



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

GUÍA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA

Victor Francisco Sipaque Madrid

Asesorado por el Ing. Martín Manuel Herrera Muralles

Guatemala, abril de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

GUÍA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VICTOR FRANCISCO SIPAQUE MADRID

ASESORADO POR EL ING. MARTÍN MANUEL HERRERA MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 17 de septiembre de 2009.

Victor Francisco Sipaque Madrid



Guatemala 6 de agosto de 2012

Ing. Julio César Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

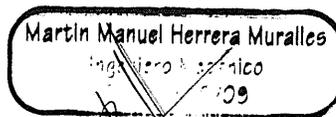
Estimado Ingeniero Campos Paiz

Por este medio atentamente le informo como asesor del trabajo de graduación del estudiante universitario Víctor Francisco Sipaque Madrid de la carrera de Ingeniería Mecánica, identificado con el numero de carné 2004-13303, procedí a revisar el informe final, cuyo titulo es **“GUÍA PARA MANTENIMIENTO MECÁNICO PREVENTIVO DE ENFRIADORA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Martin Manuel Herrera Muralles
Ingeniero Mecánico
Colegiado activo No. 6709

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **GUÍA PARA MANTENIMIENTO MECÁNICO PREVENTIVO DE ENFRIADORA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA** del estudiante **Víctor Francisco Sipaque Madrid**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, agosto de 2012.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.055.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **GUÍA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA** del estudiante **Víctor Francisco Sipaque Madrid, CUI 2462241180101**, Reg. Académico **200413303** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, abril 2021
/aej

DTG. 149.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA DE PARRILLAS DE CLINKER EN PLANTA CEMENTERA**, presentado por el estudiante universitario: **Victor Francisco Sipaque Madrid**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, abril de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuerza invisible e inagotable que me lleva de la mano día a día.
Virgen María	Por su protección en todos los momentos de mi vida.
Mis padres	José Francisco Sipaque y María Gladys de Sipaque, por ser la piedra angular de mi vida, por su esfuerzo incansable, apoyo incondicional, ejemplo, amor y enseñanzas.
Mis hermanas	Gladys Isabel y Carmen Ivonne Sipaque, por ser ejemplo de dedicación y excelencia. Su inagotable comprensión y apoyo han sido una piedra angular en este camino.
Mi amigo	Alejandro Varela, gracias por la mano desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis asesores	Martin Herrera y Carlos Pérez, por brindarme su ayuda y paciencia en la elaboración de mi trabajo de graduación.
Cementos Progreso	Por brindarme el apoyo y las herramientas necesarias para la elaboración de mi trabajo de graduación, en especial al Departamento de Mantenimiento de Planta San Miguel, así como a los ingenieros Enrique López, Oscar Calderón (q. e. p. d.) y Edwin Paiz.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para la realización de este trabajo de graduación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme realizar y culminar los estudios satisfactoriamente.

1.1.4.6.	Enfriadoras de eje	17
1.1.4.7.	Enfriadoras G	18
1.1.4.8.	Enfriadora SF	19
1.1.5.	Métodos para operar exitosamente la enfriadora.....	19
1.1.6.	Presión bajo parrilla.....	22
1.1.7.	Comportamiento de enfriamiento	23
1.1.8.	Balance de calor y distribución de aire en enfriadora	27
1.1.9.	Efectos físicos en enfriamiento	37
1.1.9.1.	Profundidad de la cama	37
1.1.9.2.	Volumen de aire	40
1.1.9.3.	Ventiladores de enfriamiento.....	42
2.	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	47
2.1.	Nomenclatura de las enfriadoras	47
2.1.1.	Componentes de transmisión	47
2.1.1.1.	Manivela de transmisión balanceada	47
2.1.1.2.	Eje cruceta.....	49
2.1.1.3.	Rodos de conexión	50
2.1.1.4.	Ejes de rueda.....	50
2.1.2.	Componentes de la línea de parrilla	51
2.1.2.1.	Línea de parrilla	51
2.1.2.2.	Soporte de placas de parrillas.....	52
2.1.2.3.	Placas de parrilla	53
2.1.2.4.	Parrillas muertas	53
2.1.2.5.	Fundiciones laterales	54
2.1.3.	Marco móvil y componentes debajo de la parrilla	55
2.1.3.1.	Marco móvil	55
2.1.3.2.	Placas de tabique	56
2.1.3.3.	Sellos de tabique	56

	2.1.3.4.	Marco lateral.....	57
	2.1.3.5.	Placas de piso	58
2.1.4.		Componentes sobre la parrilla	59
	2.1.4.1.	Carcasa de enladrillado.....	59
	2.1.4.2.	Cortina de cadenas	60
2.1.5.		Trituradora y componentes auxiliares	60
	2.1.5.1.	Trituradora de Clinker.....	61
	2.1.5.2.	Barras Grizzli.....	61
	2.1.5.3.	Acero de impacto	62
3.		MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ENFRIADORA DE CLINKER	63
3.1.		Lubricación.....	63
	3.1.1.	Mantenimiento preventivo	63
	3.1.2.	Fallas y sus correcciones.....	72
	3.1.2.1.	Movimiento defectuoso de parrillas	72
	3.1.2.2.	Soplado de aire entre las cámaras	74
	3.1.2.3.	Soplado de polvo debajo de las cámaras	74
	3.1.2.4.	Juego excesivo junto a los cantos delanteros de las parrillas.....	75
	3.1.2.5.	Juego excesivo junto a los labios de las juntas laterales	76
	3.1.2.6.	Daños en la zona de desgaste del revestimiento.....	77
	3.1.2.7.	Daños en el revestimiento de las paredes	78
	3.1.2.8.	Daños en el revestimiento del techo	79
3.1.3.		Mantenimiento del sistema hidráulico	79
	3.1.3.1.	Inspección diaria	80

	3.1.3.2.	Inspección semanal	81
	3.1.3.3.	Inspección de mayor envergadura	81
	3.1.3.4.	Cambio de aceite	82
	3.1.3.5.	Sustitución de filtros sucios	83
	3.1.3.6.	Rectificación de fallos del sistema hidráulico	84
	3.1.4.	Reparaciones	93
	3.1.4.1.	Trabajos de reparación proyectados	93
	3.1.4.2.	Reparaciones en caso de averías	94
	3.1.4.3.	Trabajos de taller	98
	3.1.5.	Colocación y desmontaje de andamio	99
3.2.		Inspección y servicio de componentes	99
	3.2.1.	Cojinetes	99
	3.2.2.	Ventiladores	99
	3.2.3.	Martillos trituradores	100
	3.2.4.	Placas de parrillas y tornillos T	101
	3.2.5.	Llantas y pistas de llanta	101
	3.2.6.	Sellos de tabique	102
	3.2.7.	Sellos de eje de llanta	102
	3.2.8.	Transmisión de correa V	103
	3.2.9.	Cadenas de transmisión	104
	3.2.10.	Material refractario	104
	3.2.11.	Guarda de cadenas	104
	3.2.12.	Ventana de observación de trituradora	104
3.3.		Alineación e instalación del marco móvil.....	105
3.4.		Mantenimiento e instalación del soporte de parrilla	106
	3.4.1.	Identificación del soporte	106
	3.4.2.	Instalación del soporte.....	107
	3.4.3.	Dedos de soporte	109

3.5.	Alineación de la transmisión.....	110
3.5.1.	Enfriadoras de transmisión electromecánicas	110
3.5.2.	Enfriadoras de transmisión hidráulica	113
3.6.	Llantas, pistas, ejes y cojinetes	114
3.6.1.	Bujes de sello	115
3.6.2.	Cojinetes antifricción.....	116
3.6.3.	Llantas internas	117
3.6.4.	Cojinetes principales.....	118
3.6.5.	Pistas.....	119
3.6.6.	Ejes y alojamientos de ejes.....	120
3.7.	Sellos de aire de enfriamiento	121
3.7.1.	Fugas a través del marco lateral	121
3.7.2.	Sellos del eje	123
3.7.3.	Sello del eje cruceta.....	124
3.7.4.	Sellos de transporte de arrastre	125
3.7.5.	Válvulas Plattco	126
3.7.6.	Placas de tabique y sello	127
3.7.7.	Áreas sobre la parrilla	129
3.8.	Alineación de la parrilla	129
3.8.1.	Superposición o traslape.....	131
3.8.2.	Brecha vertical	132
3.8.3.	Calce o <i>shim</i>	134
3.8.4.	Tolerancias u holguras laterales	134
3.8.5.	Instalación de tornillo T	135
3.8.6.	Instalación de parrilla sin dedos.....	136
3.8.7.	Parrillas muertas.....	137
4.	INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN	139
4.1.	Hoja de datos de operación	139

4.2.	Sistemas de control	141
4.2.1.	Velocidad de enfriamiento	143
4.2.2.	Flujo de aire de enfriamiento	146
4.2.3.	Control de salida de humos	147
4.2.4.	Ajuste de controlador.....	148
4.3.	Seguridad	153
4.3.1.	Equipos rotativos	153
4.3.2.	Equipo reciprocante	154
4.3.3.	Presión y energía almacenada	154
4.3.4.	Altas temperaturas	155
4.3.5.	Guardas y cobertores	156
4.3.6.	Accesos.....	156
4.3.7.	Otras fuentes de potencial lesión	157
CONCLUSIONES		159
RECOMENDACIONES		161
BIBLIOGRAFÍA.....		163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Caída de material del horno a enfriador.....	4
2.	Inclinación de 10 grados en parrillas de enfriador.....	6
3.	Enfriador posición horizontal.....	7
4.	Inclinación de 5 grados en parrillas de enfriador.....	8
5.	Parrillas horizontales en enfriador.....	9
6.	Enfriador de parrillas reciprocantes.....	12
7.	Enfriador de parrillas de corredera.....	13
8.	Enfriadora planetaria.....	15
9.	Enfriadoras vibratorias.....	16
10.	Enfriadoras rotativas.....	17
11.	Enfriadoras de eje.....	18
12.	Relaciones para la operación exitosa del enfriador.....	24
13.	Relaciones para la operación exitosa del enfriador ii.....	26
14.	Proceso húmedo.....	29
15.	Proceso secado largo.....	30
16.	Proceso con precalentamiento.....	31
17.	Proceso con precalcincación.....	32
18.	Eficiencia #1.....	35
19.	Eficiencia #2.....	35
20.	Eficiencia #3.....	36
21.	Eficiencia y profundidad de cama.....	39
22.	Flujo de aire y cama de material.....	41
23.	Flujo de aire de ventilador.....	43

24.	Ventilador de enfriador	44
25.	Leyes de los ventiladores	46
26.	Manivela de enfriadora	48
27.	Transmisión hidráulica	48
28.	Eje cruceta	49
29.	Marco móvil.....	49
30.	Brazos Pitman	50
31.	Eje de rueda.....	51
32.	Líneas de parrillas en enfriador	52
33.	Soporte de placas de parrilla	52
34.	Placas de parrillas	53
35.	Parrilla de enfriador	54
36.	Fundiciones laterales	55
37.	Marco móvil.....	56
38.	Sellos de tabique.....	57
39.	Marco lateral	58
40.	Carcasa de enladrillado.....	59
41.	Cortina de cadenas	60
42.	Trituradora de Clinker.....	61
43.	Barras Grizzli.....	62
44.	Acero de impacto	62
45.	Juego de la parrilla	67
46.	Desgaste del revestimiento	78
47.	Distancia entre hendeduras.....	96

TABLAS

I.	Mantenimiento preventivo	64
II.	Puntos de lubricación	65
III.	Condiciones esenciales para operación.....	143

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
q	Caudal
cm	Centímetros
bar	Dimensional de presión, bares
°C	Grado Celsius
°F	Grado Fahrenheit
Kcal	Kilocalorías
Kg/m²	Kilogramos entre metros cuadrados
M²	Metros cuadrados
Lwt	Nivel de potencia sonora
MgO	Óxido de magnesio
CFM	Pies cúbicos por minuto
Pr	Potencia
Pf	Presión
BTU	Unidad térmica británica
BTU / Lb	Unidad térmica británica entre libras

GLOSARIO

Accionador	El elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.
Aclimatar	Proceso por el cual un organismo se adapta fisiológicamente a los cambios en su ambiente, que en general tienen relación directa con el clima.
Aire de enfriamiento	Aire tomado del ambiente para ingresar al enfriador por los ventiladores y enfriar el Clinker.
Aire secundario	Aire tomado del enfriador para calentar el horno.
Ajuste	Apriete o momento específico aplicado a una rosca para su correcto desempeño.
Almacén	Lugar o espacio físico para el almacenaje de bienes.
Bomba	Dispositivo mecánico que mueve fluidos no compresibles.

Caída de presión	Disminución significativa de la presión de un sistema causada por factores externos al sistema.
Carga del horno	Flujo de material que entra al horno para su cocción.
Clinker	Mezcla química de piedra caliza y esquistos molidos y fundidos.
Cojinete	Elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este.
Combustión	Reacción química en la cual, generalmente, se desprende una gran cantidad de calor y luz.
Compuerta	Dispositivo hidráulico - mecánico destinado a regular el flujo de agua u otro fluido en una tubería, en un canal, presas, esclusas, obras de derivación u otra estructura hidráulica.
Confiabilidad	Capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

Erosión	Degradación y el transporte de material o sustrato del suelo, por medio de un agente dinámico, como son el agua, el viento o el hielo.
Estado vidrioso	Estado en el que sale la descarga de Clinker del horno hacia el enfriador. Su consistencia es como vidrio fundido.
Grasa lubricante	Dispersión semilíquida a sólida de un agente espesante en un líquido. Consiste en una mezcla de aceite mineral o sintético (85-90%) y un espesante. Usada para lubricar las piezas de los equipos mecánicos.
Herméticamente	Cerrado de manera que no permita el ingreso o salida de gases o líquidos.
Hidráulica	Rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos.
Horno	Equipo principal para la producción de cemento, donde se funde la mezcla molida de esquisto y piedra caliza para producir Clinker.

Manivela

Pieza normalmente de hierro, compuesta de dos ramas, una de las cuales se fija por un extremo en el eje de una máquina, de una rueda, entre otros, y la otra forma el mango que sirve para mover al brazo, la máquina o la rueda. Puede servir también para efectuar la transformación inversa del movimiento circular en movimiento rectilíneo.

Material

Se le denomina así a la materia prima que pasa por el proceso de producción.

Molino de carbón

Equipo mecánico que pulveriza carbón para que pueda servir como combustible al horno.

Piezómetro

Instrumento para medir la presión.

Precalcinador

Equipo mecánico que pulveriza carbón para que pueda servir como combustible al horno.

Reciprocante

Movimiento oscilante de un cuerpo en una dirección y se alterna con otro en sentido contrario.

Refractario

Material que resiste el fuego y el calor sin cambiar de estado o descomponerse.

Soldadura de recargue

Consiste en depositar una o más capas de material de aporte mediante cordones o pasadas, sobre una superficie continua, con vistas a conseguir unas dimensiones o características superficiales determinadas.

Suspensión

Conjunto de elementos que absorben las irregularidades de la pista en la cual el equipo opera, para aumentar la comodidad y el control de operación.

Transferencia de calor

Proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos.

Zona de recuperación

Área en la parrilla donde se recupera el calor del Clinker y se ingresa de nuevo al precalcinador.

RESUMEN

El enfriador de parrillas recibe el Clinker caliente desde la salida del horno rotatorio y lo enfría a una temperatura adecuada para transporte ulterior a la molienda o al almacén.

Al mismo tiempo se recupera una parte de la energía calorífica contenida en el Clinker, ya que esta es transmitida al aire de enfriamiento que, después de haber abandonado el enfriador, se utiliza en el horno, en el calcinador, en la molienda de crudo o en otros lugares de la instalación.

Dado que la producción de las plantas cementeras es continua, no se puede permitir que los equipos paren sin que esté programado. Se, debe contar con una guía útil y efectiva de mantenimiento preventivo para utilizar en las paradas programadas, ya sean cortas o mayores.

Las directrices contenidas en el proyecto son de carácter general, ya que muchos factores tienen relación con condiciones específicas o locales y, por consiguiente, no es factible describirlos con suficiente comprensibilidad y adecuación en instrucciones de este tipo.

Las instrucciones deben considerarse como un medio para optimización del servicio de los elementos que conforman el enfriador, sus equipos auxiliares y el sistema hidráulico. Las presentes instrucciones versan acerca de situaciones que, según experiencia adquirida, son las que se originan más comúnmente.

OBJETIVOS

General

Elaborar una guía de mantenimiento mecánico para la enfriadora de parrilla de Clinker, que permita una instalación técnicamente segura y acorde con los requerimientos de fabricante; que, a la vez, sirva como referencia para estudiantes y profesionales involucrados en esta área del proceso de producción de cemento.

Específicos

- Diseñar una guía técnica, práctica y útil, tanto para consulta como para implementación.
- Facilitar los conocimientos técnicos necesarios para que también pueda ser utilizada para consultar las características del proceso, equipo y maquinaria.
- Definir un procedimiento técnico para la instalación de este equipo.

INTRODUCCIÓN

En toda instalación industrial de producción de cemento se debe tomar en consideración las características de instalación y montaje, propias de cada equipo, con base en los requerimientos específicos del fabricante y en las características de diseño de ingeniería en el área de instalaciones mecánicas e hidráulicas.

La producción de Clinker en una planta cementera es vital, debido a que este material es la base de la producción de cemento. Considerando que la industria cementera tiene una producción continua, es necesario que todos los equipos críticos (los que afectan la producción si no están en operación) tengan la máxima disponibilidad.

Para que esta condición pueda cumplirse se necesita un correcto montaje y un óptimo mantenimiento. Desarrollar una guía de mantenimiento mecánico para este equipo facilitará enormemente la actividad del Departamento de Mantenimiento, y mejorará significativamente los tiempos de instalación y los costos de mano de obra. La planificación de las actividades de instalación y montaje puede reducir significativamente los costos totales, además de generar un clima de trabajo adecuado para la realización del proyecto.

Este trabajo de graduación presenta una guía rápida para el mantenimiento mecánico preventivo de la enfriadora de parrillas de Clinker, que puede adaptarse a la gestión de mantenimiento de cualquier planta de producción de cemento. Además, guarda la mayor simplicidad posible para que pueda ser utilizada tanto por personal operativo como técnico.

1. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

1.1. Introducción a las enfriadoras de Clinker

La enfriadora nunca opera en un ambiente independiente, sino que siempre como parte de un sistema. Este incluye un número mayor de piezas y equipos, los cuales tienen una función conjunta bajo un control muy estricto. Un sistema puede existir en muchos tamaños y configuraciones, dependiendo de la aplicación.

La enfriadora, por sí misma, puede variar en tamaño, características y equipos incorporados en instalaciones específicas. A pesar de estas consideraciones, todas las enfriadoras de este tipo tienen el mismo diseño básico, funciona de la misma manera, tienen las mismas relaciones básicas con otros elementos del sistema y requieren las mismas consideraciones generales para operación y mantenimiento. La enfriadora de parrillas con aire realiza varias funciones básicas como:

- Proveer rápido enfriamiento al material
- Recuperar el calor del material para proveer aire secundario a alta temperatura, para una operación más económica y estable del horno.
- Transporta el material a un punto donde puede ser descargado a transportadoras para bajar su temperatura.

- Estandariza el tamaño del material para excluir la entrada de partículas grandes en el resto del sistema.

El enfriamiento es logrado al forzar el aire del ambiente a través del material en dirección ascendente, mientras este es transportado a través de la longitud de la enfriadora por la acción recíproca de las parrillas.

Mientras el aire de enfriamiento pasa a través de la cama del material, el calor es transferido desde el material al aire y este se expande. El aire a alta presión es requerido para mantener el flujo de alimentación deseado al final de la alimentación, donde la transferencia de calor es más alta que en la descarga, donde es relativamente baja. Debido a los cambios de las condiciones a lo largo de las enfriadoras, la cámara del pleno debajo de la parrilla es dividida en un número de compartimientos. Cada uno tiene su propio ventilador para proveer aire a presión y volumen compatible con las condiciones del sistema.

Al principio, el requerimiento de presión de aire cambia rápidamente, por tanto, los compartimientos al final de la alimentación son cortos. Mientras el requerimiento de presión de aire se vuelve mayor y cambia progresivamente a un ritmo menor, los compartimientos son progresivamente más largos.

Este arreglo minimiza la cantidad de aire de enfriamiento que puede circular rápidamente, a la cama de material, y pasa a través de ella únicamente en lugares donde la presión de aire requerida es la más baja. Es en el primer compartimiento donde el enfriamiento con aire a alta presión es logrado rápidamente.

Después de pasar a través de la cama del material, el aire de enfriamiento es conducido dentro del horno donde es usado como aire secundario precalentado para el proceso de combustión. El aire también podrá ser tomado desde la enfriadora por calcinadores rápidos, molinos de carbón y secadores. Cualquier exceso de aire de enfriamiento es expulsado a la atmósfera.

La recuperación óptima del calor que afecta en el ahorro de combustible es lograda a través de mantener el correcto flujo de aire en la profundidad de la cama. La resistencia de la cama, que está en función de la profundidad, tamaño de la partícula y flujo de aires, es controlada regulando la velocidad de la parrilla y es mantenida a un nivel predeterminado para asegurar el tiempo propio de retención y distribución de aire para un enfriamiento óptimo. Las parrillas contribuyen a un rápido enfriamiento al inducir un movimiento del material y mantener uniformidad de enfriamiento al nivel de la cama.

El dimensionamiento del material es logrado al descargarlo a través de una barra grizzly o tamiz y una trituradora de martillos, dependiendo de la aplicación. La barra grizzly permite que solo las partículas más pequeñas que un tamaño predeterminado sean descargadas hacia el transporte. Los martillos de la trituradora golpean las partículas de material de mayor tamaño para quebrarlas y conducir las de nuevo a las parrillas para enfriamiento adicional de su núcleo caliente, antes de que pasen a la barra grizzly.

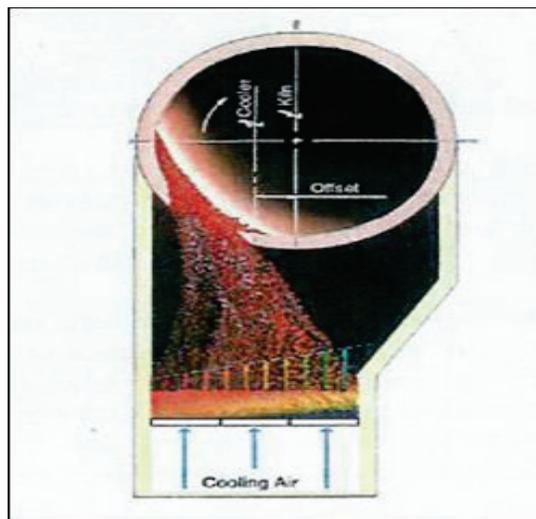
1.1.1. Relación entre el horno y la enfriadora

La modificación de una enfriadora existente para hacerla más estrecha y mejorar su desempeño y confiabilidad consiste en la adaptación de una regla que determine el ancho de la enfriadora con relación al diámetro del horno. La regla que fue adaptada y ha sido usada para la mayoría de enfriadoras suministradas

entre 1 960 y la mitad de 1 990, es que el final del ancho de alimentación de la enfriadora debería ser de 50 a 60 % del diámetro interior del horno dentro del material refractario, lo que usualmente da como resultado una profundidad de cama de material deseable.

Es también importante compensar la línea central de la enfriadora en relación con la línea central del horno, a manera de obtener una buena distribución a lo ancho de la primera. Desde que la carga en el horno no está en la línea central debido al giro y levantamiento del horno, la línea central de este debe ser compensada a la carga lateral del mismo. Naturalmente, este estándar cambia a través de los años mientras la velocidad del horno y su relación de carga cambia. Este cambio en los parámetros de diseño del horno tiene efecto también en los estándares de compensación.

Figura 1. **Caída de material del horno a enfriador**



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 11.

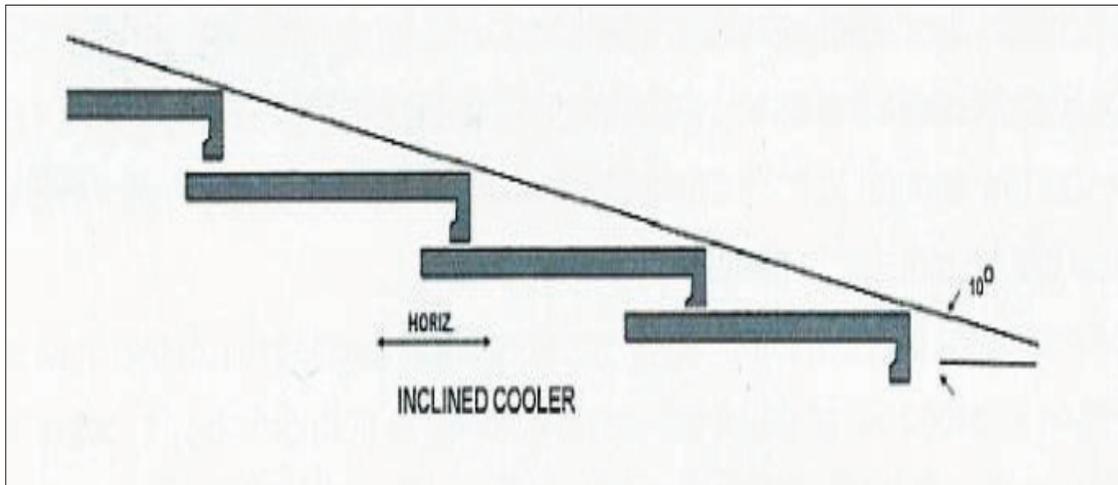
Dado que estos estándares han cambiado a través de los años, no es importante mencionarlos. Una pobre distribución de aire debe ser el resultado de notables cambios. Si hay sospecha de que la enfriadora tiene pobre distribución, es de máxima importancia evaluarla para determinar las causas del problema.

1.1.2. Historia de los estándares de tamaño de enfriadora

Los cambios notados a través de los años han resultado en la habilidad de disminuir el tamaño de la enfriadora para una capacidad en particular. Esto permite que sea instalada a un menor costo y operar por menos dinero, debido a la mayor eficiencia. De todas formas, en algunos casos ha obstaculizado la expansión de producción mientras la enfriadora alcanza sus límites superiores más rápidamente de como lo hace el horno.

La historia de los enfriadores de parrilla gira alrededor del tipo de enfriadoras. La primera generación fue instalada con las parrillas en un plano horizontal. La longitud de estas y la altura de la cara de empuje creaban una escalera cuando muchas filas de estas eran alineadas con cada una. Esta escalera en las enfriadoras originales causaba que el Clinker fuera corriente abajo con 15 grados de inclinación.

Figura 2. **Inclinación de 10 grados en parrillas de enfriador**



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 18.

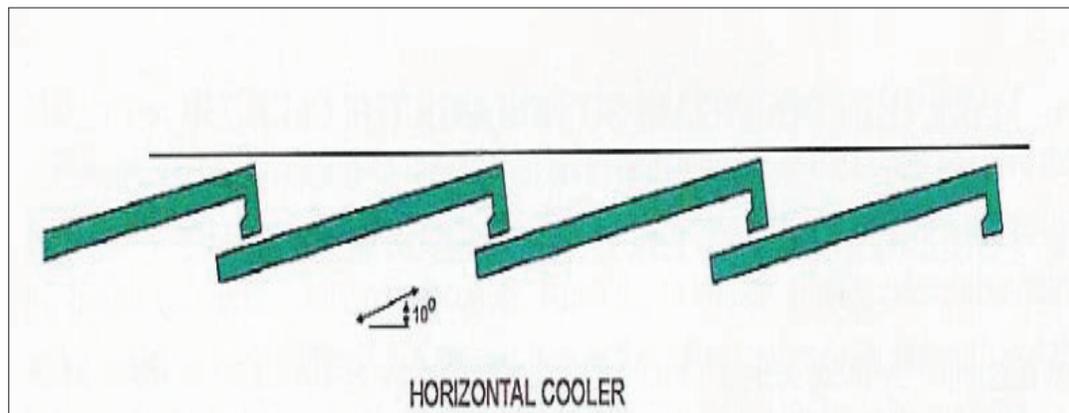
Poco tiempo después de la presentación de esta enfriadora, las parrillas fueron alargadas para que la inclinación se volviera de 10 grados. La cara de empuje de las parrillas era dos pulgadas de alto, mientras la superficie se mantenía en el plano horizontal. Esta configuración fue utilizada hasta 1956.

En ese tiempo, la creciente demanda de producción de Clinker requería enfriadoras más grandes. Mientras la enfriadora se volvía de mayor tamaño, también se utilizaba más altura desde el piso al horno. Esto causó costos más altos de construcción, algo que a muchos clientes no les gustó.

Como consecuencia, las empresas desarrollaron la enfriadora horizontal, que fue con todos los fundamentos de la enfriadora de diez grados, sin ningún cambio. La enfriadora inclinada era simplemente dejada atrás. La cara de empuje en las parrillas se mantuvo a dos pulgadas y las parrillas viajaban de arriba para

abajo a una inclinación de 10 grados. El material se movía a través de la enfriadora en un plano horizontal.

Figura 3. **Enfriador posición horizontal**

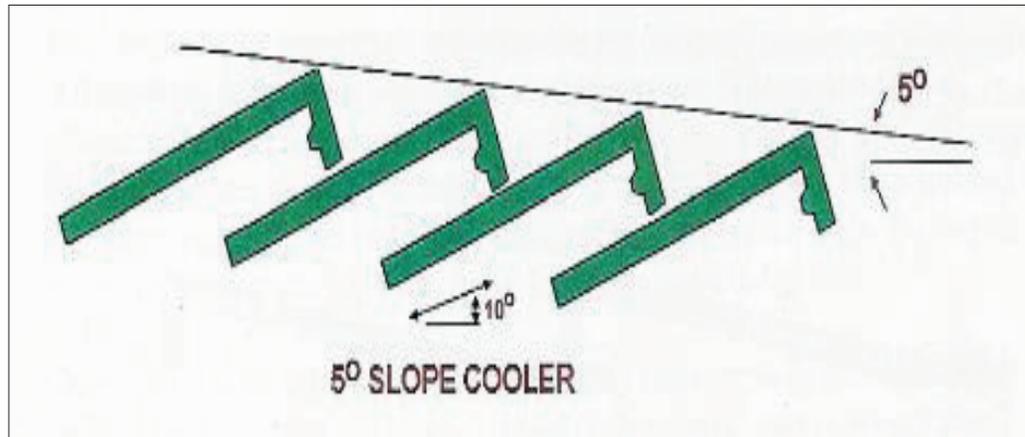


Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 20.

Desafortunadamente, desde que se enfocaron los esfuerzos en reducir la altura de esta instalación, nada fue hecho para mejorar la estrechez debajo de las cámaras. Flujos de material desde el horno sobrepasaron la capacidad del ventilador para empujar el aire de enfriamiento entre las parrillas y el material. Esto condujo a enfriadoras sobrecalentadas y dañadas.

Eventualmente, como resultado de estos problemas, se decidió cambiar el final de la alimentación con 9 grados a 5 grados (un arreglo entre la enfriadora de 10 grados y la enfriadora horizontal). Al mismo tiempo otras mejoras fueron realizadas. Pequeños y angostos compartimientos fueron utilizados en la parte delantera del final de la enfriadora. Los ventiladores de enfriamiento fueron provistos con unos dispositivos de control de flujo automático (piezómetros) para garantizar un flujo constante de enfriamiento a los compartimientos. Estos cambios mejoraron dramáticamente la confiabilidad en la enfriadora de parrillas.

Figura 4. **Inclinación de 5 grados en parrillas de enfriador**



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 21.

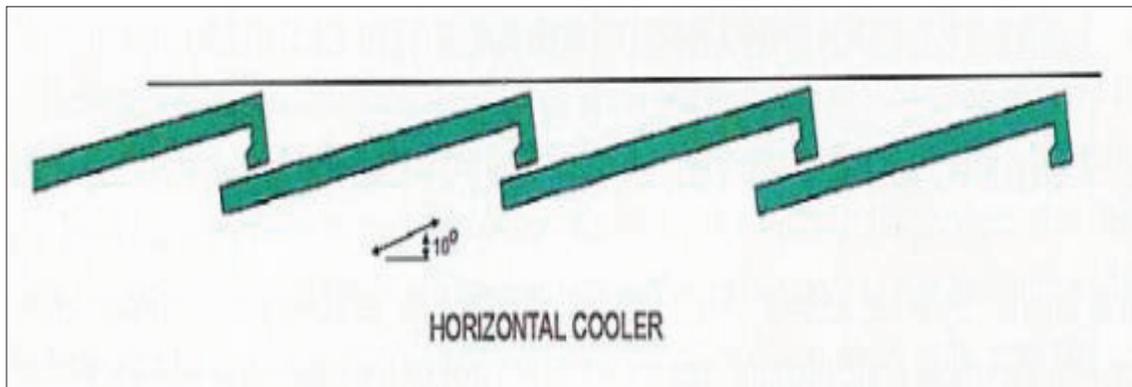
La enfriadora de 5 grados inició como una enfriadora combinada; es decir, los primeros dos compartimientos eran a cinco grados y los demás, horizontales. Mientras el horno se hizo más caro, requería enfriadoras más largas; las líneas de la enfriadora de parrillas fueron divididas en dos y tres secciones de transmisión. En estos casos, la primera transmisión era hecha a cinco grados con las secciones subsecuentes de disposición horizontal.

