmente, debido a su alto requerimiento en volumen de agua y a que causa formación de adherencias en todos lados.

Los molinos de **circuito cerrado** ofrecen la posibilidad de enfriar el cemento dentro del circuito mismo (fig.1.5). El enfriamiento se lleva a cabo ya sea en el separador (por medio de aire o de agua) o en aparatos para enfriamiento de cemento instalados antes o después del separador. En algunos casos resulta posible la combinación de los métodos mencionados, dependiendo de si se desea una reducción de la temperatura del cemento en el molino.

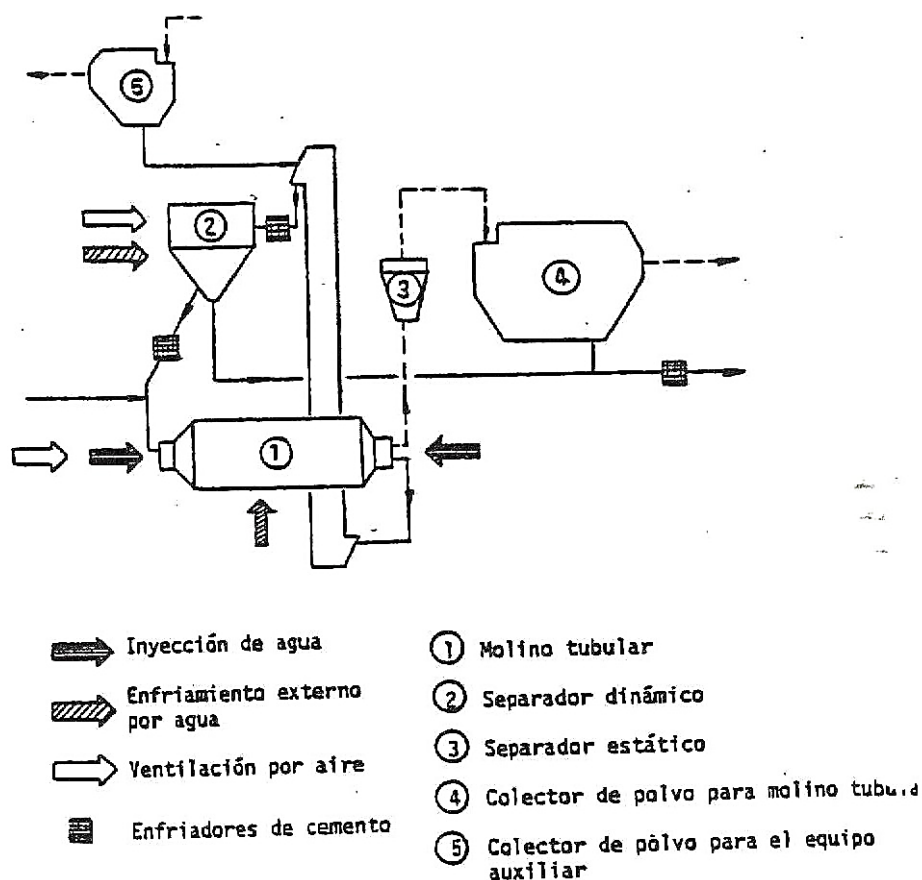


Fig.1.5 Posibilidades de enfriamiento del cemento.

1.6 Métodos de enfriamiento durante la molienda del cemento.

1.6.1 Ventilación.

El aire de ventilación del molino puede desempolvarse en un filtro electrostático o un filtro de mangas. La experiencia de operación muestra que una ventilación inadecuada o una instalación de desempolvamiento inapropiada pueden provocar problemas serios en la operación del molino y a la eficiencia en la separación de polvo.

La tasa óptima de ventilación depende principalmente de los criterios siguientes:

- Velocidad máxima del aire dentro del molino.
- Calor aportado por el Clinker y el calor producido por la molienda.
- Punto de rocío mínimo y máximo determinados por el equipo de desempolvamiento.

1.6.1.1 Límites fijados por velocidad del aire y por el tamaño del molino.

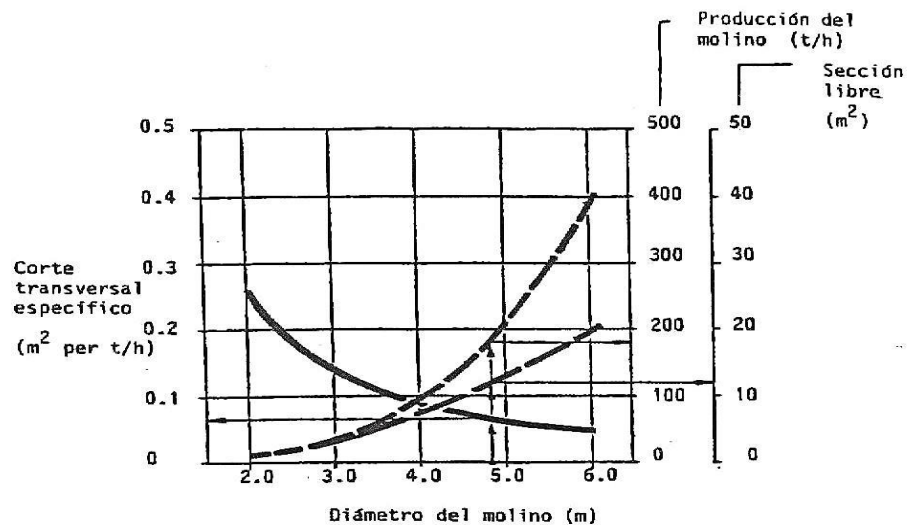
La eficiencia óptima de la molienda depende, en gran parte, de la velocidad del aire que circula a través del molino. La velocidad de aire debe mantenerse dentro de ciertos límites para evitar arrastre de partículas gruesas fuera del molino. Tomando en consideración la sección libre por encima de la carga de bolas, puede aceptarse las siguientes velocidades de aire:

- Molino de circuito cerrado 1.5 – 2.0 m/s
- Molino de circuito abierto 1.0 – 1.5 m/s

Las velocidades más altas son válidas para un sistema de desempolvamiento provisto con un separador estático. En este caso las partículas gruesas son alimentadas al elevador de cagilones y el polvo extraído del colector de polvo puede ser añadido directamente al producto final.

La ventilación máxima posible limitada, aparte de la velocidad del aire dentro del molino, por el corte transversal de este. Con un aumento del diámetro del molino el corte del molino no aumenta en la misma proporción que la producción del molino, es decir los molinos grandes tienen relacionado a la producción de 1kg de

cemento un corte transversal mucho más pequeño que el de los molinos de menor tamaño (fig.1.6).



1) Supuesto:

- Relación entre longitud y diámetro : 3.2 : 1
- Grado de llenado : 30 %
- Consumo específico de energía : 32 kWh/t
- Velocidad del molino : 74 % n_{crit}

Fig.1.6 Producción del molino y corte transversal como función del diámetro del molino.

En la fig1.7 se representa gráficamente los límites de la cantidad de aire de ventilación en función del diámetro del molino. Para simplificar una eventual comparación se relaciona la cantidad de aire por kilogramo de cemento.

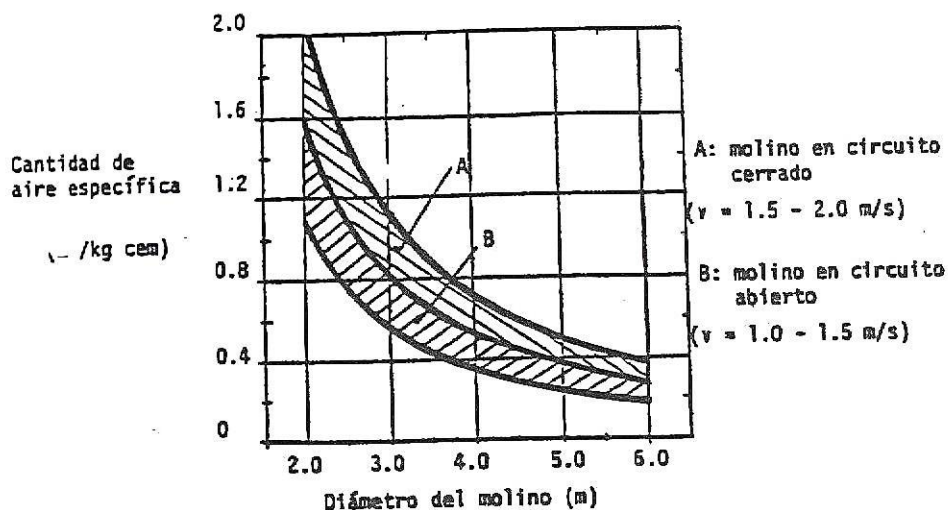


Fig.1.7 Cantidad de aire de ventilación en función del diámetro del molino.

Se observa que la cantidad de aire disponible para la ventilación del molino decrece considerablemente al aumentar el diámetro del molino. Sin embargo no es recomendable ventilar el molino con la mayor cantidad de aire posible, sin que esta deba ajustarse a la temperatura del Clinker que prevalece y la temperatura deseada del cemento.

1.6.1.2 Aspectos de Desempolvamiento.

La determinación de la cantidad óptima de aire para la ventilación de los molinos depende directamente de la instalación del equipo de desempolvamiento, es decir un aumento de la ventilación en relación con un coayudante de molturación aporta ventajas solamente si dicha instalación de desempolvamiento está adaptada a las nuevas condiciones.

Para el desempolvamiento del molino de cemento entran en consideración los filtros electrostáticos. Bajo condiciones normales de operación el rendimiento de estos filtros puede mantenerse sin mayores problemas. Sin embargo, el rendimiento disminuye fuertemente si hay que reducir la inyección de agua a causa de bajas temperaturas del Clinker. En muchos casos las emisiones incontroladas de polvo causadas en estas circunstancias ya no están permitidas por las legislaciones actuales, y en consecuencia se han utilizado los filtros de

mangas. Por su parte los filtros de mangas son sensibles a las temperaturas de rocío elevadas lo que puede afectar el rendimiento del desempolvamiento.

La selección del sistema de desempolvamiento de un molino de cemento debe, por lo tanto, efectuarse con mucho cuidado. Una atención especial requiere la sensibilidad a los cambios del punto de rocío (máx. / min de la inyección de agua). Además deben tenerse en cuenta los costos de inversión y de operación del sistema de desempolvamiento.

Si se inyecta agua en el molino el punto de rocío correspondiente limita la cantidad de aire de salida. En caso el filtro electrostático para el desempolvamiento normal no se debe descender por debajo de un punto de rocío inferior de 50°C. Basándose en estas condiciones y tomando en consideración los límites impuestos por el tamaño del molino se calcularon las cantidades de aire de desempolvamiento específicas por kilogramo de cemento para filtro electrostático como función del diámetro del molino.

Basándose en estas consideraciones se pueden aceptar los valores de orientación siguiente a título de estimación de la ventilación de los molinos de cemento:

Diámetro del Molino	Filtro de Mangas	Filtro Electrostático
<3.5m	0.90m ³ /kg	0.45m ³ /kg
3.5 – 6.0m	0.35 - 0.90m ³ /kg	0.20 - 0.45m ³ /kg

La comparación de los costos de inversión para los dos sistemas de filtros diferentes. En caso de grandes molinos los costos de los equipos son aproximadamente del mismo orden de magnitud para ambos sistemas. Los costos para los filtros de mangas disminuyen ligeramente al aumentar el tamaño del molino. Los filtros electrostáticos para molinos pequeños son considerablemente más caros que los de mangas en el tamaño correspondiente.

1.6.2 Por inyección de agua.

La inyección de agua se aplica principalmente a fin de controlar la temperatura del cemento dentro del molino y para prevenir la deshidratación del yeso, lo cual a su vez dependiendo del lugar donde se registre la deshidratación conduce a fraguado falso y a la formación de grumos en los silos de cemento o la pérdida de las propiedades del cemento.

