

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TRABAJO DIRIGIDO INTERDISCIPLINARIO**

**“OPTIMIZACIÓN DE TEMPERATURA EN LA TORRE DE  
ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA DE CEMENTO EL PUENTE  
SOBOCE S.A. TARIJA”**

**Por: Joel Fredi De La Cruz Rivero**

**Tutor: Ing. Walter Pedro Jeréz Justiniano**

Trabajo presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

GESTION 2010  
TARIJA- BOLIVIA

VoBo

---

Ing. Walter Pedro Jeréz Justiniano

TUTOR

---

MSc. Ing. Luis Alberto Yurquina

Facultad de Ciencias y Tecnología

---

MSc. Lic. Marlene Hoyos M.

Directora de "P.E.T."

Aprobado por:

---

Ing. Richard Ivan Medina Hoyos

TRIBUNAL

---

Ing. Wilma Fatima Gallardo LLanos

TRIBUNAL

El tribunal calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria:

A mis padres: María y Celedonio, a mis hermanos René, Elvira Lidia Miltón, Josué, Melquisedek y a mis sobrinitos Jenyffer y Ezequias quienes me han comprendido y apoyado en el presente trabajo.

“Dios te premia a tu constancia y fidelidad en cualquier objetivo que te propongas”

Agradecimientos:

A mis catedráticos que con profesionalidad supieron transmitirme sus conocimientos.

A mi tutor: Ing. Walter Pedro Jerez Justiniano que con su capacidad y profesionalidad supo apoyarme y conducirme en la elaboración del proyecto.

A los ingenieros técnicos y trabajadores de la fábrica de “CEMENTO EL PUENTE SOBOCE S.A.” que me prestaron su desinteresada colaboración.

# ÍNDICE

## I. INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Localización .....	2
1.3.	Objetivos .....	2
1.3.1.	Objetivo general .....	3
1.3.2.	Objetivos específicos .....	3
1.4.	Justificación .....	3
1.4.1.	Alternativas de enfriamiento en la torre refrigerador acondicionador de gases calientes .....	4
1.4.1.1.	Refrigeración con agua por atomización .....	4
1.4.1.2.	Refrigeración por inyección de aire frío en los orificios de la campana superior .....	6
1.4.1.3.	Refrigeración por aire frío axial externo.....	7
1.5.	Diagrama de bloques del área en estudio (proceso de Clinkerización).....	8

## II. DIAGNÓSTICO TÉCNICO

2.1.	Condiciones climáticas y geográficas de la fábrica de cemento EL PUENTE SOBOCE S.A. ....	12
2.1.1.	Condiciones geográficas .....	12
2.1.2.	Condiciones climáticas .....	12
2.2.	Ventilador de tiro inducido 400VE14 de gases calientes .....	13
2.3.	Condiciones técnicas de operación del filtro de mangas 400FM01 .....	15
2.3.1.	Temperatura de filtro de mangas 400FM01.....	15
2.3.2.	Filtro colector de gases calientes 400FM01.....	16
2.3.3.	Especificaciones técnicas del ventilador de tiro inducido del filtro de mangas 400VF01 .....	17
2.4.	Condiciones técnicas de operación del refrigerador acondicionador de gases calientes .....	18