El diseño de las enfriadoras fue cambiado para remover los derrames en los transportes del material desde el interior hacia el exterior de la enfriadora, por medio de placas de piso y tolvas. Para prevenir además la pérdida de aire, fueron adaptadas compuertas de doble depósito operadas por aire.

Aunque la enfriadora de 5 grados y los cambios incorporados en esa época mejoraron la confiabilidad de la enfriadora, era necesario más refinamiento. Había material fino que fluía y corría rápidamente hacia fuera de las parrillas. Como consecuencia, se diseñó una tercera enfriadora. En comparación a la de 5

grados, la cara de empuje es $2 \frac{11}{16}$ contra $3 \frac{1}{4}$ de pulgada. Además en la enfriadora horizontal, el movimiento de las parrillas en ambas (de tres y cinco grados) es 10 grados fuera de la horizontal.

Figura 5. **Parrillas horizontales en enfriador**



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 23.

Eventualmente, debido a los continuos problemas con el flujo de material, la enfriadora horizontal fue regresada con muchas mejoras. Una cama de operación más honda, rodillos para las ruedas y guías internas, transmisiones de parrillas hidráulicas, eliminación de las fundiciones laterales, enfriadoras de ancho fijo están entre los cambios que se han realizado durante el proceso de evolución de estas.

1.1.3. **Funciones de una enfriadora de parrillas**

El tipo de enfriadora de Clinker que será estudiada en este documento es la de parrillas. Se enfocará en el mantenimiento más que en el diseño mecánico. Se parte de, la definición de las funciones de las enfriadoras de Clinker de parrillas.

Se ha agregado específicamente “de parrillas” a la oración anterior porque hay algunas funciones que son solamente aplicables a la enfriadora de parrillas. Se discutirán las funciones en su orden de importancia, de atrás para adelante, para los usuarios de las enfriadoras de Clinker.

1.1.3.1. Mejoramiento de la calidad de Clinker

El enfriamiento de Clinker por aire mejora la calidad cuando el óxido de magnesio es alto, mientras el enfriamiento convierte el óxido de magnesio en estado vítreo. Esto hace más fácil pulverizarlo y dispersarlo en el producto. Antes del enfriamiento de aire del Clinker, la alta concentración causaba agrietamientos en el concreto.

1.1.3.2. Determinación del tamaño de Clinker

El uso de una trituradora de martillos o una trituradora de rodo después del proceso de enfriamiento, rompe el revestimiento y los trozos de material aglomerado a tamaños más fáciles para transportar y moler en los molinos finales.

1.1.3.3. Recuperación de calor

El calor removido del Clinker en la descarga de la enfriadora regresa al proceso, cuando el aire de la enfriadora regresa hacia el horno y al precalcinador para que se queme el combustible. Este provee un retorno de calor y reduce la cantidad de combustible requerida para producir Clinker.

1.1.3.4. Transporte de Clinker lejos del horno

La enfriadora de parrillas provee una manera segura de transportar el producto lejos del horno. El Clinker es descargado del horno en el rango 1 300 a 1 450 grados Celsius. La enfriadora de parrillas transporta este material hasta que alcanza la temperatura a la que puede ser trasladado con seguridad en transportadoras normales.

1.1.3.5. Enfriamiento de Clinker

Esta función no requiere mucha explicación. El Clinker necesita estar frío para ser trabajado, transportado y hacerse mezcla, en la continuación del proceso de producción de cemento.

1.1.3.6. Producción continua

De último, pero no menos importante, la enfriadora no debe ser la razón por la que el horno no produzca Clinker. La enfriadora puede verse como la cola para un perro, cuando el horno es el perro. Este debe mover su cola, no viceversa.

1.1.4. Tipos de enfriadoras de Clinker

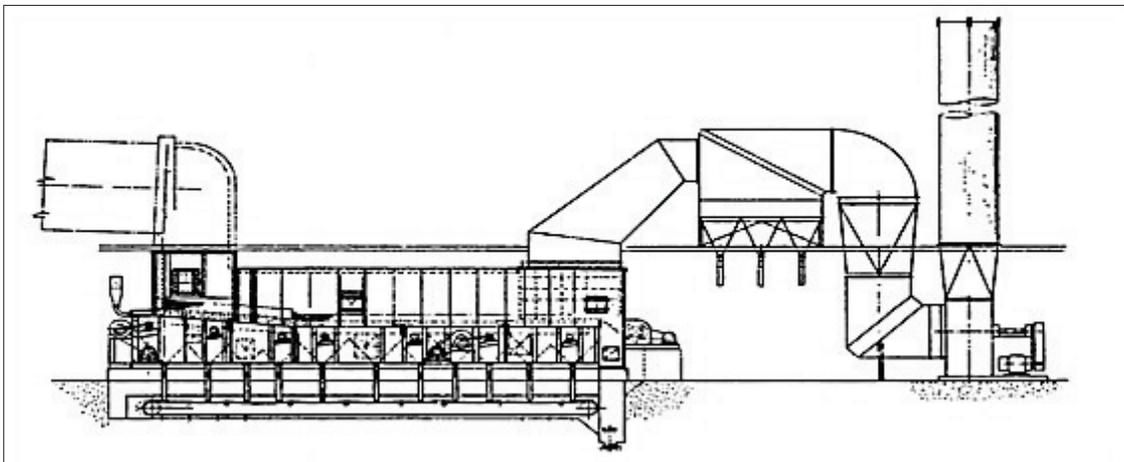
Antes de continuar con las enfriadoras de parrillas, conviene saber que hay muchos tipos de enfriadoras de Clinker, que se describen a continuación: enfriadora de Clinker de parrillas reciprocante, de perillas de corredora, planetarias, vibratorias, rotativas, de eje, G y SF.

1.1.4.1. Enfriadora de Clinker de parrillas reciprocante

La enfriadora está compuesta por filas de fundición diseñadas para sostener y transportar el Clinker. Mientras, el aire de enfriamiento atraviesa al alza de estas desde la recámara por debajo de las rejillas, a través de las rejillas y del Clinker para causar una transferencia de calor entre el aire de enfriamiento y el Clinker. Las filas de rejillas usualmente alternan entre filas en movimiento y filas fijas.

Esta categoría también incluye las más nuevas enfriadoras de parrilla como la CFG y las híbridas. Estas son empleadas en parrillas de alta resistencia y ductos de aire, conectados directamente al sistema de la parrilla para controlar la distribución de aire de enfriamiento. La de parrillas es en la actualidad, probablemente, el tipo más común de enfriadora.

Figura 6. **Enfriador de parrillas reciprocantes**



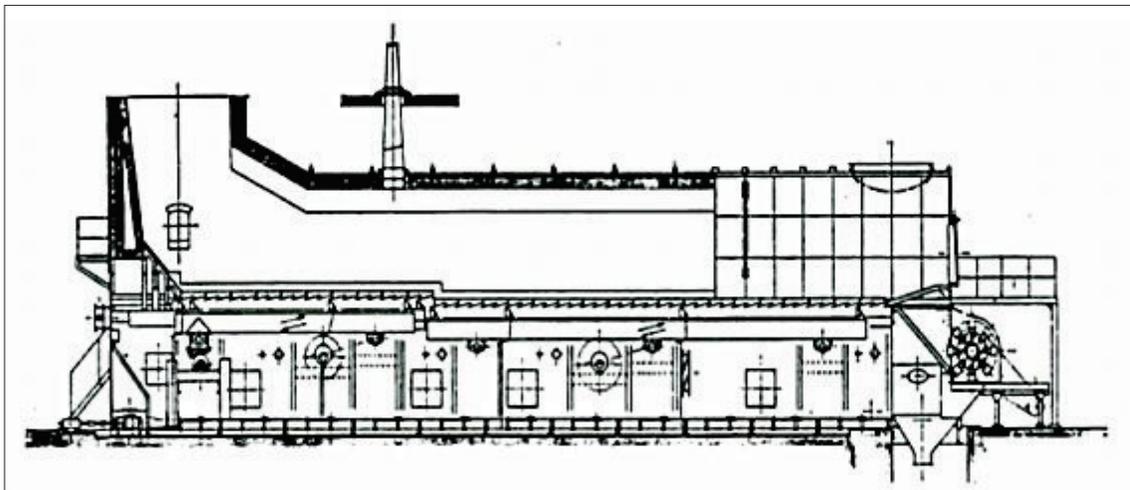
Fuente: PUSHCOK, Edward. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF.* p. 33.

1.1.4.2. Enfriadoras de parrillas de corredera

Consiste en parrillas de fundición unidas a cadenas continuas. La cadena entra a la enfriadora desde la parte de atrás (última fila) y viaja hacia el final de la descarga de la enfriadora. El material cae desde el horno en las parrillas de corredera y es llevado al final de la descarga. La ventaja de la parrilla de corredera es que las parrillas no permanecen en el ambiente caliente y se disipa el calor excesivo.

Esta enfriadora tiene dos desventajas: la primera, es que el material permanece cuando cae a las parrillas. La distribución de material a lo largo del ancho de la enfriadora es pobre, lo cual da un enfriamiento ineficiente. La segunda, es que un sello es requerido donde la cadena entra en la enfriadora. Si altas presiones bajo la reja son usadas, es difícil proveer un sello que no gotee.

Figura 7. **Enfriador de parrillas de corredera**



Fuente: PUSHCOK, Edward. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF.*

p. 14.

1.1.4.3. Enfriadoras planetarias

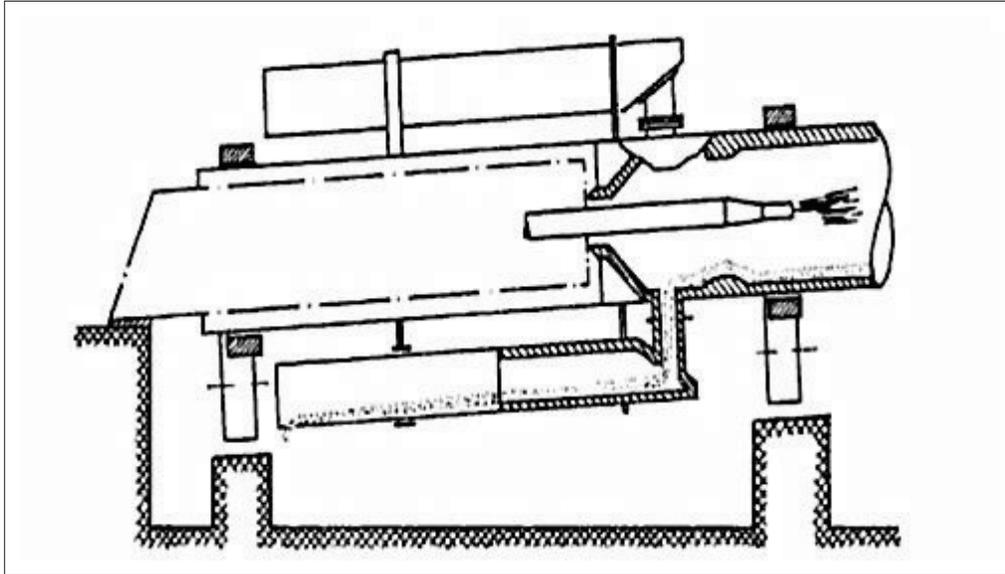
Consiste en un número de tubos adjuntos a la circunferencia del horno. Cuando está rota, el Clinker cae a los tubos adjuntos y es transportado por gusanos en los mismos. El aire de combustión del horno es estirado a través de los tubos y fluye contrariamente. Cargadores (volteadores) dentro de los tubos dejan caer el material a través del flujo de aire, lo que causa transferencia de calor del material al aire de enfriamiento.

El calor es regresado al proceso por su mismo intercambio. Las enfriadoras planetarias ganaron popularidad a finales de 1960 e inicios de 1970. Su gran ventaja sobre la enfriadora de parrillas es que no utiliza ningún sistema de salida de humo porque no hay exceso de aire usado.

La invención del precalcinador que necesita aire caliente para la combustión, fue un golpe mortal para el creciente uso de la enfriadora planetaria. El aire que el precalcinador necesita no puede ser tomado a través del horno porque las velocidades del gas serían muy altas y no es posible tener por separado una salida, como la enfriadora de parrillas.

Otra desventaja de la enfriadora planetaria es la descarga de Clinker a alta temperatura, mientras que el aire suficiente para las bajas temperaturas no puede ser usado. En muchos casos, los aerosoles de agua eran aplicados a las corazas de los tubos en un intento de obtener temperaturas aceptables. Adicionalmente, había algunos problemas mecánicos con los revestimientos de los tubos, donde el material se iba por el horno al tubo y donde se sostiene el tubo al horno.

Figura 8. **Enfriadora planetaria**

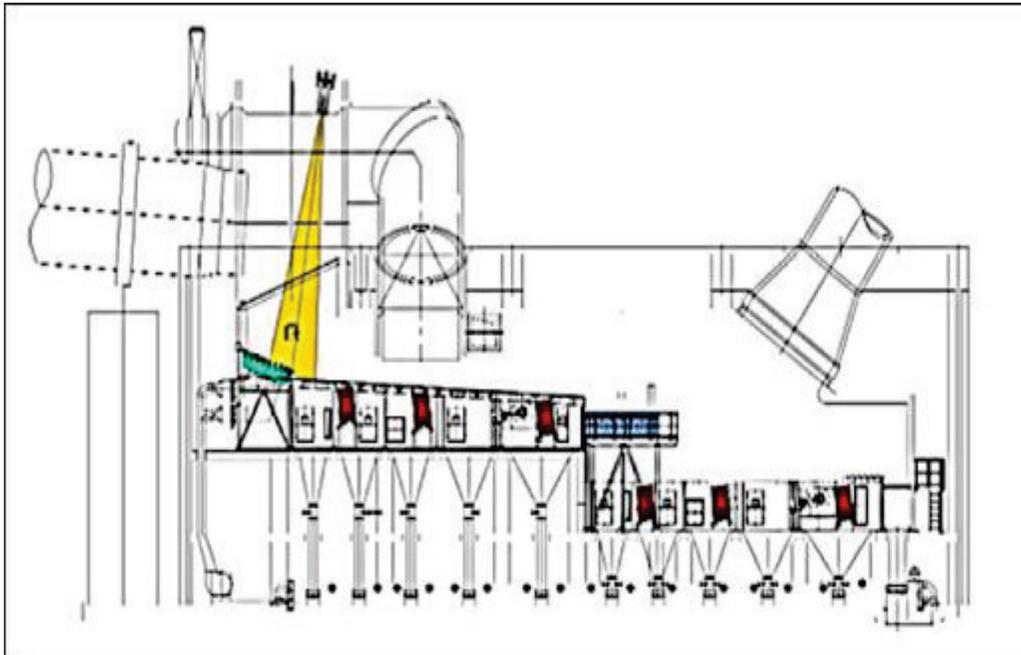


Fuente: PUSHCOK, Edward. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF*. p. 15.

1.1.4.4. Enfriadoras vibratorias

Estas son similares a los largos transportes vibratorios. Requieren largas masas de concreto incrustadas en el suelo para mantenerlas en su lugar, así como mucho mantenimiento. Por el diseño, el plano debajo de la reja también se va atrás y adelante con la cama de la parrilla. Esto hace más difícil, si no es que imposible, usar más de un ventilador de enfriamiento y subdividir el área debajo de las parrillas en recámaras.

Figura 9. **Enfriadoras vibratorias**

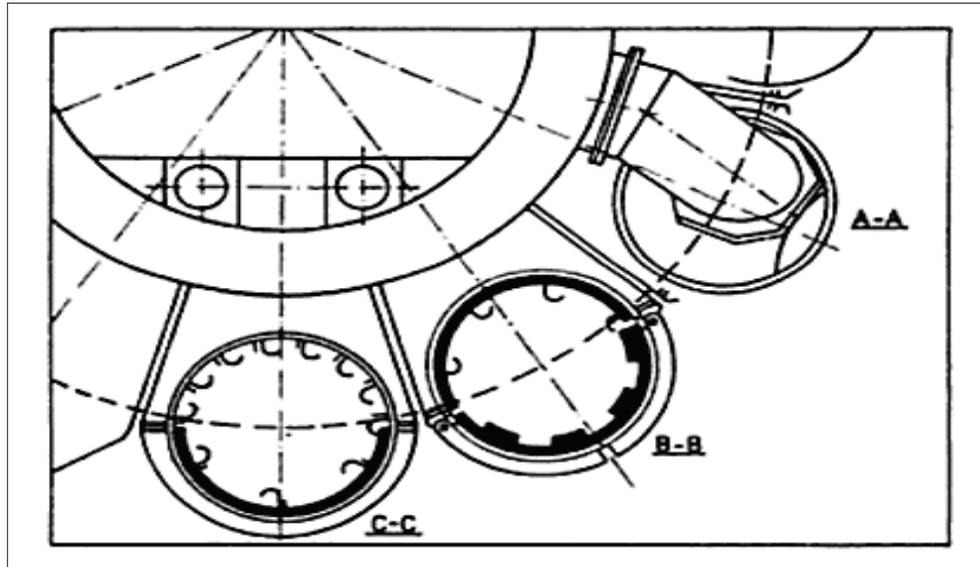


Fuente: PUSHCOK, Edward. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF.* p. 16.

1.1.4.5. Enfriadoras rotativas

Son de diseño parecido al horno y siguen a este en un nivel más bajo. Así como, en las enfriadoras de planetas el medio de enfriamiento es el aire usado en la combustión, los cargadores son usados para tener la mezcla entre el aire y el material. En un punto donde la temperatura del material es lo suficientemente baja para no dañar la coraza de acero de la enfriadora rotatoria, no se usa aislamiento; así el calor sería irradiado a la atmósfera.

Figura 10. **Enfriadoras rotativas**

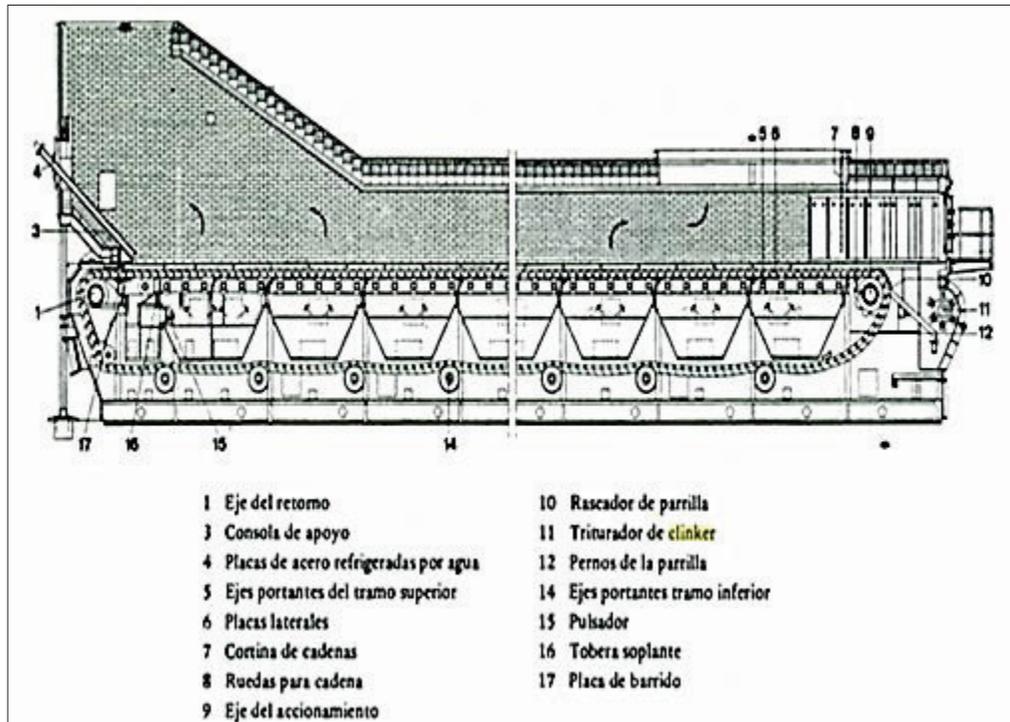


Fuente: PUSHCOK, Edward. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF.* p. 17.

1.1.4.6. **Enfriadoras de eje**

En teoría, estas son probablemente las más eficientes por el verdadero intercambio de calor a contra flujo. De todas maneras, tienen algunos de los problemas que afectan a las enfriadoras de parrillas. Por ejemplo, la segregación de acuerdo al tamaño de la partícula es un problema debido a que el aire de enfriamiento es a través del material grueso más fácilmente que en los finos. Manejar grandes aglomeraciones también sería un problema.

Figura 11. Enfriadoras de eje



Fuente: PUSHCOK, Edward. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF.* p. 18.

1.1.4.7. Enfriadoras G

Esta enfría el Clinker en series de tubos horizontales por donde pasa. Los tubos cruzan a través de una caja y el Clinker es puesto dentro de la parte más alta de la caja. Mientras cae a través de la caja, pasa sobre y alrededor de los tubos. El aire de enfriamiento es soplado a través de los tubos para enfriar el Clinker y nunca entra en contacto con el mismo. Esta es la gran ventaja de la enfriadora G, que no necesita un sistema de ducto.

El caudal de material a través de la enfriadora G es controlado por puertas en la descarga de la caja. Esta enfriadora es siempre usada en conjunto con una de parrilla, diseñada como un recuperador. Básicamente, empleaba únicamente el aire para la combustión.

La enfriadora G requiere un transportador de bandejas para llevar el Clinker a la parte más alta de la caja y arrastrar el transporte para distribuirlo a lo largo de la longitud de la caja. También requiere una trituradora de rodillo para proveer el material a su tamaño óptimo para la enfriadora G. Llevar el Clinker del horno también necesita de un sistema que maneje el desbordamiento en la enfriadora G.

1.1.4.8. Enfriadora SF

Esta separa la función de transporte y de enfriamientos de la enfriadora. Esto no había sido hecho por ningún otro diseño de enfriadora y asegura que la eficiencia de la misma se mantenga alta. Adicionalmente, la tecnología MFR (regulador mecánico de flujo), una parte integral del diseño SF de la enfriadora, asegura que cada placa de distribución de aire en la enfriadora tenga un volumen constante de aire de enfriamiento circulando a través de ellas. La MFR es como tener un ventilador individual para cada parrilla en la enfriadora.

1.1.5. Métodos para operar exitosamente la enfriadora

Las enfriadoras de parrillas son bastante simples. Hacerlas operar correcta y confiablemente también es muy fácil. De todas maneras, la mayoría de usuarios no quieren hacer el esfuerzo de aplicar estos dos secretos para una operación efectiva.

Los métodos para la operación exitosa de la enfriadora son:

- Hacer que el aire de enfriamiento pase a través del Clinker
- Hay que considerar que el aire de enfriamiento toma el camino con menos resistencia.

¿Qué implica esto? Primero, hacer que el aire de enfriamiento pase a través del Clinker. El aire soplado a través del pleno debajo de la parrilla debe viajar a través de las parrillas y dentro de la cama del material. Es imperativo, que las cámaras sean selladas herméticamente debajo de la parrilla. El aire no debe fugarse a través de fisuras, compartimientos flojos de las puertas, sellos del eje desgastados, transportes de material no sellados, entre otros.

A continuación, el aire de enfriamiento toma el camino de menos resistencia. La resistencia de la cama de material es más alta que un agujero en el pleno de la cámara; entonces, el aire de enfriamiento se fugará por el agujero en vez de irse a través de la cama y enfriar el Clinker. El aire que no va a través de las parrillas permite que estas se sobrecalienten y sean dañadas.

En el fin de la descarga de la enfriadora, donde la temperatura del Clinker no es suficientemente caliente para dañar por el calor a las parrillas, una falta de flujo de aire permitirá que el material se vierta para atrás, a través de la superficie de la parrilla y cause una gran erosión a las placas. Toma menos presión penetrar una cama fría de Clinker que una cama caliente. Consecutivamente, si las placas de partición no son mantenidas correctamente, el aire de enfriamiento en el final de la alimentación de la enfriadora no fluirá a la descarga en el final de la misma.

La eficiencia del enfriamiento y la recuperación de calor será pobre y habrá una alta probabilidad de quemar las parrillas del final de la alimentación y otras fundiciones. Similarmente, una distribución desigual de material y las diferencias en el tamaño de las partículas causarán un uso pobre del aire de enfriamiento. Este pasará a través de una cama bruta más fácilmente que a través de una cama de finos.

El ejemplo en los párrafos anteriores puede que se vea simple y menor, pero la mayoría de las enfriadoras con problemas de operación se encuentran plagadas con estas deficiencias menores. Verifique cuando recorra a través del costado la enfriadora en operación y sienta las fugas de aire, o también cuando la enfriadora está apagada e ingrese al compartimiento debajo de las parrillas y vea el lado exterior a través de los agujeros.

Estos son todos los lugares donde el aire de enfriamiento se va en lugar de encaminarse a través de la cama del material. Generalmente, todos estos lugares son fáciles de reparar, pero no reciben atención tal vez porque parecen insignificantes. Asimismo, revise los sellos de los tabiques y los tabiques de las parrillas para constatar la hermeticidad. Una luz en el compartimiento opuesto al lado oscuro de este revelará las fuentes de fuga.

Una distribución desigual de partículas en la cama es más difícil de superar, pero pueden ser disminuidas con la ayuda del fabricante de la enfriadora. Las soluciones pueden requerir algunas modificaciones en la línea de las parrillas. Sin embargo, no es la intención de este documento profundizar en el diseño mecánico de la enfriadora.

1.1.6. Presión bajo parrilla

Para asegurar que el aire de enfriamiento penetre la cama de Clinker, se requiere que haya suficiente presión disponible en el área del pleno (debajo de la parrilla) de la enfriadora para transportar el aire a través de la cama. Consecutivamente, monitorear presiones debajo de la parrilla también ayuda a solucionar problemas de la enfriadora. Hay muchos factores que afectan las presiones debajo de la parrilla y estos factores deben ser conocidos para interpretar correctamente la presión debajo de la parrilla. Los factores que afectan la presión debajo de la parrilla son:

- Profundidad de la cama de Clinker
- Densidad de la cama de Clinker
- Volumen de aire proporcionado a la cámara
- Temperatura de la cama de Clinker

Algunos de estos factores son más obvios que otros. Por ejemplo, una cama profunda de Clinker requerirá más alta presión para la penetración del aire que una cama no muy ancha. Como el aire toma el camino donde haya menos resistencias, una cama de finas partículas requiere una presión más alta que otra con partículas más toscas.

La temperatura del Clinker afecta la presión debajo de la parrilla porque mientras el aire pasa a través de la cama, este elimina el calor. Este removido del Clinker es absorbido por el aire de enfriamiento, lo cual causa que la temperatura se incremente. El aire que está aumentando su temperatura se expande y llena los espacios entre las partículas de Clinker. Tal acción requiere alta presión para manejar los gases expandidos a través de la cama.

Mucho aire de enfriamiento en el compartimiento debajo de la parrilla causará que la presión debajo de la misma se incremente. De nuevo, hay un límite de huecos para pasar aire de enfriamiento en la cama de Clinker. Si hay mucho aire para el área disponible, la fuerza necesaria para conducirlo es alta y así la temperatura debajo de la parrilla. Este fenómeno puede ser comparado a una llanta de un automóvil con una pequeña fuga: siempre y cuando se le provea periódicamente aire, no se desinflará y la cantidad de aire afectará la presión de la llanta.

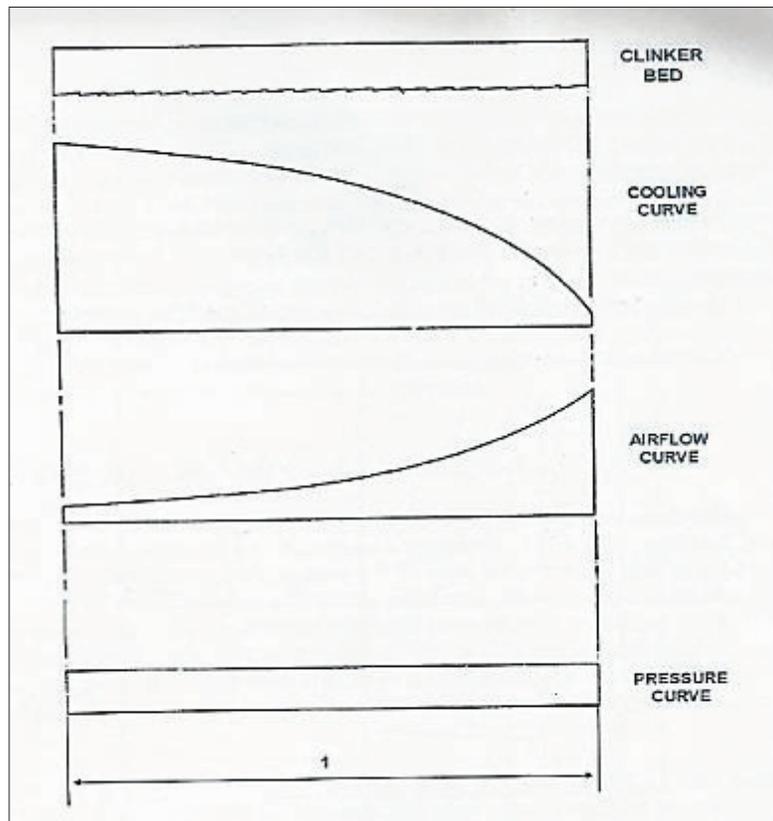
1.1.7. Comportamiento de enfriamiento

Las primeras enfriadoras de parrillas no tenían un pleno debajo del área de la parrilla divididos en compartimientos. Eventualmente, este fue realizado. Al principio, los tabiques estaban en filas móviles, pero era difícil obtener un buen sello y mantener el tabique. Además, la división inicial en el área debajo de la parrilla era construida para tener un pequeño compartimiento seguido por uno largo.

A través de los años, el desempeño de la enfriadora y la confiabilidad fueron mejoradas por la adición de compartimientos cortos, al final de la alimentación y más largos hacia el final de la descarga de la enfriadora, con tabiques en columnas estacionarias.

El otro factor clave que se debe tomar en cuenta para la operación exitosa de la enfriadora de parrillas es si el aire toma el camino de menor resistencia. Es una de las causas de la presión debajo de la parrilla, dado que se necesita más presión para penetrar el Clinker caliente que el fresco. Las imágenes a continuación ilustran una enfriadora con un compartimiento largo debajo de la parrilla.

Figura 12. Relaciones para la operación exitosa del enfriador



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 48.

El primer dibujo muestra, en la parte superior, que la cama es uniforme en su altura desde el final de la alimentación al final de la descarga. Se ilustra de esta manera para eliminar la profundidad como la razón para el patrón particular de distribución de aire, en este ejemplo.

El segundo dibujo da una curva de enfriamiento para esta enfriadora que no tiene tabiques debajo de la parrilla. El ritmo de enfriamiento en el final de la alimentación es lento, mientras la mayoría ocurre hacia el final de la descarga de la enfriadora.

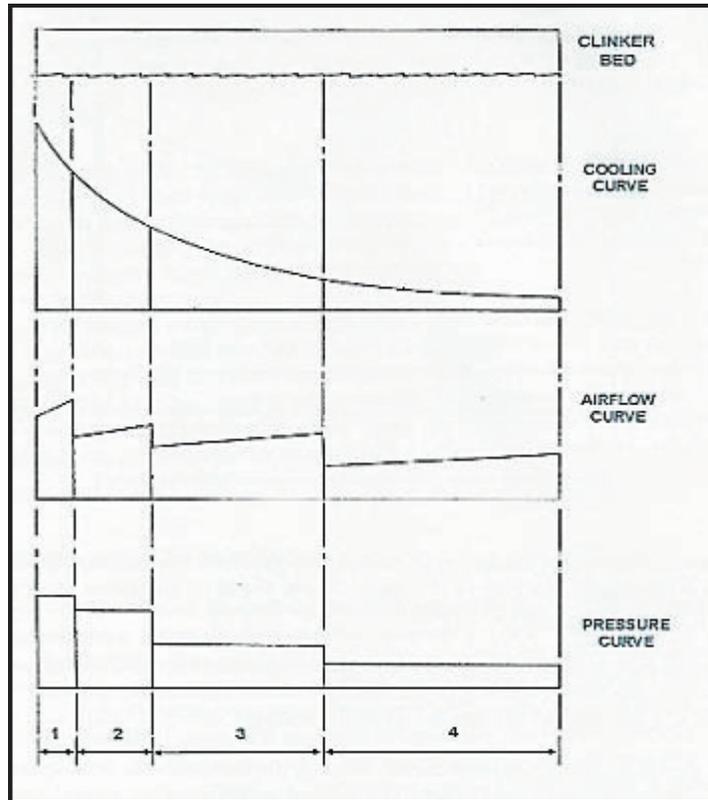
El tercer dibujo muestra una curva de flujo de aire. La mayoría del aire fluye a través de la cama al final de la descarga en la enfriadora. El dibujo del fondo muestra la presión debajo de la parrilla contra el largo de la enfriadora.