El Clinker con un alto contenido de C_3O o Clinker rico en álcalis es más sensible a la inyección de agua. En este caso, el cemento debe ser enfriado por medio de enfriamiento externo. Especialmente en los molinos grandes, se inyecta agua con el propósito de eliminar la porción de calor que no puede ser disipada por ventilación ni radiación o convección.

1.6.2.1 Técnicas de Inyección de agua.

El agua puede ser inyectada al primer compartimiento y/o al segundo compartimiento, sea en co-corriente (fig.1.8) o a contracorriente (fig.1.9).

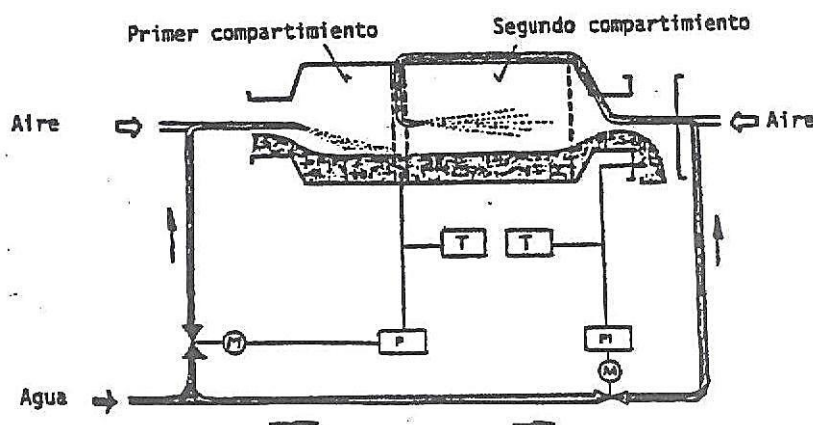


Fig.1.8 Inyección de agua a co-corriente.

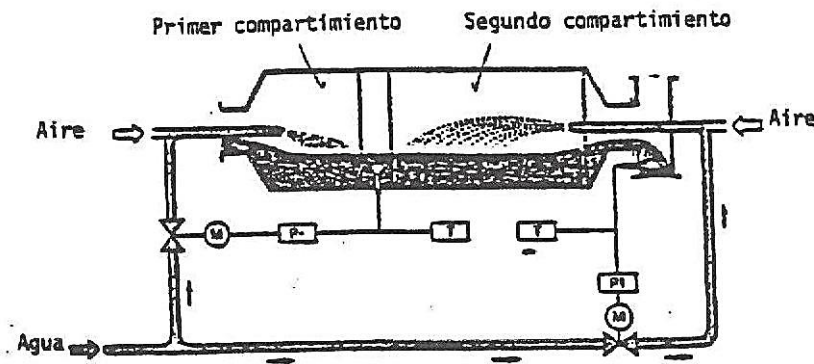


Fig.1.9 Inyección de agua a contracorriente.

La inyección de agua a co-corriente logra una disminución más constante de la temperatura del cemento a lo largo del eje del molino, es decir las temperaturas de punta, tales y como se registran con frecuencia con inyección a contracorriente, pueden ser evitadas. Sin embargo, debido a la disposición problemática de los tubos de suministro de agua a lo largo de la corteza del molino y hasta el inyector de agua, tal como exige el método de co-corriente, actualmente se prefiere la inyección a contracorriente.

Los primeros sistemas de inyección de agua fueron generalmente instalados a título de ensayo, el agua y aire requeridos se obtenían de las líneas de distribución de la planta, siendo la presión del aire entre 5 y 6 bar y la presión del agua entre 1 y 2 bar. Tanto el aire como el agua eran dispersados al molino por medio de un inyector común. Gracias a ello el agua era atomizada, y el inyector era limpiado por el aire comprimido mientras no había flujo de agua. Estos sistemas son todavía usados con éxito en varias plantas de cemento. Una desventaja de este sistema de baja presión es la posible formación de gotas de agua cuando es interrumpido el suministro de aire comprimido.

Para resolver este problema han sido diseñados nuevos sistemas de inyección de agua con una presión más alta, de 6 a 10 bares. Esta presión permite una atomización aceptable del agua, independiente del suministro de aire. Para

prevenir la formación de depósitos de polvo en el inyector de agua se introduce aire a una presión de 0.05 – 0.10 bar por un canal separado (fig.1.10).

El agua inyectada al primer compartimiento debe ser dispersada directamente sobre el Clinker o según el caso sobre las bolas molturadoras a fin de evitar que el diafragma se moje y pueda bloquearse. El tubo de inyección está fijado a la entrada del molino. En el tubo interno el agua es dirigida al compartimiento de molienda mientras que el tubo externo se usa para el aire de limpieza. Una instalación típica está representada en la (fig.1.11).

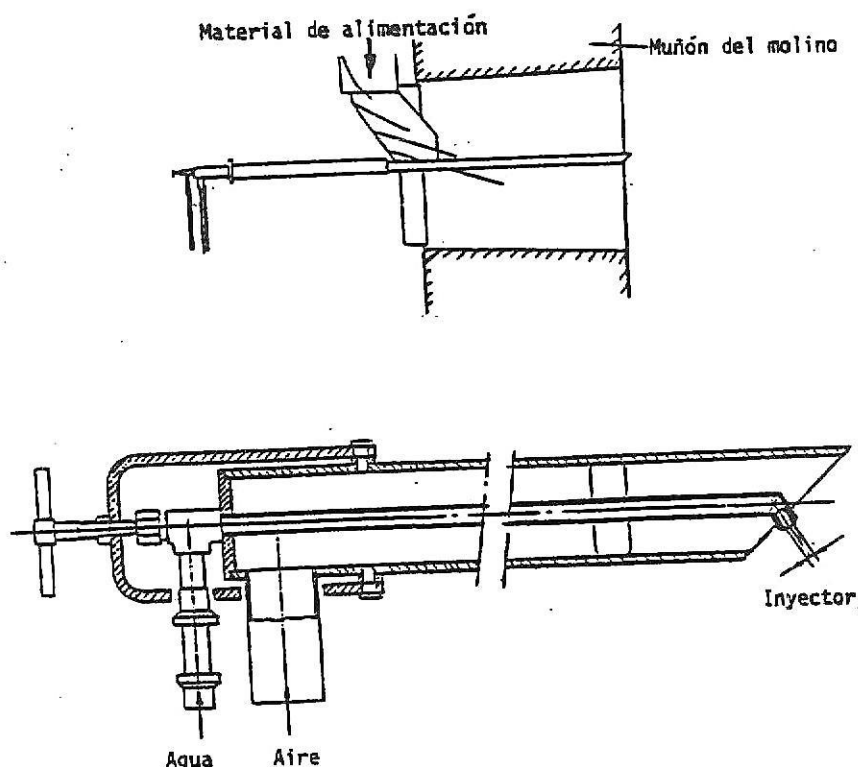


Fig.1.10 Inyección de agua al primer compartimiento.

En el segundo compartimiento debe inyectarse el agua de tal forma que las gotitas de agua no sean transportadas hacia el diafragma de salida ya que este podría en consecuencia bloquearse. El tubo de inyección de agua se fija directamente a la salida del molino y gira con el mismo (fig.1.7). El tubo de inyección debe estar provisto de una unión giratoria para evitar el goteo. El diseño del tubo, en lo que se

refiere al suministro de aire y agua, es igual al del tubo de inyección interna instalado a la entrada del molino.

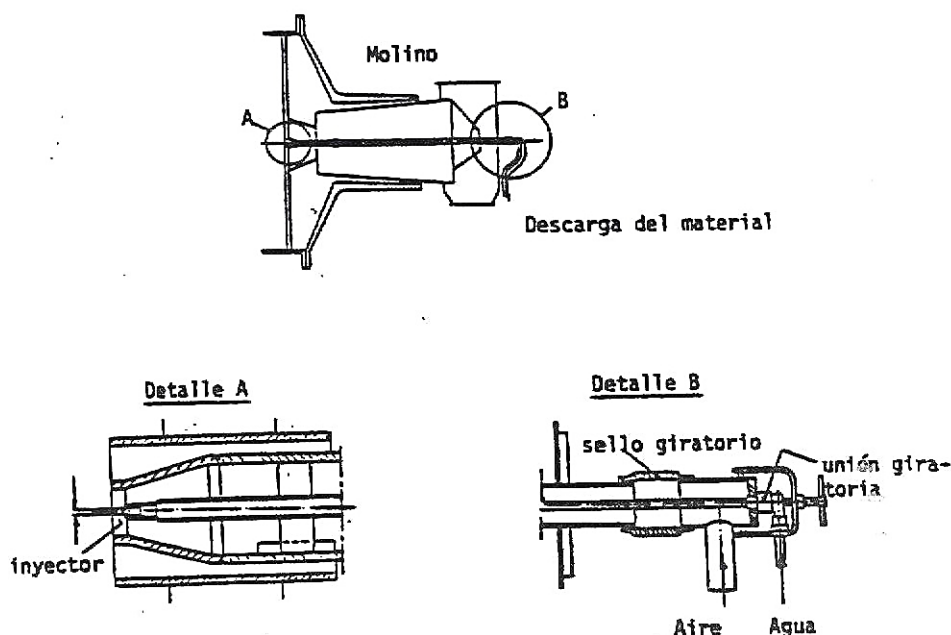


Fig.1.11 Inyección de agua al segundo compartimiento.

La experiencia ha mostrado que la cantidad de agua introducida al segundo compartimiento puede ser mantenida a una tasa constante, mientras que las diferentes temperaturas del Clinker en el primer compartimiento pueden ser reguladas ajustando el volumen del flujo de agua en consecuencia.

1.6.2.2 Control de la inyección de agua.

Con el fin de ajustar el suministro de agua a las condiciones de temperatura debe instalarse un control automático. La tarea más importante será satisfacer los requerimientos contradictorios en lo que se refiere a la calidad del cemento y a la eficiencia del desempolvamiento. Para evitar problemas de calidad del cemento deben controlarse la temperatura del cemento o en forma alternada la temperatura de aire de salida de molino. Con el propósito de alcanzar una eficiencia de desempolvamiento adecuada, en el caso del uso de un filtro electrostático podría aplicarse un control por el punto de rocío o por la intensidad de corriente (fig.1.12).

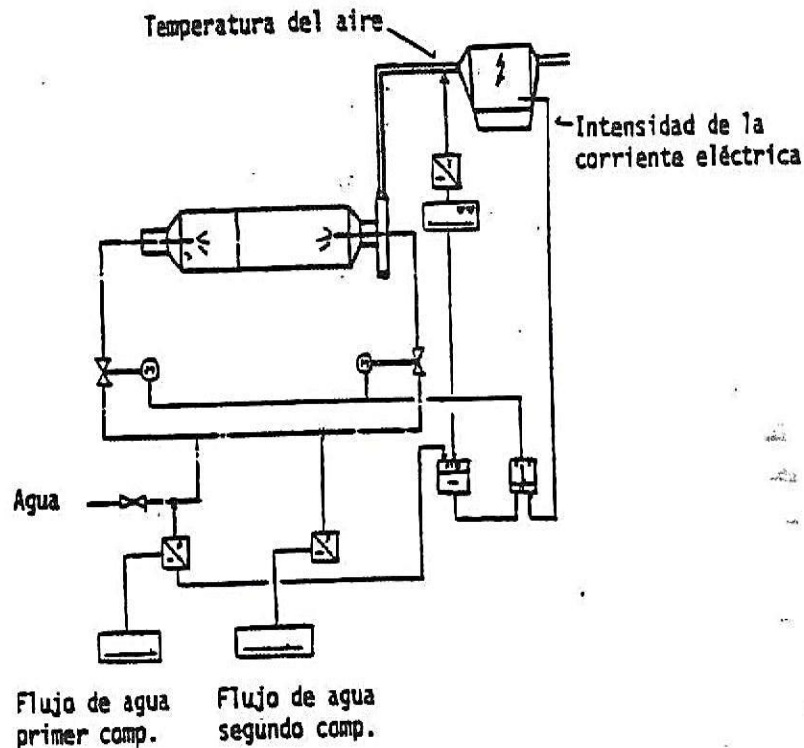


Fig.1.12 Circuito de control de la inyección de agua.