<b>2.4.1.</b>	Temperatura de entrada y salida del refrigerador acondicionador de gases calientes.....	18
<b>2.5.</b>	Temperatura de ciclón 400CT01 .....	22
<b>2.6.</b>	Condiciones técnicas de operación de los cuatro ciclones 400CT01, 400CT02, 400CT03 y 400CT04 .....	22
<b>2.6.1.</b>	Sedimentadores de partículas.....	24
<b>2.6.2.</b>	Intercambiadores de calor .....	25
<b>2.7.</b>	Condiciones técnicas de operación del horno de Clinkerización FLS 400HR .....	27
<b>2.7.1.</b>	Especificaciones técnicas del horno de Clinkerización FLS.....	28
<b>2.7.2.</b>	Especificaciones técnicas del motor del horno de Clinkerización FLS 400HR01 .....	29
<b>2.7.3.</b>	Etapas de producción de Clinker en el horno FLS .....	31
<b>2.7.4.</b>	Quemador de gas 4TG01PR01 .....	32
<b>2.7.5.</b>	Combustión del horno FLS 400HR .....	33
<b>2.7.6.</b>	Ladrillos refractarios .....	34
<b>2.8.</b>	Condiciones técnicas de operación de la cámara de enfriamiento de Clinker de placas móviles (Cooler 400EN01) .....	36
<b>2.9.</b>	Tabulación de datos de producción de Clinker y cemento gestión 2009.....	39
<b>2.10.</b>	Tabulación de consumo de gas natural en el horno FLS mayo 2010 .....	41
<b>2.11.</b>	Laboratorio de pruebas físicas .....	43
<b>2.11.1.</b>	Determinación de peso específico de Clinker.....	44
<b>2.11.2.</b>	Determinación de permeabilidad Blaine (finura) de cemento .....	45
<b>2.11.3.</b>	Prueba de rechazo de cemento IP-30 y IP-40 en malla 325 .....	46
<b>2.12.</b>	Laboratorio de pruebas químicas .....	50
<b>2.12.1.</b>	Análisis químico XRF de OMO I.....	50
<b>2.12.2.</b>	Análisis químico XRF de toba molturada.....	50
<b>2.12.3.</b>	Análisis químico XRF de harina de entrada al horno FLS .....	51
<b>2.13.</b>	Tabulación de análisis químico XRF de cemento IP-30.....	51

### **III. MARCO TEÓRICO**

<b>3.1.</b>	Transferencia de calor.....	55
<b>3.2.</b>	Formas de transferencia de calor .....	55
<b>3.3.</b>	Régimen de flujo.....	56
<b>3.4.</b>	Transmisión de calor por convección forzada .....	56
<b>3.5.</b>	Balance de masa.....	56
<b>3.5.1.</b>	Datos de referencia para hacer el balance de masa en el sistema ciclón – horno .....	56
<b>3.5.2.</b>	Balance de masa en el sistema pre calentador ciclón – horno .....	61
<b>3.6.</b>	Monitoreo de temperatura interna y externa en la torre refrigerador de gases calientes .....	62
<b>3.6.1.</b>	Datos de temperatura externa obtenidos con termógrafo en el nivel 6 que son de referencia para los demás niveles .....	66
<b>3.7.</b>	Balance de energía por convección en la torre refrigerador acondicionador de gases calientes de los 8 ductos, de altura 34,459m .....	71
<b>3.7.1.</b>	Transferencia de calor por convección de los gases calientes en los 8 ductos .....	72
<b>3.7.2.</b>	Transferencia de calor por conducción a través de la pared de los 8 ductos .....	73
<b>3.7.3.</b>	Transferencia de calor por radiación, en los 8 ductos.....	74
<b>3.8.</b>	Balance de energía en la torre refrigerador acondicionador de gases calientes por convección forzada; en los 8 ductos, de altura 34,459m .....	76
<b>3.8.1.</b>	Transferencia de calor por convección forzada 1; de los gases calientes, en los 8 ductos.....	77
<b>3.8.2.</b>	Transferencia de calor por conducción 1; por enfriamiento de 10°C, en la pared externa de los 8 ductos .....	78
<b>3.8.3.</b>	Transferencia de calor por radiación 1; con aire frío a 20°C por ventilador de aire, en los 8 ductos.....	79
<b>3.9.</b>	Dimensionamiento técnico para un ventilador .....	81