¿Qué sucede en el ejemplo? Debido a que no hay tabiques para controlar el flujo de aire en el área debajo de la parrilla y a que el aire toma el camino de menos resistencia, la masa de aire fluye hacia el final de la descarga de la enfriadora, donde el material es enfriado y la cama es más fácil de penetrar. Como resultado, la presión debajo de la parrilla llega a un punto de equilibrio donde la presión es suficiente para forzar una pequeña cantidad de aire a través de la cama caliente y una gran cantidad de aire a través de la cama fresca.

Consecutivamente, hay un pequeño intercambio de calor con el aire de enfriamiento al final de la alimentación de la enfriadora, debido al bajo flujo de aire y a la alta cantidad de enfriamiento cerca del fin de la descarga. En las enfriadoras de esta era y en enfriadoras con pobres tabiques sostenidos, la recuperación de calor para el sistema es baja, mientras que, la temperatura de descarga de Clinker y el aire de descarga son altos.

La siguiente serie de dibujos muestra una enfriadora que tiene ajustados compartimientos bajo la parrilla, con compartimientos cortos localizados al final de la alimentación de la enfriadora.

Figura 13. Relaciones para la operación exitosa del enfriador ii



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 50.

Compárense estos dibujos con los anteriores. Una vez más, la cama es de una altura uniforme para todo el largo de la enfriadora. De todas maneras, hay un tabique después de tres o cuatro filas desde el final de la alimentación de la enfriadora, seguida una de otra hasta seis filas después de la primera. El tercer compartimiento es más largo que tanto el primero o el segundo y el último son más largos. El dibujo del fondo muestra la presión de varios compartimientos debajo de la parrilla.

La presión en el compartimiento uno es la más alta con los subsecuentes compartimientos corriente abajo; y llega a ser más baja que el compartimiento corriente arriba. Los tabiques ajustados evitan que el aire de enfriamiento tome el camino más fácil. El aire suministrado a los primeros compartimientos es forzado a ir a través de la cama en el final de la alimentación de la enfriadora.

Esto es repetido en los compartimientos corriente abajo. Si se compara la curva de enfriamiento entre la enfriadora de un compartimiento y la enfriadora de cuatro compartimientos, se ve como el Clinker es enfriado rápidamente en el final de la alimentación de la de cuatro compartimientos. Las enfriadoras de este diseño son más eficientes que las de un compartimiento porque el calor es removido en la sección donde es más fácilmente regresarlo al horno. Sobre todo la enfriadora es mejor porque la longitud del agujero es usada para enfriamiento.

Adicionalmente, la enfriadora se desempeña mejor mecánicamente debido a que el Clinker es enfriado rápidamente y el aire viaja a través de las parrillas y cae en el final más caliente de la enfriadora. Por tanto, las fundiciones se mantienen frescas y los derrames dentro de las cámaras debajo de las parrillas son minimizados. Al disminuir los derrames se reduce la cantidad de revestimiento en los componentes mecánicos.

1.1.8. Balance de calor y distribución de aire en enfriadora

La cantidad de aire de enfriamiento usada por una enfriadora es dependiente de cierto número de variables. Naturalmente, la cantidad de Clinker que será enfriado es un gran factor, así como el rango de enfriamientos. Para enfriadoras más antiguas, la temperatura ambiente es también un factor importante. Estas fueron vendidas para enfriar a temperaturas específicas a pesar de la temperatura ambiente.

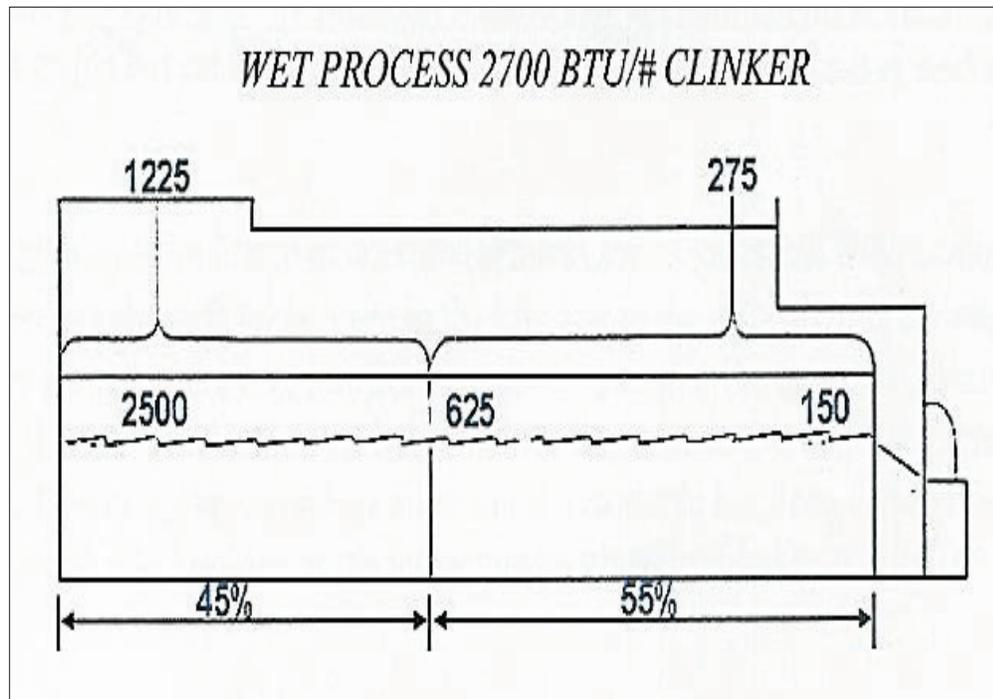
La eficiencia de las enfriadoras también afecta la cantidad de aire de enfriamiento requerido. Por ejemplo, la enfriadora SF usa mucho menos aire que cualquier otra. La razón es que no hay fugas, necesidad para sellado hermético, ni aire que atreviese la cama de material por las brechas a lo largo del lado de la enfriadora.

Una vez que el aire de enfriamiento penetra la cama del material, alguna cantidad de este será regresada al sistema de quemado, lo que provee oxígeno para la combustión y aumenta el calor al proceso de quemado.

Generalmente, la cantidad de aire de enfriamiento usada es mayor que la cantidad de aire que el sistema de quemado utilizará. Como consecuencia, el resto debe ser descargado a la atmósfera hasta que otro uso pueda ser encontrado.

El tipo de proceso usado para producir Clinker determinará cómo el aire de la enfriadora será usado después que este pase a través de la cama. Una serie de dibujos muestra ejemplos de diferentes procesos y el efecto que tienen en la enfriadora. Para todos estos ejemplos, el ritmo de producción, el tamaño del enfriamiento y el rango de enfriamiento es idéntico. El primero ejemplifica el proceso húmedo.

Figura 14. **Proceso húmedo**



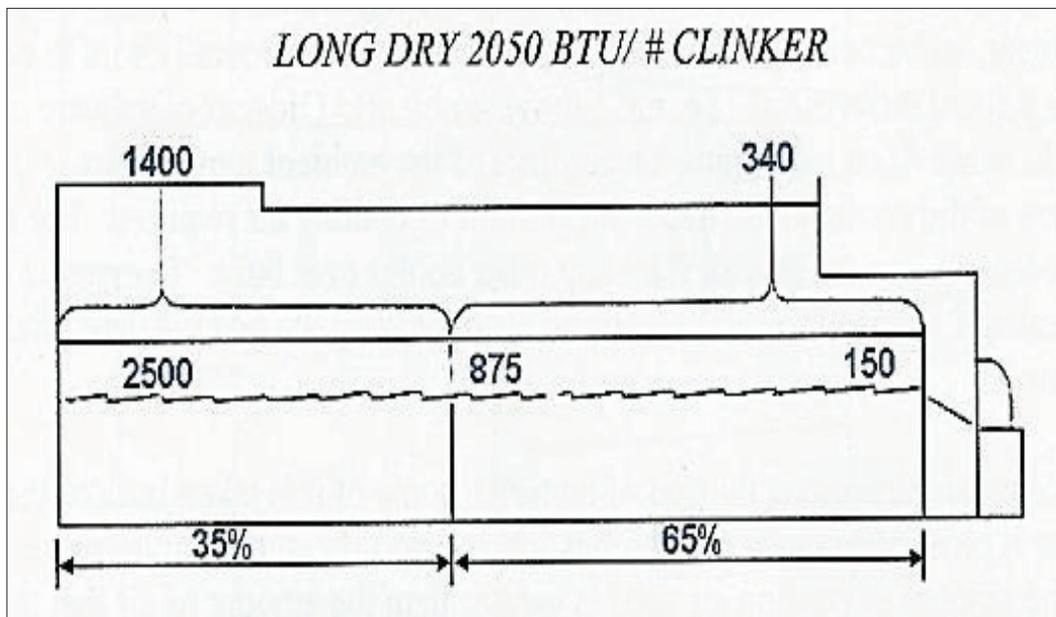
Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 54.

La alimentación cruda es transportada hacia el horno como líquido caliente. El sistema de proceso húmedo necesita mucha energía para remover el agua del líquido caliente. El ejemplo muestra que 2 700 btu por libra de Clinker es usado para el proceso de quemado. La sección donde el aire de enfriamiento usado para la combustión va a través de la cama, es llamada zona de recuperación. Con esta cantidad de aire de enfriamiento usada para recuperación, la temperatura del Clinker al final es baja.

El área faltante de la enfriadora es generalmente, referida como la zona de enfriamiento. Debido a que mucho calor ha sido removido de la zona de recuperación, hay un calor relativamente escaso para ser expulsado hacia la

atmósfera. Por lo tanto, la temperatura de los gases que van a ser expulsados es baja también. La temperatura del aire que va hacia el horno tampoco es tan caliente, aunque mucho es eliminado en la zona de recuperación. La razón por la que esto sucede es que mucho aire es usado para eliminar este calor y como resultado, el calor disponible no puede aumentar mucho la temperatura.

Figura 15. **Proceso secado largo**



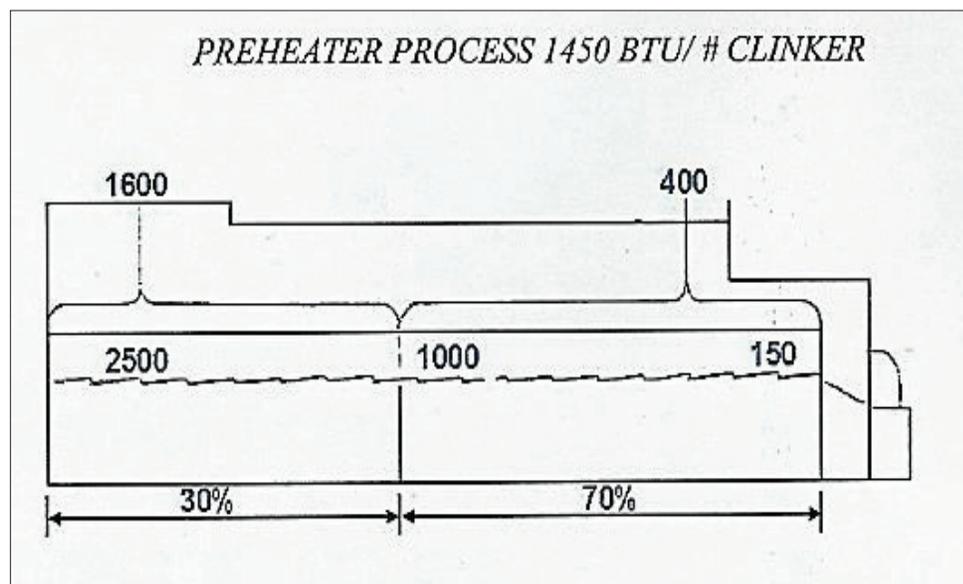
Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 55.

El ritmo de combustible para el ejemplo anterior es 2 050 btu por libra de Clinker. En comparación con la aplicación del proceso húmedo, el sistema de secado largo utiliza menos aire de combustión debido a que no hay necesidad de eliminar el agua de la alimentación. Por lo tanto, únicamente cerca del 35 % del aire introducido dentro de la enfriadora es regresado al horno con sistemas de secado largo.

Consecutivamente, la temperatura del Clinker al final de la zona de recuperación es más alta que con la aplicación del proceso húmedo. Desde que no hay suficiente aire a baja temperatura para aclimatar el aire que va hacia el horno, la temperatura del aire secundario (aire regresado al horno para combustión) es más alta que la del sistema de proceso húmedo.

La comparación también muestra que la temperatura de los gases de escape es más alta que la del proceso húmedo. Esto sucede porque hay más calor en el Clinker cuando este deja la zona de recuperación y entra a la zona de enfriamiento. La tercera aplicación es la misma enfriadora, el mismo ritmo de producción y el mismo rango de enfriamiento usado con un horno estilo precalentamiento.

Figura 16. **Proceso con precalentamiento**

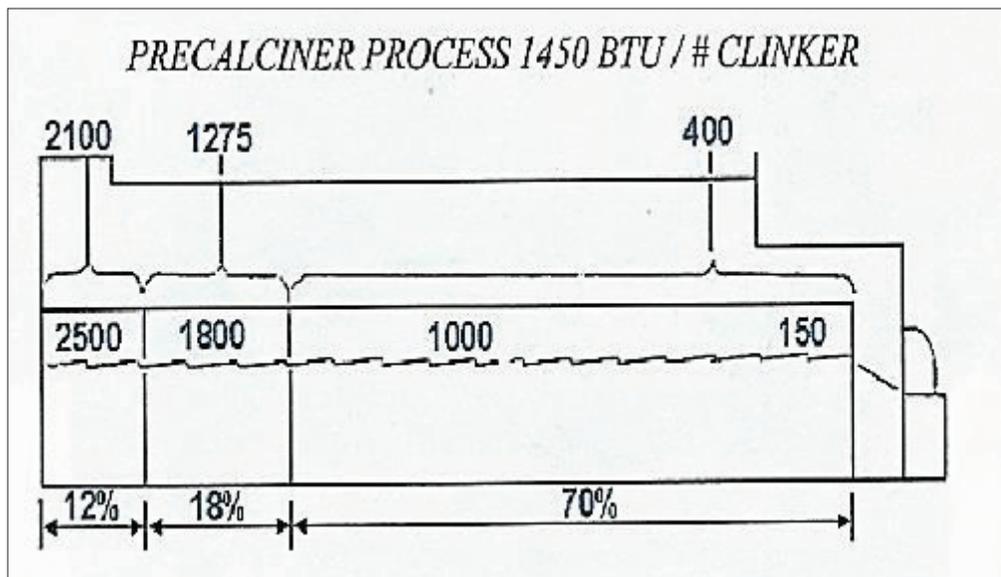


Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 56.

Para este ejemplo, se asume un ritmo de combustión de 1 450 btu por libra de Clinker. Se usa menos combustible en el proceso y por lo tanto, menos del aire de enfriamiento es regresado al horno. En este ejemplo, 30 % del aire de enfriamiento va de regreso al horno mientras 70 % es conducido y expulsado hacia la atmósfera. Con menos aire pasando hacia el horno, la temperatura del Clinker es mayor que los ejemplos anteriores. La cantidad de aire expulsada hacia la atmósfera y su temperatura es también más alta que los dos ejemplos anteriores.

La temperatura del aire secundario es también alta. Esto sucede debido a que hay menos aire a una temperatura baja para aclimatar la temperatura del aire que es regresada al horno. El ejemplo es la de un proceso con precalcinador.

Figura 17. **Proceso con precalcinción**



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 57.

En este ejemplo, el ritmo de combustión es 1 450 btu por libra de Clinker. Con un precalcinador, la combustión ocurre en el horno y en el calcinador. Como resultado hay aire secundario y aire terciario (aire de la enfriadora yendo al calcinador).

Básicamente, en este ejemplo, el aire total de combustión se ha mantenido el mismo como estaba en el ejemplo del precalentador. De todas maneras, el aire secundario en el último ejemplo ha sido dividido en aire secundario y aire terciario. Dadas las temperaturas en los dibujos, la del aire secundario es muy alta a 2 100 grados Fahrenheit, mientras que la del aire terciario es más baja. El 12 % del aire de enfriamiento que se vuelve aire secundario baja el Clinker a temperaturas de 1 800 grados Fahrenheit. El volumen de aire terciario enfría el Clinker desde 1 800 grados Fahrenheit a 1 000 grados Fahrenheit.

Se sabe que la temperatura del aire terciario estará dentro de ese rango. Desde que el total del aire de combustión y enfriamiento, se mantienen iguales como en el tercer ejemplo, la temperatura del aire de enfriamiento para la expulsión de este no cambia.

Estos ejemplos demuestran cómo las eficiencias del sistema del horno pueden afectar a la enfriadora. Si se suministra más aire primario con combustible que el esperado, entonces menos aire secundario es tomado de la enfriadora. Esto resulta en temperaturas más altas de rechazo y volúmenes grandes de gas para ser expulsados. Esto puede provocar una sobrecarga del sistema de descarga y la necesidad de reducir la cantidad de aire de enfriamiento usada.

El resultado es el mismo si el sello del horno no está montado y permite infiltración de aire falso al sistema. Si más combustible tiene que ser usado

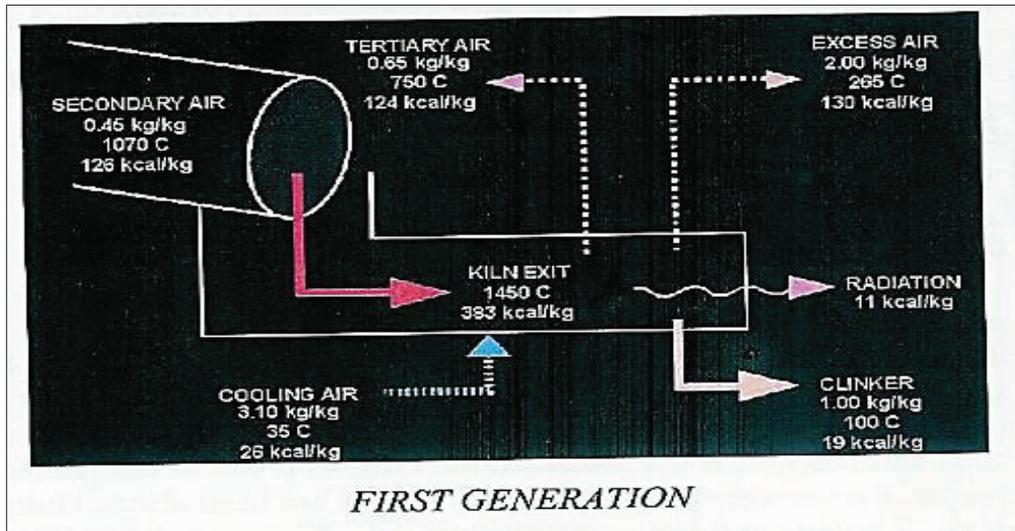
anticipadamente, la cantidad de aire expulsado disminuye, pero las temperaturas del gas de retorno de la combustión serán menores, lo que causa que más combustible sea quemado.

Estos ejemplos no pretenden prever soluciones para cualquier problema. Son como una herramienta para encontrar soluciones a los problemas. Los siguientes ejemplos muestran cómo la eficiencia de la enfriadora afecta al sistema de quemado.

Todos tienen el mismo ritmo de producción, el de combustible y de enfriamiento. La diferencia entre cada ejemplo es que la eficiencia cambia de uno a otro. Mientras la enfriadora se vuelve más eficiente, la cantidad de aire de enfriamiento usada se vuelve menos, así como, la cantidad de aire expulsada a la atmósfera.

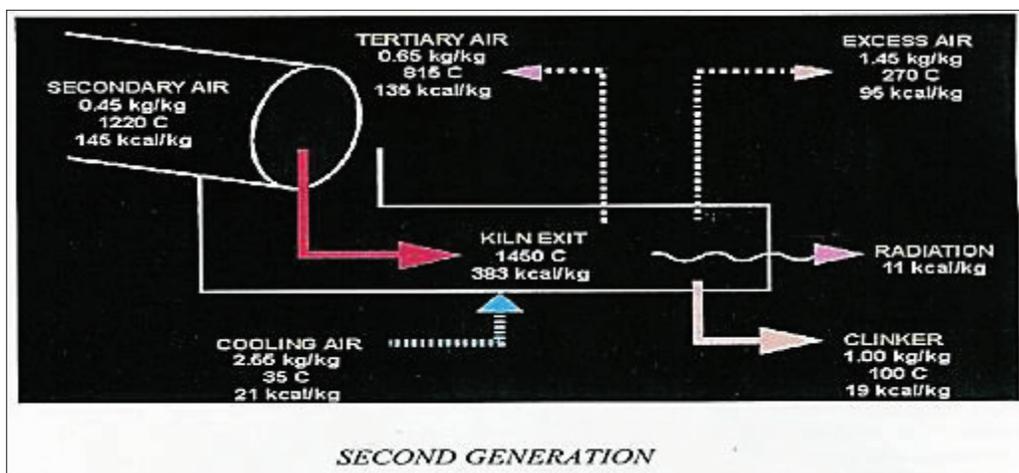
Aunque las enfriadoras se han vuelto más eficientes desde la primera generación hasta la tercera, la temperatura de expulsión de gases aumenta ligeramente. Esto es debido a que la cantidad de aire de expulsión ha sido reducida, por lo que el calor disponible es suficiente para aumentar la temperatura del gas a un valor más alto.

Figura 18. Eficiencia #1



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación – Arreglos de alimentación de horno*. p. 59.

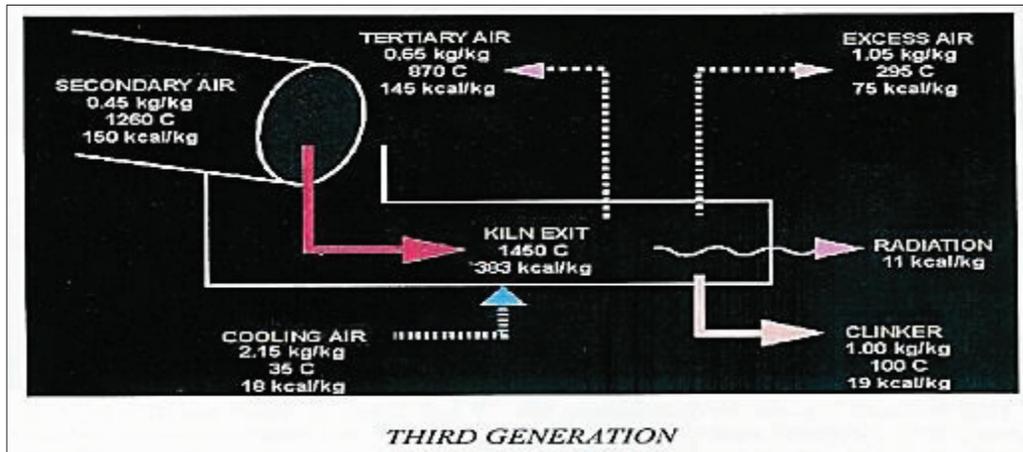
Figura 19. Eficiencia #2



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación. Arreglos de alimentación de horno*. p.

59.

Figura 20. Eficiencia #3



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación – Arreglos de alimentación de horno*. p. 60.

El cambio en la eficiencia es más notorio en las temperaturas de los gases regresados al horno y al precalcinador. La primera generación de enfriadoras tiene una temperatura de aire secundario de 1 070 grados Celsius; la segunda generación tiene un aire secundario de 1 220 grados Celsius y la enfriadora de barra cruzada tiene 1 260 grados Celsius. Ventajas similares ocurren con el aire terciario.

¿Cuál es el valor de conocer esto? Primero, las plantas con equipos de modelos antiguos pueden mejorar su eficiencia y capacidad al adquirir las más recientes innovaciones.

Aunque es obvio, pueden obtener ganancias al mejorar su eficiencia. Algunos de los cambios pueden ser tan simples como mejorar los sellos en el área debajo de las parrillas como lo discutido anteriormente. Hay muchas más soluciones disponibles y los métodos empleados dependerán del diseño y de la

condición de la enfriadora. La adición de una alimentación arreglada con la última tecnología MFR es una forma de aumentar la eficiencia de una enfriadora más antigua al implementar la última tecnología.

1.1.9. Efectos físicos en enfriamiento

La transformación física del Clinker de estado líquido a sólido tiene efectos en la operación de la enfriadora, así como, en el proceso de fabricación de cemento y la calidad del mismo. La profundidad de la cama de material, el flujo y la temperatura de aire son consideradas las variables más importantes a tener en cuenta para la operación.

1.1.9.1. Profundidad de la cama

Las enfriadoras de diez grados de inclinación tienen una profundidad limitada de cama, particularmente cuando se maneja material fino. La profundidad de la cama normalmente usada en estas enfriadoras es de seis pulgadas, pero en algunas aplicaciones es tan alta como diez o doce pulgadas. Las enfriadoras de diez grados no podían aguantar una cama tan profunda de material en la línea de la parrilla. El material fluiría y se derramaría de la cama como agua cuando la cama fuera excedida de diez a doce pulgadas.

Las enfriadoras horizontales originales no podían operar con camas más ondas que seis pulgadas, debido a que no tenían compartimientos que fueran suficientemente ajustados para la alta presión estática necesitada para camas más profundas. Los ventiladores proveídos a estas enfriadoras tampoco eran hechos a medida para presiones estáticas más altas.

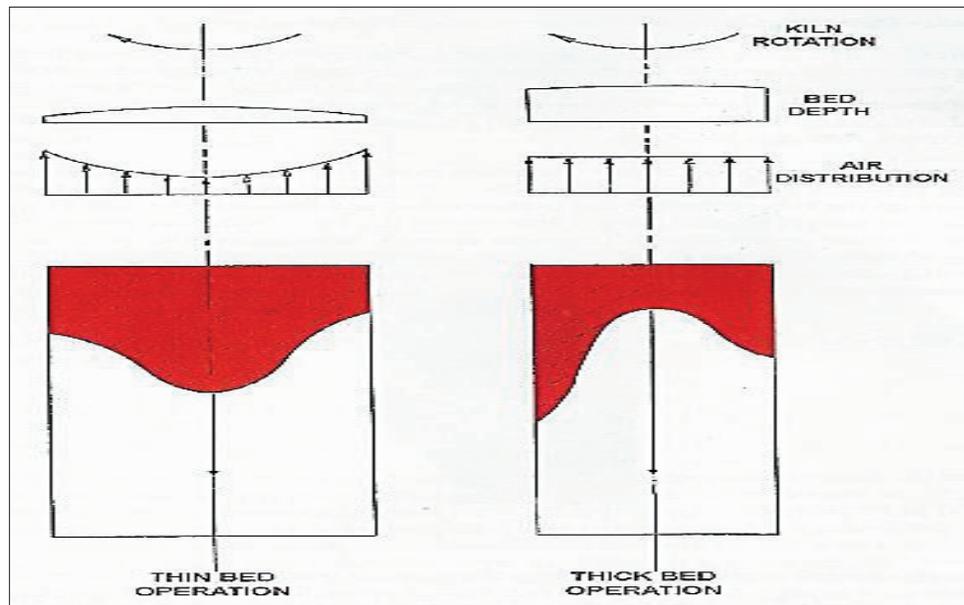
Eventualmente, se encontró que estrechar la enfriadora con parrillas muertas daba una profundidad de operación en la cama más grande, y que las enfriadoras parecían desempeñarse mejor que cuando sus camas eran delgadas. El ancho de las enfriadoras fue modificado para ser más estrecho cuando la distribución de Clinker era pobre.

De esta manera, los compartimientos debajo de la parrilla eran más ajustados por el uso de válvulas operadas con aire de doble depósito, tabiques estacionarios y compartimientos más pequeños con ventiladores de enfriamiento individuales. Los ventiladores de enfriamientos fueron equipados con controles de volumen constante.

Usualmente, una cama más delgada resultaba en un peso no uniforme a lo largo del ancho de la enfriadora. Como consecuencia, la cama generalmente era más densa hacia el centro de la enfriadora y más delgada en los lados. Esto resultaba también en una pobre distribución de aire. ¿Por qué? (pista: el aire toma el camino de menor resistencia).

La solución para el problema de pobre distribución era hacer la enfriadora más estrecha agregando parrillas muertas (placas en blanco cubiertas con refractario). De realizar estas modificaciones en enfriadoras en operación, se aprendió que una cama más profunda en operación es mucho mejor que una delgada.

Figura 21. Eficiencia y profundidad de cama



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación – Arreglos de alimentación de horno*. p. 63.

El dibujo muestra la comparación entre la operación de la cama gruesa y la de la cama delgada. Se puede ver que, en el esquema de la cama profunda, hay menos diferencia entre el peso de Clinker en el medio de la enfriadora y en los lados, así como, lo hay con la cama delgada en operación.

De esta manera, el aire de enfriamiento es distribuido más uniformemente a través del ancho de la enfriadora. Esto dio más y mejor mezcla del aire de enfriamiento y el Clinker caliente. Este se enfría más rápidamente y con menos aire; se recupera más calor para el horno y la enfriadora tiene menor probabilidad de sufrir daños mecánicos o por la temperatura.

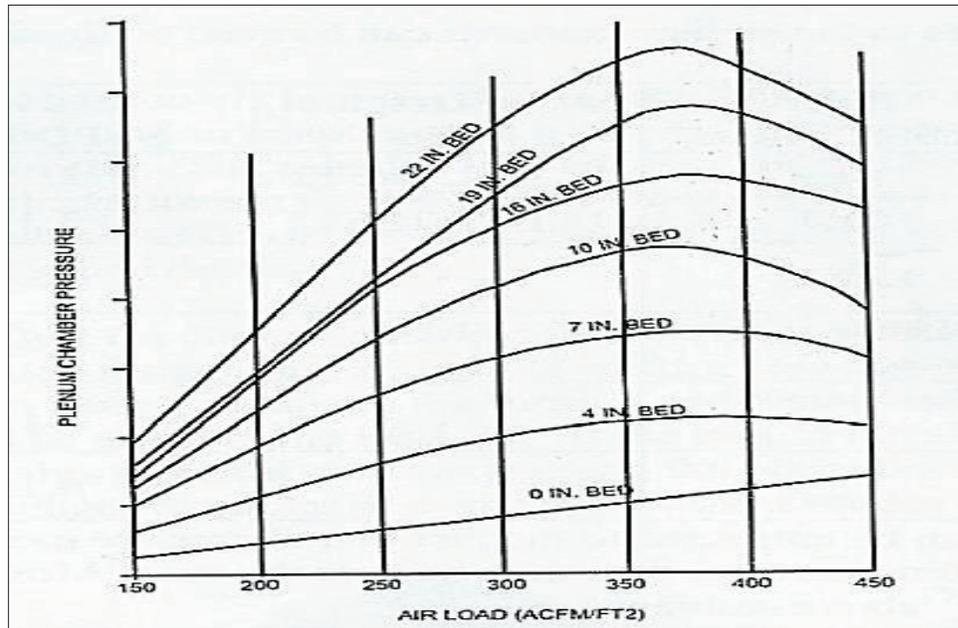
1.1.9.2. Volumen de aire

Hay teoría divergente acerca de cuánto aire se debe suministrar a una enfriadora y a un determinado compartimiento. La medida de la cantidad de aire que va al compartimiento que permite realizar la comparación entre enfriadoras es pie cúbico por minuto dividido pie cuadrado del área de parrilla. Generalmente, el área de la parrilla está protegida. Probablemente debido a esta discusión en curso, una prueba fue realizada muchas veces a lo largo de los años. Sorpresivamente, los resultados siempre fueron los mismos.

Hay uno que puede ser probado fácilmente en una planta de producción de cemento. Se construye un aparato de prueba con una parrilla que tenga la misma área cuadrada de una placa de parrilla y un tubo transparente para retener Clinker y permitir una inspección visual. El tubo se coloca por encima de la placa de aireación.