Además la inyección de agua cuenta con un sistema interlock a fin de evitar un inicio de inyección de agua bajo condiciones insatisfactorias en el sistema del molino, tales como:

- Parada del molino.
- Ventilador de aire (inyección de agua) fuera de operación.
- Temperatura del cemento bajo 95 – 100°C.

La inyección de agua debe suspenderse si se registra cualquiera de los casos mencionados durante la operación.

1.6.2.3 Cantidad de flujo en la inyección de agua.

La cantidad de agua requerida depende de varios factores, tales como la temperatura del Clinker, humedad contenida en el yeso, grado de finura del

cemento, volumen y velocidad del aire en el molino y debe ser ajustada de tal forma que satisfaga las condiciones de cada caso específico.

Dependiendo del tipo equipo de desempolvamiento, se han registrado los siguientes valores guías durante la operación:

Tipo de Desempolvamiento.	Flujo de aire de ventilación.	Flujo de agua.
Filtro de mangas	0.6-0.8m ³ /kg cemento	Max. 50g/m ³ aire
Filtro electrostático	0.2-0.4m ³ /kg cemento	1-4% de producción del molino

Para obtener valores más exactos acerca del flujo de agua y de la tasa del aire de ventilación debe establecerse un balance calorímetro del molino.

1.6.2.4 Efectos de la Inyección de agua.

El efecto del vapor de agua sobre las propiedades del cemento depende de su composición química y de su finura. Normalmente los cementos con poco aluminato y álcalis y con finura inferior a 4 000 cm³/g son poco afectados, su potencial para desarrollar resistencia no cambia.

Al contrario, los cementos con mucho aluminato (encima de 10%), muchos álcalis (< 1.0% K₂O) y una alta finura absorben hasta 1.5% del agua resultando en menores resistencias a 2 ,7 y 28 días. Además demuestran menor tiempo de fraguado, especialmente cuando el cociente álcalis/SO₃ está mucho encima de 1.

En el caso de cementos bajos en álcalis y aluminatos (p.e.0.06 Na₂O equivale 7a 8% aluminato) es importante que el yeso este lo menos hidratado posible.

Para evitar cualquier deteriorizacion del potencial del cemento por inyección de agua, se debe considerar los siguientes puntos:

- Evitar la inyección de agua en el primer compartimiento si la temperatura en el diafragma es menor de 110°C.
- La Inyección de agua en el compartimiento final debe ser ajustado así que la temperatura del cemento varía entre 115 - 130°C.
- El punto de rocío del aire a la salida del molino no debe sobrepasar 70°C. En el caso que el molino este combinado con un filtro electrostático el punto de rocío debe estar entre 60 - 70°C.

La experiencia de HAA/CT (**Holderbank Administración y Asesoría S.A, centro técnico**) es que estas recomendaciones se pueden aplicar solo a cementos con álcalis y/o aluminato. En los otros casos HAA/CT (**Holderbank Administración y Asesoría S.A, centro técnico**) recomienda probar inyección de agua a temperaturas de 10-20°C menores que arriba indicados.

En muchos casos es necesario buscar la solución por ensayos prácticos en la planta y en estrecha cooperación con el departamento químico.

1.6.3 Enfriamiento del Cemento Fuera del Molino.

1.6.3.1 Enfriamiento en el Separador.

El enfriamiento del cemento en el separador puede llevarse a cabo introduciendo aire fresco al separador o por medio de una instalación de camisas de agua alrededor del mismo.

Con una disposición de enfriamiento por aire como la mostrada en la (fig.1.13) puede reducirse la temperatura del cemento en 15 a 25 °C. Un sistema de enfriamiento por aire dentro del separador podría causar trastornos en su funcionamiento e implica muchas veces costos de operación más elevados debido a los grandes volúmenes de aire que deben ser desempolvados.

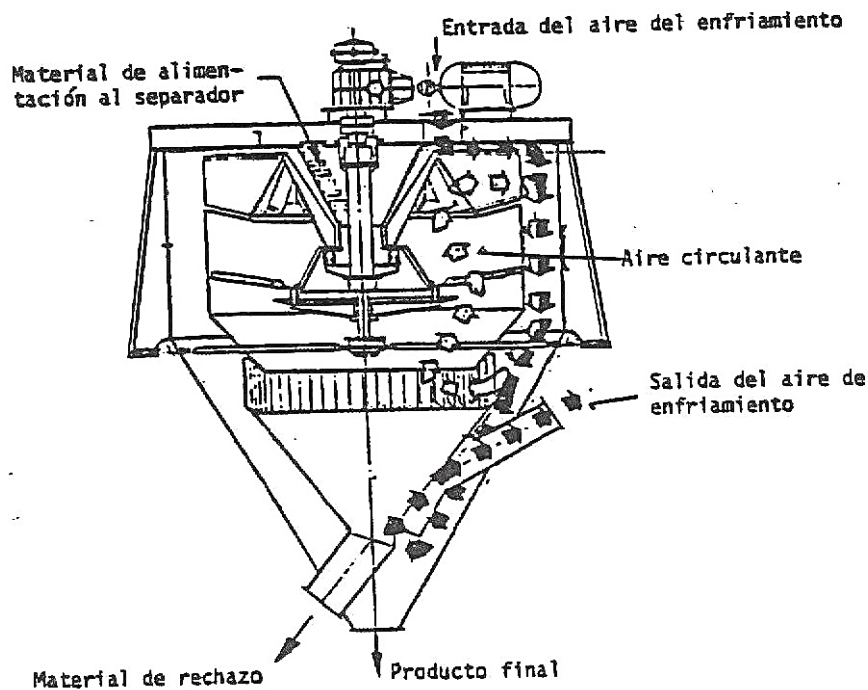


Fig.1.13 Separador con sistema de enfriamiento por aire.

El enfriamiento por agua por medio de camisas de agua cerradas dispuestas alrededor del cono separador (fig.1. 14). Con frecuencia conduce a incrustaciones en el mismo, lo que disminuye considerablemente la eficiencia del enfriamiento.

El sistema de enfriamiento desarrollado disminuye la formación de incrustaciones gracias a la dispersión directa del agua sobre el cono (fig.1.15). La temperatura del cemento puede disminuir en 30 a 40°C. Si se requiere un flujo de agua aprox. 0.2-0.3m³ por tonelada de cemento.

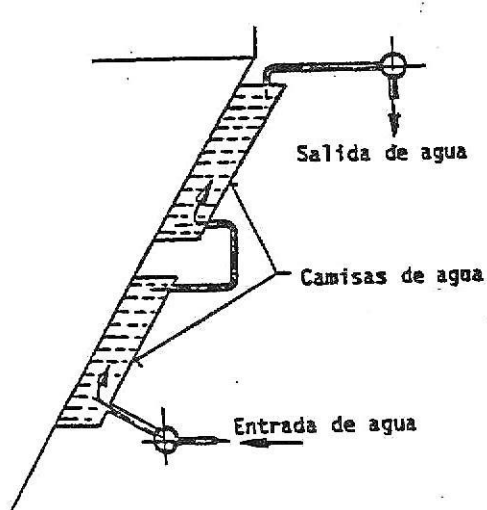


Fig.1.14 Separador con enfriamiento por camisas de agua.

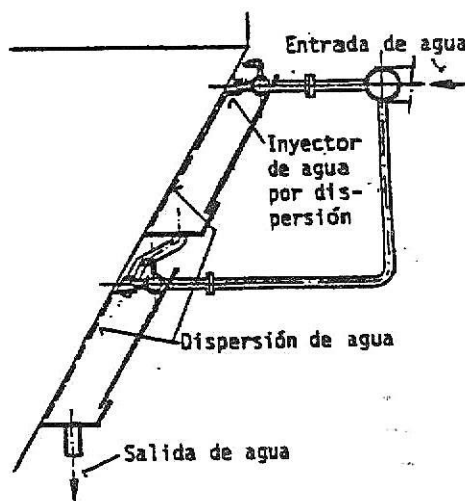


Fig.1.15 Separador por Dispersión de agua.

1.6.3.2 Enfriadores de Cemento.

Los enfriadores de cemento pueden ser instalados con el fin de enfriar sea el material de alimentación al separador, el material de rechazo o el producto final del mismo.

Los enfriadores de cemento para el producto final se instalan para reducir la temperatura del cemento, y con ello, reproducir el riesgo de formación de grumos en los silos de cemento, o para permitir un manejo fácil del producto en la planta de ensaco.

Una temperatura demasiado alta dentro del circuito de molienda solo puede ser evitada si el enfriador se instala entre el molino y el separador o entre el separador y el molino.

El enfriamiento del material de alimentación al separador puede resultar en una reducción de temperatura del material de rechazo del separador y del producto final. El enfriador debe ser diseñado de acuerdo con el factor de circulación para un flujo de material de hasta 300% de la producción del molino.

La instalación de un enfriador para el material de rechazo del separador ofrece una solución más económica. La temperatura del producto final puede ser

reducida en 10 a 20 °C, y la temperatura del rechazo en 30 a 40 %. Por lo tanto la entrada total de calor al molino puede ser sensiblemente reducida.

Los casos siguientes requieren en forma especial un aporte reducido de calor al molino:

1. Falta de inyección de agua o inyección de agua limitada debida a problemas con la calidad del cemento.
2. Producción de cementos de alta finura, donde el aporte de calor por el material de rechazo del separador es con frecuencia superior al aporte de calor del Clinker.

Los enfriadores de cemento verticales se construyen básicamente en dos versiones: enfriador tipo tornillo y el enfriador tipo fluidized bed (fig.1.16 y fig.1.17).

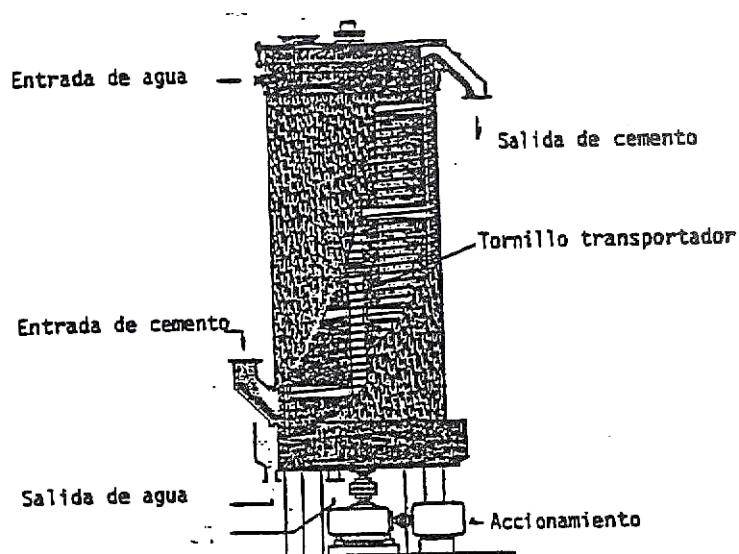


Fig.1.16 Enfriador de cemento tipo tornillo.