Una capa de Clinker se coloca en el tubo y se sopla aire a un ritmo especificado al pleno debajo de la placa de aireación. Se registra la presión debajo de la parrilla y se observa, la cama de material. El ritmo de flujo de aire se aumenta, se registra la presión debajo de la parrilla y se observa de nuevo el material dentro del tubo. Se repite el procedimiento para varios ritmos de flujo de aire y varias profundidades de cama. Los resultados obtenidos tienen las siguientes curvas de comportamiento.

Figura 22. Flujo de aire y cama de material



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación – Arreglos de alimentación de horno.* p. 65.

Como se observa en las curvas, mientras la carga de aire por pie cúbico por minuto entre pie cuadrado de área de parrilla aumenta, la presión debajo se incrementa para una profundidad de cama dada. Cuando la cama alcanza una carga entre 350 y 375 pies cúbicos entre pies cuadrados de área de parrilla, la presión debajo de la parrilla disminuye rápidamente.

Observaciones del material en el tubo muestran que mientras aumenta la velocidad del aire a través de la cama, el material comienza a volverse fluido. Cuando la carga de aire llega a valores entre 350 y 375, la cama cae rápidamente y el aire empieza a fluir a través de uno o dos canales. Cuando este fenómeno ocurre, el resto de la cama se compacta y deja de moverse.

El resultado es que hay una mezcla pobre de aire y Clinker. Si esto ocurre en una enfriadora real, la eficiencia de enfriado y el ritmo de la recuperación cae. Las temperaturas de descarga de Clinker se elevarían y aumentaría el posible daño por el calor en la enfriadora.

Consecutivamente, no se recomienda tener cargas de aire mayores a 350 pies cúbicos por minuto entre pie cuadrado de área de parrilla. En enfriadoras estándar también, hay un límite más bajo de carga de aire. Los distribuidores tienen un límite de 150 pies cúbicos por minuto entre pie cuadrado.

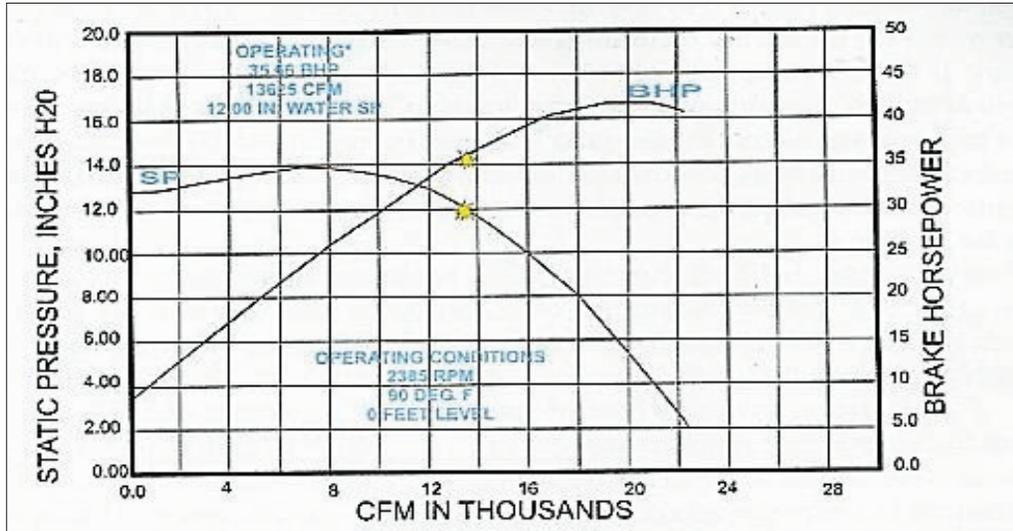
Si la velocidad del aire es muy baja, el Clinker pasa en la brecha entre filas y parrillas. Esto se ve mucho en enfriadoras con un sistema de ventilación muy pequeño. Cuando los sistemas de ventilación son muy pequeños, los operadores suelen, reducir el flujo de aire al último compartimiento de la enfriadora.

Cuando esto sucede, el tope de la superficie de la parrilla se desgasta en la superposición de dos filas de parrillas. La carga de aire en una cama profunda necesita ser de casi 300 pies cúbicos por minuto entre pie cuadrado del área de la parrilla, para evitar pobre eficiencia de transporte. Cargas más bajas de aire pueden causar que la velocidad de las parrillas sea más alta que lo predicho.

1.1.9.3. Ventiladores de enfriamiento

Para entender totalmente las enfriadoras de parrillas y resolver problemas que presenta, se recomienda conocer bien el trabajo de los ventiladores. El siguiente dibujo da un ejemplo de flujo de aire de ventilador.

Figura 23. Flujo de aire de ventilador



Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación – Arreglos de alimentación de horno*. p. 69.

Esta curva debe ser considerada típica para ventiladores BC (asas curvadas inclinadas hacia atrás). Estos dos ventiladores pueden ser reconocidos por su curva de poder de no sobrecargar (la curva de poder alcanzar un máximo nivel y después el consumo cae a pesar de un continuo incremento en el volumen de producción).

El otro tipo de ventilador utilizado a través de los años fue el ventilador de ruedas de paleta. Estas se extendían radialmente del eje del ventilador. La rueda de paletas no tiene una curva de poder de no sobrecarga. Mientras la salida volumétrica aumentaba el ventilador, consumía más poder.

Figura 24. **Ventilador de enfriador**



Fuente: BLACK, Laura. *Instalación exitosa de alimentación de enfriadora*. p. 54.

A menudo se escucha la queja de que el ventilador está sobrecargado. La primera cosa que viene a la mente es que el ventilador está estancado o que el motor es muy pequeño. Esto significa que el ventilador no puede desarrollar suficiente presión estática al volumen que el operador quiere que se desempeñe.

Una manera definitiva de determinar qué está haciendo el ventilador es chequear su poder de consumo. Si es alto, el ventilador prevé un volumen grande de aire a la enfriadora. Como puede ser visto en la curva del ventilador, mientras el volumen del ventilador aumenta, el poder consumido lo hace también.

Si se coloca la alimentación del ventilador muy cerca de una obstrucción, también aumenta la caída de presión. Las compuertas deben ser inspeccionadas para ver que las aspas del ventilador no estén quebradas o atoradas en la posición de cerrado. La operación y vinculación entre la compuerta y el operador de la compuerta debe ser examinada también. Muchas veces el operador está

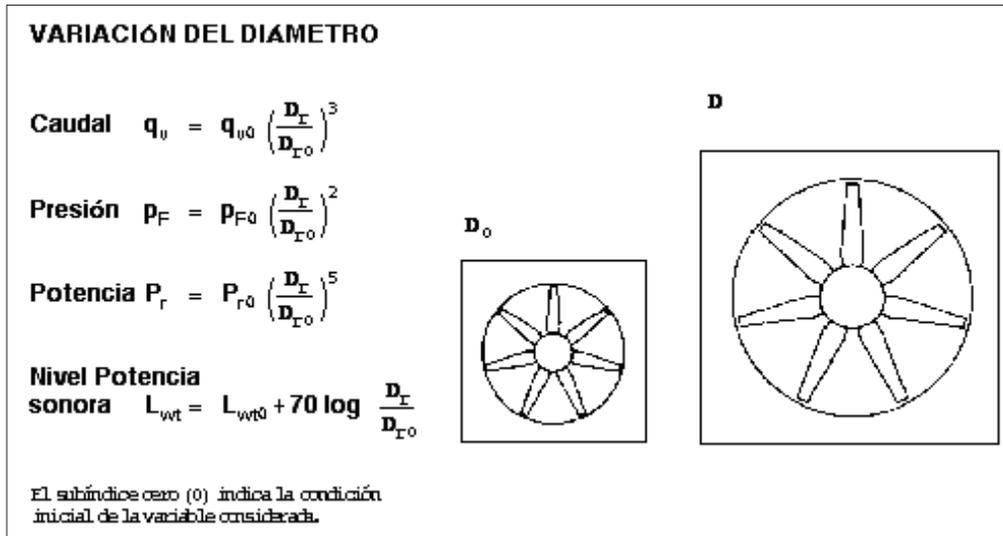
100 % abierto, pero la compuerta no lo está porque la vinculación no fue establecida apropiadamente.

Muchos ventiladores curvos o inclinados hacia atrás tienen como parte de su diseño, un cono de alimentación que se extiende dentro de la llanta del ventilador. Si la superposición entre la llanta y el cono es incorrecta, el ventilador no se desempeñará acorde a la curva de desempeños. El fabricante del material usualmente provee dibujos que muestran la correcta localización de la llanta.

Otra razón para que el ventilador no se desempeñe acorde a la curva es la velocidad del funcionamiento. Si se sospecha que no está proveyendo la suficiente presión o volumen, se debe chequear la velocidad del ventilador. Algunas veces, cuando un ventilador es conducido por una transmisión de correa en v, la roldana se mezcla.

El desempeño del ventilador sigue las leyes de los ventiladores; el volumen de aire es proporcional al radio de la velocidad; la presión estática es proporcional al radio de la velocidad cuadrada y la potencia es proporcional al radio de velocidad cúbica. Conocer las leyes de los ventiladores ayudará a solucionar los problemas de los mismos.

Figura 25. Leyes de los ventiladores



Fuente: BLACK, Laura. *Instalación exitosa de alimentación de enfriadora*. p. 55.

2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

2.1. Nomenclatura de las enfriadoras

Se define como la nomenclatura de las enfriadoras al conjunto de términos y definiciones para nombrar a todos los elementos, máquinas y equipos que conforman el sistema completo de la enfriadora de parrillas.

2.1.1. Componentes de transmisión

Son los mecanismos encargados de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro del equipo. En estos se intercambia la energía mecánica mediante el movimiento de cuerpos sólidos como las manivelas, los engranajes y los ejes.

2.1.1.1. Manivela de transmisión balanceada

Es el mecanismo que convierte el movimiento rotativo en movimiento reciprocante, el cual hace que las parrillas se muevan de atrás hacia delante. Cuando la manivela genera su movimiento rotativo la transmisión hidráulica transforma el movimiento rotativo a un movimiento reciprocante, que hace que el material sobre las parrillas continúe fluyendo hacia el final de la enfriadora.

Este es un componente crítico del equipo, ya que maneja el movimiento y el flujo de la cama de Clinker, la transmisión de potencia y se equilibra la salida del material del horno con el volumen de producción de Clinker necesario.

Figura 26. **Manivela de enfriadora**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 29.

Figura 27. **Transmisión hidráulica**

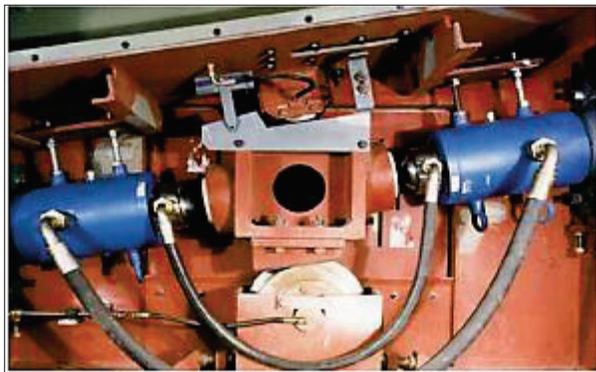


Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 29.

2.1.1.2. Eje cruceta

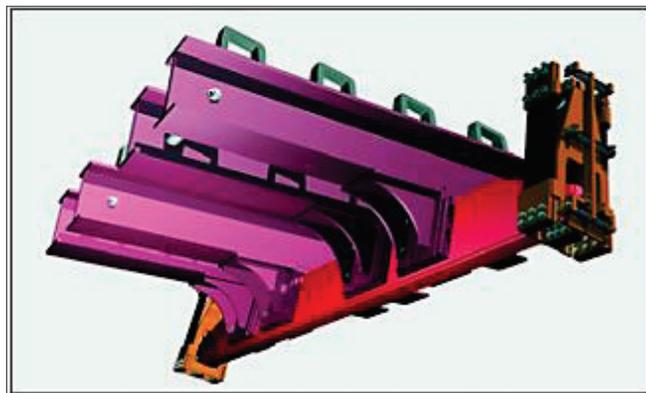
Es el eje que está conectado a la manivela de transmisión balanceada por medio de los rodillos de conexión. Brinda el movimiento recíprocante al marco móvil colocado debajo de las parrillas de enfriamiento.

Figura 28. Eje cruceta



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 30

Figura 29. Marco móvil



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 30.

2.1.1.3. Rodos de conexión

Son los brazos que conectan la manivela de transmisión balanceada al eje cruceta. Se les conoce también como brazos Pitman y están localizados en la parte inferior de la parrilla. De ellos depende la transmisión libre de fricción del movimiento recíprocante.

Figura 30. Brazos Pitman



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 31.

2.1.1.4. Ejes de rueda

Son los ejes y ruedas que soportan el marco móvil mientras este se mueve a través de sus viajes. En ellos se recarga toda la tracción mecánica y el peso de los elementos superiores de la enfriadora en el movimiento recíprocante.

Figura 31. **Eje de rueda**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker*. p. 31.

2.1.2. Componentes de la línea de parrilla

La línea de parrilla es el área donde el material caerá directamente en forma líquida desde el lado de descarga del horno hacia la boca de la enfriadora. Allí sufre una transformación química a través del contraflujo de aire generado por los ventiladores.

2.1.2.1. Línea de parrilla

Son las fundiciones que soportan y transportan el material y permiten el flujo de aire de enfriamiento a través de la cama. Están fabricadas de hierro fundido moldeado en forma rectangular con ranuras, por las cuales ingresa el aire para el enfriamiento del Clinker.

Figura 32. **Líneas de parrillas en enfriador**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 32.

2.1.2.2. Soporte de placas de parrillas

Son los miembros que están atravesados a través de la línea central de la enfriadora y soportan las placas de las parrillas. Aquí van fijadas las parrillas; también tienen ranuras para el ingreso de aire de enfriamiento.

Figura 33. **Soporte de placas de parrilla**

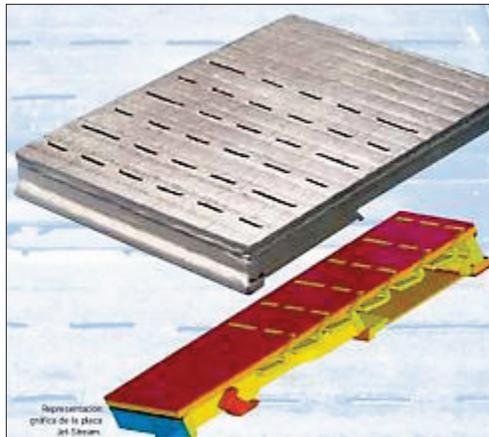


Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 32.

2.1.2.3. Placas de parrilla

Son las fundiciones individuales que conforman la línea de parrillas. Están colocadas en diferente grado de inclinación dependiendo el diseño de la enfriadora, el volumen de carga que se maneje y la parte donde serán colocadas.

Figura 34. Placas de parrillas



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker*. p. 33.

2.1.2.4. Parrillas muertas

Son parrillas que se extienden a lo largo de las filas móviles. No se puede mover el material que está en el área donde las parrillas muertas estén instaladas. Para prevenir el traspaso de aire de enfriamiento a través de las parrillas muertas, normalmente son cubiertas con refractario.

Figura 35. **Parrilla de enfriador**

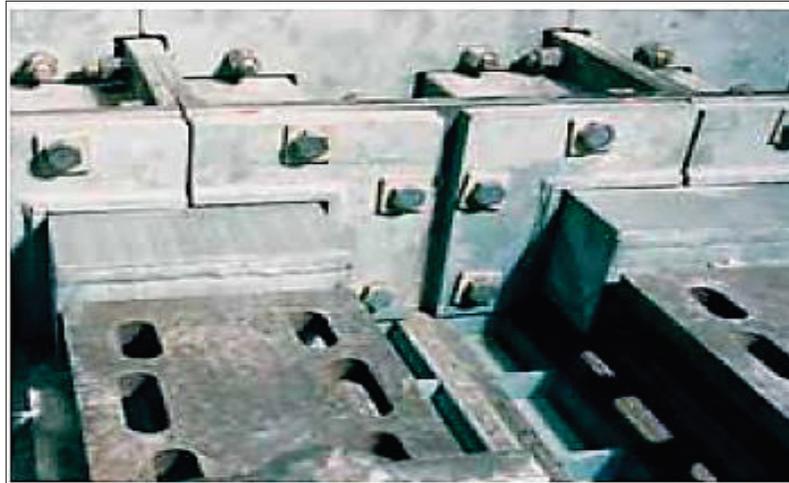


Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 33.

2.1.2.5. Fundiciones laterales

Son las fundiciones montadas al costado de la línea de la parrilla. Son usadas para formar el límite de la cama, para prevenir que el material caiga en el área debajo de la parrilla y minimizar el traspaso de aire de enfriamiento alrededor de la cama del material.

Figura 36. **Fundiciones laterales**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 34.

2.1.3. Marco móvil y componentes debajo de la parrilla

La enfriadora como equipo cuenta con diferentes componentes móviles y estáticos. El movimiento de la enfriadora se manifiesta en las tres dimensiones, por lo que los marcos, ejes y parrillas deben tener holguras para que la rigidez no altere el libre movimiento de los componentes.

2.1.3.1. Marco móvil

Es el ensamblaje sobre el cual las parrillas móviles y sus soportes son montadas. El marco móvil transmite movimiento desde la transmisión hacia las parrillas. Cuenta con llantas empotradas dentro de las líneas de parrillas, las cuales transmiten el movimiento recíprocante para transporte del Clinker sobre las mismas.

Figura 37. Marco móvil



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker*. p. 34.

2.1.3.2. Placas de tabique

Son las paredes que dividen el área debajo de la parrilla en cámaras o compartimientos. En estos se ingresa el aire de enfriamiento de los ventiladores a la parte inferior de la parrilla y se efectúa el intercambio de calor.

2.1.3.3. Sellos de tabique

El ensamble de la placa crea una junta que sella el marco móvil donde este vaya a través de las placas de tabique. Estos sellos son críticos para mantener la presión interna en los compartimientos por debajo de la parrilla y para evitar las fugas de aire de enfriamiento.

Figura 38. Sellos de tabique



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 34.

2.1.3.4. Marco lateral

Es la fabricación estructural que forma los lados del área debajo de las parrillas y básicamente soporta toda la enfriadora. La placa de trabajo del marco lateral forma el pleno debajo de la parrilla.

Figura 39. **Marco lateral**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 35.

2.1.3.5. Placas de piso

Son el fondo de los compartimientos debajo de la parrilla que previenen la pérdida de aire de enfriamiento a través del fondo de la enfriadora. En algunos casos las placas del piso son planas y en otros casos son usadas tolvas. En el caso de que las placas sean planas, la limpieza del polvo fino de Clinker se debe hacer manual; esta acumulación se da cuando la parte superior del marco tiene fugas. En el caso de que se usen tolvas, todo el material excedente puede ser recirculado al sistema para incrementar la eficiencia en la producción de Clinker.

2.1.4. Componentes sobre la parrilla

La enfriadora es un equipo que opera bajo temperaturas de 1 560 grados Celsius, por lo que gran parte de los materiales que están directamente en operación continua con estas temperaturas tienen naturaleza refractaria y puntos de fusión altos.

2.1.4.1. Carcasa de enladrillado

Es el recinto de acero por encima del área de la parrilla. Es normalmente de material refractario alineado en toda su longitud. Se puede hacer la obra gris con paredes de ladrillo forradas por cemento refractario para la calidad del trabajo.

Figura 40. **Carcasa de enladrillado**

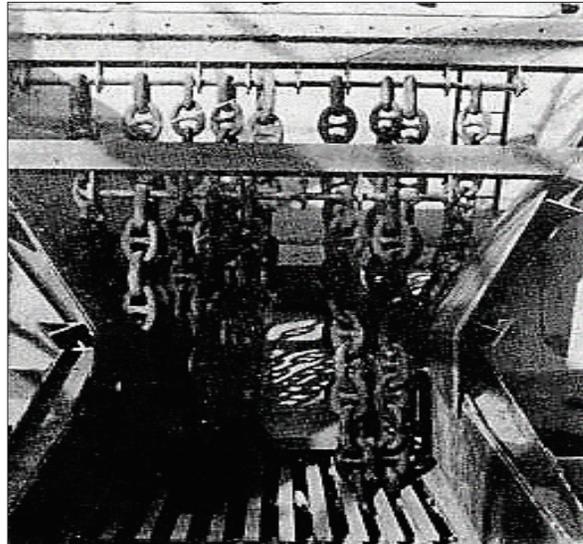


Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 35.

2.1.4.2. Cortina de cadenas

Es una serie de cadenas colgadas desde el techo de la enfriadora y a lo ancho de esta. Su propósito es prevenir que material tirado de vuelta en la enfriadora dañe las paredes de material refractario y techo sobre la cortina.

Figura 41. **Cortina de cadenas**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 36.

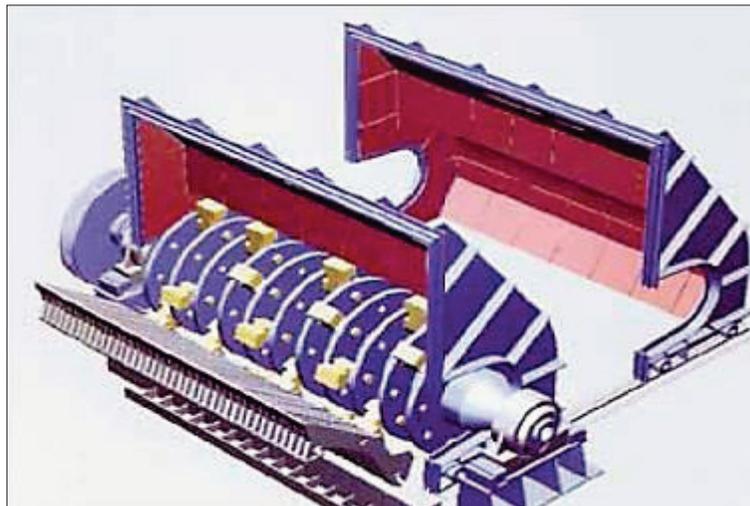
2.1.5. Trituradora y componentes auxiliares

El Clinker, al sufrir la transformación de estado líquido a sólido, necesita ser convertido a una granulometría específica según el requerimiento de producción, para que su transporte al siguiente proceso de fabricación de cemento sea fácil y rápido. Esto se logra al disminuir su tamaño a través de trituración de impacto en los equipos auxiliares.

2.1.5.1. Trituradora de Clinker

Una trituradora de martillos quiebra el material de mayor tamaño en pequeños pedazos. Usualmente se encuentra en la descarga de la enfriadora. Está compuesta por un eje a alta rotación y martillos que impactan directamente con el material que sale de la enfriadora.

Figura 42. Trituradora de Clinker



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.* p. 38.

2.1.5.2. Barras Grizzli

Es una serie de barras inclinadas localizadas entre la última fila de parrillas y la trituradora de Clinker. Esta permite el paso de Clinker de tamaño aceptable y dirige el de mayor tamaño hacia la trituradora.

Figura 43. **Barras Grizzli**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker*. p. 38.

2.1.5.3. **Acero de impacto**

Revestimiento de protección del área sobre la parrilla entre la trituradora y la cortina de cadenas. Este revestimiento previene el daño de las paredes laterales de la enfriadora en las áreas donde la trituradora normalmente arroja material de vuelta.

Figura 44. **Acero de impacto**



Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker*. p. 39.

3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ENFRIADORA DE CLINKER

3.1. Lubricación

La lubricación es el proceso o técnica empleada para reducir el rozamiento entre dos superficies que se encuentran muy próximas y en movimiento una respecto de la otra. Para lograrlo, se interpone una sustancia entre ambas, denominada lubricante, que soporta o ayuda a aguantar la carga (presión generada) entre las superficies enfrentadas.

La enfriadora de Clinker es un equipo que tiene gran parte de sus componentes en contacto directo para la transmisión de potencia y fuerza; es por esto, que para el óptimo desempeño se necesita un mantenimiento preventivo para evitar los paros no programados del equipo, que impactarán en el proceso de fabricación de cemento.

3.1.1. Mantenimiento preventivo

La finalidad del mantenimiento preventivo en el proceso de lubricación, es conservar con calidad específicas el equipo, para que sean utilizadas en condiciones de seguridad, el mantenimiento preventivo conlleva las siguientes actividades:

- Lubricación
- Limpieza
- Inspección y ajuste
- Control del estado

- Sustitución
- Prueba de la función

Tabla I. **Mantenimiento preventivo**

Posición	Texto	1.	2.	3.	4.	5.	6.
00	Enfriador	T	2S	D			
01	Parrilla					T	
05	Conexiones Flexibles			T			
15	Roldana de soporte				T		
16	Roldana guía				T		
23	Tabique sin parrilla				T		
35	Junta en el accionador				T		
63	Sistema de lubricación		M		T		
	Ventilador				T		

Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 85.

D = cada 8 horas de marcha

S = semanalmente

M = mensualmente

A = anualmente

T = tiempo específico

Una cifra delante de la letra indica la frecuencia del procedimiento. Asimismo, la grasa lubricante que se aplica a los cojinetes del enfriador debe, además de sus propiedades lubricantes, prevenir la penetración de polvo de Clinker en los cojinetes. Por eso la grasa debe suministrarse a los rodamientos en cantidad tan abundante que un poco sea constantemente presionada afuera de todos los rodamientos, lo cual impide la penetración de polvo.

Posteriormente, a medida que se adquiriera experiencia con respecto a la necesidad de lubricación y protección contra polvo, es preciso ajustar la cantidad de lubricante en cada uno de los puntos. Para los puntos de lubricación afuera del enfriador, la necesidad es frecuentemente menor a lo indicado.

Tabla II. **Puntos de lubricación**

Posición	Puntos de lubricación	Número	g/h
1	Cojinetes de rodillos para roldanas de soporte	12	12
2	Cojinetes de bolas para roldanas de guía	4	2
4	Soporte articulado para accionador	3	12
6	Soporte articulado	6	18
7	Cierre laberintico para trituradora de martillos	4	16
8	Cojinete de rodillos para trituradora de martillos	2	10

Fuente: RILEY, Paul. *Experiencia actual de operación y de alimentación de horno*. p. 87.

Junto a la limpieza, se debe controlar un par de veces a la semana que cada una de las válvulas de lubricación funcione según propósito. Para limpiar el enfriador hay que eliminar el polvo de material depositado en el enfriador y sus alrededores, inclusive en las cadenas arrastradoras. Informar acerca de eventuales fugas originadas que hayan ocasionado escape de polvo o soplado de arena a piezas adyacentes.

Es de vital importancia eliminar polvo de Clinker depositado sobre el tejado del enfriador al pie del fondo de extremo. Una capa de polvo tiene un efecto aislante y puede acarrear termoesfuerzos perjudiciales en los perfiles sustentadores y en los anclajes de revestimiento cerámico. La limpieza del sistema debe ser esmeradamente sobre el aparato de lubricación central, distribuidores y válvulas de control. Eliminar eventual grasa derramada junto a los cojinetes. Es esencial que haya un reborde de grasa alrededor de todos los cojinetes que haga la función de junta de polvo.

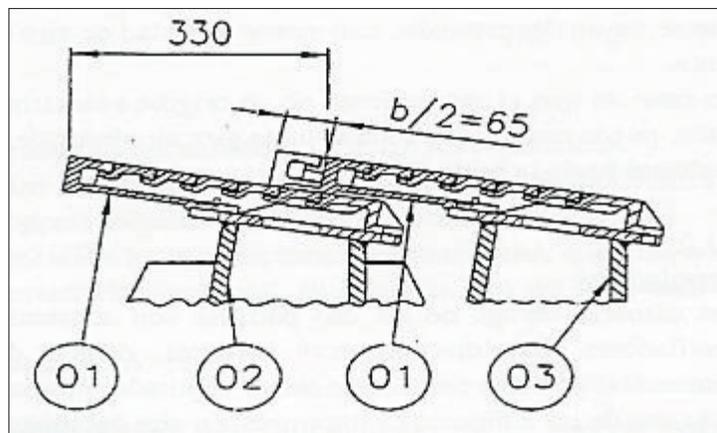
Para controlar el estado del enfriador se debe llevar a cabo la inspección siguiente en conexión con paradas programadas del horno de corta duración. No es factible determinar de antemano el período entre dos inspecciones, ya que esto depende del servicio del horno y de la índole del material.

- Parrillas

Controlar la distancia vertical entre las placas de parrilla. La distancia debe ser como lo indicado en la figura 1,3 +/- 0,5 milímetros, además del desgaste proveniente de servicio normal. Si la distancia se ha modificado como consecuencia de desgaste en las roldanas de soporte y rieles, el ajuste puede efectuarse al introducir placas de suplemento debajo de los caballetes de las roldanas de soporte.

Hay que controlar el juego en toda la parrilla con el fin de obtener una imagen completa del desgaste total. Registrar el desgaste para evaluar el desarrollo y, con ello, la necesaria sustitución de parrillas, roldanas de soporte o rieles.

Figura 45. **Juego de la parrilla**



Fuente: BLACK, Laura. *Instalación exitosa de alimentación de enfriadora*. p. 65.

Si el desgaste es irregular puede resultar necesario sustituir roldanas y rieles, los cuales pueden reacondicionarse. Si los juegos medidos son cuneiformes es señal de que los rieles están torcidos; es decir, no tienen la inclinación correcta de 10 grados. Al efectuar montaje de rieles nuevos es preciso ajustar la inclinación con base en un juego uniforme.

Someter las parrillas a una marcha de ensayo controlando la longitud de la carrera que debe ser de 130 milímetros. La divergencia admisible es de 2 a 3 milímetros; además, que se debe controlar el posicionamiento del impacto.

Controlar el movimiento de las parrillas a lo largo de las juntas laterales y los labios de juntas laterales. Si el movimiento no ocurre paralelamente al de las juntas laterales, será preciso un ajuste junto a la roldana de guía. El juego se mide cuando la parrilla está en sus dos posiciones más extremas, de manera que pueda verse si las hendeduras junto a las roldanas de guía son de igual dimensión o si están torcidas. Si las hendeduras están oblicuas, puede resultar necesario adaptar los rieles al ángulo correcto.

El ajuste se efectúa al introducir placas de suplemento detrás del riel de la roldana de guía. Eventualmente, se sustituyen la roldana de guía y los rieles que se someten a reacondicionamiento. Controlar la posición de las piezas de parrilla para detectar cualquier oblicuidad de las vigas estacionarias o móviles.

Controlar todas las parrillas, los labios de juntas laterales y los bloques de juntas laterales, para verificar deformaciones, fisuras o desgaste. Sustituir si fuera necesario. A menudo, las piezas de parrilla pueden ser reacondionadas por soldadura o mecanizado. El control de las parrillas se debe ver en el juego de los cantos delanteros de la parrilla.

En general, debe esforzarse por obtener hendeduras pequeñas en el canto delantero, ya que así puede asegurarse el mejor control del aire de junta y con ello un servicio óptimo del enfriador. A medida que las hendeduras se ensanchan como resultado de desgaste, es necesario incrementar el volumen de aire de junta con el fin de que sople a través de las hendeduras; por consiguiente, la necesidad de aire de junta es una indicación de la dimensión de las hendeduras.

Consecuentemente, al efectuar parada del horno, debe asegurarse de que las hendeduras sean tan estrechas que haya capacidad adicional de aire de junta

para un período proyectado de servicio. En donde las hendeduras se han ensanchado es factible fijar por soldadura una placa de ajuste en el canto delantero de la parrilla.

Se debe revisar el juego junto a los labios de juntas laterales. Las condiciones aquí son exactamente las mismas que para los cantos delanteros de las parrillas. Esto es casi tan importante para la parrilla 2 como para la parrilla 1, ya que utiliza menos aire refrigerante por metro cuadrado de parrilla en esta zona. Por lo tanto, el aire es más deficientemente distribuido si hay hendiduras grandes entre las parrillas y entre las parrillas y los labios de juntas laterales.

Controlar la sujeción de las piezas de parrilla, de los bloques de juntas laterales y de los labios de juntas laterales. En caso de que un componente se haya aflojado, hay que volverlo a sujetar con tornillos y tuercas nuevos si los existentes no pueden ser apretados otra vez. Controlar que la falla no sea causada por falta de ajuste debido a que la rosca en el tornillo no es lo suficientemente larga para alcanzar dentro de la tuerca de cierre.

Controlar las uniones por pernos para el marco estacionario y el marco móvil. Reajustar si fuera necesario. Controlar las juntas para el accionador en el interior y el exterior. Si hay señal de desgaste grave, será preciso sustituir las empaquetaduras. Controlar que el aire de la junta esté bien ajustado en las juntas del accionador; es decir, que haya una presión más alta que en la cámara del enfriador. Cuanto más desgastadas estén las empaquetaduras, más aire de junta debe utilizarse.

Se debe controlar el juego de los soportes articulados, verificar que la lubricación funcione como se ha previsto y que los anillos de seguridad Seeger estén bien posicionados. Controlar el juego de las roldanas de soporte y roldanas

guía; en caso que la lubricación a uno de los cojinetes haya fallado durante períodos de servicio, es frecuente que el cojinete deba considerarse como estropeado.

Se debe revisar los tabiques debajo de la parrilla para comprobar si hay señales de corrosión y desgaste. La hermeticidad de las paredes es importante para la distribución del aire de refrigeración entre las cámaras. Esto es válido también para el tabique entre la parrilla 1 y la parrilla 2, ya que el aire de junta, debajo de la parrilla 1, puede ser presionado dentro de la parrilla 2, de modo que quede poco aire de junta para mantener sin polvo el canto delantero de la parrilla 1. La presión de aire de junta debajo de la parrilla 2 es siempre inferior a la presión debajo de la parrilla 1.

Cuando las conexiones flexibles están muy desgastadas se evade demasiado aire a la recámara. La inmediata sustitución debe considerarse ya que, por lo general, la capacidad de los ventiladores es suficiente para permitir servicio continuado hasta que pueda llevarse a cabo una parada programada del horno.

Inspeccionar las juntas esféricas para verificar si hay señales de desgaste. En caso de desgaste excesivo, máximo de 3 milímetros, sustituir toda la junta, normalmente la inferior puesto que en la superior no hay contacto entre las superficies. Verificar la suspensión para comprobar si hay desgaste. Las espigas de suspensión y los manguitos se sustituyen cuando el desgaste es superior a 1 milímetro. Controlar los canales, debajo y encima de las conexiones flexibles, para comprobar si hay polvo.

En el supuesto de que los canales, las vigas y viguetas sustentadoras estén llenos de polvo, limpiar todo con una aspiradora de polvo y luego por soplado, mientras el ventilador esté en funcionamiento. Utilizar también una aspiradora de

polvo en la hendedura de las conexiones flexibles, donde pueda haberse acumulado polvo.

Los registros de la enfriadora deben ser revisados para que puedan trabajar sin impedimentos. No olvidar volver a poner los registros en la misma posición que tenían antes de que el trabajo fuera comenzado. Los canales de aspiración y de expulsión de los ventiladores deben ser revisados para comprobar si hay cuerpos extraños. Controlar que los canales de los aparatos de guía o los registros no estén obturados.

Tener en cuenta que debe existir en el almacén piezas de parrilla y de juntas laterales, para sustituirse en caso de producirse desgaste excesivo, y que las piezas soldables pueden eventualmente reacondicionarse mediante soldadura de recargue y esmerilado.

Los cojinetes en los soportes articulados también deben sustituirse cuando el desgaste es excesivo. No es factible indicar de antemano el índice de desgaste para las piezas en cuestión, ya que el desgaste depende de la índole del Clinker. Por eso, es importante llevar un control exacto de todas las sustituciones que se efectuán para determinar el tiempo de vida para todas las piezas de desgaste. No olvidar que, al trabajar con las parrillas, es necesario desmontar eventuales sondas térmicas antes de desmontar las parrillas.

3.1.2. Fallas y sus correcciones

El mantenimiento correctivo de los equipos se debe realizar de una manera rápida, eficiente y en búsqueda de la mejora continua de planes de mantenimiento. La enfriadora es un equipo crítico para la fabricación de cemento y no puede estar parado, ya que afecta toda la producción.

3.1.2.1. Movimiento defectuoso de parrillas

Las parrillas son los elementos fijos donde el Clinker caliente proveniente de la descarga del horno impacta e inicia el proceso de transformación. Estas deben estar correctamente ajustadas de manera que no se muevan u oscilen en formas diferentes. La admisión del aire de enfriamiento debe tener un flujo constante para la correcta operación; si estos elementos no facilitan esto, el proceso de transformación química y física será afectado, lo que tiene como consecuencias fallas en la calidad del Clinker.

Causa: parrillas, placas de cubierta o labios de juntas laterales deformados o sueltos.

- Corrección: sustituir o reapretar las piezas. Utilizar el momento de apriete correcto y usar las longitudes correctas de pernos, de manera que las tuercas de cierre aseguren un cierre efectivo. Mantener la rosca de los pernos y tuercas exentas de polvo de Clinker para que el momento realmente resulte un momento de apriete.

Causa: la distancia entre las parrillas no es la correcta debido a que las roldanas de soporte están desgastadas.

- Corrección: introducir suplementos (shims) más gruesos debajo de los caballetes de las roldanas de soporte. Sustituir, eventualmente, toda la disposición de roldanas de soporte o el riel. En caso de que la parrilla se chavetee debido a desgaste torcido de riel, será preciso sustituir el riel.

Causa: la parrilla se desplaza desviadamente como consecuencia de que una o varias de las roldanas de guía están desgastadas.

- Corrección: introducir suplementos (shims) detrás de los rieles de guía. Sustituir tanto la roldana como los rieles si estos están desgastados.

Causa: las viguetas sustentadoras estacionarias o móviles, respectivamente, se han deformado como resultado de influencias térmicas o mecánicas.

- Corrección: sustituir las viguetas sustentadoras

Causa: uniones por pernos flojos junto a las viguetas sustentadoras transversales, vigas, consolas y columnas.

- Corrección: alinear las uniones y apretarlas. Utilizar pernos y tuercas de cierre nuevos de la calidad correcta.

Causa: mecanismo motriz con fallas

- Corrección: inspeccionar el equipo hidráulico. Verificar minuciosamente los componentes del mecanismo motriz. Soldaduras fisuradas y uniones por pernos que estén flojas, deben repararse o reapretarse. Renovar eventualmente pernos y tuercas.

Si la placa de fundición se ha aflojado, quitar el hormigón alrededor de la placa, reapretar los pernos de fundición y volver a recubrir de hormigón. Si los pernos de fundición están flojos, desmontar el mecanismo motriz de manera que los pernos puedan nuevamente ser empotrados por hormigonado. En caso de repetidos daños en las piezas de parrilla, debido a efectos térmicos, será imprescindible enfocarse en el servicio del horno y del enfriador.

3.1.2.2. Soplado de aire entre las cámaras

En el soplado de aire entre las cámaras puede darse la siguiente causa.

Causa: tabiques defectuosos junto a las vigas y a los marcos por efectos térmicos o traslación desviada de marcos.

- Corrección: sustituir o alinear las piezas, colocarlas en sus lugares con el juego necesario junto al marco para el movimiento del mismo.

3.1.2.3. Soplado de polvo debajo de las cámaras

En el soplado de polvo debajo de las cámaras puede darse la siguiente causa.

Causa: soplado de polvo abajo de la cámara, a través de la hendedura entre las parrillas. Puede originarse en una diferencia demasiado pronunciada entre las presiones en el sistema CFG y la presión del aire de junta.

Por esto el aire de junta penetra donde es más fácil. Consecuentemente, donde la penetración es más difícil, puede desarrollarse una presión, justamente encima

de la superficie de la parrilla. Esta es superior a la presión en la cámara con el resultado de que el polvo caliente es soplado bajo la cámara debajo de la parrilla.

- Corrección: ajustar las presiones

3.1.2.4. Juego excesivo junto a los cantos delanteros de las parrillas

En el juego excesivo junto a los cantos delanteros de las parrillas pueden darse las siguientes causas.

Causa: desgaste normal después de prolongado tiempo de servicio

- Corrección: sustitución de las parrillas. Desmontar eventuales sondas térmicas antes de desmontar las placas de parrilla.

Parrilla 1: cuidar de que la repartición del tamaño de las hendeduras resulte más o menos equitativa. De lo contrario, la distribución del aire será heterogénea. Además, el lecho de Clinker en zonas con excesivo aire de junta corre el riesgo de tornarse inestable, lo que origina parrillas calientes, desgaste y deficiente recuperación calorífica de Clinker.

Parrilla 2: en esta, la distribución heterogénea del aire puede ser aún más pronunciada que en la parrilla 1, puesto que se utiliza menos aire por metro cuadrado de parrilla.

Causa: desgaste anormal debido a que no siempre sopla aire en la hendedura entre las parrillas y, por lo tanto, el movimiento del canto delantero se lleva a cabo en polvo de Clinker.

- Corrección: sustitución de las parrillas o reparación con fijación por soldadura de placas de ajuste en el canto delantero de las parrillas.

Causa: soplado de polvo caliente a través de la hendidura entre las parrillas.

- Corrección: sustitución de las parrillas. Examinar el servicio del enfriador y modificarlo, ya que tanto las parrillas como las viguetas están en peligro de deteriorarse si se continua con esta modalidad de operación.

3.1.2.5. Juego excesivo junto a los labios de las juntas laterales

En el juego excesivo junto a los labios de las juntas laterales pueden darse las siguientes causas.

Causa: desgaste normal hasta un ancho de hendidura de 3 a 6 milímetros, después de prolongado tiempo de servicio.

- Corrección: sustituir los labios. Estos pueden reacondicionarse mediante soldadura de recargue y mecanizado. La descripción de la distribución deficiente de aire en los cantos delanteros de las parrillas también es válida para los labios de juntas laterales.

Causa: desgaste anormal como consecuencia de que no sopla aire ininterrumpidamente en la hendidura, y la parrilla y el labio se mueve en polvo de Clinker. Además, hay desgaste provocado por soplado de polvo caliente.

- Corrección: sustituir los labios y la parrilla. Controlar el servicio del enfriador

para asegurarse de que siempre sople aire de junta en la hendidura.

3.1.2.6. Daños en la zona de desgaste del revestimiento

Los daños en la zona de desgaste del revestimiento pueden surgir de la siguiente forma.

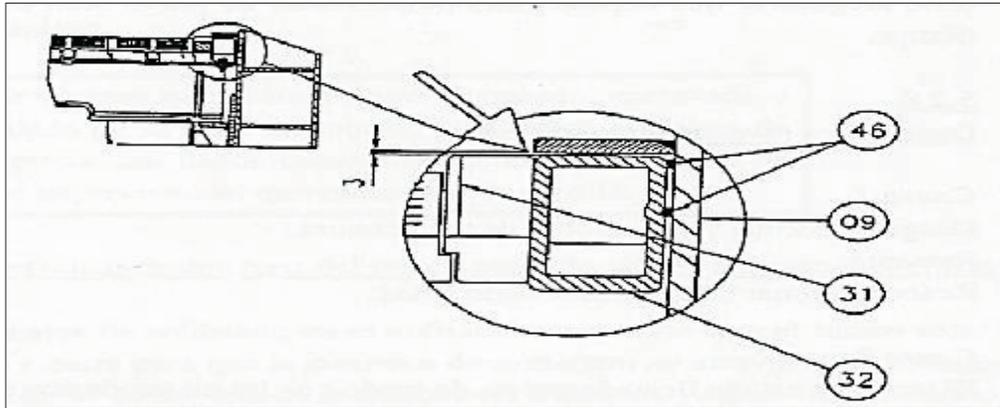
Causa: desgaste normal y variaciones de temperatura

- Corrección: debe ser reparado como renovación normal de revestimiento refractario. En la pared trasera también puede ser necesario sustituir los sectores de entrada. Al efectuar la sustitución de todos los sectores de entrada, el revestimiento también debe sustituirse para que no se desprenda. Asegúrese que no sople aire hacia arriba desde la recámara por fuera de las parrillas, tampoco se debe colocar 100 milímetros de material de aislamiento detrás del revestimiento.

Causa: daños de mayor envergadura debido a reparaciones deficientes de daños anteriores.

- Remedio: reparar como renovación normal. Es importante que las cajas laterales y el revestimiento sean herméticos, de modo que no sople aire hacia arriba desde la cámara y por fuera de las parrillas junto a la pared. Por lo tanto, no olvidar inspección y sustitución de cuerda cerámica de aislamiento.

Figura 46. **Desgaste del revestimiento**



Fuente: BLACK, Laura. *Instalación exitosa de alimentación de enfriadora*. p. 68.

Es de vital importancia que la zona de desgaste esté intacta para evitar que el aire, especialmente en la zona caliente, pueda encontrar un camino más fácil hacia afuera que a través de las placas de parrilla.

3.1.2.7. Daños en el revestimiento de las paredes

Los daños en el revestimiento de las paredes pueden surgir de la siguiente forma.

Causa: desgaste normal y variaciones de temperatura

- Corrección: reparado como renovación normal de revestimiento refractario y en concordancia con las instrucciones de montaje.

Causa: el material de aislamiento es presionado afuera de las juntas de expansión. Es importante que las juntas de expansión en la masa refractaria no sean emplazadas justamente encima del canto delantero en el labio de junta

lateral, ya que el polvo, de otra manera, podrá correr abajo a través de la junta de expansión hasta que se tope con una corriente de aire ascendente.

Esta combinación puede producir una fuerte erosión en las juntas laterales. La envolvente del enfriador ha recalentado por polvo acumulado.

- Corrección: reacondicionar como antes se refirió. Asegurarse de que deposiciones desacertadas de polvo sean eliminadas a tiempo.

3.1.2.8. Daños en el revestimiento del techo

Los daños en el revestimiento del techo pueden surgir de la siguiente forma.

Causa: desgaste normal y variaciones de temperatura. El techo ha estado lleno de polvo, de modo que las placas de acero y los perfiles se han deformado por el calor y las suspensiones de revestimiento están estropeadas.

- Corrección: reacondicionar elementos posibles y mejorar la limpieza del techo, haciéndola más frecuentemente.

3.1.3. Mantenimiento del sistema hidráulico

Inspeccionar y someter a mantenimiento los cilindros y la estación de bombeo, de acuerdo con las prescripciones dadas por los fabricantes de los componentes. Controlar diariamente que el conducto de enjuague funcione, palpando en el conducto para comprobar si tiene la misma temperatura que los dos conductos para los cilindros.

Los dos conductos para los cilindros deben estar calientes, ya que solo uno de ellos es drenado y el otro tiene el mismo aceite en el cilindro todo el tiempo. Si se observa lo contrario durante la marcha normal de la instalación, será necesario ponerse en contacto con el fabricante. Este hecho puede observarse durante la marcha en vacío y la puesta en marcha, hasta que hay tanta cantidad de material sobre la parrilla, que el cilindro deba rotar de ella hacia abajo.

3.1.3.1. Inspección diaria

En esta descripción solo se menciona las situaciones que se producen más a menudo en la unidad hidráulica del enfriador, en la inspección diaria deben realizarse las siguientes actividades.

- Revisar que los cilindros no tengan fugas
- Revisar que las uniones roscadas no tengan fugas
- Revisar las mangueras
- Revisar que no haya fugas en la estación de bombeo. Reapretar las juntas en caso de que hubiera fugas.
- Controlar la presión de servicio, en caso de presiones altas o bajas, anormales, habrá que ponerse en contacto con los operadores para recibir información acerca de si se está operando en condiciones especiales de servicio, por ejemplo, con Clinker muy grueso sobre la parrilla, que pueda ser la causa de la presión anormal.
- Revisar la temperatura del aceite y el termostato para enfriador de agua
- Revisar el nivel de aceite y, eventualmente, la formación de espuma en el tanque.

3.1.3.2. Inspección semanal

Una vez descritas las actividades de inspección diaria, es importante mencionar que en la inspección semanal del proceso de mantenimiento del sistema hidráulico deberán realizarse las siguientes actividades:

- Limpiar los cilindros y el bloque de las válvulas de enjuague
- Revisar los filtros para indicación de suciedad en los mismos
- Revisar el funcionamiento del enfriador de aceite, palpar los conductos de aceite y agua y revisar la temperatura del aceite.
- Revisar el movimiento de la parrilla, 130 milímetros, tanto en la visualización como en los cilindros.
- Revisar que los ojos de los cilindros no se desenrosquen del vástago del embolo. Esto se puede observar porque la rosca se hace visible.

3.1.3.3. Inspección de mayor envergadura

Con el tiempo, el aceite se deteriora como consecuencia de suciedades y envejecimiento y también por acumulación de micropartículas. Por ello, es necesario analizarlo cada 6 meses. Si se prevé más de 5 000 horas de servicio sin parada alguna, será preciso analizar el aceite cada 3 meses. Se extraen muestras de 1 litro, como mínimo, durante el funcionamiento.

3.1.3.4. Cambio de aceite

Bombear el aceite mientras esté caliente; por ejemplo, mediante la bomba de engranajes, o dejarlo salir por la evacuación de fondo. Llenar aceite nuevo hasta aproximadamente 15 centímetros por encima del punto de succión de las bombas y enjuagar el sistema con el nuevo aceite. Evacuar todo el aceite de los tubos y del tanque. Si el aceite evacuado continúa sucio, es preciso limpiar el tanque.

La operación mencionada puede realizarse al añadir de 50 a 100 litros para la eliminación de suciedad en el tanque. Si esto no fuera suficiente, será necesario limpiar el tanque con trapos limpios, pero que no sean de estopa o similar que pueda soltar fibras. Sustituir los elementos de filtro. Si por una u otra razón el tanque estuviera sucio, deberá ser limpiado minuciosamente. El recinto debe estar sin polvo durante la limpieza.

Si el recinto no estuviera exento de polvo al realizar el reacondicionamiento del equipo, resultaría ventajoso desmontar la unidad, taponar las conexiones y ejecutar el reacondicionamiento en un taller especial. El llenado con aceite nuevo siempre debe llevarse a cabo con la bomba de engranajes. Las bombas principales no deben estar en funcionamiento durante el llenado, si el nivel de aceite es tan bajo que pueda aspirarse aire dentro de las bombas.

Utilizar aceite nuevo. No mezclar aceite de distintos tipos o marcas. El aceite tiene que ser puro, procedente de un bidón limpio. Las mangueras y las uniones roscadas también deberán estar totalmente limpias antes de conectarlas. Si se produce espuma en el tanque, las bombas no podrán ser puestas en marcha hasta que el aire haya sido eliminado del aceite y se vea claro. Antes de poner

en marcha las bombas principales, el aceite nuevo debe circular durante el tiempo suficiente a través del filtro, por medio de la bomba de filtro, hasta que esté completamente limpio.

- Ventilación

La eliminación de aire del aceite en el cilindro se realiza en el bloque de válvulas de enjuague; se atornillan tabuladoras de medición para, recoger, en un balde, la espuma del aceite. El bloque de válvulas de enjuague está situado siempre encima del cilindro.

Se continúa drenando hasta que el aceite se vea claro. Cualquier sospecha sobre la presencia de aire puede ser aclarada aflojando cuidadosamente una unión roscada (no la brida SA#) del bloque para comprobar si sale aceite limpio o espuma. En la estación de bombeo la ventilación puede realizarse con una manguera en la unión roscada del bloque de válvulas.

Si los tubos están situados encima de la estación de bombeo y del bloque de válvula de enjuague, el aire puede recogerse aquí. Entonces, se colocará una tabuladora de aireación en las uniones roscadas. Las tabuladoras siempre deben ser puestas en los lugares más elevados. Como alternativa, puede aflojarse con cuidado una unión roscada.

3.1.3.5. Sustitución de filtros sucios

Los filtros de aceite se cambian siempre con la mayor rapidez posible. Controlar que el sistema esté parado y despresionizado. Aflojar el recipiente del filtro y cambiar los elementos, sujetar y comprobar si hay fugas cuando la unidad está en funcionamiento.

Los elementos del filtro deben ser sustituidos al emitirse alarma procedente de la unidad de vigilancia eléctrica. Los elementos no pueden ser limpiados y utilizados de nuevo. El circuito de acondicionamiento del filtro puede ser cambiado al parar, por poco tiempo, la bomba de engranaje. Los filtros antes de las válvulas proporcionales de las bombas principales únicamente pueden ser cambiados durante una parada de las bombas. Es decir, se acopla la bomba de reserva y se cambian los filtros.

3.1.3.6. Rectificación de fallos del sistema hidráulico

Un montaje y puesta en marcha esmerados harán, junto con las revisiones normales, que la instalación hidráulica trabaje durante muchos años sin problemas. Si se surgieran fallos, las causas deberán localizarse mediante los diagramas hidráulicos y eléctricos.

Cilindros

Los cilindros deben ser inspeccionados para verificar si hay fugas. Cuando la fuga sea excesiva (más de 1 litro diario), habrá que sustituir el cilindro o reacondicionarlo. Se debe tener en cuenta el ajuste del transductor longitudinal al sustituir el cilindro, así como comprobar que el ojo suelto del mismo esté correctamente asegurado.

Si el nuevo cilindro no tiene la misma longitud entre ojos como el antiguo (+- 1 milímetro), deberá hacerse una compensación y modificar los suplementos en las viguetas del enfriador. Si el vástago del émbolo está rayado deberá ser reacondicionado o sustituido, ya que de lo contrario las empaquetaduras se deteriorarán de nuevo rápidamente.

Revisar que no haya partículas abrasivas que puedan deteriorar las empaquetaduras. Si estas se desgastan con rapidez, será necesario controlar la calidad del aceite. El aro rascador delante de la caja de prensaestopas del cilindro debe ser controlado con frecuencia y sustituido al detectar señales de daños. Esto contribuirá a prolongar la vida útil de la caja de prensaestopas. Al realizar este control también se limpiará la cavidad y el vástago de émbolo detrás del aro rascador, y desmontar la parte del cilindro con el aro rascador.

En la operación irregular de los cilindros pueden darse las siguientes causas:

Causa: aire en el aceite

- Corrección: ventilar el sistema de tubería

Causa: el émbolo del cilindro tiene las empaquetaduras desgastadas. Se observa al realizarse el cambio de sentido.

- Corrección: cambiar o reacondicionar los cilindros

Causa 3: el flujo de aceite desde la bomba es irregular. Controlar si la anulación de la bomba es la correcta y si mantiene la posición del plato oscilante. Esto puede ser causado por el potenciómetro de la bomba.

- Corrección: cambiar o reparar el equipo eléctrico

Causa: señales erróneas desde el transductor. Controlar las señales del mismo.

- Corrección: sustituir el transductor o el cilindro. Recordar el ajuste del punto 0 en el transductor.

Causa: fallo en la bomba. El equipo eléctrico funciona, pero hay un fallo mecánico en la bomba.

- Corrección: reparar la bomba

Causa: fallo en la válvula de enjuague

- Corrección: sustituir o repara la válvula

Causa: suciedad en la válvula proporcional o presión de aceite a la válvula proporcional.

- Corrección: limpiar la válvula o cambiarla para que sea limpiada en taller. También puede haber suciedad en la válvula de desborde, lo que da lugar a un abastecimiento irregular de aceite a la válvula. Limpiar esta última con solo subir y bajar la presión.

Con la temperatura excesivamente alta, pueden surgir las siguientes causas:

Causa: la válvula termostática está mal ajustada. Esto se advierte porque hay poco o ningún paso de agua de enfriamiento a través del enfriador de agua.

- Corrección: ajustar la válvula termostática

Causa: falta de abastecimiento de agua

- Corrección: revisar el filtro delante de la válvula termostática y limpiarlo o localizar el lugar donde el abastecimiento de agua esté interrumpido.

Restablecer la conexión.

Causa: excesivo calor generado por el funcionamiento del equipo hidráulico.

- Corrección: controlar por estrangulación, donde se genera el calor. Esto debe verse al mismo tiempo por la presencia de una presión de aceite superior a la normal. Quitar posibles cuerpos extraños o cualquier otra obstrucción. Si la obstrucción se encuentra entre la bomba y la válvula se puede acoplar la bomba de reserva y continuar el servicio mientras se realizan los trabajos de reparación.

Con la baja temperatura del aceite, pueden surgir las siguientes causas:

Causa: excesiva cantidad de agua de enfriamiento

- Corrección: controlar la válvula termostática

Causa: falta de circulación de aceite solo durante la puesta en marcha y con ambientes fríos.

- Corrección: revisar el termostato y la bomba de engranajes

En la alarma por nivel bajo de aceite, pueden surgir las siguientes causas:

Causa: fugas en el sistema, por ejemplo, unión roscada floja

- Corrección: subsanar la fuga y rellenar de aceite el sistema

Con la falta de movimiento de parrilla, pueden surgir las siguientes causas:

Causa: avería en la bomba. Se observa cuando la bomba funciona y no abastece aceite.

- Corrección: acoplar la bomba de reserva y reparar la bomba averiada.

Causa: la bomba no cambia de dirección. Fallo en el transductor longitudinal, en la válvula proporcional o en su tarjeta de circuito impreso o en presión excesivamente baja. Esto se puede observar en el manómetro.

- Corrección: sustituir el transductor longitudinal o el cilindro. Si el fallo está en la válvula proporcional o en la tarjeta de circuito impreso, se puede acoplar la bomba de reserva. Si se trata de fallo por presión excesivamente baja, se ajusta la presión piloto.

Causa: el potenciómetro de la bomba emite una señal errónea. La bomba no está angulada.

- Corrección: acoplar la bomba de reserva y reparar o sustituir el potenciómetro.

Cavitación

Observar diariamente si las bombas producen demasiado ruido, por ejemplo, con cavitación. Esto puede destruir rápidamente las bombas y, por lo tanto, hay que conmutar inmediatamente a la bomba de reserva.

La causa debe ser localizada. Aparte de conductos obturados, puede deberse a avería en los acumuladores de presión, fallo en la bomba auxiliar o en su válvula limitadora de presión. Se debe reacondicionar la bomba o ajustar la presión.

La presión de los acumuladores de presión también puede ser controlada con equipo de medición y botella de nitrógeno. Sin embargo, puede hacerse un control al observar cómo baja la presión al parar la bomba. Si la aguja se queda quieta unos segundos en 8 – 10 bares de presión, significa que funciona de la manera prevista.

Con el ruido anormal procedente de la bomba, pueden surgir las siguientes causas:

Causa: se succiona aire y el aceite forma espuma

- Corrección: es probable que haya un fallo en la bomba auxiliar. Se observa como baja la presión en el conducto. Limpiar los conductos o reparar, sustituir la bomba auxiliar.

Causa: piezas sueltas en la bomba

- Corrección: apretar las uniones sueltas

Causa: el nivel de aceite es demasiado bajo

- Corrección: rellenar con aceite nuevo. Controlar si funcionan las alarmas de nivel de aceite y localizar los puntos de fugas.

Presión alta de aceite

La presión del aceite es registrada y utilizada para el control de la velocidad de parrilla durante el servicio con Clinker grueso procedente del horno. Si la presión de aceite aumenta sin que se deba al Clinker grueso, la razón puede hacer obstrucciones en el sistema y ocasionar, con ello, pérdida de presión. Con frecuencia, esto se evidencia como ruidos y generación de calor.

Causa: caída de costra del horno. Si las altas presiones se deben a costras en el horno y sobrellenado en el enfriador, la presión también aumentará durante un corto espacio de tiempo. Esto se evidencia en la marcha del enfriador.

Causa: obstrucción en el enfriador. Pueden originarse altas presiones si los sectores de parrilla se comprimen unos contra los otros o contra los sectores laterales, como consecuencia de parrillas calientes, alineación incorrecta de los sectores de parrilla o por desgaste de los rodillos. A menudo, esto se percibe como chillidos.

- Corrección: ajustar la marcha del enfriador con respecto a la comprensión procedente de las parrillas calientes o sectores laterales. La alineación deficiente al hacer el mantenimiento y problemas con los rodillos deben ser subsanados inmediatamente.

Acumulación de material en la entrada

Si la entrada del enfriador está repleta y la parrilla parada, los ventiladores del enfriado deberán estar en funcionamiento para que la unidad motriz pueda empujar el Clinker hacia adelante y que la parrilla y el lecho puedan enfriarse eficientemente.

La presión ajustada de 240 bares, como máximo, puede ahora utilizarse para alisar la pila. Sin embargo, hay que recordar que no se debe poner la parrilla a plena velocidad, sino a un 50 % como máximo.

Con el ruido procedente de tubos surge:

Causa: la sujeción de tubos está floja

- Corrección: reapretar los tubos. Controlar primero si se han producido daños. Si el problema vuelve a producirse es que hay pocos portatubos, o se producen fuertes impactos en los tubos.

Causa: impactos en los tubos que pueden deberse a aire en el aceite, cilindros que sean a fondo o que la válvula de enjuague funcione mal. Esto ocurre al arrancar con aire en los tubos, especialmente en el conducto de drenaje.

- Corrección: ventilación, revisión y ajuste del movimiento del cilindro, sustitución o reacondicionamiento de la válvula de enjuague.

Con la falta de movimiento de la parrilla, surgen las siguientes causas:

Causa: el cilindro se ha ido al fondo como consecuencia de fallo en el control o en el transductor. Se mide en el cilindro, se ve en el panel del armario de componentes eléctricos y también por presión máxima de aceite en la bomba. Se puede buscar una solución al problema intentando mover la parrilla con el sistema hidráulico en ensayo local.

- Corrección: reparar el equipo eléctrico o sustituirlo

Causa: parrilla bloqueada. Se observa como movimiento de parrilla parado y presión máxima de aceite.

- Corrección: controlar que el enfriador no esté completamente lleno, de manera que se impida su movilidad. Controlar que las viguetas debajo de la parrilla puedan moverse libremente.

Intentar que la parrilla vaya hacia atrás y luego normalmente hacia delante. Si no fuera posible, la causa puede ser bloqueo del marco dentro del enfriador.

No se puede lograr la velocidad máxima de la parrilla, por las siguientes causas:

Causa: bomba desgastada

- Corrección: conmutar a bomba de reserva y reacondicionar la bomba desgastada.

Causa: el control de la bomba está mal ajustado; por ejemplo; el tiempo de frenado y de aceleración es demasiado prolongado. Alternativamente, la anulación máxima de la bomba está limitada por la tarjeta de circuito impreso de la bomba.

- Corrección: ajustar el control de la bomba

3.1.4. Reparaciones

El mantenimiento de un equipo crítico como la enfriadora de Clinker debe ser monitoreado constantemente, para evitar los paros del equipo no programados que afectarán la producción del cemento.

3.1.4.1. Trabajos de reparación proyectados

Al inspeccionar el enfriador durante el servicio del mismo, es necesaria registrar todas las irregularidades detectadas para que los trabajos de reparación puedan proyectarse y efectuarse durante paradas y hacer los preparativos para cada trabajo individual.

Si se ha previsto la ejecución de un trabajo, es preciso tener a disposición las herramientas, utensilios de elevación, piezas de repuesto eventuales, materiales de empaquetadura, entre otros, necesarios para cuando la parada proyectada se lleve a efecto de manera que el trabajo de reparación pueda iniciarse cuanto antes.

Durante los trabajos de reparación y de mantenimiento en el enfriador, que acarreen una parada de larga duración, se recomienda cubrir las placas de parrilla con placas de madera y lona impermeable, para evitar la obturación de las hendeduras de las placas de parrilla.

Es de vital importancia asegurarse, durante todos los trabajos de reparación, de que no penetre polvo y suciedades en las viguetas y vigas, puesto que esto puede originar daños graves en las placas de parrilla y en las conexiones flexibles. Además, al ejecutar trabajos de reparación, es preciso asegurarse de que el marco móvil no se desplace.

Procurar siempre que el marco esté bloqueado, enclavado o desacoplado de la estación motriz, para evitar el riesgo de que se produzcan daños personales como consecuencia de arranque imprevisto del movimiento de la parrilla. No olvidar desbloquear el marco antes de volver a arrancar el enfriador. Al ejecutar trabajos de soldadura en el enfriador, es preciso que el marco móvil esté conectado a tierra para que la corriente de soldadura no atraviese los cojinetes de las roldanas de soporte o las conexiones flexibles, ya que, de otro modo, estas piezas serán dañadas.

3.1.4.2. Reparaciones en caso de averías

En el mantenimiento preventivo de la enfriadora de Clinker, una vez presentadas las fallas y correcciones, es preciso mencionar las reparaciones en caso de averías del mantenimiento del sistema hidráulico:

- Piezas de parrilla

En caso de avería de uno o varios elementos de parrilla es preciso parar la enfriadora y el horno. Parar los ventiladores cuando el Clinker haya enfriado lo suficiente.

El Clinker, parrilla y mampostería deben enfriarse tanto que sea posible limpiar la zona de la parrilla en cuestión y sustituir de las piezas de parrilla pertinentes. No olvidar desmontar sondas térmicas, si las hubiera, antes de desmontar las parrillas.

Quitar los pernos del elemento de parrilla averiado. En caso de que no puedan aflojarse, deberán quitarse quemándolos o eliminando las cabezas de los

pernos por taladrado. Cuidar de no dañar las viguetas sustentadoras. Revisar el juego de la parrilla con relación a otras.