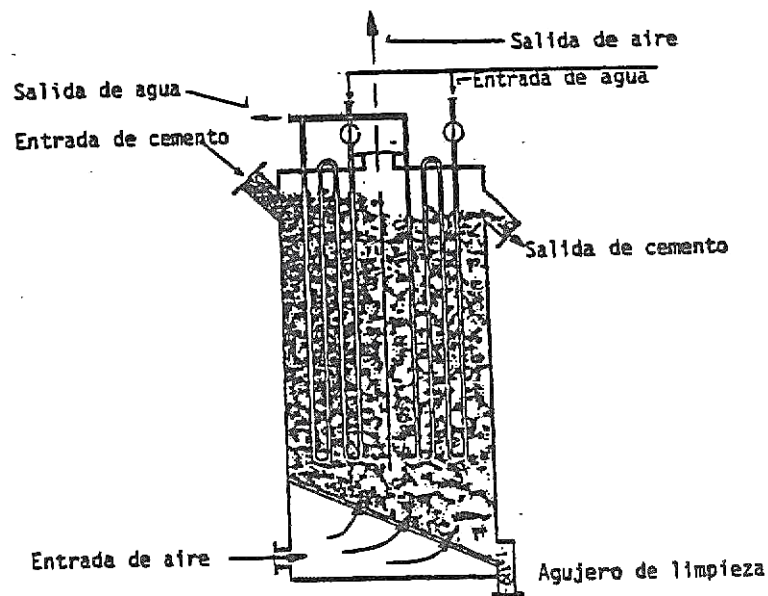


Fig.1.17 Enfriador de cemento tipo "fluidized bed".

Los enfriadores tipo tornillo el agua de enfriamiento es dirigida a la parte superior del enfriador y distribuida uniformemente para enfriar toda la superficie externa del tambor.

Los enfriadores tipo fluidized bed consisten en un grupo de tubos para enfriamiento interno por agua.

1.7 Conclusiones Parciales.

1. La literatura refiere que los tipos de molinos más usados en la industria del cemento son los tubulares de bolas.
2. La experiencia precedente muestra que el no enfriamiento provoca la deshidratación del yeso, lo cual a su vez dependiendo del lugar donde se registre la deshidratación conduce a fraguado falso y a la formación de grumos en los silos de cemento o la pérdida de las propiedades del cemento.
3. La utilización del enfriamiento se plantea que ofrece como mejoras en la calidad del cemento.

Capitulo II

CAPITULO II: METODOLOGIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EL MOLINO # 1(561-MB1) DE CEMENTO.

En el presente capítulo se describe la metodología de cálculo para determinar la cantidad de aire y agua necesaria para eliminar el calor generado por el molino, por medio del modelo calorimétrico simplificado a continuación (fig.2.1).

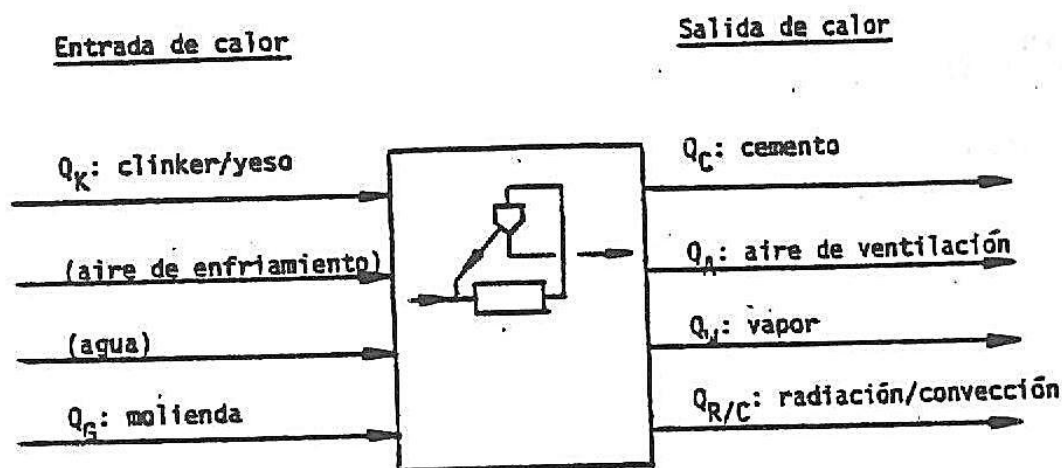


Fig.2.1 Modelo calorimétrico simplificado.

Si el balance de calor se refiere a la temperatura ambiente, no reviste importancia el aporte de calor del aire de enfriamiento ni del agua inyectada. Para la producción de cemento normal (33kw/t-3000cm²/g) el límite del sistema del balance de calor puede ser fijado a la entrada de Clinker alimentada al molino y a la salida del producto final (fig.2.1).

El modelo calorimétrico expuesto toma en consideración que la temperatura del producto final después del separador esta debajo de un límite dado. Sin embargo, puede suceder que temperaturas extremas que sean más altas que la temperatura del producto final pueden producirse dentro del sistema y conducir consecuentemente a efectos negativos en lo que se refiere a la calidad del cemento. Estas temperaturas altas se registran especialmente dentro de molinos tubulares en sistemas de circuito cerrado y con carga circulantes muy elevadas (molino muy corto o alta finura del producto). En consecuencia, el balance calorimétrico debe ser dividido en balances separados para el molino tubular por

un lado y para el separador dinámico por el otro lado; es decir, en el modelo de balance calorimétrico expuesto puede considerarse una entrada adicional de calor al molino por el material de rechazo del separador.

Por lo tanto, en la producción de cemento normal puede asumirse que la entrada de calor consiste del calor de la molienda Q_g y del calor Q_k del Clinker únicamente. El calor de molienda es una función directa de la potencia instalada(N), mientras que el calor del Clinker depende directamente de la temperatura del Clinker.

Con el propósito de facilitar la interpretación del balance calorimétrico, las cantidades de entrada de calor y de salida, tomadas individualmente, se refieren a un kg de cemento.

2.1 Calor a la entrada del molino.

La entrada de calor puede entonces calcularse como:

Calor de Molienda

$$Q_g = \frac{3,6 * \eta * N}{P} \quad \text{KJ/kg} \quad (\text{Ec.2.1})$$

Calor del Clinker

$$Q_k = C_{pk}(t_k - t_o) \quad (\text{KJ/kg}) \quad (\text{Ec.2.2})$$

$$C_{pk} = 0.00046(t_k + 0.733)$$

Dónde:

$N \Rightarrow$ Potencia del motor del molino (KW)

$\eta \Rightarrow$ Eficiencia en el accionamiento del molino (%)

$P \Rightarrow$ Producción del Molino (t/h)

$C_{pk} \Rightarrow$ Valor específico del calor del Clinker (KJ/Kg ° c)

$t_k \Rightarrow$ Temperatura del Clinker $(^{\circ} \text{C})$

$t_o \Rightarrow$ Temperatura Ambiente $(^{\circ} \text{C})$

2.2 Calor a la salida del molino.

La salida de calor consiste del calor contenido en el cemento (Q_c), del calor disipado por radiación y por convección ($Q_{r/c}$) y el calor eliminado por aire (Q_A) y evaporación de agua (Q_w).

El calor contenido en el cemento depende únicamente de la temperatura del cemento, es decir:

Calor del Cemento:

$$Q_C = C_{pc} (t_c - t_o) \quad (\text{KJ/kg}) \quad (\text{Ec.2.3})$$

$$C_{pc} = 0.00046 (t_c + 0.733) \quad (\text{Ec.2.4})$$

Dónde:

$C_{pc} \Rightarrow$ Valor específico de calor para cemento $(\text{KJ/kg } ^{\circ} \text{C})$

$t_c \Rightarrow$ Temperatura del cemento $(^{\circ} \text{C})$

$t_o \Rightarrow$ Temperatura ambiente $(^{\circ} \text{C})$

2.2.1 Pérdidas de calor por radiación y convección.

Las pérdidas de calor por radiación y por convección son básicamente una función de la superficie de la corteza del molino y de la temperatura de la corteza del mismo. Con el fin de simplificar los cálculos, las pérdidas de calor relevantes se refieren únicamente a la superficie de la corteza del molino y a los cabezales de este. La superficie real del sistema del molino se toma en consideración bajo diferentes factores de transferencia de calor (k). La temperatura promedio de la corteza del molino de aprox. $90-100^{\circ} \text{C}$, la pérdida de calor debe calcularse como sigue:

Radiación/Convección:

$$Q_{rc} = \left(\frac{D}{2} + L\right) \frac{D \cdot \pi \cdot k}{P \cdot 1000} \quad (\text{KJ/kg}) \quad (\text{Ec.2.5})$$

Dónde:

D⇒ Diámetro nominal del molino (m)

L⇒ Longitud del molino (m)

P⇒ Producción del molino (t/h)

K⇒ Factor de transferencia de calor (KJ/m²h)

Pueden asumirse los siguientes factores de transferencia de calor:

Tipo de Molino	Diámetro del molino	
	< 3.5	>3.5
Molino en circuito abierto	4 000 KJ/m²h	
Molino en circuito cerrado	8 000 KJ/m²h	12 000 KJ/m²h

2.2.2 Salida de calor a través del aire de ventilación.

La salida de calor a través del aire de ventilación corresponde a:

Calor del Aire de Ventilación:

$$Q_A = \frac{C_{pA} \cdot V_A \cdot (t_a - t_o)}{P \cdot 1000} \quad (\text{KJ/kg}) \quad (\text{Ec.2.6})$$

Dónde:

V_A⇒ Volumen de aire de ventilación (Nm³/h)

C_{pA}⇒ Valor específico de calor para el aire (KJ/Nm³ ° C)

t_a⇒ Temperatura del aire después del molino (° C)

2.3 Determinación de la tasa de inyección de agua.

La tasa de inyección de agua se calcula:

$$W_t = \frac{1000 * Q_w}{r} \quad (\text{Ec.2.7})$$

Dónde:

$W_t \Rightarrow$ Tasa de inyección de agua.

$Q_w \Rightarrow$ Calor de la molienda en general.

$r \Rightarrow$ Calor de evaporación.

2.4 Conclusiones Parciales.

1. Es elaborada la metodología de cálculo para el sistema de enfriamiento por agua para el molino # 1(561-MB1) de cemento que posibilita en cinco pasos determinar la tasa de inyección de agua al molino.
2. Se confeccionó una hoja de Excel para la aplicación de la metodología propuesta.

Capitulo III

CAPITULO III: APLICACION DE LA METODOLOGIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EL MOLINO # 1(561-MB1) DE CEMENTO.

3.1 Datos reales para el desarrollo de la metodología del sistema de enfriamiento.

Producción del molino	P= 132 t/h
Consumo específico de energía	q= 33 kW/t
Potencia del motor del molino	N= 2300 kW
Eficiencia del accionamiento del molino	η= 0,967 %
Diámetro del molino	D= 4,0 m
Longitud del molino	L= 10,5 m
Grado de llenado	f=25%
Velocidad máxima del aire dentro del molino	v=2.0m/s
Temperatura del Clinker	tk= 125°
Temperatura del Cemento	tc= 75°
Producción	P= 132t/h
% de abertura de la válvula de ventilación.	0.70
Calor de evaporación del agua	r=2500
Calor de evaporación del agua	r=2500 kJ/kg

3.2 Determinación las pérdidas de calor en la entrada del molino.

Calor de la Molienda:

$$Qg = \frac{3,6 * \eta * N}{P} \quad (\text{Ec.3.1})$$

$$Qg = \frac{3,6 * 0.967 * 2300}{132}$$

$$Qg = 60,66 \text{kJ} / \text{kg}$$

Calor del Clinker:

$$Qk = Cpk(tk - to) \quad (\text{Ec.3.2})$$

$$Qk = 0.790(125 - 20)$$

$$Qk = 83,00 \text{kJ} / \text{kg}$$

$$Cpk = (0.00046.(tk + 0.733))$$

$$Cpk = (0.00046.(125 + 0.733))$$

$$Cpk = 0,79 \text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

3.3 Determinación de las pérdidas de calor a la salida del molino.

$$QC = Cpc(tc - to) \quad (\text{Ec.3.3})$$

$$QC = 0.7675.(75 - 20)$$

$$QC = 42,21 \text{kJ} / \text{kg}$$

$$Cpc = 0.00046.(tc + 0.733) \quad (\text{Ec.3.4})$$

$$Cpc = (0.00046(75 + 0.733))$$

$$Cpc = 0,768 / \text{kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

3.3.1 Determinación de las pérdidas de calor por radiación y convección.

Este cálculo depende de la superficie de la corteza del molino y de la temperatura de la corteza del mismo.

$$Q_{rc} = \left(\frac{D}{2} + L\right) \frac{D * \pi * k}{P * 1000} \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$Q_{rc} = \left(\frac{4.0}{2} + 10.5\right) \frac{4.0 * 3.1416 * 12000}{132 * 1000}$$

$$Q_{rc} = 14,27 \text{ kJ / kg}$$

3.3.2 Salida de calor a través del aire de ventilación.

$$Q_A = \frac{C_p A * V_A * (t_a - t_o)}{P * 1000} \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$Q_A = \frac{1.3 * 46472,85 * (80 - 20)}{132 * 1000}$$

$$Q_A = 27,46 \text{ kJ / kg}$$

$$V_A = \left(D^2 * \frac{\pi}{4}\right) (V * v * 3600) \quad (\text{Ec.3.7})$$

$$V_A = \left(4.0^2 * \frac{3.1416}{4}\right) (0.7 * 2.0 * 3600)$$

$$V_A = 63334,66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 46\,472,85 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

3.4 Determinación de la tasa de inyección de agua a utilizar.

$$W_t = \frac{1000 * Q_w}{r} \quad (\text{Ec.3.8})$$

$$W_t = \frac{1000 * 59.824}{2500}$$

$$W_t = 23,93 \text{ kg H}_2\text{O / kg de cemento}$$

3.5 Calculo de los parámetros fundamentales del Sistema de Enfriamiento.

Para el diseño y fabricación del sistema se siguieron las recomendaciones del manual de molienda HOLDERBANK. (fig.3.1).

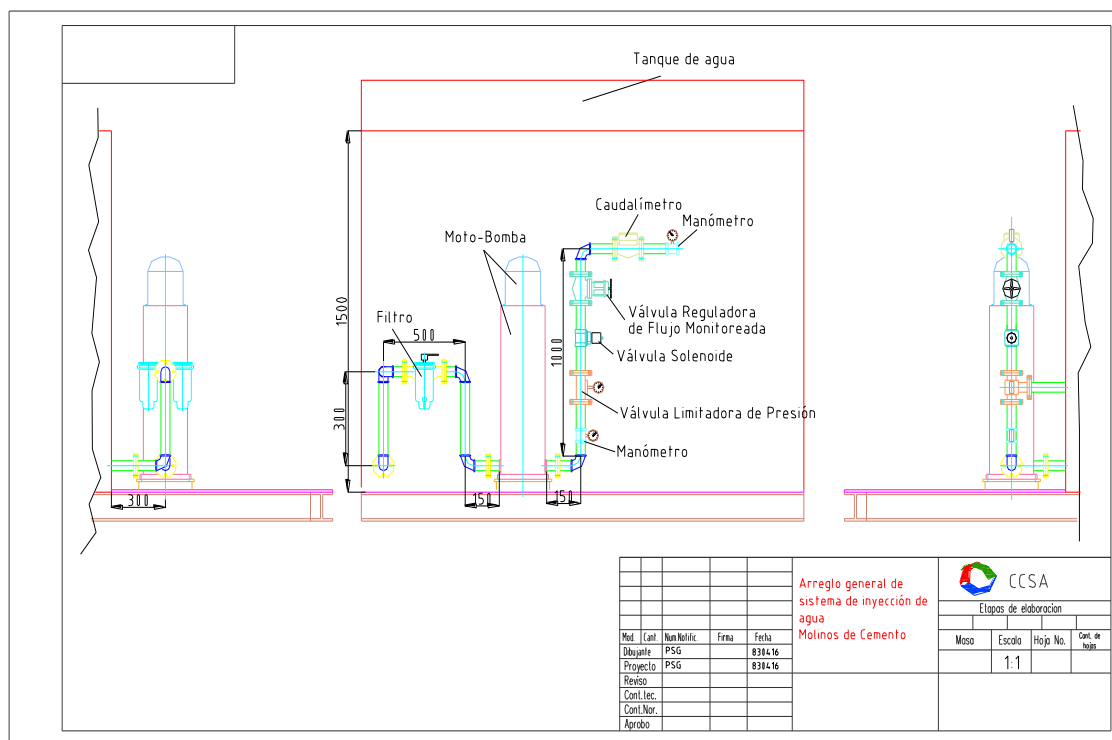


Fig.3.1 Disposición del sistema de inyección de agua.

Datos estimados de Partida, para el diseño del sistema estándar	
Flujo de aire de limpieza	(0.2-0.3) m ³ /ton
Presión de aire de limpieza	0.05-1 mbar
Flujo de Agua de enfriamiento	(1-4)% Producción del molino
Presión de agua de enfriamiento	(6-10) bar ≈6.12-10.2kg/cm ²

Debemos destacar que es un diseño elaborado en su totalidad en CCSA (Cemento Cienfuegos S.A) y usando materiales de almacén, así como bomba en desuso de los sistemas de alienación a calderas, válvulas de regulación de flujo, válvulas reguladoras de presión, fluxómetros, y toberas del sistema de inyección

de agua a las torres estabilizadoras, pirómetro digital, y ventilador de canaleta para la limpieza de la tobera.

3.5.1 Datos de la bomba para el sistema.

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico o térmico y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro.

La bomba a utilizar en este sistema presenta los siguientes datos:

Datos de Chapa Moto-Bomba					
Motor (BALDOR)					
1	Potencia	3.72 kW	5 HP		
2	Voltaje	206-230/460			
3	Amperaje	13_12/6			
4	RPM	3450			
5	Hz	60			
6	PH (Fases)	3			
Bomba (GRUNDFOS)				Tipo	Modelo
1	Presión Máxima	24.8 bar	360 psi	CR5-16 U-FGJ-A-E-HQQE	A96084317P104360807
2	Caudal	6.9 m³/h	30.4 GPM		
3	H	117 m			
4	RPM	3450			

3.5.2 Cálculo del sistema según la bomba seleccionada.

Este sistema está basado en el cálculo de todos los parámetros necesarios para determinar la bomba adecuada.

3.5.2.1 Cálculo de longitud de los tramos rectos de la tubería.

La longitud de los tramos rectos se calcula por la siguiente ecuación:

$$Lt = l_0 + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 \quad (\text{Ec.3.8})$$

$$Lt = 0.3 + 0.3 + 0.5 + 0.3 + 1.0 + 2.82 + 1.5 + 0.5 + 1.25$$

$$Lt = 8.47m$$

Aplicando Bernoulli entre las regiones 1 y 2:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 hf \quad (\text{Ec.3.9})$$

Seguidamente se eliminan los términos en la succión:

$$P_1 = P_{atm} = 0$$

$$Z_1 = \text{Nivel cero de la bomba} = 0$$

$$V_1 = \text{Nivel constante en el tanque} = 0$$

Quedando la siguiente ecuación:

$$Hb = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 hf \quad (\text{Ec.3.10})$$

3.5.2.2 Cálculo de la velocidad a la salida de la boquilla de la lanza.

Diámetro de la boquilla en la lanza de control es de 4mm.

Aplicando la ecuación de continuidad calculamos la V_2 :

$$Q = A * V \quad (\text{Ec.3.11})$$

$$V_2 = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ec.3.12})$$

$$V_2 = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} \quad (\text{Ec.3.13})$$

$$V_2 = \frac{4 * 6.9}{(3.141592 * 0.004^2 * 3600) * 8}$$

$$V_2 = 19,06 \text{ m/s}$$

3.5.2.3 Cálculo de las pérdidas friccionarias.

Del catálogo **PTIOGA. USA** tubería de tipo **SCH-40 STD.**

Espesor de la tubería 3.56mm.

$$\phi_{ext} = 42.2$$

$$\phi_{int} = \phi_{ext} - 2d \quad (\text{Ec.3.14})$$

$$\phi_{int} = 42.2 - 2(3.56)$$

$$\phi_{int} = 35,08 \text{ mm}$$

- Cálculo de la velocidad de circulación del fluido en la tubería es:

$$Q = A * V \quad (\text{Ec.3.15})$$

$$V_2 = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ec.3.16})$$

$$V_2 = \frac{4*Q}{\pi*d^2} \quad (\text{Ec.3.17})$$

$$V_2 = \frac{4 * 6.9}{3.141592 * 0.03508^2 * 3600}$$

$$V^2 = 1,98 \text{ m/s} \approx 2,0 \text{ m/s}$$

3.5.2.4 Cálculo de las pérdidas en los tramos rectos de la tubería.

$$\sum h_{ft} = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec.3.18})$$

La λ se determina del **Diagrama de Moody**.

- Cálculo del **N_o de Reynolds**:

$$R_e = \frac{v*d}{\nu} \quad (\text{Ec.3.19})$$

$$R_e = \frac{1.98 * 0.03508}{1 * 10^{-6}}$$

$$R_e = 69458,2 = 6,91 * 10^4$$

Rugosidad de la tubería:

Material de la tubería es de acero comercial con $\epsilon = 4.6 * 10^{-5}$

Fuente: Mecánica de Fluidos. Aplicada Robut L. Moot.

$$\epsilon = \frac{\epsilon}{d} \quad (\text{Ec.3.20})$$

$$\epsilon = \frac{4.6 * 10^{-5}}{0.03508} = 1.32 * 10^{-3} = 0,00131$$

Del **Diagrama de Moody:** $\lambda=0.024$

Sustituir en la ecuación de las pérdidas en los tramos rectos de tubería:

$$\sum h_{fTIR} = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec.3.21})$$

$$\sum hf_{TIR} = 0.024 * \frac{8.47}{0.03508} * \frac{1.98^2}{2 * 9.81}$$

$$\sum hf_{TIR} = 1,16 \text{ m}$$

3.5.2.5 Cálculo de las pérdidas en accesorios en la succión.

Pérdidas por accesorios en la succión				
Accesorios	K	hf=K*v²/2g	Cantidad	hft
Codos 90°	0.66	0.132	4	0.528
Filtro	0.10	0.020	1	0.020
Entrada al TK	0.78	0.156	1	0.156
Total				0.704

3.5.2.6 Cálculo de las pérdidas en accesorios en la descarga.

Pérdidas por accesorios en la descarga				
Accesorios	K	hf=K*v²/2g	Cantidad	hft
Salida Tk	1.00	0.200	1	0.200
Codo 90°	0.66	0.132	4	0.528
Válvula limitadora de presión	1.21	0.242	1	0.242
Válvula solenoide	7.5	1.500	1	1.500
Válvula reguladora de flujo	7.5	1.500	1	1.500
Caudalímetro	1	0.200	1	0.200
Boquilla atomizadora	1.21	0.242	1	0.242
Total				4.41

$$\sum hft = 6,27 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación 3.10:

$$Hb = \frac{P_2}{\rho g} + Z^2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 hf \quad (\text{Ec.3.22})$$

$$Hb = 102.072 + (2.45 - 1.20) + 0.2 + 7.75$$

$$Hb = 109,792 \text{ m}$$

3.5.2.7 Cálculo de la caída de presión del sistema.

$$\Delta P = \rho * G * H \quad (\text{Ec.3.23})$$

$$\Delta P = 10^3 * 9.81 * 109.792$$

$$\Delta P = 1077059,52 \frac{N}{m^2} = 1077,06 kPa$$

3.5.2.8 Cálculo de la cavitación de la bomba.

La cavitación causa la destrucción rápida del metal constituyente de los rodets de las bombas y turbinas, de los álabes, de los venturímetros y en ocasiones de las tuberías. Esto sucede cuando la presión del líquido se hace menor que su tensión de vapor.