- Bloques y labios laterales

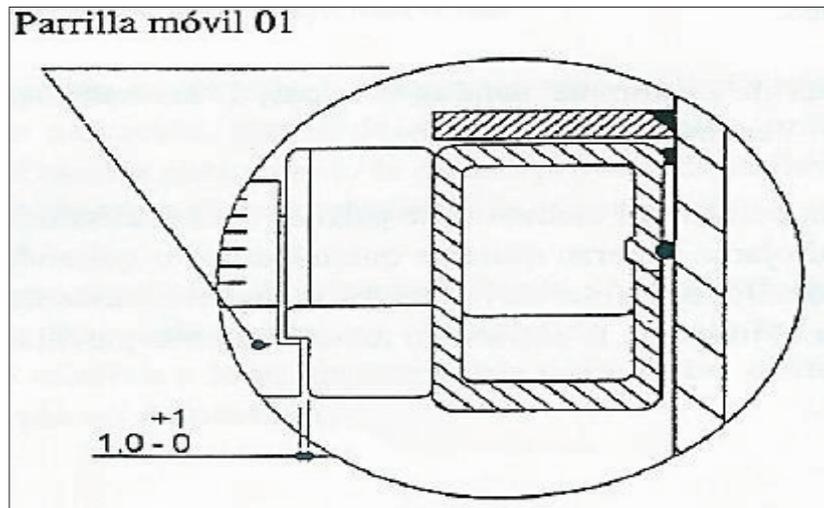
Cuando se deban sustituir bloques de juntas laterales o labios de juntas laterales dañados, es preciso desmontar las placas de parrilla que dan contra estos componentes. Quitar los pernos pertinentes al bloque de junta lateral o labios de junta lateral averiados. En caso de que los pernos no puedan aflojarse, deberán quitarse quemándolos o quitando las cabezas de los pernos por taladrado. Cuidar de no dañar piezas que deban reutilizarse.

En el supuesto de que solo sea el labio lateral que deba sustituirse, es necesario aflojar los pernos de los bloques de juntas laterales posicionados contra las viguetas sustentadoras estacionarias, de modo que sea factible desplazar los bloques de juntas laterales unos pocos milímetros.

Para minimizar las hendiduras, tanto vertical como horizontalmente, entre los bloques de juntas laterales y las placas de parrilla lo más posible, dentro de las tolerancias de fabricación de estas, es preciso utilizar los bloques de distancia de montaje.

Siguiendo con toda minuciosidad las instrucciones de montaje, la distancia en la hendedura inferior vertical, entre el labio lateral y el elemento de parrilla, será menor frente a un elemento de parrilla estacionario que frente a un móvil, donde se requiere una hendedura de 1 milímetro, como mínimo y de 2 milímetros como máximo.

Figura 47. **Distancia entre hendeduras**



Fuente: BLACK, Laura. *Instalación exitosa de alimentación de enfriadora*. p. 73.

- Junta en el accionador

En el supuesto de avería en la junta del accionador, escapa una cantidad de aire. Esto puede subsanarse provisionalmente al colocar una placa bipartida con un pequeño juego en la barra de tracción.

Un desgaste prematuro de la junta puede deberse a que el abastecimiento de aire a la junta es insuficiente o el aire está contaminado. Controlar el abastecimiento de aire cuando el enfriador haya sido puesto en servicio. Si la empaquetadura se deforma demasiado, será preciso sustituir el soporte de la junta.

Si el desgaste en la brida ha formado un rebajo que recarga adicionalmente las empaquetaduras y el soporte, será necesario renovar la brida y su empaquetadura. Eventualmente, puede resultar necesario sustituir o reacondicionar el aro de deslizamiento en la conexión de barra.

Montar una junta nueva en la barra de tracción después de haber desmontado el soporte. Como consecuencia del pequeño juego entre la barra de tracción y el aro guía, es admisible continuar el servicio con empaquetaduras deterioradas hasta que el horno sea parado por otros motivos.

- Roldanas de soporte

En caso de avería de los rodamientos de las roldanas de soporte, que puede ocasionar, por ejemplo, descenso del sector móvil de la parrilla, será preciso parar el horno y el enfriador. Enfriar el Clinker de manera que sea factible sustentar el marco mientras se sustituye el cojinete. Finalmente se sustituye toda la disposición de roldanas de soporte, siempre que se cuente con los repuestos pertinentes.

- Reja de hierros perfilados

Si se produjera avería en las viguetas sustentadoras, tanto estacionarias como móviles para sectores de parrilla (perfil huevo), es preciso enfriar tanto el Clinker como el refractario después de haber parado el horno y las parrillas antes de reparar.

Limpiar la zona de parrilla para eliminar Clinker, quitar los elementos y desmontar las viguetas sustentadoras. Desmontar también los elementos de parrilla en la vigueta vecina, en consideración al montaje y alineación. Alinear la vigueta sustentadora nueva, empernarla y proveerla de placas labiadas y elementos de parrilla.

- Montaje de nuevas viguetas sustentadoras

Es de suma importancia que las viguetas sustentadoras tengan una inclinación de exactamente 10 grados ya que, de otro modo, el juego correcto en la parte delantera y en la parte trasera de la parrilla no puede lograrse. Un menor

ajuste puede efectuarse mediante introducción de suplementos (*shims*). Para las viguetas sustentadoras estacionarias, los canales angulares de aire deben adaptarse a las viguetas sustentadoras nuevas y a la pared lateral.

- Estaciones motrices

En caso de avería en las estaciones motrices y cilindros hidráulicos, es preciso para el horno y el enfriador. Los ventiladores no se paran hasta que el lecho de Clinker esté lo suficientemente enfriado y las parrillas hayan sido paradas. Después de efectuada la reparación puede arrancarse de manera normal.

3.1.4.3. Trabajos de taller

Elementos de parrilla desgastados pueden reacondicionarse mediante soldadura de recargue. El canto delantero y el lado se revisten con electrodos y fisuras menores se reparan por soldadura. A menudo es ventajoso reacondicionar las piezas antes de que el desgaste se torne excesivo y acarree consumo incrementado de energía y avería.

Los rieles de guía y de soporte pueden fresarse y proveerse de suplementos o se les puede aplicar una capa de desgaste por soldadura de recargue con electrodos o polvos, lo cual implica un subsiguiente maquinado de los mismos. Disposiciones completas de roldanas de soporte y de guía pueden reacondicionarse y ensamblarse en el taller listas para ser utilizadas como repuesto.

3.1.5. Colocación y desmontaje de andamio

Al efectuar trabajos en el enfriador, se debe colocar una pasarela (puente-grúa), encima de la parrilla, que vaya desde la puerta en el extremo del enfriador a la parrilla. Prolongar la pasarela, si fuera necesario, a través del enfriador hasta el lugar de reparación. Si se desea acceso desde el lado del enfriador a la sección más delantera de la parrilla, debe colocarse una plataforma junto a la puerta y una rampa que vaya hacia abajo hasta la parrilla.

3.2. Inspección y servicio de componentes

Las inspecciones rutinarias son las fuentes más confiables para la detección de fallas en los equipos. Estas revisiones son programadas según el mantenimiento del equipo y los tiempos de operación de los componentes.

3.2.1. Cojinetes

Se debe revisar periódicamente la temperatura de los cojinetes en la enfriadora y los ventiladores para verificar que no se estén sobrecalentando. Se debe calendarizar una minuciosa inspección de cualquier cojinete que se esté calentando para el siguiente paro del equipo. La falla de cualquiera de estos cojinetes usualmente causa paros de los ventiladores o la trituradora. El paro de un ventilador de la enfriadora o la trituradora causará que el horno también pare su operación.

3.2.2. Ventiladores

Se debe inspeccionar todos los ventiladores, especialmente el de extracción, en cualquier paro del equipo, en busca de señales de desgaste y

condiciones inseguras. Los conos de entrada y las llantas de los ventiladores no son usualmente objetos que estén en inventario, así que es recomendado que los repuestos para estos equipos sean ordenados con anticipación para asegurar que estén a la mano antes de realizar los remplazos.

También se debe recordar que el ventilador que maneja aire sucio se desgasta más rápidamente que un ventilador que maneja aire limpio. Si un ventilador empieza a vibrar durante su operación, se debe detener para determinar la causa y tomar la necesaria acción correctiva. La vibración originada en el ventilador debe ser asumida para indicar la condición de este que resultará en una falla prematura.

3.2.3. Martillos trituradores

Se debe inspeccionar los martillos de la trituradora cuando un paro sea posible, y se permita el acceso al final de la descarga de la enfriadora para reemplazar cualquiera que esté deteriorado o dañado. En la mayoría de los casos, los martillos que han sido removidos en servicio pueden ser reparados o calzados de nuevo para que se utilicen otra vez.

La vibración de la trituradora durante su operación es usualmente atribuida a un martillo roto, y causa que el rotor esté desbalanceado. Si se continúa operando la trituradora cualquier cantidad de tiempo bajo dadas condiciones, va a causar un daño considerable al eje de la trituradora y los cojinetes. Un paro de la trituradora, enfriadora y el horno debe ser efectuado tan rápidamente como sea posible para realizar los cambios necesarios.

3.2.4. Placas de parrillas y tornillos T

En un paro que sea lo largo suficientemente para permitir el acceso a los compartimientos debajo de la parrilla, ingresar a la enfriadora e inspeccionar todas las placas de las parrillas y los tornillos T. Reemplazar todas las parrillas rajadas y aquellas que muestren desgaste.

Dependiendo de su condición, reemplazar o reajustar todos los tornillos T flojos. En un paro mayor de la planta o al menos una vez al año, remover el material desde las placas de las parrillas e inspeccionarlas desde la parte superior. Reemplazar cualquiera que esté deteriorada o rajada.

La pérdida de una placa de parrilla durante la operación resultará en un exceso de derrame de material en los compartimientos debajo de la parrilla, poca recirculación de aire a través del agujero y rápida pérdida de presión en los compartimientos. Otras parrillas, el transportador de derrames y la estructura debajo de la parrilla pueden incurrir en un daño considerable si la parrilla perdida no es remplazada en un período corto de tiempo. La situación es particularmente crítica en el final de la alimentación donde el material está más caliente.

3.2.5. Llantas y pistas de llanta

Las llantas y las pistas de las llantas deben ser inspeccionadas para revisar signos de desgaste en cada paro que sea suficientemente largo y permita una inspección. Si el desgaste en cualquiera de estos dos equipos es excesivo, reemplazar si el tiempo lo permite; si no, la mínima acción correctiva debe ser calzar las pistas de las llantas.

Un desgaste excesivo en esta área causará que el marco móvil se caiga, y que las parrillas móviles friccionen en contra de las estacionarias. Esto reduce a gran medida la vida esperada de las parrillas y los demás componentes mecánicos.

3.2.6. Sellos de tabique

En cualquier paro suficientemente largo que permita el acceso a los compartimientos debajo de la parrilla, inspeccionar y ajustar los sellos de tabique para asegurar la mejor selladura entre los compartimientos adyacentes. El material del sello es prensado entre las dos placas. Ajustar su posición hasta que el borde se friccione en contra del marco estacionario. Con el tiempo, el sello del material será deteriorado hasta el punto de que un ajuste no pueda ser realizado y el reemplazo sea necesario.

3.2.7. Sellos de eje de llanta

Inspeccionar periódicamente los sellos del eje para verificar si el aire se fuga a través de estos o si hay una acumulación de polvo. Usualmente, el problema puede ser corregido ajustando los resortes. Si partes mayores deben ser reemplazadas, su cambio debe ser planificado en un paro del equipo.

Cuando el mantenimiento sea ejecutado en la manivela de transmisión balanceada y la rueda del eje de cruceta, se deben medir la transmisión de la manivela y el eje de cruceta para asegurar la correcta alineación entre cada uno de los equipos y el marco móvil. El eje de cruceta debe ser perpendicular a los ejes del marco móvil y paralelo a la transmisión de la manivela balanceada.

Los rodos de conexión, colocados en cada lado de la enfriadora, deben ser de longitudes iguales. Antes de operar la enfriadora, dichos rodos y el eje de cruceta deben ser taladrados y colocados permanentemente por medio de un pin para este propósito.

3.2.8. Transmisión de correa V

Inspeccionar periódicamente las correas V para localizar desgaste, fisuras y verificar la correcta tensión de las mismas. La tendencia común es a operar con fajas muy flojas. Revisar con el fabricante de las bandas V para determinar la correcta cantidad de tensión para el estilo de banda que se usa.

Las correas nuevas tienden a estrecharse más cuando son instaladas por primera vez; entonces, chequear y ajustar la tensión varias veces durante las primeras semanas de operación. Cuando se tensionen las correas, usar un borde firme para verificar que las puntas están alineadas unas con otras.

Reemplazar las correas únicamente en juegos completos; es decir, no cambiar parcialmente y mezclar nuevas y viejas secciones de correa o de diferente estilo.

Cuando se renueven las correas V, no doblar los lados de los bordes, ya que se daña la correa y deja fisuras en los picos que causarán su desgaste rápido. Mientras las correas estén fuera de la transmisión, inspeccionar los *shims* en busca de impurezas y presencia de fisuras y desgastes.

3.2.9. Cadenas de transmisión

Mantener las cadenas de transmisión lo suficientemente ajustadas para que no vibren, pero no tanto que induzcan esfuerzos en los ejes. Ajustar la tensión usando un torquímetro en la base de la transmisión. Las uniones pueden ser removidas de la cadena para dar espacio adicional para el ajuste.

3.2.10. Material refractario

En cualquier material refractario lo suficientemente largo para el área de enfriamiento sobre la parrilla, ingresar e inspeccionar el material con revestimiento de material refractario para buscar fisuras y áreas rotas. Reparar tan rápido como sea posible y más práctico. Un daño extenso del revestimiento de material refractario puede resultar en grandes pérdidas de calor suficientes para afectar el proceso. Agujeros en el refractario pueden ocasionar puntos calientes en la carcasa, la cual puede fallar por ruptura y causar quemaduras serias a las personas que estén en contacto con este.

3.2.11. Guarda de cadenas

El proceso de inspección y servicio de guarda de cadenas consiste en, limpiar periódicamente la parte interior de las guardas para evitar acumulación de materiales que puedan causar desgaste a la cadena o el eje.

3.2.12. Ventana de observación de trituradora

Mantener la ventana de observación en la trituradora limpia para que quienes deseen ver el interior no traten de abrirla. Mover el escudo protector en posición antes de abrir la ventana para limpieza. Es importante tener precaución:

no abrir la ventana sin usar el escudo de protección, porque hay material caliente que es arrojado por los martillos puede salir expulsado de la abertura si no está correctamente cubierta.

3.3. Alineación e instalación del marco móvil

Aunque la alineación de la línea de la parrilla es crítica para una exitosa operación y confiabilidad de la enfriadora de parrillas, la instalación de los componentes que soportan las líneas de parrillas afecta grandemente la habilidad de lograr el alineamiento requerido por la línea de parrillas.

La elevación del marco móvil puede ser encontrada en el dibujo de ensamble de este. Este es usualmente dado en relación con el marco lateral superior de la enfriadora. La dimensión actual depende de diferentes factores; entonces, no es posible proveer una dimensión estándar para todas las enfriadoras en este documento.

Al colocar el marco en la parte superior de la llanta y cruzar los alojamientos del eje, se posiciona el marco en la correcta elevación para que los ejes estén centrados en las aberturas de los marcos laterales. Las pistas de la llanta probablemente necesiten ser calzadas para alcanzar esa posición.

Acerca de la elevación, el marco móvil debe ir centrado con base en la línea central de la enfriadora. En las nuevas enfriadoras, una línea central puede ser establecida más fácilmente que en las enfriadoras existentes. Por lo general, una línea central es el primer factor que se determina a la hora de montar una nueva enfriadora.

En enfriadoras anteriores, la línea central original se encuentra rara vez. En ese caso, es necesario establecer una. Un número de factores deben ser considerados para seleccionar una nueva línea central. Por ejemplo, las condiciones de los marcos laterales no entran en la ecuación. Si está deformado es ventajoso seleccionar una línea central para compensar la deformidad.

Después de seleccionar una línea central y centrar el marco móvil, se procede a ensamblar. El marco móvil debe ser cuadrado. Esa es la colocación de los clips de soporte que deben estar exactamente en el mismo punto a lo largo de la enfriadora; así, cuando se instalen los soportes de la enfriadora queden perpendiculares a la línea central de la enfriadora. Cuando el ensamble del marco móvil esté completo y el área sea chequeada doblemente (elevación, centrado y cuadrado), todas las conexiones deben ser soldadas, incluidas las placas de empalme si se usaron.

3.4. Mantenimiento e instalación del soporte de parrilla

Es importante instalar correctamente los elementos de soporte para las enfriadoras, para lograr holguras críticas en la línea de las parrillas. Entre estos elementos están los soportes de placas de las parrillas.

3.4.1. Identificación del soporte

En la mayoría de las enfriadoras los soportes estacionarios y móviles eran idénticos. En enfriadoras con las líneas de parrilla extendidas hasta la pared trasera se han utilizado, soportes tipo regular y garganta. Usualmente, los últimos son usados en las primeras nueve filas, donde reciben impacto de grandes cantidades de trozos de material desde el horno. Los soportes regulares eran usados en el resto de la enfriadora.

Desde que los soportes tipo garganta tienen miembros de más profundidad, los clips de montaje en el marco móvil son más bajos que los de montaje de los soportes regulares. En enfriadoras métricas, los soportes móviles no se extienden debajo de las parrillas muertas; por lo tanto, son más pequeños que los estacionarios.

Se debe identificar cuidadosamente los soportes al comprar los sustitutos e instalarlos en las secciones de parrillas, considerando que cada fila puede ser diferente por la colocación de las entradas de aire. Esto se debe a los intentos de minimizar el número de obstáculos debajo del área de las parrillas en la enfriadora.

3.4.2. Instalación del soporte

Antes de instalar alguna línea de la parrilla o alineamiento, la enfriadora debe ser posicionada en media carrera. En el marco móvil, los soportes de las placas de la parrilla deben ser centrados en la línea central de la enfriadora y nivelados de lado a lado. Adicionalmente, los espaciamientos entre los soportes necesitan ser corregidos; si son incorrectos, puede ser encontrada interferencia en cualquier final de la carrera cuando la enfriadora esté operando.

A media carrera, debe haber 5 pulgadas entre el frente de un soporte y la parte posterior del siguiente en la posición de abajo. Esto ayudará a asegurarse que los soportes sean cuadrados a la línea central de la enfriadora. La instalación de soportes debe iniciar al final de la descarga de la enfriadora y trabajarse hacia el final de la alimentación.

Todos los soportes estacionarios deben ser instalados con un calce de anchura máxima de 1/8 de pulgada. Esto permitirá la instalación de un soporte

estacionario con menos dificultad en el futuro. El soporte de reemplazo debe ser más alto que el existente.

Después de que todos los soportes estén en la enfriadora, los soportes estacionarios deben ser chequeados para asegurar que están todos a la misma elevación. En caso de los soportes de dedos, un cable o cadena puede ejecutar cada lado y tocar la punta de cada dedo en la fila longitudinal. Cualquier soporte que no incluya cable o cadena debe llevar o ser calzado. Si algunos soportes son demasiado altos, deben ser disminuidos y proporcionar el 1/8 que falta. Si no, los otros soportes deben ser levantados a la altura del soporte alto.

Para soportes sin dedos, se debe instalar una fila de parrillas debajo de cada lado de la enfriadora. Las puntas de la parrilla deben ser usadas para determinar la elevación de cada fila. La fila seccionada en cada lado no debe ir sobre la ubicación de los soportes móviles reteniendo pernos. Esta ubicación debe estar descubierta para que los tornillos sean accesibles a la hora de asegurar las filas móviles. El procedimiento para colocar todos los soportes estacionarios a la misma elevación debe ser el mismo para los soportes con dedos.

Cuando los soportes estacionarios están a la misma elevación, se ajusta las filas móviles. El ajuste inicia desde el final de la descarga de la enfriadora y avanza hacia el final de la alimentación. Como se dijo en la sección de la alineación de la parrilla, las filas móviles deben ser ajustadas verticalmente para arriba o para abajo, para igualar las brechas corrientes arriba del material y corriente abajo del material entre la superficie de la parrilla y del lado de debajo de la cara de empuje.

Las dimensiones nominales para las brechas están dadas en los dibujos de la instalación de la parrilla, normalmente proporcionados para cada enfriadora. De todas maneras, recordar que son medidas de brechas nominales. Solamente

las filas móviles deben ser ajustadas; así, el flujo corriente arriba de la parrilla y corriente abajo será equitativo.

En algunas enfriadoras, los montajes de los clips de soporte de la parrilla son suministrados con una conexión empernada. En estos casos, el ángulo de montaje de la superficie debe ser chequeado antes de ajustar la elevación de las filas móviles. Con la excepción de la enfriadora de diez grados, las demás tienen los soportes a diez grados de inclinación hacia atrás del plano horizontal. La inclinación de todos los soportes debe ser revisada antes de alinear los soportes o la parrilla; mientras el tiempo transcurra, el ángulo de inclinación varía.

No es recomendado el uso de calces a la mitad debido al peligro y riesgo de que se salga de su lugar. Si se requieren calces a la mitad, la posición del clip de montaje debe ser revisada y ajustada. Todos los calces, clips móviles de montaje y pernos retenedores deben ir soldados después de completar y verificar la alineación al poner en funcionamiento la enfriadora.

3.4.3. Dedos de soporte

Todos los dedos de soporte deben ir en buen estado y en el mismo plano que la parte superior de los soportes de la parrilla. Si un dedo está deformado, puede ser removido y reemplazado con uno nuevo. Esto se puede hacer en el mismo lugar, pero es mejor si cuando el soporte está fuera de la enfriadora.

Si las parrillas son cambiadas del diseño plano a la parrilla RFT o si parrillas muertas son agregadas a la enfriadora, es necesario un cambio del dedo final del soporte o del adyacente a la parrilla muerta. Dedos de la mitad de ancho son provistos para proporcionar espacio a los bolsillos de las placas RFT o, en el caso de parrillas muertas, el labio de sustitución.

3.5. Alineación de la transmisión

La transmisión de la potencia mecánica debe tener una sincronización exacta para la operación correcta del equipo. Se debe tener en cuenta todos los ajustes y niveles de alineación para que no sea un motivo de falla que resultaría en el paro de la operación.

3.5.1. Enfriadoras de transmisión electromecánicas

La alineación de la transmisión de la enfriadora es un factor muy importante para una operación sin problemas. También es un factor incomprendido y al cual se le pasa por alto.

El desalineamiento proporciona mucho esfuerzo inusual a la transmisión, lo que puede causar fallas debido a fatiga. Las fallas en el tubo de torsión, rodos conectores, eje de cruceta o el alojamiento de eje de cruceta, son la mayoría de veces por fatiga. Una enfriadora que opera a 10 o 12 golpes por minuto y 24 horas al día acumula muchos ciclos rápidamente en una jornada de 330 días son realizados 5 700 000 a 12 ciclos por minuto.

Adicionalmente, puede haber otras fallas que no pueden ser atribuidas directamente a la desalineación de la transmisión. Por ejemplo, la rotura de los componentes del marco móvil o la incapacidad de evitar que este se desplace a los lados y corra al lado de las fundiciones o el marco lateral.

El alineamiento empieza con el eje cruceta. Aún en instalaciones ya existentes, la ubicación del eje cruceta debe ser verificada. Muy a menudo, cuando se revisa la transmisión balanceada de la manivela, la posición del eje

cruceta es asumida como correcta. Los siguientes pasos y puntos deben ser hechos en el proceso de alineación:

- El eje cruceta debe ser centrado en la abertura del marco lateral
- El eje debe ser nivelado de lado a lado
- El eje debe ser centrado en la línea central de la enfriadora
- El eje cruceta debe ser cuadrado en relación al marco móvil. Para revisar si es así, se debe medir tres pies a lo largo del eje desde su intersección con el marco móvil y marcar el eje.

Después, medir cuatro pies a lo largo del marco móvil desde la misma intersección y marcar el marco. La distancia entre las dos marcas debe ser cinco pies. Cuando los pasos anteriores sean logrados, la transmisión balanceada de la manivela puede ser localizada.

Un procedimiento para la transmisión balanceada de la manivela está disponible para casi todos los tipos de transmisiones de este tipo. Los pasos listados a continuación deben ser seguidos para colocar la transmisión balanceada de la manivela:

- Coloque los ejes excéntricos con la parte más excéntrica en posición vertical, según las manecillas del reloj (12 en punto).
- Asegúrese que ambos lados estén a las 12 en punto. Es muy importante que ambos lados estén en la misma posición. Es posible atornillar los carretes de la manivela al tubo de manera incorrecta con un torque no

debido y no tener los ejes excéntricos en la misma posición.

- Deje caer una plomada a través del centro del pin de la manivela y marque un punto a la mitad de la carrera de golpe debajo del agujero de lubricante en el pin de la manivela. Esto determinará el centro del cojinete principal.
- Determine la diferencia vertical entre la línea central del eje y la línea central de la transmisión balanceada de la manivela en ambos lados de la enfriadora. Esto asegurará que la transmisión de la manivela está nivelada, lado a lado y en la correcta elevación en relación con el eje de cruceta.
- Para determinar la diferencia vertical deje caer la plomada a través del centro del eje y coloque una cadena a través del centro de rotación de la transmisión de la manivela; así, la cadena se interceptará con la línea de la plomada. Esto debe hacerse en ambos lados de la transmisión. Las dimensiones deben ser las mismas.
- Las dos líneas de plomada (una a través del eje cruceta y la otra a través del centro de rotación en la transmisión balanceada de la manivela) deben ser usadas para medir la distancia horizontal entre el eje cruceta y la transmisión de la manivela balanceada. De nuevo, esto debe ser realizado en ambos lados de la enfriadora y las dimensiones deben ser idénticas de un lado a otro.
- Antes de completar los pasos anteriores, la transmisión balanceada de la manivela debe ser rotada a la posición de media carrera. Si el pin de la manivela está cerca de la parte más alta del círculo de rotación, será rotado a diez grados fuera de la vertical y movido hacia delante del eje cruceta. La distancia desde el centro del eje hasta el centro del pin debe ser medida en ambos lados de la enfriadora y ha de ser la misma en ambos lados.

Los ensamblajes del rodo conector deben ser instalados en el sistema de transmisión al mismo tiempo. Si el espaciamento entre filas de la parrilla se sale de su lugar consistentemente, el marco móvil puede ser ajustado en relación con el eje de cruceta con pernos en el soporte del marco móvil. Es importante no mover el eje de cruceta. Luego de confirmar la alineación de la parrilla, la enfriadora debe ser revisada de nuevo a mano para asegurar que no haya interferencia mecánica en ninguna parte.

Después, usando la transmisión, la enfriadora debe ser operada por un período lo suficientemente largo para eliminar todos los ruidos por fricción, chirridos, entre otros. Cuando se asegure que no hay interferencia y todo está alineado correctamente, entonces la cabeza de la manivela y la contra cabeza deben ser perforadas para que los agujeros pasen al rodo conector. Un pin debe ser insertado en los agujeros para asegurar el ensamblaje del rodo conector y prevenir que rote hacia fuera.

3.5.2. Enfriadoras de transmisión hidráulica

En las enfriadoras de transmisión hidráulica, el eje de cruceta debe estar posicionado de la misma manera que la transmisión para las enfriadoras de transmisión electromecánica. Para enfriadoras de transmisión hidráulica se utilizan dos cilindros por transmisión (uno a cada lado). Los cilindros deben ser instalados con una pendiente de 10 grados (básicamente en el mismo plano que la superficie de la parrilla).

El posicionamiento de los cilindros debe ser realizado para que no toquen el fondo al final de la carrera. A media carrera, el pistón debe estar en el centro del cilindro. Para lograrlo, el final de la horquilla del cilindro debe ser calzado o revisado. Esto solo se debe hacer en la instalación inicial. Si se usa un cilindro de reemplazo de la misma forma y modelo que el original, no es necesario el ajuste.

Considerar con la transmisión de los cilindros hidráulicos que algunas fuerzas muy altas son generadas. Consecutivamente, la unión de los componentes mecánicos debe ser sólida. Las soldaduras usadas deben ser sólidas y revisadas y los pernos, correctamente torqueados.

3.6. Llantas, pistas, ejes y cojinetes

El diseño de las llantas, pistas y cojinetes ha cambiado muchas veces a través de los años. Afortunadamente, el cambio siempre ha sido para mejorar los resultados, el desempeño y la confiabilidad de la enfriadora. La mayoría de las primeras enfriadoras utilizan simplemente bujes y cojinetes de bronce. No había sellos para mantener afuera las partículas de impurezas y a la grasa, adentro.

Por esta razón, con el fin de tener una mayor y razonable vida útil del cojinete, es necesario proveer generosas cantidades de lubricante para mantener el cojinete. Si el buje fallaba, la rueda rotaría en el pleno del eje y lo dañaría o detendría la torsión y resbalaría en la pista. Esto causaba que la pista se desgastara y que el marco móvil se cayera. Dado que solo hay $\frac{1}{4}$ de pulgada de claro entre las filas de parrilla, se deduce que no tardaría mucho en que las parrillas fueran dañadas o quebradas.

3.6.1. Bujes de sello

Como la falla en el buje conduce a la necesidad de cambio del eje, fue diseñado un buje sellado. Este diseño es usado en las ruedas del eje, ejes de cruceta y en el pin de la manivela de la transmisión balanceada. Tiene muelle precargado y sello de teflón para mantener a las partículas ajenas afuera del área del cojinete y el lubricante en la misma área. Adicionalmente, para proveer protección al eje, manguitos endurecidos son ubicados en el área del muñón de los ejes. Los manguitos son reemplazables y están allí para ser sacrificados en el caso de una falla en la lubricación o en el buje.

Los manguitos endurecidos son mantenidos en el eje para prever su rotación a través de Loctite. Para quitarlos, el Loctite necesita ser removido. Para realizarlo, debe ser calentado de 400 a 450 grados Fahrenheit. Generalmente, un soplete de soldadura de acetileno es la mejor manera de llegar al Loctite a esta temperatura. La antorcha debe mantenerse en movimiento mientras se calienta el eje para prevenir sobre calentamiento en un área y causar una falla debido al calor o quemar los componentes.

Después de que el manguito sea removido, limpiar y preparar el eje de acuerdo con las instrucciones proveídas con el Loctite. Revisar el diámetro del eje. Si la holgura es mayor a 0.005 de pulgada en cualquier lado, el Loctite no resistirá la carga.

El diseño de buje sellado debe ser ajustado a las enfriadoras existentes. Con el fin de convertir los ejes en reutilizables, se debe aprobar el criterio descrito en el párrafo anterior. Las nuevas ruedas, cabezas de biela y contracabezas serán necesitadas para esta conversión debido a que el diámetro exterior combinado del manguito y el buje es más largo que únicamente el buje.

Los componentes iniciales de los bujes sellados tenían diseño de aros O en la circunferencia del sello de teflón. Estos aros preveían que los sellos se movieran libremente. Subsecuentemente, fueron eliminados y los sellos son ahora producidos sin el aro O. Si hay alguna enfriadora todavía en servicio que utiliza los aros O, se recomienda removerlos.

3.6.2. Cojinetes antifricción

Debido a la demanda, los diseños de las llantas, contracabezas y la transmisión balanceada de la manivela fueron desarrollados con cojinetes antifricción. En la manivela y en las contracabezas se usan cojinetes esféricos autoalineables, mientras que en las llantas se utilizan cojinetes de rodillos cónicos de doble fila. Ambos tienen holguras internas preestablecidas. El mantenimiento básico requerido es conservarlos limpios y lubricados para un desempeño confiable.

Como la mayoría de estos cojinetes no hacen rotaciones completas, su vida debe ser mayor. Los proveedores de cojinetes temían que el lubricante no sería esparcido en todas las áreas de contacto y que aparecieran falsas fallas de desgaste por no tener rotación completa. Al momento de montar las llantas o contracabezas y fundiciones, se debe tener cuidado porque hay sellos de laberinto en la parte trasera del ensamblaje para evitar que contaminantes entren al cojinete.

El conjunto de elementos usualmente incluye un collar montado en el eje, en el cual el sello se maneja. Este es biselado para permitir los cambios donde el eje, cambia de sección. Si este collar no está posicionado correctamente, crea problemas cuando se desliza el cojinete dentro del eje. La llanta necesita ser

mantenida a la altura correcta y deslizada con precaución mientras es instalada, para que los sellos sean montados correctamente.