Por lo tanto: Aplicando Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 hf \quad (\text{Ec.3.24})$$

Haciéndose 0 P_1 y Z_2 :

Despejando $\frac{P_2}{\rho g}$:

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - \frac{V_2^2}{2g} - \sum_1^2 hf \quad (\text{Ec.3.25})$$

Perdidas en los codos:

$$hfcodo = \frac{v^2}{2g} * k * 3$$

$$hfcodo = \frac{v^2}{2 * 9.81} * 0.66 * 3$$

$$hfcodo = 0.396$$

Perdidas en el filtro:

$$hffiltro = 0.1 kg/m^2$$

$$\Delta h * \mathcal{V} * g = \Delta P$$

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\mathcal{V} * g}$$

$$\Delta h = \frac{0.1}{995.5 * 9.81}$$

$$\Delta h = 1,004m$$

Total de pérdidas:

$$\Sigma_1^2 hf = hffiltro + hfcodo$$

$$\Sigma_1^2 hf = 1.004 + 0.396 = 1,400\text{m}$$

Para calcular Carga Neta Positiva en Aspiración (NPSH) se plantea:

$$NPSH_{Disponible} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} \quad (\text{Ec.3.26})$$

$$NPSH_{Disponible} = 10.33 + 1.5 - \frac{2.0^2}{2 * 9.81} - 1.4 - \frac{0.0432}{995.5}$$

$$NPSH_{Disponible} = 9.7792\text{m}$$

Con el resultado obtenido se puede afirmar que la bomba no debe cavitarse. El valor del $NPSH_{Disponible} = 9,77 \text{ m}$ y el hecho de tener una altura positiva en la succión de la bomba que contribuye al valor anterior permite considerar que el valor debe ser mayor que el $NPSH_{Requerido}$ por la bomba.

3.6 Conclusiones Parciales.

1. Es diseñado el sistema para la inyección de agua encontrando que puede ser utilizada la bomba Grundfos disponible en la fábrica o empresa.
2. Se comprobó la carga disponible en la succión con $NPSH_{\text{Disponible}} = 9,77 \text{ m}$ debe garantizar un funcionamiento sin cavitación.
3. El sistema diseñado debe asegurar el flujo de agua requerido por el proceso de $6,9 \text{ m}^3/\text{h}$

Capitulo IV

CAPITULO IV: VALORACION TECNICO – ECONOMICO DE LOS RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL MOLINO # 1 (561-MB1) DE CEMENTO.

4.1 Relación y costos de los materiales empleados.

Materiales	Cantidad	Precio(CUC)
Plancha de acero de 5mm	11m ²	504.84
Viga UPN de 180mm	15m	472.18
Angular 100mm	20.4m	450.36
Plancha de acero de 10mm	2.0m ²	115
Moto-bomba	1	2547.35
Tubería hidráulica (tubo AC 1")	30	880.2
Nebulizador o Lanza de Control	1	859.78
Moto-Ventilador	1	1338.77
Manómetro	2	61.46
Filtro para bomba	1	48.11
Caudalimetro	1	4513.84
Pirómetro	1	1758.23
Válvula solenoide	1	242.7
Válvula controladora de flujo monitoreada	1	421.61
Válvula limitadora de presión	1	364.68
Codos	15	67.35
Electrodos	10kg 7018 4mm	12.28
	5kg 7018 3mm	3.63
		14 662,37

Tabla 4.1 Costo de Materiales.

4.2 Calculo de mano de obra para el montaje.

$$Cmn = Cant.operario * Salario día * \# día$$

$$Cmn = 5 * 525,76 * 90$$

$$Cmn = 26\ 592,00$$

4.1.1 Cálculo del ahorro de dinero por concepto de rendimiento del molino.

Para la comparación del sistema de instalación de inyección por agua se tomaron reportes diarios de operaciones del molino del año anterior en el mes de junio (2013) y el año en curso (2014) con el sistema montado, notándose diferencias considerables en la eficiencia en general del molino 1.

Tabla 4.2 Reporte diario de operación.

		REPORTE DIARIO DE OPERACION. MOLINO DE CEMENTO																Anexo CD P 01 A2									
		MOLINO: 1																Fecha: 28/06/2013									
PARAMETROS	CAF	UNIDAD MEDIDA	RANGO	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura cmo	3B1-TZ1	°C	<90	85	87	86	86	88	88	90	89	91							91	86	87	90	89	85	88	89	91
Temp salida molino	TZ3	°C	70-110	120	121	123	122	124	125	123	121	120							120	125	123	122	124	123	122	121	125
Temp. Pared ElecT.	PE1/TZ	°C	20-60	60	62	64	61	60	62	64	63	63							63	65	63	64	61	60	64	62	65
Temp. antes Elect.	PE1/TZ	°C	50-100	110	114	112	113	115	111	110	114	112							113	114	115	111	111	113	112	114	115
Presion entrada molino	PZ1	mbar	0.3-0.6	5	5	5	5	5	5	5	5	5							5	5	5	5	5	5	5	5	5
Presion salida molino	PZ2	mbar	15-23	18	17	18	17	17	16	18	16	16							18	17	16	16	16	18	17	16	16
Presion difier. Sep.	SP1-PZ2	mbar	7-23	6	7	8	9	7	7	6	6	8							6	8	7	7	8	8	6	7	8
Amperaje molino	AP1-IZ1	amp	240-280	269	267	268	266	263	264	263	265	264							262	263	264	261	264	267	265	266	261
Consumo Elevad. M1	EC1-IZ1	amp	40-60	43	43	43	43	43	43	43	43	43							43	43	43	43	43	43	43	43	43
Consumo Elevad. M2	EC1-IZ2	amp	40-60	44	44	44	44	44	44	44	44	44							44	44	44	44	44	44	44	44	44
Consumo Separador	SP1-IZ1	amp	70-115	82	85	84	84	86	83	87	85	87							86	88	87	89	87	89	88	88	89
Consumo ventilad. Sep.	VE1-IZ1	amp	<30	23	23	23	23	23	23	23	23	23							23	23	23	23	23	23	23	23	23
Consumo vent. Barrido	VE2-IZ1	amp	100-250	126	125	125	126	123	24	122	125	124							122	124	125	125		122	123	124	122
Potencia molino	AP1-JZ1	Mw	<2.5	269	270	270	269	272	271	272	272	271							271	269	270	272	270	269	271	269	272
Voltaje C1 electrofiltro	PE1-EZ1	volt	>50	44	44	43	42	42	44	43	44	43							43	42	43	44	43	42	44	42	42
Voltaje C2 electrofiltro	PE1-EZ2	volt	>50	71	70	68	70	71	69	68	70	67							67	65	64	62	63	66	65	64	63
% RPM separador	SP1-SZ1	%	<80	62	63	62	64	63	63	64	63	64							64	62	63	62	64	62	64	63	65
% valv.Vent. Sep.	VQ2-ZZ1	%	60-100	80	80	80	80	80	80	80	80	80							80	80	80	80	80	80	80	80	80
%Valv. Vent. Barr.	VQ4-ZZ1	%	60-100	100	100	100	100	100	100	100	100	100							100	100	100	100	100	100	100	100	100
Posición válv.56X-CQ7	CQ7	A-C	E-B																								
Alimentación Clinker	531-BP1	th	20-120	68	68	68	68	68	68	68	68	68							68	68	68	68	68	68	68	68	68
Alimentación yeso	531-BP2	th	1-5	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8							2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Alim. puzolana	K91-BP1	th	1-20																								
Totalizadora 53X-BT1	PD1-FZ1	th	80-150	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8							70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8	70.8
Totalizadora 591-BT1	PD1-FZ1	th	80-300	71	71	71	71	71	71	71	71	71							71	71	71	71	71	71	71	71	71
Kwh/m molino		Kwh/m	20-35																								
Blaine		cm2/g	Según Guía de Calidad	3180	3175	3170	3165	3160	3140	3135	3120	3100							3085	3080	3089	3088	3087	3086	3089	3089	3090
% SO3		%		3.0	3.1	3.2	3.0	3.1	3.2	3.0	3.1	3.1							3.1	3.0	3.2	3.1	3.0	3.2	3.0	3.0	3.2
% Adición		%																									
% Retenido		%		3.5	3.3	3.5	3.4	3.5	3.4	3.2	3.3	3.1							3.1	3.0	2.9	3.0	2.9	2.8	2.8	3.0	2.8
% Cal libre		%		1.0	1.4	1.2	1.1	1.1	1.4	1.2	1.4	1.2							1.2	1.4	1.4	1.2	1.3	1.2	1.4	1.3	1.4
% SiO2		%																									
TPO DE CEMENTO				T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1							T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1
SILO DE CEMENTO																											
SILO DE CLINKER																											
Operador:				Operador:																							
Jefe Planta:				Jefe Planta:																							

Tabla 4.3 Reporte diario de operación.

Anexo CD P 01 A2																													
REPORTE DIARIO DE OPERACIÓN. MOLINO DE CEMENTO													MOLINO: 1				Fecha: 16/06/2014												
PARAMETROS	CAF	UNIDAD MEDIDA	RANGO	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7		
Temperatura cmo	3B1-TZ1	°C	<90	75	76	77	75	76	76	75	78	77								78	76	78	77	76	76	76	75	78	
Temp salida molino	TZ3	°C	70-110	90	91	94	92	95	96	94	90	91								91	93	93	95	96	97	95	96	98	
Temp. Pared Elect.	PE1/TZ2	°C	20-60	60	62	61	61	61	60	60	61	60								61	62	61	60	60	60	61	62	62	
Temp. antes Elect.	PE1/TZ3	°C	50-100	68	71	69	70	72	68	71	71	70								70	72	71	70	71	69	68	70	72	
Presion entrada molino	PZ1	mbar	0.3-0.6	5	5	5	5	5	5	5	5	5								5	4	4	4	4	4	5	5	5	
Presion salida molino	PZ2	mbar	15-23	18	16	16	18	18	16	17	18	16								18	16	17	18	18	17	16	16	16	
Presion dife. Sep.	SP1-PZ2	mbar	7-23	6	6	7	6	8	7	7	6	8								6	8	6	6	7	7	6	8	8	
Amperaje molino	AP1-IZ1	amp	240-280	265	263	261	264	262	262	261	264	261								261	263	262	261	262	261	263	262	260	
Consumo Elevad. M1	EC1-IZ1	amp	40-60	45	45	46	45	46	45	46	45	45								46	46	45	45	46	46	45	46	46	
Consumo Elevad. M2	EC1-IZ2	amp	40-60	47	46	45	46	47	46	47	45	47								47	47	46	47	45	47	47	46	45	
Consumo Separador	SP1-IZ1	amp	70-115	88	88	88	88	88	88	87	87	87								87	88	88	88	87	87	87	88	87	
Consumo vent. Sep.	VE1-IZ1	amp	<30	23	23	22	23	22	23	22	22	22								23	22	22	23	23	23	22	23	22	
Consumo vent. Barrido	VE2-IZ2	amp	100-250	120	118	119	120	119	120	120	119	118								120	118	120	119	119	120	118	120	118	
Potencia molino	AP1-JZ1	Mw	<2.5	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3								2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Voltaje C1 electrofilto	PE1-EZ1	volt	>50	44	43	44	42	42	43	43	44	42	42							44	42	42	43	44	43	44	43	42	
Voltaje C2 electrofilto	PE1-EZ2	volt	>50	71	69	70	71	71	69	68	66	65								69	68	67	66	68	65	62	64	63	
% RPM separador	SP1-SZ1	%	<80	64	65	64	65	64	65	64	65	64								64	65	64	65	64	65	65	64	65	
% valv. Vent. Sep.	VO2-ZZ1	%	60-100	85	85	85	85	85	85	85	85	85								85	85	84	85	85	85	85	84	85	
% valv. Vent. Barr.	VO4-ZZ1	%	60-100	100	100	100	100	100	100	100	100	100								100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Posición valv.56X-CQ7	CQ7	A-C	E-B																										
Alimentación Clinker	S31-BP1	th	20-120	78	78	79	78	79	79	78	79	78								78	79	79	78	79	78	79	78	79	
Alimentación yeso	S31-BP2	th	1-5	3.2	3.2	3.4	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.2								3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.2	3.4	3.4	3.4	
Alim. puzolana	K91-BP1	th	1-20																										
Totalizadora 53X-BT1	PD1-FZ1	th	80-150	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2								81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	
Totalizadora 591-BT1	PD1-FZ1	th	80-300	80.8	80.7	80.8	80.8	80.8	80.7	80.8	80.7	80.8								80.6	80.7	80.7	80.7	80.6	80.7	80.8	80.8	80.6	
Kwh/t molino		Kwh/t	20-35																										
			Según Guía de Calidad	3200	3205	3200	3225	3230	3245	3250	3260	3250								3255	3270	3285	3280	3280	3282	3295	3298	3300	
Blaine		cm2/g																											
% SO3		%		3.3	3.2	3.3	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3								3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	
% Adición		%																											
% Retenido		%		3.0	2.9	2.8	3.0	2.8	2.8	3.0	2.9	3.0								2.8	3.0	2.8	2.9	3.0	2.5	3.0	2.9	2.8	
% Cal libre		%		1.5	1.3	1.5	1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5								1.3	1.4	1.3	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.3	
% SiO2		%																											
TIPO DE CEMENTO				T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1								T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1	
SILO DE CEMENTO																													
SILO DE CLINKER																													
Operador:													Operador:																
Jefe Planta:													Jefe Planta:																

La mayor parte de los proyectos y medidas destinadas al mejor uso al ahorro en procesos de transformación de energía en la industria necesitan la solución de problemas que involucran restricciones, tanto científicas como económicas. La combinación con los conceptos económicos se produce al establecer precios de la energía disponible de todas las corrientes que intervienen en el proceso, determinando el precio de la energía disponible a partir de su costo de producción. En este proyecto se calcularon los factores que influyen en la eficiencia y rendimiento del molino 1 para la producción de cemento tipo-1 en un mes teniendo en cuenta que el costo del KW es de **0.1908 CUC/KW** el plan del año 2014 es de **200 000 ton** de cemento tipo 1.

Tabla 4.4 Resultados económicos.

Factores	Antes. Insta. Del Sistema.	Después. Insta. Del Sistema.	DIF.
Rendimiento Horario (ton/h)	70,8	81,2	10,4
Índice de Consumo (KWh/ton)	41,42	36,00	5,42
Consumo de Energía (KW/h)	8 284 000,00	7 200 000,00	1 084 000,00
Horas de Trabajo	2824,86	2463.05	361.80
Ahorro de dinero en el año en CUC.	206 445,60		

Periodo simple de recuperación de la inversión.

$$PSR = \frac{Inversion\ Inical}{Ahorro\ anual}$$

$$PSR = \frac{41\ 254,37}{206\ 445,60}$$

$$PSR = 0,2 \text{ años (2,4 meses)}$$

4.3 Conclusiones Parciales.

1. La inversión inicial esta dada en la adquisición de materiales, equipos y mano de obra, la cual asciende a 41 254,37 CUC.
2. Los ahorro por concepto de la puesta en marcha de la instalación ascienden a 206 445,60 CUC/año
3. La inversión tiene un Período Simple de Recupearación es de 2,4 meses, lo cual la hace una inversión muy provechosa.

Conclusiones Generales

Conclusiones Generales.

1. La bibliografía consultada muestra que los sistemas de enfriamiento más utilizados son el de ventilación y suministro de agua, lo cual está en dependencia de la característica de la planta. Para la planta en estudio se propone el sistema de suministro de agua.
2. Fue elaborada la metodología de cálculo de la tasa de inyección de agua al molino 1. El valor recomendado para el mismo es de 23, 93 kg H₂O kg/t de cemento.
3. El sistema de tubería calculado para la inyección de agua al molino, admite para su uso la bomba GRUNDFOS una carga de 109, 79 m lo cual no hace necesario la compra de un nuevo equipo de bombeo al disponer de uno existente en la fábrica fuera de servicio.
4. El ahorro teórico calculado a la aplicación del sistema para la inyección de agua al molino, arroja una reducción de 1 084 000,00 kW/año con un impacto económico de 206 445,60 CUC/año.
5. La inversión propuesta para la instalación del sistema es de 41 254,37 CUC/año y la misma tiene un PRS de 2,4 meses, lo cual hace la inversión muy atractiva.

Recomendaciones

Recomendaciones.

1. Continuar de ser posible el perfeccionamiento de la metodología dada, profundizando fundamentalmente en la eficiencia para los molinos de bolas.
2. Aplicar y extender esta metodología a los molinos de cementos 1 y 2 de la planta, tanto como al resto de las fábricas del país.

Bibliografía

Bibliografía.

MOTT, R. L. 1996. Mecánica de los Fluidos Aplicado, México, Prentice Hall Hispanoamericana. S.A.

CRANE 1988. Flow of fluids. Through valves, fittings and pipe. England.

CHURCH, A. H. 1986. Bombas y máquinas Soplantes., Habana, Edición Revolucionaria.

SEBERIRA, M. E. & GARCÍA, I. 1988. Proyecto de Curso Bombas, ventiladores y compresores.

PÁEZ, N. R. 1995. Bombas, ventiladores y compresores., Habana, ISPJAE.

CHERTASSKI, V. M. 1985. Bombas, ventiladores y compresores., Moscú, MIR.

CRANE 1989. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías., Mc. Graw Hill, USA.

DUDA., I. W. H. 1977. Manual tecnológico del cemento., Barcelona, Editores técnicos asociados S.A.

DECASPER, J. Manual de Molinos, Holderbank-Administración y Asesoría S.A.

VENNARD, T. & STREET, R. L. 1986. Elementos de mecánica de fluidos. Versión S1 Primera Parte, Edición Revolucionaria.

VENNARD, T. & STREET, R. L. 1986. Elementos de mecánica de fluidos. Versión S1 Segunda Parte, Edición Revolucionaria.

Manuales de Fabricante, FCB.ciment. Cartago. Setiembre 2003

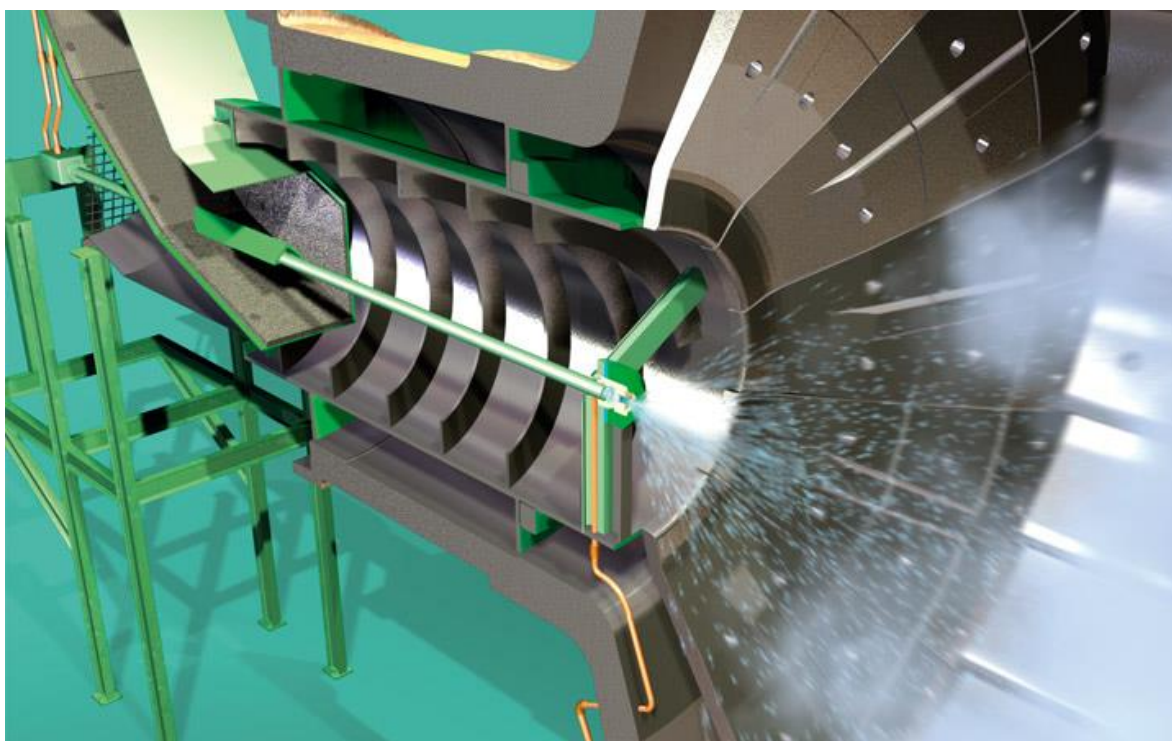
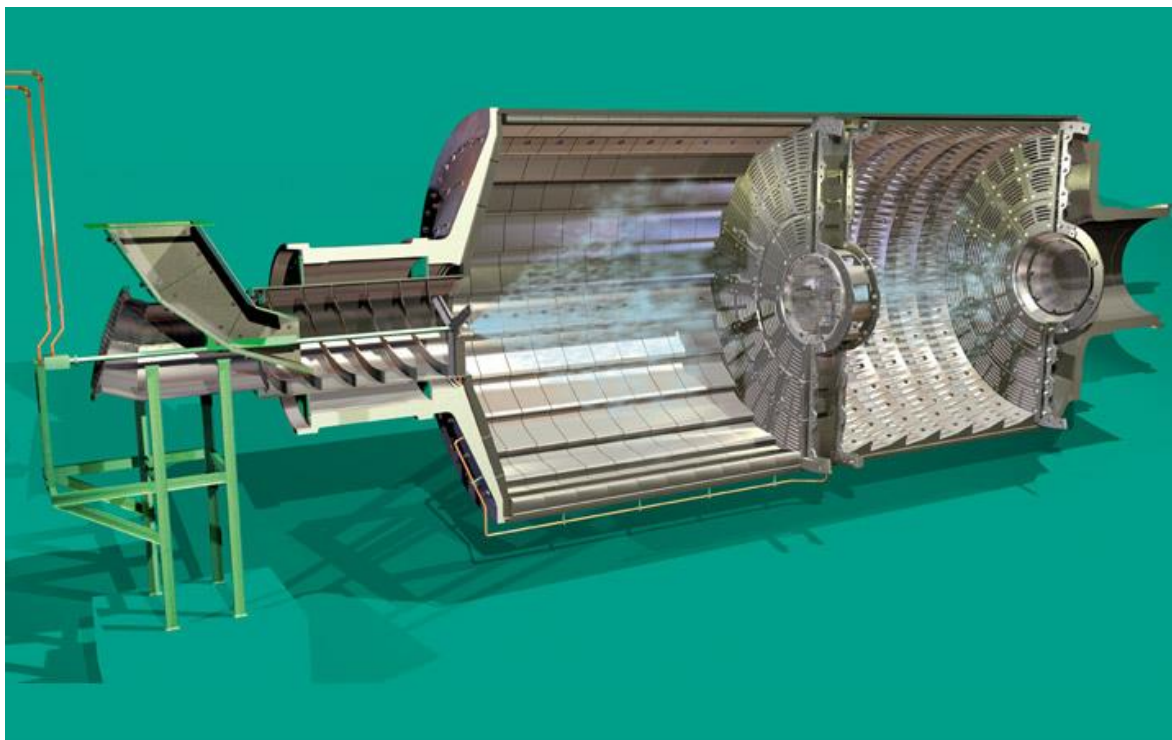
2014a. Cemento y Cal. Disponible en Internet: <http://circa.europa.eu/>