3.6.3. Llantas internas

Hay muchos diseños de llantas internas disponibles. El diseño de la llanta interna ha sido desarrollado primariamente para eliminar los sellos del eje. Las llantas son montadas del todo en la enfriadora. Los últimos diseños también eliminan los ejes largos asociados con las llantas exteriores.

El conjunto de las llantas consiste en un rodo que es también el alojamiento para los cojinetes antifricción. El eje está arreglado y adjunto a los soportes montados. Los miembros estructurales están instalados a lo largo del ancho de la enfriadora y soportan las llantas internas. A diferencia de las llantas externas, el conjunto de las internas es estacionario y las pistas están montadas al marco móvil.

Por lo tanto, la pista va hacia atrás y adelante con los marcos, mientras la llanta oscila en el eje arreglado. La pista es plana y endurecida para que la presión sea más baja que con la llanta convencional y el desgaste de la pista y llanta sea reducida. Por lo tanto, el marco móvil muy difícilmente falla y su vida útil aumenta también.

Desde que las pistas y las llantas son planas, algunos mecanismos deben ser instalados para evitar que el marco móvil se pandee mientras se mueve. El mecanismo es una guía del rodillo. Este es similar al dispositivo de la llanta interna pero es montado en la línea central de la enfriadora. Una guía para cada lado del rodillo que es adjunto al marco móvil mantiene el marco móvil alineado. Es importante para una operación suave y sin preocupaciones tener la guía de

los rodos en la línea central de la enfriadora. Si no están en la misma línea, se causarán esfuerzos que pueden resultar en fallas.

Una observación importante es cómo la rueda interna y el cojinete de la guía del rodo son lubricados. Se prevé tuberías para que puedan circular líneas de lubricante desde los cojinetes hacia fuera de la enfriadora, donde están conectados al sistema de lubricación automática. La tubería es colocada en un orden protegido de 40 tubos. Estos llenan la medida del ancho de las aberturas laterales de la enfriadora y la atraviesan para que el aire ambiente pase a través de ellos.

La tubería no solo protege la tubería del material caliente que cae debajo de los compartimientos debajo de la parrilla, sino que también evita que personal de mantenimiento se pare sobre los tubos o deje caer herramientas que interrumpa el flujo del lubricante. Periódicamente, las líneas de lubricante deben ir abiertas por delante del cojinete y el sistema de lubricación energizado, para asegurar que no están conectadas.

3.6.4. Cojinetes principales

Las primeras enfriadoras usaban grandes chumaceras para soportar la transmisión balanceada de la manivela. Desde la mitad de los 60 se han usado la división de cojinetes Cooper. Un lado tiene cojinete fijo y el lado opuesto tiene uno flotante o de expansión. El fijo debe ser montado en el lado de la rueda dentada de la transmisión balanceada de la manivela.

Los cojinetes Cooper deben ir conectados a un sistema de lubricación automático. La única falla que se ha podido delimitar a este cojinete ha sido por

falta de lubricación. El cojinete debe ser revisado por lo menos una vez al año. Las condiciones de los sellos deben ser examinadas y los clips que sostienen el interior de la pista necesitan ser revisados. Los cojinetes deben ser limpiados y reengrasados antes de ponerlos de nuevo en funcionamiento.

Cerrar los anillos del sello es más fácil si se usan mangueras flexibles para unir las dos mitades. Un pin para asegurar es insertado a través de un pequeño orificio en las lenguas para mantener las dos mitades juntas.

3.6.5. Pistas

Donde se utilizan las llantas unidas por brida, las pistas deben ser posicionadas en contra de la misma. El contacto entre la brida y el lado del riel ayuda a la llanta a rotar mientras se mueve hacia adelante y hacia atrás. Si la llanta no rota, un punto plano se desgastará en la pista y la rueda. Cuando esto sucede, la llanta o la pista se desgastan rápidamente y crea problemas con las parrillas.

Las pistas deben ser empujadas en contra de la llanta para mantener el marco móvil en el centro de la enfriadora. Se asume que los ejes de la llanta han sido centrados en la línea central de la enfriadora. Las pistas deben ser posicionadas para que la superficie donde están montadas se encuentre al mismo ángulo que las parrillas. Las pistas vienen con cuatro pernos tipo J que son usados para levantar la pista a la elevación que requiera por la llanta (la elevación de la llanta coloca la línea de la parrilla en un movimiento particular de esta para la correcta elevación).

Una vez la elevación de la pista sea fijada, los calces deben ser colocados debajo de la misma. Los tornillos retenedores para la pista van a través de agujeros en el centro de los pernos tipo J. Por tanto, es muy importante que estos pernos estén en contacto firme con la superficie de montaje antes que sean ajustados los retenedores. Si este paso de precaución no es seguido, las pistas pueden ser quebradas cuando se ajusten los tornillos retenedores.

3.6.6. Ejes y alojamientos de ejes

La conexión entre los ejes y el marco móvil es a través de los alojamientos de ejes. Estos equipos consisten en dos canales y una serie de bloques de sujeción. Los bloques de sujeción son largas fundiciones de cerca de 12 pulgadas de lado, taladradas y cortadas con sierra en dos mitades. Dependiendo del tamaño de la enfriadora, habrá hasta cinco bloques de sujeción por alojamiento. La causa de falla más común es que el eje se resbala a través de los bloques de sujeción.

Para prevenir y asegurar que los bloques de sujeción trabajen verdaderamente como sujetadores, los pernos deben ser apretados y torquados con cuidado y atención. Mientras los pernos serán apretados, las brechas entre las dos mitades deben ser monitoreadas y revisadas.

La brecha en la parte superior y en la parte del fondo debe ser igual mientras los pernos se estén apretando. En otras palabras, no apretar solo los pernos de la parte superior y luego los pernos de la parte del fondo. Los bloques no se sujetarán al eje si el procedimiento es realizado de esta manera.

El procedimiento correcto es, apretar los pernos de la parte superior una o dos vueltas y después, los de la parte inferior dos vueltas. Repetir esta secuencia mientras se monitorea la brecha para asegurar un cierre de la brecha.

3.7. Sellos de aire de enfriamiento

Hay solamente un gran secreto para la operación exitosa de una enfriadora: asegurar que el aire de enfriamiento provisto pase a través de las parrillas de la enfriadora y en ningún lado más. Esto significa que cuando se desempeñe mantenimiento en una enfriadora de parrillas, es muy importante revisar todas las fugas potenciales de aire. Esto incluye las siguientes áreas:

3.7.1. Fugas a través del marco lateral

Los marcos laterales deben ser observados para descubrir agujeros o puntos de fuga. Hay muchas maneras de lograr esto. Una de ellas es caminar a lo largo del marco lateral cuando la enfriadora esté operando y sentir las fugas de aire desde el área debajo de las parrillas.

Esto usualmente ocurre acerca de los portones de observación, luces y puertas de acceso. El factor de las fugas es tan importante como la alineación de la línea de las parrillas. Otro punto de fuga es el empaquetamiento en las puertas de acceso. Este empaque debe ser remplazado cuando cualquier fuga aparece. Muchas pequeñas fisuras se desarrollan en uniones roscadas o soldadas; también deben ser reparadas. Algunas veces este tipo de fugas no se pueden encontrar fácilmente desde afuera de la enfriadora.

Para descubrir este tipo de fugas, es fundamental entrar en el compartimiento dentro de la enfriadora sin ninguna luz y ver alrededor. La

oscuridad reflejará todos los orificios y fisuras por medio de la entrada de luz en donde se está fugando el aire. Se verá la luz del lado fuera de la enfriadora. Estas fallas deben ser selladas con soldadura. Como precaución, siempre que se sugiera entrar a la enfriadora, esta debe estar desconectada y bloqueada.

A través de los años, diferentes puertos de luz y observación han sido usados en enfriadoras para ver las condiciones debajo de la parrilla. Son importantes las inspecciones visuales periódicas de la enfriadora. Los compartimientos debajo de la parrilla deben ser revisados por excesos de derrames, movimiento anormal del marco móvil, la condición de los sellos de los tabiques, pernos flojos, parrillas, entre otros.

En las antiguas enfriadoras, una combinación de puerto y luz era provista con el propósito de examinar el área debajo de la parrilla. La característica más importante es que la luz sobresale en el compartimiento de debajo de la parrilla y el bombillo está protegido con un globo de vidrio resistente, el cual hace posible que se pueda remplazar desde la parte de afuera de la enfriadora, sin que tenga que ser detenida. Más allá de esto, el diseño usa una potencia industrial, 100 watt y un bulbo resistente a la vibración. Ahora se puede iluminar mejor esta área de lo que se hacía en el pasado.

En algunas enfriadoras, las puertas fabricadas son usadas para acceder a los compartimientos debajo de la parrilla. Las nuevas enfriadoras tienen puertas de acceso de hierro fundido, y han sido reajustadas para las antiguas enfriadoras. Estas puertas son provistas con empaques para prevenir la pérdida de aire de enfriamiento. El empaque debe ser revisado periódicamente y remplazado si es necesario.

3.7.2. Sellos del eje

Esta es una de las áreas de mayor pérdida de aire de enfriamiento. Es muy importante mantener estos sellos. No solamente es aire de enfriamiento; también polvo caliente expulsado hacia las llantas y las pistas, lo que causa fallas en los sellos de los cojinetes y tratamiento térmico de las superficies de las llantas y pistas. Adicionalmente, el polvo se convierte en un problema interno y en muchos casos es conducido a los ventiladores de enfriamientos. Esto puede causar que los componentes de los ventiladores se desgasten.

Hay muchas alternativas para el problema del sello del eje. La solución definitiva sería la conversión a llantas internas. Los sellos de eje originalmente usados fueron las placas planas montadas en los sellos. Estos eran colocados dentro de la enfriadora y presionados contra una placa de sello por medio de un arreglo de resorte plano. Los resortes planos son mantenidos en su lugar por medio de un collar.

La siguiente solución básicamente lleva la misma idea de una placa montada en el eje en la enfriadora trabajando en contra de un sello de placa. De todas formas, el collar y el resorte eran llevados afuera de la enfriadora para alejarlos de fuentes potenciales de calor.

Este diseño fue una mejora sobre el diseño original; sin embargo, en algunos casos, mantener los espárragos que empujan el sello en contra del sello de placa era muy difícil debido a que estos fallaban. Parte del problema era la desalineación del marco móvil.

En algunas enfriadoras, la caja de la llanta ha sido cerrada y las llantas han sido convertidas a llantas internas. En la mayoría de los casos este arreglo ha trabajado correctamente. Es algo que se debe tener en cuenta si se quiere realizar un arreglo como este en la enfriadora. Además, si al sello no se le ha dado mantenimiento correctamente y la caja de la llanta es cerrada, el polvo se puede acumular en la caja.

Se debe remover el polvo acumulado antes de que intervenga en la operación. Acto seguido, debido al cierre de la caja, algún método o rutina debe ser implementado para observar la llanta durante su operación. Esta debe ser revisada para ver si está rodando o deslizándose. Si se desliza la pista y la llanta, eventualmente se desgastará y causarán problemas con las parrillas.

La relación de la llanta y la pista debe ser examinada en las bases regulares para asegurarse que la última previene a la primera y el marco móvil de moverse de un lado a otro. De nuevo, si esto ocurre, las fundiciones de la línea de la parrilla se desgastan prematuramente. Debido a esto los derrames dentro del área debajo de la parrilla se incrementan y el daño en esta área también aumentará.

3.7.3. Sello del eje cruceta

Aunque hay varias soluciones para las fugas de material de los sellos del eje en los ejes de la llanta, las soluciones para el mismo problema en el eje cruceta son limitadas. La mejor solución en estas áreas es un sello de purga por aire. Este consiste en una placa deslizante montada en el eje, la cual es mantenida en contra del pie del sello por un anillo de muelle precargado que aplica presión a la placa. Todo el dispositivo está encerrado por una fundición. Una serie de perno alcanzable desde la pared de afuera del ensamble comprime los resortes y aumenta la fuerza en el anillo.

En cambio, el anillo sostiene más firmemente la placa de deslizamiento en contra del pie. Debido a que el anillo flota, un sello flexible de diafragma sella el área entre la fundición y el anillo flotante. Para que el aire escape de la enfriadora necesita seguir un camino de laberinto. El camino requerirá primeramente que el aire fluya entre la placa deslizante y el pie, luego entre la placa y el anillo.

El bolsillo que mantiene el anillo y la placa tiene la capacidad de ser presurizado a un nivel mayor que la presión debajo de la parrilla. Como consecuencia, el aire presurizado debe fugarse dentro de la enfriadora en vez de que el aire de enfriamiento salga de esta.

Para tener un servicio confiable de este sello, debe usarse aire presurizado. Muchas veces no se utiliza y el sello no se desempeña según el diseño. Además, la tensión en los muelles debe ser revisada para asegurarse que el anillo aguanta y desliza el sello en contra del pie. Si el sello es detectado con fuga de aire, el diafragma debe ser inspeccionado y remplazado si es necesario. Cuando se jale el sello hacia fuera y se repare, se debe tener la certeza de usar los pines correctos que mantengan el anillo flotante en posición.

3.7.4. Sellos de transporte de arrastre

La mayoría de enfriadoras producidas a la mitad de los años 60 tenían transportes de material de derrame dentro de los compartimientos debajo de la parrilla. Este arreglo tiene limitaciones en la profundidad de la cama a la cual la enfriadora puede operar, debido a las fugas de aire de enfriamiento a través del sello del transporte de arrastre.

El mantenimiento de estos sellos es necesario para prevenir que las parrillas u otras partes de las enfriadoras se quemen. Las válvulas flap deben ser

inspeccionadas para asegurarse que se muevan libremente y que puedan ser remplazadas cuando se desgasten. Pero debe ser añadido a esta para ayudar a resistir el flujo de aire de un compartimiento hacia otro.

Si el transporte está colocado a través de concreto, se podrá notar que el concreto se desgasta debajo de la válvula flap. Si la reparación del concreto no ayuda, conviene instalar una cubierta de metal sobre el concreto o bloques de desgaste.

El manguito para el eje de retorno debe ser inspeccionado y reparado en cualquier momento que este lo requiera. Se recomienda que el manguito sea tan largo como tres uniones. Otros diseños son más pequeños y se deben considerar las condiciones para aumentar su longitud.

A través de los años, se ha logrado algunos éxitos al encerrar el transporte en un alojamiento de acero y utilizar compuertas de disco operadas por aire, para permitir que el flujo del derrame entre al transporte mientras se minimiza la pérdida de aire de enfriamiento.

El éxito de las compuertas de disco es afectado por los arreglos de operación de las uniones (complicados contra simples), la condición de la enfriadora y operación de la misma, y posiblemente el cuidado cuando se le dio mantenimiento a las compuertas.

3.7.5. Válvulas Plattco

Para sobrepasar los problemas asociados con los transportes de derrames internos y permitir una cama profunda de operación, los compartimientos de la enfriadora han sido encerrados con fondos planos o estoperos. Compuertas de

doble depósito operadas por aire son provistas para prevenir la pérdida de aire de enfriamiento y permitir la limpieza de derrames de las cámaras debajo de la parrilla.

Para ser efectivas, las válvulas deben operar en la secuencia correcta. Las válvulas a la altura mayor y a la altura menor no deben abrirse al mismo tiempo. Debe haber también un tiempo intermedio antes de abrir la válvula del fondo y después de cerrar la válvula del lado de arriba y viceversa.

Todas las válvulas deben ser revisadas y ajustadas para verlas totalmente cerradas. La fuerza usada para cerrar las válvulas debe ser ajustada, así el Clinker que quede atrapado dentro de la válvula sea triturado antes de cerrarse. Una masa de material no debe evitar que la válvula se cierre. La fuerza no debe ser tanta que el cierre de la válvula se desgaste o falle en algunas partes.

Las líneas de aire hacia las válvulas deben ser equipadas con filtros, lubricadores, reguladores y una manguera de descarga de agua condensada. De otra manera, el cilindro no podrá funcionar de manera correcta.

3.7.6. Placas de tabique y sello

El área debajo de las parrillas de la enfriadora es usualmente dividida en compartimientos. Los divisores son llamados placas de tabique. Los compartimientos debajo de la parrilla son para prevenir el traspaso del aire de enfriamiento. El aire de enfriamiento tomaría normalmente el camino de menor resistencia. La placa de tabique facilitará que el aire de enfriamiento pase a través de las parrillas donde está diseñado que pase. Las placas de tabique deben ser libres de orificios y selladas por soldadura en los lados del piso de la enfriadora para prevenir el traspaso del aire de enfriamiento.

Como los marcos móviles corren a través de varios compartimientos, es necesario proveer un sello donde los marcos penetren las placas de tabique. Los primeros tabiques tenían una pieza más baja fija adjunta al marco móvil. Había una estrecha brecha entre la mitad de la parte superior y la mitad de la parte inferior.

Como consecuencia, no había ajuste de aire y mientras las pistas y llantas se desgastaban, las mitades del tope y fondo golpearían. Muchas veces, la solución más fácil para reparar, era eliminar la mitad de la parte superior. Por supuesto, esto tenía una influencia negativa en el éxito de operación de la enfriadora.

En respuesta a esto, un tabique estacionario fue desarrollado con un arreglo de sello donde los miembros del marco móvil penetraban la placa. El primer sello de tabique estacionario fue exitoso, pero no era el más fácil de mantener. Este podía ser unido a un pistón rectangular dentro del cilindro rectangular. La junta para el material se adjunta al marco móvil y el rodo dentro de una caja soldada a la placa de tabique. Reemplazos del material del sello debían ser hechos periódicamente para hacer el sello efectivo.

Para facilitar el mantenimiento del sello, todo el concepto fue cambiado de adentro hacia fuera. El material gasket ahora es adjuntado a la placa de tabique y es fijo. Una caja ha sido construida alrededor del marco móvil y se maneja dentro del material mencionado. La caja previene el flujo de aire a lo largo del marco móvil y el gasket elimina el contacto del metal. De todas maneras, el material de la junta se desgasta y debe ser reemplazado. Una abertura de $\frac{1}{4}$ de pulgada permite más fuga de un compartimiento a otro de lo que se puede imaginar.

3.7.7. Áreas sobre la parrilla

El cierre de las aberturas y orificios en el área sobre la parrilla y en los ductos de proceso es muy importante. Hay dos razones para sellar todas las aberturas y orificios en esta parte de la enfriadora. La primera razón es la seguridad. El área sobre la parrilla está normalmente presurizada negativamente. Fallas en el proceso pueden causar que un área se vuelva presurizada. Gases y material caliente pueden volar hacia afuera y quemar seriamente a personas en el área.

La segunda razón es el efecto adverso de las aberturas sobre la parrilla que pueden tener en la operación. Como se ha notado, el área sobre la parrilla es usualmente negativa. Como consecuencia, aire falso puede ser conducido hacia el sistema. Este aire a temperatura ambiente diluye el aire que es regresado al horno o al precalcinado; por lo tanto, requiere más combustible para su combustión.

En cantidades suficientemente grandes, el sistema de descarga puede ser sobrecargado y hacer necesario un retroceso en la producción. La manera de encontrar estos puntos de fuga se puede hacer de la misma manera de cómo se encuentran las fugas en la parte lateral: esto es, viendo el área desde un interior más oscuro durante un apagón.

3.8. Alineación de la parrilla

La instalación y alineación de las placas de la parrilla y otras fundiciones de la línea de la parrilla son críticas en la confiabilidad y desempeño de la enfriadora. En vista de este hecho, esta sección será dedicada a proveer dimensiones críticas, holguras y factores importantes de instalación para, asegurar la correcta

alineación e instalación de la línea de la parrilla. Se espera, que con los arreglos haya menos derrames a través de las parrillas, menos sobrecalentamiento de estas y menos desgaste mecánico y daño de las fundiciones.

Aunque esta sección sea dedicada a la alineación de la línea de la parrilla, todas las otras partes de este documento deben ser estudiadas y llevadas como instrucciones críticas de configuración. El alineamiento de la línea de la parrilla se ve afectado por la instalación de todos los componentes de la enfriadora que soportan la línea de la parrilla. La sección del marco móvil, la instalación de las llantas, el eje de cruceta y la instalación de las pistas de las llantas afectan la vida y el desempeño de las parrillas y, por lo tanto, la confiabilidad y desempeño de la enfriadora.

Se tratará de presentar la mayor cantidad de datos para la alineación de la línea de la parrilla. De todas formas, debido a que hay muchos tipos de enfriadoras de parrillas, proveer información de todas las variedades de configuraciones sería confuso y muy difícil si no se sabe el tipo de enfriadora que se posee. Sin embargo, se mostrarán los principios importantes que se debe recordar y aplicar.

Cuando se realice cualquier actividad o trabajo en la enfriadora que involucre un realineamiento, es imperativo colocar la enfriadora a media marcha y bloquearla en esta posición. La media marcha puede ser determinada de diferentes maneras. A media marcha, debe haber cinco pulgadas entre el frente de un soporte y la parte de atrás del siguiente en dirección abajo del flujo de material.

También a media marcha, en enfriadoras métricas, la longitud expuesta de todas las filas de parrillas debe ser 330 milímetros como medida a lo largo de la

superficie de la parrilla. En enfriadoras no métricas la longitud expuesta de cada fila de parrillas debe ser $12 \frac{3}{4}$ pulgadas.

De nuevo esta dimensión es medida en la superficie de la parrilla. Otra forma de determinar la posición de media marcha es operar la enfriadora a través de marcha completa y marcar la pista de una llanta en cada final de marcha. Después medir la distancia entre las marcas, se divide la distancia y se marca el punto medio en la pista. Se debe posicionar la llanta en la marca.

En las enfriadoras de 3 grados, 5 grados o de marco horizontal móvil, el equipo debe ser bloqueado una vez la enfriadora se posicione a media marcha. De otra manera, el marco móvil se conducirá hacia abajo del flujo y podría causar lesiones serias a cualquier persona que esté trabajando en ese momento en la enfriadora.

3.8.1. Superposición o traslape

Primero, se debe enfocar en el traslape de las placas de la enfriadora, pero antes recordar que el alineamiento de la parrilla es crítico para la vida de las mismas y el desempeño de la enfriadora. Con la alineación incorrecta, las parrillas experimentarán desgaste excesivo, los derrames en el compartimiento debajo pueden sobrecalentar y dañar los componentes internos y pueden ocurrir fallas catastróficas si las parrillas son sobrepasadas durante una carrera.

Un factor de la alineación de la parrilla es el traslape. En una enfriadora dimensionada en unidades inglesas, la medida de traslape a lo largo de la superficie es de $12 \frac{3}{4}$ pulgadas desde las caras de empuje a media marcha.

La misma dimensión de traslape en enfriadoras métricas es 330 milímetros. Como consecuencia, si una enfriadora de medida inglesa tiene una carrera de 5 pulgadas, el traslape en el final de la carrera debe ser aproximadamente una pulgada. En las enfriadoras de medida métrica, el traslape en el final de la carrera con una marcha de 125 milímetros sería aproximadamente 25 milímetros. El traslape debe ser revisado en todas las filas, al menos en dos lugares en cada una. Cada marca de revisado debe ser colocada en cada lado para asegurarse que las filas son paralelas una a otra.

Si se encuentra una fila fuera de la configuración necesaria, debe ser ajustada correctamente. Esto puede significar el movimiento de los clips de montaje. También sería necesario recolocar el clip de montaje. Si todos los soportes están fuera de la configuración por la misma medida, se necesitará que el marco móvil sea reposicionado en relación con el eje cruceta.

Hay pernos tipo J en las conexiones entre el marco móvil y el eje de cruceta. Estos pernos son usados para ajustar la posición del marco móvil. Una vez este sea ajustado y toda la alineación de la enfriadora sea confirmada, deben ser instalados bloques en cuña entre los pernos para transferir la carga entre el marco móvil y el eje cruceta. Estos bloques en cuña toman hacia fuera la carga de los pernos y en la carrera larga previenen la pérdida de longitud de marcha de la enfriadoras se salen o se desgasta el alojamiento.

3.8.2. Brecha vertical

Una amplia variedad de enfriadoras y de parrillas han sido producidas y diseñadas a través de los años. Se considerará a continuación una lista de varias brechas verticales que han sido utilizadas en enfriadoras de parrillas. Cuando se

aplique esta información se debe estar seguro de las dimensiones correctas seleccionadas para la aplicación.

Una dimensión nominal ha sido usada para el diseño de todas las enfriadoras. La brecha vertical en las enfriadoras en sistema inglés entre la cara de empuje y la parte superior de la parrilla flujo abajo es $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Para las enfriadoras CFG e híbridas (utilizan placas CFG y RFT en sus filas) la brecha entre el fondo del empuje y la parte superior de la placa flujo abajo es 2,3 milímetros. En las enfriadoras estándar la brecha es 3 milímetros. Se debe tener una brecha con un máximo ajuste de 1,3 milímetros.

El obtener la brecha correcta ha creado muchos problemas. Las dimensiones dadas son ideales basadas en las usadas para ingeniar la enfriadora de parrillas. De todas maneras, cuando se ajusta la línea de parrillas, estas dimensiones deben ser consideradas como nominales. Por ejemplo, la brecha vertical de $\frac{1}{4}$ de pulgada puede ser $\frac{1}{8}$ de pulgada más larga o más pequeña. Para obtener la brecha correcta, solamente la fila móvil de parrillas debe ser ajustada.

Las clases deben ser agregadas o quitadas del montaje de las filas móviles. Las filas estacionarias no deben ser nunca ajustadas cuando se ajusten las brechas verticales entre filas. La fila móvil debe ser movida hacia arriba o hacia abajo para que la brecha flujo arriba sea igual a la brecha flujo abajo. En los casos en que este procedimiento no es seguido, es necesario usar paquetes de calces debajo de los soportes cuando los ajustes son hechos en el final de la alimentación de la enfriadora.

Cuando se realicen los ajustes verticales, se debe iniciar en el final de la descarga de la enfriadora y trabajar hacia el final de la alimentación. Como se mencionó en el párrafo anterior, solamente las filas móviles deben ser ajustadas cuando sean ajustadas las brechas verticales.

3.8.3. Calce o *shim*

Cuando los calces son usados en enfriadoras, los más gruesos se deben utilizar para llenar una brecha. Nunca se deben acumular muchos calces delgados para llenar una brecha. Esta acumulación usualmente se sale de su posición y requiere una pérdida de holgura. Además, una vez que todos los calces sean colocados y la enfriadora de una marcha en seco para verificar que estén en el correcto orden, todos los calces deben ser ajustados con soldaduras para mantenerlos en su lugar.

3.8.4. Tolerancias u holguras laterales

Las holguras entre el final de la parrilla en una fila y la parrilla muerta al lado de la fundición debe ser $\frac{1}{4}$ de pulgada en enfriadoras de sistema inglés. Para enfriadoras en sistema métrico la holgura al final es 5 milímetros.

El espacio lateral entre parrillas en una fila es de $\frac{1}{8}$ de pulgada en enfriadoras de sistemas inglés estándar. Como consecuencias, las brechas laterales entre las parrillas deben ser ajustadas antes de preparar las holguras finales. Antes de instalar las placas de las parrillas, una inspección de las placas debe ser realizada para asegurar que el flujo no interfiere con la posición de los pernos de montaje.

El fluidificador debe ser colocado desde la placa, si es encontrada. Una vez que los pernos sean instalados, deben ser chequeados para asegurar que están preparados correctamente. Para obtener las holguras laterales apropiadas, las fundiciones laterales deben ser movidas hacia el centro de la enfriadora. Si tiene parrillas muertas, estas deben ser posicionadas para obtener la holgura lateral correcta.

3.8.5. Instalación de tornillo T

Aunque las enfriadoras más recientes se han alejado del uso de tornillos t, hay muchas enfriadoras que todavía los usan. El ensamblaje recomendado incluye una copa y dos tuercas. Cuando se instale un tornillo, las terminales de estos deben ser examinadas para asegurarse que estén libres de flujo.

Cuando un perno sea posicionado, se debe marcar para verificar que fue colocado correctamente. La superficie redonda de la arandela debe ser colocada contra el soporte. La superficie plana debe ser deslizada lejos del soporte. La arandela pretende permitir que el perno se coloque correctamente y provea una superficie plana para que las tuercas sean ajustadas y no trabajen libremente.

Cuando los pernos son ajustados, los topes triangulares (rectangulares en caso de las parrillas RFT) deben estar contra el soporte de la parrilla para que esta se encuentre en compresión. El frente de las parrillas debe ser chequeado para asegurarse que los dedos no toca la parte de atrás de la cara de empuje de la parrilla. Si esto ocurre, la parrilla será puesta en tensión cuando los pernos sean ajustados. Las fundiciones se desempeñan mucho mejor en compresión de los que hacen cuando están bajo efectos de tensión. Estas fallan fácilmente a esfuerzos de tensión.

Luego que la alineación de la parrilla sea confirmada como correcta y una marcha de prueba sea realizada, las tuercas del lado exterior del tornillo tipo t deben ser fijadas con soldadura para prevenir que se aflojen. Cuando la enfriadora no esté en operación y se pueda entrar al compartimiento para una inspección, las tuercas deben ser inspeccionadas. Si ninguna es encontrada floja, la tuerca interior del tornillo debe ser ajustada.

3.8.6. Instalación de parrilla sin dedos

El nombre correcto debe ser soporte de parrilla sin dedos, no el de parrilla sin dedos. El dedo es construido en la misma placa de la parrilla. La parrilla sin dedos usa los tornillos de cabeza hexagonal estándar para ser sujetos a los soportes. Este diseño usa los tornillos para retener la parrilla y hacer que la parte trasera se asiente en el soporte. Una ficha localizada debajo del agujero del tornillo en la parrilla permite que la parte trasera sea conducida hacia abajo del soporte cuando el tornillo es ajustado.

La parrilla pivotea en la ficha cuando el tornillo es ajustado. Por tanto, es importante que esta ficha exista y que tenga la altura correcta. Si es plana, la parrilla no se asentará en el soporte correctamente.

En instalaciones sin dedos, el tornillo no es perpendicular a la superficie del soporte. Por tanto, es necesario usar una arandela de cuña para permitir que las tuercas se asienten y sean ajustadas con seguridad. Desde que la mayoría de parrillas sin dedos usan dos tornillos, es recomendado usar una barra de cuña en vez de arandelas de cuña individuales. Si no se tiene cuidado al ajustar los tornillos, las arandelas de cuñas individuales se pueden voltear y el punto alto de la cuña no estará en la posición correcta.

De cualquier manera que se utilice, con cuña o con barra, la parte más gruesa de la arandela debe ir hacia la parte más alta del soporte. La barra, una cuña que expande ambos agujeros, es recomendada debido a que no puede girarse. Al ajustar los tornillos debe asegurarse que la barra o las arandelas no estén al revés (hacia arriba). Esto cambiará el ángulo en el cual los tornillos actúan sobre la parrilla. Después de revisar la alineación, la barra debe ser colocada en posición para que no se pueda mover durante la operación.

Originalmente, no eran usadas arandelas debajo de la cabeza del tornillo. De todas maneras, con base en experiencia, es recomendado colocar una arandela plana debajo de la cabeza del tornillo. La arandela debe ser de servicio pesado para prevenir que la cabeza del tornillo se vaya hacia el orificio. El grosor de la arandela no debe exceder los 8 milímetros.

3.8.7. Parrillas muertas

Las parrillas muertas son usadas para reducir el ancho de la enfriadora y proteger los marcos laterales. La filosofía del tamaño de la enfriadora ha cambiado con varias experiencias a través de los años. Las enfriadoras son medidas para lograr una cama más profunda que en años anteriores. Al agregar parrillas muertas a las enfriadoras existentes brinda a estas mejoras y las introduce a los estándares actuales. Para enfriadoras que utilizan fundiciones laterales, puede ocurrir daño a los miembros de la estructura de la enfriadora si las fundiciones laterales se deterioran.

El uso de parrillas muertas mueve la línea entre la cama activa y la parte estacionaria de la enfriadora lejos de los elementos estructurales. Por lo tanto, si el material se derrama hacia los compartimientos debajo de la parrilla entre las parrillas muertas y las activas, no afecta los componentes estructurales ni la alineación de la enfriadora.

Se recomienda que las parrillas muertas estén cubiertas por material refractario. El refractario es recomendado para prevenir el traspaso de aire de enfriamiento, el cual necesita ir a través de la cama activa para ser efectivo. Hay discrepancias acerca del lugar donde debe ser colocado el material refractario en las parrillas muertas. Si estas deben ser reemplazadas, es necesario quitar el material refractario. Adicionalmente, en algunas instalaciones el refractario debe ser removido para reemplazar los soportes de las placas de las parrillas.

La razón por la cual las parrillas muertas necesitan ser reemplazadas es debido a que el labio se puede descascar o quemar. Para enfrentar el reemplazo de parrillas muertas, se ha desarrollado un diseño con labio reemplazable. En las enfriadoras más recientes, los soportes móviles no se extienden debajo de las parrillas muertas. Por tanto, no es necesario remover la parrilla muerta para reemplazar los marcos móviles.

4. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

4.1. Hoja de datos de operación

Una hoja de datos de operación con los parámetros y condiciones para los cuales la enfriadora ha sido diseñada es elaborada para cada enfriadora. Debe estar disponible para el operador como guía al momento del funcionamiento de la enfriadora. La cama de material debe ser mantenida aproximadamente a la profundidad especificada en la hoja de operación. Esta fue seleccionada para un enfriamiento óptimo y una recuperación de calor. La resistencia de la cama y su profundidad variarán un poco, dependiendo de que el material producido sea grueso o fino.

Cuando la enfriadora maneje la capacidad indicada, los ventiladores de enfriamiento deben suministrar el volumen de aire teórico mostrado. En ese punto son capaces de suministrar del 10 % al 15 % más de aire. Todas las otras condiciones deben ser aproximadamente como están descritas en la hoja de operación. Si la enfriadora es operada por períodos prolongados sobre el diseño de su capacidad, los factores de seguridad de construcción de la enfriadora serán reducidos. Si un contratiempo serio ocurre en ese tiempo, puede ser causado un daño considerable a la enfriadora.

La velocidad de enfriamiento y del aire de enfriamiento es directamente proporcional a la producción. La correcta combinación para cualquier rango de producción puede ser determinada al establecer una relación entre la capacidad de diseño y la capacidad deseada, y aplicar la velocidad de diseño y los requerimientos de aire de enfriamiento.

Para operaciones a una capacidad reducida, se debe disminuir primero el flujo de aire a través del último compartimiento y trabajar hacia el final de la alimentación, hacia arriba de los compartimientos que forman la zona de recuperación. El flujo de la zona de recuperación debe ser mantenido cerca de los niveles nominales en todo momento. Una operación reducida también requiere consideraciones de muchos factores importantes.

Mientras el aire de enfriamiento sea reducido, los derrames aumentan y esto resulta en un desgaste acelerado de las placas de parrillas. Por esta razón, el flujo a través de cualquier compartimiento no debe ser detenido completamente. Se debe observar la cantidad de derrame para evitar que este se vuelva excesivo.

También se deben observar las condiciones con ventilador de salida. Está diseñado para operar con gases calientes y mucho aire de enfriamiento lo va a sobrecargar. Mientras opera a una capacidad reducida, se debe chequear la corriente del ventilador del motor y la temperatura de los gases expulsados. No se debe forzar el ventilador de salida a operar en sobrecarga por períodos extensos de tiempo.

Aparte de enfriar el material, el flujo de aire también enfría la estructura de la parrilla. Flujo de aire insuficiente resulta en un enfriamiento inadecuado del equipo y se reduce la vida de sus componentes.

Se requiere operar a capacidad reducida algunas veces, pero entre más sea la reducción, es mayor la operación en la enfriadora. Se debe minimizar la cantidad de reducciones y, cuando una reducción larga sea necesaria; mantener la menor duración posible.

4.2. Sistemas de control

Los controles automáticos son requeridos para la operación exitosa de este tipo de enfriadora. Los controles manuales son necesarios para arranques y actividades de mantenimiento. Cuando los controles e instrumentación son suministrados con la enfriadora, también se entregan los diagramas e instrucciones sobre sus funciones y uso. Si los controles y la instrumentación no son proporcionados, un diagrama de instrumentación es conveniente, que incluya recomendaciones apropiadas para la aplicación.

El sistema de control automático está basado en instrumentos de curvas, en los cuales las mismas variables del proceso son usadas para controlar las secciones del equipo. Básicamente, una curva consiste en un sensor, un punto de control y un mecanismo operativo.

El sensor mide la variable de proceso y transmite la información para establecer un punto de control. En muchos casos se incluye un transductor para cambiar el valor de medida a una forma más utilizable.

Un controlador de punto de ajuste compara el valor de la medida con el valor recibido del sensor y el valor de ajuste seleccionado por el operador, y cambia su salida acorde a la diferencia o error, entre los dos valores. Los controles normalmente usados tienen hasta tres modos de operación, proporcional, reajuste y rango. Todos pueden ser cambiados según la necesidad.

En el modo proporcional, la salida del controlador cambia en proporción a la cantidad de cambio en la señal de entrada. La acción de reajuste causa que la salida del controlador cambie a intervalos preajustados siempre y cuando exista un error entre el proceso y el valor de punto de ajuste debido a un sustancial

cambio de carga. De esta manera, el valor del proceso es regresado al valor del punto fijo pero con un nuevo valor en la salida del controlador.

La acción de rango causa que la salida del controlador cambie inmediatamente a un valor que la acción proporcional requeriría si el valor del proceso continúa cambiando durante el tiempo del rango ajustado previamente. Los ajustes al controlador se hacen bajo condiciones de operación para establecer escenarios donde el valor real de la variable de proceso coincida con el valor del punto fijo, en una cantidad mínima de tiempo con una cantidad mínima de ciclo entre y sobre el punto fijo.

Los controladores pueden ser también ajustados a operación manual. El punto fijo, entonces, no tiene funciones de control. La salida puede ser ajustada a varios niveles deseados; la entrada es indicada, pero el controlador no responde esta.

El mecanismo de operación, el último elemento de la curva de control, recibe la señal de salida desde el controlador y la usa para ajustar el equipo, corrigiendo el error en el proceso. Aunque los sistemas de control varían en su complejidad, todos deben incluir el esquema de tres puntos de control siguiendo las condiciones esenciales para una operación óptima de la enfriadora. Estos se describen en la siguiente tabla.

Tabla III. **Condiciones esenciales para operación**

Condición de monitoreo	Uso
Presión debajo de la parrilla en el primer compartimiento.	Controla la resistencia de la cama de material regulando la velocidad de la parrilla.
Flujo de aire hacia los compartimientos de la zona de recuperación.	Mantiene un flujo de aire de enfriamiento constante.
Presión de aire en la cubierta de disparo.	Mantiene el flujo requerido del aire de combustión secundario en la enfriadora y descarga el aire excesivo.

Fuente: FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker.*
p. 72.

4.2.1. **Velocidad de enfriamiento**

La presión del aire debajo de la parrilla en el primer o segundo compartimiento en el final de la alimentación es usada por la curva de control para regular la velocidad de la parrilla de enfriamiento. El segundo compartimiento es usado si el material que entra a la enfriadora se perturba en la cama a la medida que la presión del primer compartimiento fluctúe erráticamente.

Esta presión indica la resistencia de la cama del material, al flujo debido de aire. La velocidad de las parrillas regula la profundidad de la cama para mantener una resistencia uniforme de la cama. El flujo de aire a este compartimiento es controlado por la regulación del flujo de aire de enfriamiento.

Entonces, un cambio en la presión del aire que cause una respuesta por el control de velocidad de la enfriadora también incluye una respuesta por la curva de control del aire de enfriamiento. Estas dos curvas trabajan juntas, para mantener el flujo de aire requerido, controlar la profundidad de la cama y proveer un rápido enfriamiento del aire.

Como un ejemplo de interacción, si la cantidad de material entregada a la enfriadora aumenta, la profundidad efectiva de la cama también aumenta, con el resultado que la presión estática debajo de la parrilla aumenta y el flujo de aire disminuye.

El aumento en la presión causa un incremento en la velocidad de la parrilla, mientras la disminución de flujo de aire resulta en la curva de control de flujo de aire; entonces, aumenta el flujo de aire en un esfuerzo para retornarlo a su nivel normal. Con el flujo aumentado, la presión estática se vuelve a incrementar.

La curva de control de velocidad responde con otro aumento en la velocidad, la cual reduce la cantidad de tiempo necesitado para regresar la profundidad de la cama a su nivel normal.

Se debe tener precaución de que la resistencia de la cama no exceda la presión de diseño de los ventiladores. Adicionalmente, para enfriar el material, el material suministrado a través de los compartimientos debajo de la parrilla proteger la estructura de la enfriadora de daños por calor. La resistencia óptima de la cama para cada aplicación debe ser determinada por experiencias de operación de la enfriadora.

El control de velocidad de la parrilla debe ser operado con base proporcional del no reencendido, para que la velocidad no varíe directamente con los cambios

en la presión debajo de la parrilla. Inicialmente se debe fijar a unos 2/3 de la presión estática de los ventiladores.

Se debe asumir la presión de diseño del ventilador, que sea 18 pulgadas de agua o 457 kilogramos por metro cuadrado, y la presión normal de operación (punto fijo de control) que sea 12 pulgadas de agua o 350 kilogramos por metro cuadrado. El rango proporcional de la banda del controlador debe ser fijada al valor al cual se permite a la enfriadora ir a su velocidad máxima antes que la presión debajo de la parrilla alcance la máxima presión de los ventiladores posibles. Se sugieren ajustes de banda máximos de 25 % a 30 %.

Con estos ajustes, la velocidad de la enfriadora debe aumentar o disminuir lentamente mientras la presión en el segundo compartimiento aumenta o disminuye. Si la operación de la enfriadora sigue las fluctuaciones del horno como se tenía previsto, no serán requeridos más cambios. Si los cambios en la velocidad de la enfriadora no son lo suficientemente rápidos para ir de la mano a los cambios del horno, se debe disminuir los ajustes proporcionales de la banda hasta que la velocidad de control deseada sea obtenida.

Si la enfriadora es suministrada con más de una transmisión, cada transmisión será controlada por separado en una manera idéntica a la primera. La presión del compartimiento debajo de la parrilla de cada sección de transmisión será usada para controlar la velocidad de la transmisión correspondiente. La presión debe ser ajustada aproximadamente a 2/3 de la presión nominal de los ventiladores. La banda proporcional debe ser ajustada para que la velocidad de la transmisión alcance su máximo antes que la presión debajo de la parrilla, exceda la presión nominal de los ventiladores.

4.2.2. Flujo de aire de enfriamiento

La cantidad total de aire de enfriamiento requerida cambiará con la cantidad de material que es manejada y su temperatura, pero el aire de enfriamiento hacia los compartimientos se mantendrá constante a través de regulación automática de las compuertas de los ventiladores o las transmisiones de velocidad variable de los ventiladores.

La condición de control es la presión negativa en el anillo del piezómetro en la admisión del ventilado para cada compartimiento, debido a que es un indicador del flujo de aire. Las curvas reales del flujo de aire son proporcionadas por los proveedores de los ventiladores. El rango de operación del controlador es aproximadamente 1,3 veces el ajuste de la capacidad teórica del ventilador; así, el ajuste normal debe ser cercano al 70 % de la escala. Un controlador para ventilador del compartimiento debajo de la parrilla debe ser operado en ambos modos, el proporcional y en modo de reajuste.

La transmisión de velocidad variable no va hacia la velocidad cero. Además, aún a su menor ajuste, deben recibir suficiente aire para protegerlo.

- Ajustes iniciales sugeridos
 - Banda proporcional -10 %
 - Reajuste - 5 % repeticiones por minuto

Las compuertas de los ventiladores incluyen un tope mecánico para prevenir que se cierren completamente. Es necesario, por tanto, asegurarse que la unión entre la compuerta y su unidad de transmisión sea ajustada para que la compuerta sea abierta aproximadamente 10 % cuando la unidad de transmisión alcance la posición que corresponde a la compuerta totalmente cerrada.

4.2.3. Control de salida de humos

El aire de la enfriadora es usado también para los procesos de calcinación como aire secundario precalentado de combustión y el flujo es inducido por una corriente de aire negativa en el ducto. La cantidad de aire usada en los enfriamientos es usualmente en exceso de la cantidad usada para la calcinación; entonces, un sistema de control de salida de humos es incorporado para direccionar el aire sobrante a la atmósfera.

Para mantener el flujo de aire apropiado, la corriente de aire en el ducto es monitoreada y su nivel es usado para controlar la posición de la compuerta o la velocidad del motor de velocidad variable, el cual determina la cantidad de aire expulsada y, por tanto, la cantidad entrando al ducto. Además, de mantener el requerimiento de flujo de aire de la enfriadora al ducto, mantener una corriente de aire uniforme relativa a la presión atmosférica ayuda a estabilizar la zona de calcinación y mantiene las fugas en el ducto constantes como prácticas.

El rango de operación del controlador del flujo de aire es menos 0,4 pulgadas de agua (10 kilogramos por metro cuadrado) hasta un máximo de 0,1 pulgadas de agua (2,5 kilogramos por metro cuadrado).

El punto de control debe ser ajustado para mantener una lectura de corriente de aire tan cercana a cero como sea posible, pero en el lado negativo. Si el punto de control es ajustado para mantener una corriente de aire de menos 0,02 pulgadas de agua (0,5 kilogramos por metro cuadrado) en el ducto del horno, y el flujo de aire a través del horno es aumentado a través de abrir la compuerta del ventilador de corriente inducida en el final de la alimentación del horno, la corriente de aire en el final de la combustión será más negativa.

Este cambio causará que la compuerta del aire se cierre ligeramente o que el ventilador se desacelere, permitiendo que más aire fluya desde la enfriadora hacia el horno para cubrir los requerimientos. Así regresará la corriente de aire al ajuste de control. El controlador de esta curva debe estar operado en ambos modos, el proporcional y el de reajuste.

- Ajustes iniciales sugeridos
 - Banda proporcional -10 %
 - Reajuste - 5 % repeticiones por minuto

4.2.4. Ajuste de controlador

Se debe hacer referencia a los diagramas de instrumentación o la lista de materiales para determinar si un controlador tiene solamente un modo proporcional; proporcional y de reajuste o de rango proporcional y de reajuste. La cantidad de ajuste disponible para cada modo y unidad en la cual sea presentado varía con la manufactura del instrumento y su fabricante.

La banda proporcional (PB) en escala de porcentaje es usada en algunos y agregada en otros. Uno es recíproco al otro. El reajuste debe estar en repeticiones por minuto (R/M) o en minutos por repeticiones (M/R). El rango es una medida del tiempo en todos los casos. Se debe apoyar en los manuales del fabricante para detalles adicionales.

La acción del controlador puede ser directa o en reversa. La directa es la condición donde la señal de salida del controlador aumenta mientras la señal de

entrada al proceso aumenta, y viceversa. En la acción reversa, la señal de salida disminuye cuando la señal de entrada aumenta y viceversa.

En casi todos los casos, los controladores incorporan los sentidos para el cambio de las acciones programadas. La acción requerida en la curva de un instrumento está basada en las especificaciones o en la instalación del mecanismo de control de la transmisión.

Por ejemplo, un operador de compuerta puede requerir un incremento en la señal desde el controlador para aumentar su capacidad de operación, pero la ubicación del operador con respecto a la compuerta determina si la compuerta se abrirá o cerrará cuando se incremente su operación. El siguiente es un simple y práctico método para determinar los ajustes aproximados de los controladores.

- Iniciar los procesos y llevarlos al punto de operación normal usando el manual de operación incluido con el controlador.
- Colocar el mando de reajuste en la posición de apagado. Si no tiene una posición de apagado, ajustar al valor más bajo de repeticiones por minuto o el valor por repetición.
- Ajustar la banda proporcional o regresar al punto inicial dado en las instrucciones de la curva individual. Si un punto inicial no es dado, usar el cien por ciento de banda proporcional o la ganancia agregada de una nueva.
- Colocar el controlador en operación automática
- Disminuir la banda proporcional (aumente la ganancia) en pequeños pasos

y en intervalos largos hasta que una oscilación continua de que la señal de entrada del proceso sea obtenida.

- Grabar la banda proporcional o la medida del ajuste del tiempo requerido para una oscilación completa. Identificar el ajuste de banda proporcional como P_{Bu} y el ajuste ganado como G_u. Identificar el tiempo como T_u.
- Ajustar el controlador de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Únicamente acción proporcional – $PB = 2P_{bu}$ o $G = 0,5 G_u$

Acción proporcional y de reajuste – $P_b = 2,2P_{Bu}$ o $G = 0,45 G_u$

R/M – $1,2T_u$ o M/R – $0,833 T_u$

Rango – $0,125T_u$

- Arranque: se debe seguir este procedimiento para poner la enfriadora en operación.

Antes de colocarla en operación inicial, todos los equipos de la enfriadora deben probarse por lo menos 8 horas para asegurarse que funcionen correctamente. Ingresar a la enfriadora al final del período de ocho horas y revisar los tornillos tipo T para su ajuste. Ajustar todos los controles para operación manual. La enfriadora debe ser operada manualmente hasta que los parámetros de control alcancen los puntos descritos en los pasos subsecuentes del procedimiento.

Las válvulas de descarga debajo de la parrilla, el transportador de derrames y la trituradora de Clinker deben estar en operación cuando se empieza a alimentar la enfriadora de material. Arrancar los equipos después que el material entre a la enfriadora puede resultar en que estos se atoren. Mientras que una pila

de material se acumula en el final de la alimentación, correr las parrillas a la velocidad mínima hasta que esté distribuido y parar.

Permitir que se acumule otra pila; se distribuye esta segunda y se apila de la misma manera que la primera. Repetir esta operación hasta que las parrillas estén completamente cubiertas de material o hasta que la alimentación de material entre a un rango donde la cama de material que cubre la parrilla pueda ser mantenida con las parrillas operadas a la mínima velocidad. Cuando alguna de estas dos condiciones exista, el control de velocidad de la parrilla puede ser ajustado a operación automática.

Luego que el área de la parrilla sobre el primer compartimiento sea cubierta con material y antes de arrancar cualquiera de los ventiladores de enfriamiento, arrancar el ventilador de extracción con su compuerta cerrada o la menor velocidad. Cuando alcance la velocidad ajustada y la corriente de aire en el ducto esté más negativa que la velocidad de operación deseada, ajustar el control del ventilador para operación automática.

La compuerta se mantendrá cerrada o la velocidad del ventilador será mínima. En los siguientes pasos, mientras los ventiladores de enfriamiento sucesivos son arrancados y las compuertas abiertas, el ventilador extractor se abrirá automáticamente para mantener la velocidad de la corriente de aire en el ducto a su punto de ajuste.

Se debe tener precaución que tanto la compuerta del ventilador de extracción esté cerrada o la velocidad del ventilador de extracción ajustada al mínimo cuando se arranque con el aire frío. El ventilador ha sido diseñado para operaciones a alta temperatura. Someterlo a grandes volúmenes de aire frío lo sobrecargará y puede fácilmente destruirse el motor.

Luego que el área completa sobre el primer compartimiento sea cubierta con material y el ventilador de extracción esté operando, arrancar el ventilador del primer compartimiento con su compuerta cerrada hasta que se detenga o esté a la mínima velocidad. Repetir este procedimiento sucesivamente para cada compartimiento hasta que cada uno sea cubierto.

Cuando todos los ventiladores de enfriamiento estén operando con sus compuertas cerradas contra sus topes o mínima velocidad, calibrar el ajuste de diseño para el piezómetro de control de flujo en el primer compartimiento en operación automática. El punto de ajuste de diseño es mostrado en la línea del diagrama de instrumentación o puede ser determinado al leerlo en la curva del piezómetro para este diseño de flujo. Repetir el mismo procedimiento para cada ventilador sucesivo equipado con piezómetro de control de flujo.

Luego que la enfriadora sea arrancada y colocada en operación automática, seguir de cerca para asegurarse que los controles automáticos respondan correctamente y que los puntos de ajuste seleccionados den resultados satisfactorios.

- Paro de la enfriadora

En un paro normal, la enfriadora no para hasta que la alimentación sea detenida, todo el material que haya sido alimentado ha sido enfriado y se ha suspendido la descarga de material. Esta no estará vacía cuando alcance el punto donde ya no transporte.

Cuando pare de transportar, la transmisión de la enfriadora y la trituradora, el transportador puede ser detenido. Los ventiladores pueden ser operados hasta que el material faltante y la misma enfriadora sean enfriados adecuadamente.

4.3. Seguridad

Cuando se trabaja en una enfriadora o en la vecindad de la enfriadora, la seguridad es la preocupación número uno. Hay muchos peligros potenciales en y alrededor de las enfriadoras de parrillas, y es muy fácil volverse complaciente a estos. Esta es una revisión de los peligros potenciales:

4.3.1. Equipos rotativos

Antes de trabajar en la enfriadora, la enfriadora y su equipo auxiliar debe ser bloqueado y probado para asegurar que el procedimiento de bloqueo fue hecho correctamente. Los siguientes componentes rotativos son normalmente asociados con todas las enfriadoras:

- Ventiladores
- Trituradoras de martillos o trituradoras de rodos
- Transmisiones de correas en V
- Ruedas dentadas o cadenas de rodillos
- Varios ejes y acoples

Todos los componentes de transmisión deben tener guardas. Las guardas son diseñadas para prevenir lesiones y deben ser inspeccionadas regularmente para asegurar que no estén dañadas. Deben estar en posición en toda ocasión, excepto cuando se realice un trabajo de reparación.

No se debe entrar a la enfriadora si la trituradora está operando. Aunque se está lejos de la trituradora, cualquier material que se pueda desprender y caiga

en la trituradora puede ser arrojado de vuelta hacia la enfriadora. Estas partículas se convierten en misiles y pueden causar una seria herida.

4.3.2. Equipo reciprocante

Las parrillas transportan el material moviéndose hacia adelante y hacia atrás. Algunas veces es necesario estar en la enfriadora mientras que las parrillas están en movimiento reciprocante para revisar holguras y encontrar puntos de interferencia. Consecutivamente, conviene recordar que el movimiento reciprocante de las parrillas y de los elementos de soporte crea muchos puntos donde se puede prensar entre parrillas.

4.3.3. Presión y energía almacenada

Muchas enfriadoras usan equipos hidráulicos o aire comprimido por varias razones. Las válvulas de desahogo de presión deben ser activadas antes de desconectar cualquier línea de hidráulico o aire comprimido. Esto es especialmente en los tanques de almacenamiento y en los sistemas de Blaster.

El temporizador y el sistema de aire para las compuertas operadas por aire deben ser apagadas mientras se trabaja en estas o en las áreas que tengan acceso a las válvulas internas, en las cámaras debajo de la parrilla de la enfriadora.

La mayoría de enfriadoras de parrillas se mueven de adelante hacia atrás en un plano inclinado de 10 grados. Cuando la enfriadora es detenida en cualquier parte de la carrera, esta tiene el potencial de regresar de nuevo al fondo de la carrera. Consecutivamente, cuando se trabaje en la enfriadora, ensamble del marco móvil debe estar bloqueado en posición. De otra manera, este podrá

correr hacia abajo en la carrera de manera inesperada y causar serios daños y lesiones si no se está al tanto de este potencial.

Se debe tener precaución cuando se trabaje alrededor de una enfriadora en operación. Normalmente, el área sobre la parrilla es ligeramente negativa, pero si el sistema de ventilación de extracción es cerca de su capacidad, el área sobre la parrilla puede ser positiva por algunos cortos períodos. Si un puerto de observación es abierto o si hay agujeros en la carcasa, esta acción de contrapresión puede resultar en que aire caliente y partículas salgan disparadas en forma de spray desde la enfriadora y dé como resultado quemaduras.

El área debajo de la parrilla de la enfriadora está generalmente presurizada. De nuevo, si el área no es sellada apropiadamente y el Clinker caliente caiga en la cámara debajo de la parrilla, puede soplar polvo caliente y causar quemaduras severas.

4.3.4. Altas temperaturas

El material entra a la enfriadora a temperaturas de 2 500 a 2 650 °F (1 370 a 1 450 grados Celsius) y descarga acerca de 150 a 300 grados Fahrenheit dependiendo del diseño, la capacidad y otros factores. Por ello, hay mucho calor que debe ser disipado. El material, por lo mismo, es caliente. En particular, los núcleos de grandes masas de material que han viajado a través de la enfriadora y han sido quebrados por la trituradora se mantienen calientes por largos períodos.

También, las superficies de refractario y metal dentro de la enfriadora se mantenían caliente por muchas horas después de que la enfriadora ha sido detenida. Algunas veces las enfriadoras son paradas por períodos cortos para

realizar reparaciones de emergencia. Bajo estas circunstancias es posible quemarse severamente al hacer reparaciones.

4.3.5. Guardas y cobertores

La enfriadora tiene una serie de partes móviles, todas las cuales son cubiertas o ajustadas por guardas para seguridad. Es imperativo no operar el equipo si las guardas y los cobertores no están instalados correctamente. Después de mantenimiento, se debe asegurar que todas las guardas y cobertores sean colocadas antes de arrancar. Debido a la manera en que la trituradora opera, su cobertor no debe ser removido mientras la enfriadora está en operación.

4.3.6. Accesos

No se debe abrir la puerta debajo de los compartimientos de la parrilla mientras el ventilador está operando. En esos casos, los compartimientos están bajo presión positiva y siempre contiene algo de material en polvo el cual saldrá disparado hacia afuera al abrirse. Si una placa de la parrilla se ha roto, material caliente puede estar presente para salir expulsado violentamente.

No se debe abrir ninguna de las puertas sobre la parrilla mientras la enfriadora esté en operación. Aunque esa área de la enfriadora debe estar bajo una presión negativa, condiciones anormales crearán una presión positiva y al abrir la puerta en ese tiempo resultará en que gases calientes y posible polvo de material caliente sea expulsado hacia afuera al ser abierto.

Se debe permitir el tiempo adecuado para que el material se enfríe antes de abrir o entrar al área sobre la parrilla. El material a alta temperatura causará quemaduras. También, si la enfriadora ha sido detenida mientras la cama de

material fuera inusualmente profunda, el material caliente apilado más alto que fondo de la puerta puede caer hacia afuera.

Abrir cualquier puerta suavemente y con cuidado. El material tiende a acumularse en contra de las puertas. A pesar de que esté fresco, debe ser abordado de una manera en la que se distribuya el material. Utilizar protección visual y respiratoria cuando se abran las puertas y usar un tubo de observación en el piso del quemador. Este abre directamente sobre la zona de recuperación.

Aunque esta área está normalmente bajo una presión negativa, gases calientes y material puede salir expulsado del tubo si condiciones anormales crean una presión positiva. Se debe reemplazar la cubierta cuando el tubo no sea usado.

Observar la operación de la trituradora a través de la ventana de observación con vidrio de seguridad. No abrir la ventana para ver hacia adentro. La ventana sólo debe ser abierta para limpiarse y únicamente cuando el escudo de seguridad cubre la abertura.

4.3.7. Otras fuentes de potencial lesión

Recordar y revisar antes de entrar a la enfriadora que esta es solo uno de los equipos que componen una línea de piropcesamiento. Esta es una corriente abajo del horno y del precalcinador (si el sistema incluye un precalcinador). Por tanto, las actividades o circunstancias en cualquiera de estos dos componentes pueden crear problemas de seguridad en la enfriadora.

Por ejemplo, si alguno de los compartimientos del precalcinador está atorado y se está limpiando, hay un potencial de peligro en que material caliente fluya a través del horno hacia la enfriadora. Nadie debe estar dentro de la enfriadora durante la operación de limpieza.

Las circunstancias en el horno pueden también causar problema en la enfriadora. Muchas veces durante un apagón es necesario rotar el horno. Revestimiento y material o refractario suelto en el horno puede caer dentro de la enfriadora. Este material puede estar caliente o ser lo suficientemente grande para causar una herida si le cae directamente a alguien.

Por tanto, el personal no debe estar en la enfriadora cuando el horno esté siendo rotado. En hornos de proceso húmedo es posible que el agua se estanque y cree explosiones de vapor cuando el horno es girado. Una salida para una explosión de esta naturaleza es la enfriadora. Cualquiera dentro de esta sufriría quemaduras severas.

Dependiendo de la química del material o las condiciones de la línea particular del piroproceso, puede haber aglomeraciones de material en la enfriadora o en los ductos del proceso que tienen el potencial de romperse y causar heridas o impactos. Los núcleos de estas pilas o aglomeraciones se mantienen calientes por bastante tiempo después de que la enfriadora se ha detenido, así que sufrir quemaduras es bastante posible.

CONCLUSIONES

1. Este documento permite conocer los diferentes sistemas de enfriamiento de Clinker para la producción de cemento Portland, teniendo en cuenta que cada uno de estos tendrá diferentes modos de operación, instalación y mantenimiento.
2. Se facilita la comprensión del proceso de producción de Clinker, operación del horno, operación de la enfriadora, principios básicos de los equipos y análisis de fallas de estos.
3. Se proporciona la descripción de los componentes, equipos críticos y equipos auxiliares que conforman el sistema de enfriamiento de Clinker.
4. Es una guía práctica y útil para el mantenimiento mecánico preventivo de la enfriadora Clinker, tanto para consulta como para su implementación en campo al momento de un paro del equipo, ya sea preventivo o correctivo.
5. Se provee las directrices de seguridad para la operación y mantenimiento de la enfriadora de Clinker, profundizando en las causas potenciales de lesión y previa mitigación.

RECOMENDACIONES

1. Las instrucciones deben considerarse como un medio para optimización del servicio de la instalación del horno y como un instrumento auxiliar para la evaluación decisiva propia del operador en una situación durante el servicio.
2. Tomar como prioridad que todas las holguras entre cada uno de los elementos ensamblados estén herméticamente selladas.
3. Si se desea acceder al interior de la sección de la parrilla del enfriador, se deben fabricar plataformas con gradas para evitar causas de potencial lesión por caídas.
4. Para el mantenimiento de las parrillas del enfriador se deben esperar un mínimo de 36 horas después del paro del horno, para su enfriamiento y el de las parrillas.
5. Todo el personal de mantenimiento o visitantes que ingresen al enfriador mientras esté parado, debe tener un equipo de protección personal básica, así como, respirador contra polvos, ya que el polvo de Clinker es muy fino y estará en el ambiente aún ya parado y enfriado el equipo.
6. Al detener el enfriador, asegurar que los ventiladores de enfriamiento continúen operando por un tiempo estimado en relación a la temperatura y carga del horno. Esto facilitará la limpieza del material retenido en el enfriador, evitará que se convierta en una masa sólida de Clinker y se

necesiten otros equipos de mayor potencia para removerlo de las parrillas.

7. El volumen de aire a través de la cama de Clinker no debe ser tan considerable que haga que el material se eleve muy por encima de la cama yacente sobre la parrilla. Esto supone que el volumen de aire sea ajustado de modo que los trozos más pequeños de Clinker solo bailen sobre el lecho del material.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOTERO, Camilo. *Manual de mantenimiento*. Colombia: Grupo de Publicaciones SENA Digeneral. 1991. 210 p.
2. BRUGAN, Mark; KEEFE, Brian. *Las características únicas de la enfriadora de barra cruzada SF*. Repaso Internacional del Cemento. Mexico: Limusa. 2001. 139 p.
3. Cementos Progreso. *Manual y catálogos de Mantenimiento Clase Mundial propiedad de Cementos progreso, S.A.* Guatemala: Autor. 150 p.
4. CENGEL, Y., GHAJAR, A. *Transferencia de calor y masa*. 3ª. Ed. México: McGraw-Hill, 2007. 305 p.
5. CHOI, J.H. *Instalación exitosa de alimentación de enfriadora Hyundai*. ZKG *Cemento Internacional*. México: Prentice-Hall, 2006. 201 p.
6. FL SMITH. *Manual de entrenamiento para mantenimiento de enfriadoras de Clinker*. España: FLSmith, Inc. 2001. 150 p.
7. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos*. México: McGraw-Hill, 1998. 272 p.
8. GARCÍA FERNÁNDEZ. *Optimización de procesos, enfoque global, departamento de ingeniería química*. Universidad de la Laguna, España: Tenerife, Islas Canarias, 1999. 114 p.

9. HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN, Peral J. *Investigación de Operaciones*. 7ª edición. México: McGraw-Hill. 2002. 90 p.
10. ARISTIZÁBAL, Torres Daniel. *Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo*. España: s.e., 2004. 156 p.
11. RILER, Paul. *Experiencias actuales de operación – Arreglos de una alimentación de horno*. Exhibición y seminario internacional de energía y ambiente en cemento, construcción y sectores aliados. India: Xact Studio International. 2002. 305 p.
12. PRANDO, Raúl R. *Manual de gestión de mantenimiento a la medida*. Guatemala: Piedra Santa, 1996. 104 p.
13. PUSCHOCK, Edward. *La última enfriadora*. Estados Unidos: Seminario de producción FL Smith, Pennsylvania. 2001. 708 p.
14. REED, Ruddell. *Localización: layout y mantenimiento de planta*. Argentina: El Ateneo. 1971. 214 p.
15. SAP Versión 4.6c. *Sistema de aplicaciones para el procesamiento de datos módulo de mantenimiento PM*, propiedad de Cementos Progreso, S.A. El Salvador: s. e. 2006. 92 p.