2014b. Proceso de fabricación del cemento. Disponible en Internet: www.ieca.es/fabcemento.php

2014c. Manufactura del Cemento Portland. Disponible en Internet: www.monografias.com/trabajos7/mace/mace.shtml

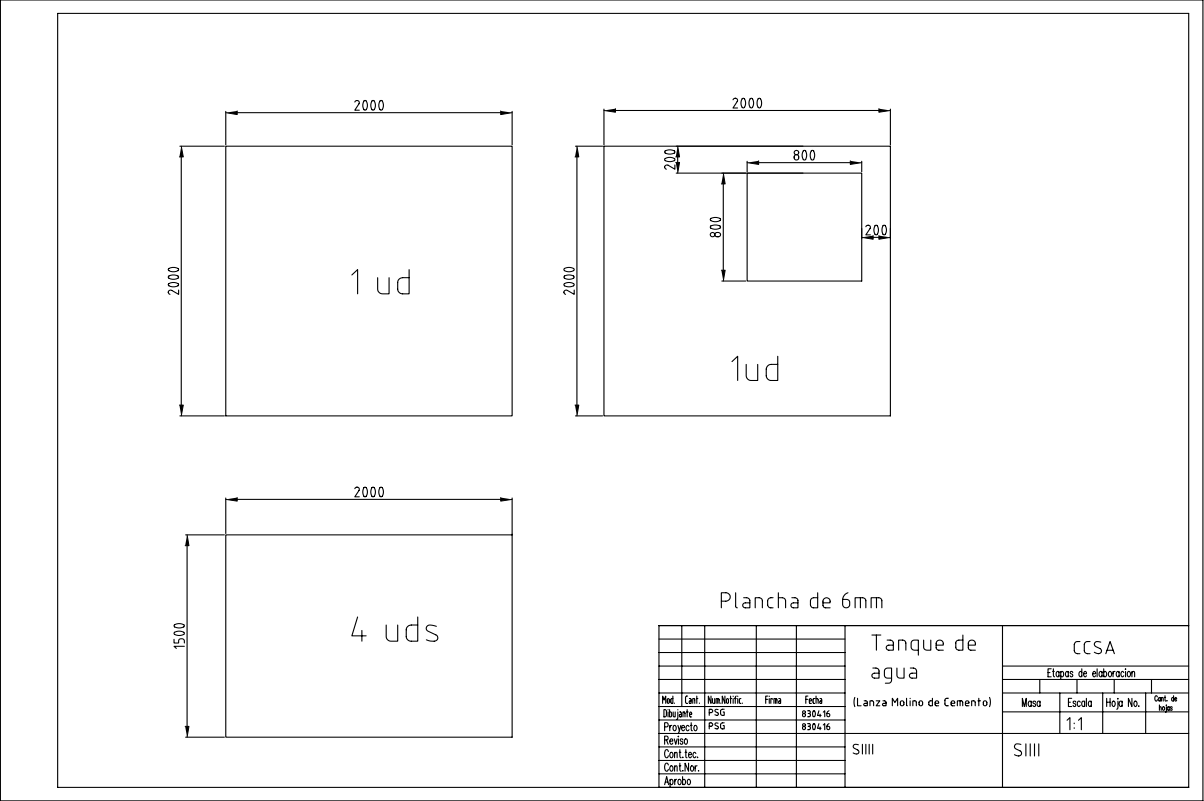
Anexos

Anexo I.



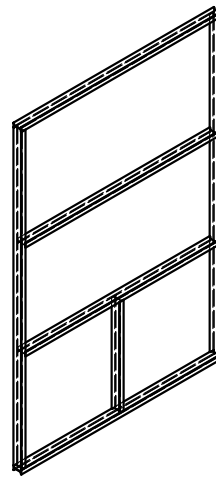
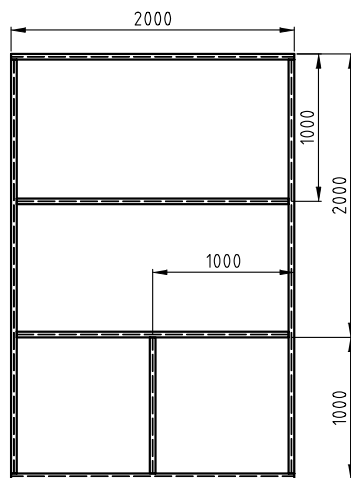
Anexo II.

Despiece del Tanque de agua.



Anexo III.

Estructura de soporte del Tanque de agua.



Viga I ó U de 80-100mm

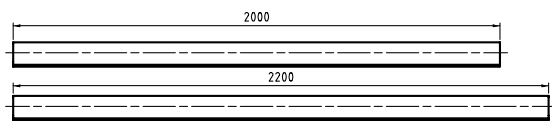
[illegible]

Anexo VI.

Marco para el hueco del registro del Tanque de agua.

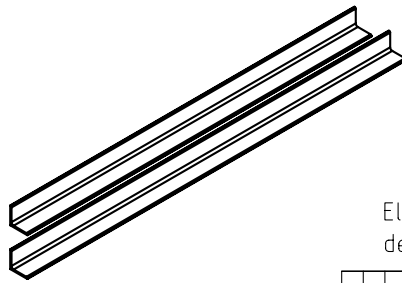
Anexo V.

Vigas para marco de refuerzo.



4 uds

4 uds

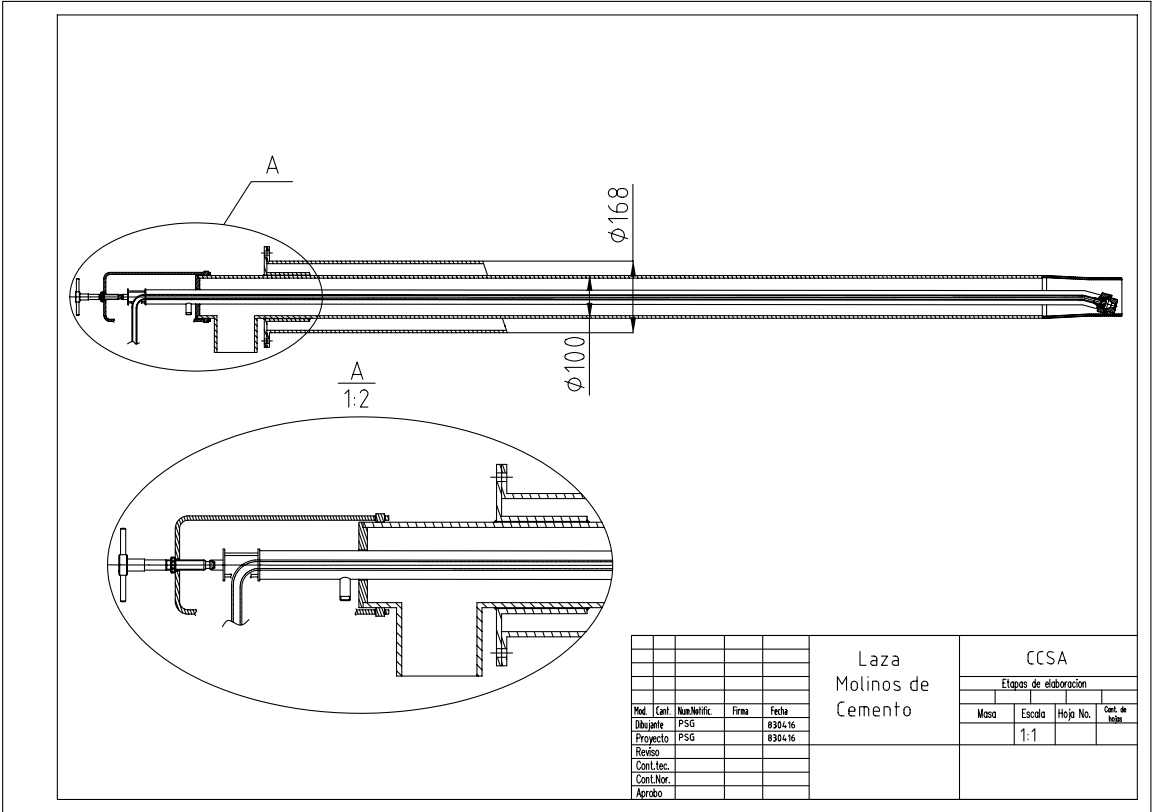


El Largo de las Vigas es para angular de 100mm

[illegible]

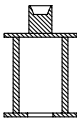
Anexo VI.

Lanza o nebulizador para el molino.



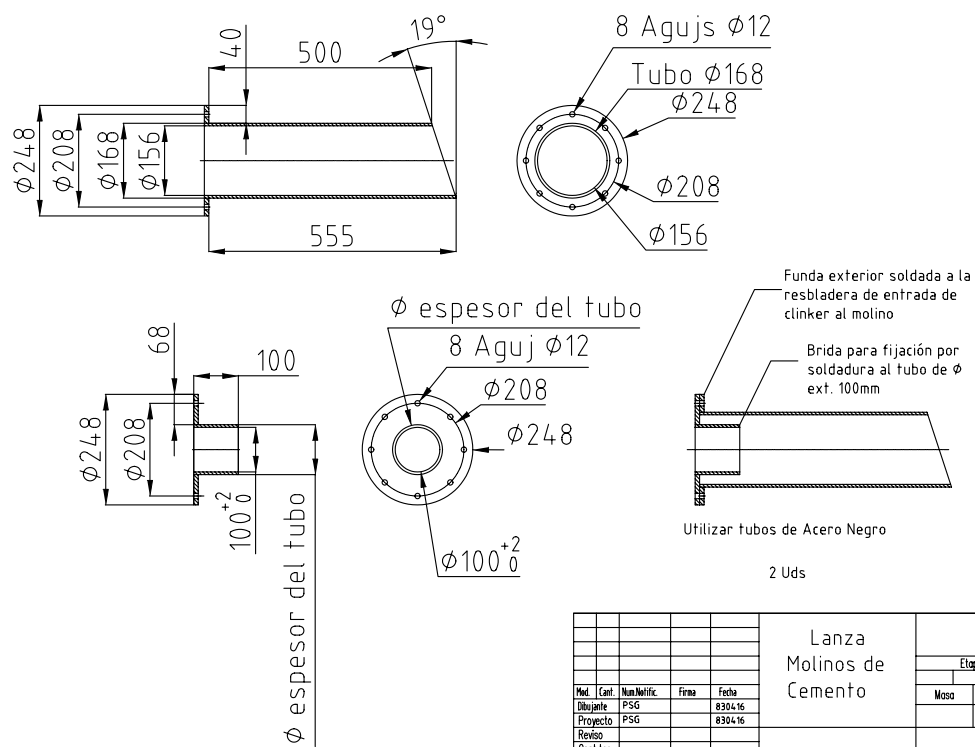
Anexo VII.

Fijador mecanico.

[illegible]

Anexo VIII.

Funda de fijacion.



					Lanza Molinos de Cemento	CCSA			
						Etapos de elaboración			
						Masa	Escala	Hoja No.	Cont. de hojas
							1:1		
Mod.	Caril.	Num.	Notific.	Firma	Fecha				
Dibujante			PSG		8304.16				
Proyecto			PSG		8304.16				
Revisor									
Cont. Tec.									
Cont. Nor.									
Aprobado									