<b>3.10.</b>	Descripción técnica de un ventilador.....	84
<b>3.11.</b>	Relaciones de operación para obtener las nuevas condiciones de operación en el horno FLS.....	84
<b>3.12.</b>	Equipos y material requeridos para el proyecto.....	85
<b>3.13.</b>	Estudio económico.....	86
<b>3.13.1.</b>	Plan de inversión.....	86
<b>IV</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>4.1.</b>	Conclusiones.....	90
<b>4.2.</b>	Recomendaciones .....	90
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II. 1	Datos obtenidos de las condiciones del clima ambiental en la Planta de Cemento “EL PUENTE SOBOCE S.A.” .....	13
Tabla II. 2	Datos de operación del filtro de mangas 400FM01.....	17
Tabla II. 3	Datos obtenidos de monitoreo del refrigerador acondicionador de gases calientes.....	21
Tabla II. 4	Datos obtenidos de monitoreo de los ciclones pre calentadores 400CT01, 400CT02, 400CT03 y 400CT04.....	26
Tabla II. 5	Datos de valores específicos de alimentación de harina cruda al horno de Clinkerización FLS 400HR01 .....	30
Tabla II. 6	Datos obtenidos de monitoreo del Horno de Clinkerización FLS .....	36
Tabla II. 7	Datos obtenidos de monitoreo en el enfriador de Clinker de placas móviles 400EN01 .....	38
Tabla II. 8	Datos obtenidos de la temperatura de enfriamiento de Clinker en la playa de descarga de la correa transportadora .....	39
Tabla II. 9	Tabulación de datos de producción de Clinker y Cemento de la gestión 2009.....	40
Tabla II. 10	Tabulación de datos de consumo de gas en el Horno FLS del mes de Mayo 2010.....	42
Tabla II. 11	Datos obtenidos de peso específico de Clinker .....	44
Tabla II. 12	Datos obtenidos de permeabilidad de cemento IP-40 .....	46
Tabla II. 13	Datos obtenidos de Cemento IP-30 en base a pruebas físicas de resistencia .....	48
Tabla II. 14	Datos obtenidos con analizador químico XRF de OMO I.....	50
Tabla II. 15	Datos obtenidos con analizador químico XRF de TOBA .....	51
Tabla II. 16	Datos obtenidos con analizador químico XRF de Harina cruda de entrada al Horno FLS.....	51
Tabla II. 17	Datos obtenidos con analizador químico XRF de cemento IP-30 .....	52

Tabla III. 1	Harina de entrada al horno FLS, análisis químico en % (p/p).....	57
Tabla III. 2	Clinker producido en el Horno FLS análisis químico en %(p/p) .....	59
Tabla III. 3	Harina cruda que sale del primer ciclón análisis químico en %(p/p) .....	60
Tabla III. 4	Datos obtenidos de temperaturas externas medidos con Pirómetro [°C] en los 7 niveles de la torre de refrigeración.....	62
Tabla III. 5	Datos de temperatura interna de gases calientes en la parte inferior de la campana que es la temperatura de entrada al refrigerador de gases calientes.....	63
Tabla III. 6	Datos de temperatura interna de gases calientes en el nivel 6 tomado con sonda térmica .....	63
Tabla III. 7	Temperatura interna de salida de gases calientes del refrigerador .....	64
Tabla III. 8	Alimentación de harina al horno FLS y velocidad de rotación del ventila de tiro inducido 400VE14.....	65
Tabla III. 9	Datos obtenidos de temperatura ambiente en la torre.....	66
Tablas III. 10	Datos de temperatura externa obtenidos con termógrafo en el nivel 6 .....	67
Tabla III. 11	Inversión en materiales para tres ventiladores y motores.....	86
Tabla III. 12	Prestación de servicios de mano de obra .....	87
Tabla III. 13	Costo de consumo de energía eléctrica .....	87
Tabla III. 14	Total de inversión en materiales y mano de obra .....	87

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía I.1	Vista general de la fábrica de Cemento “EL PUENTE SOBOCE S.A.” .....	2
Fotografía I. 2	Campana superior de entrada de gases calientes a la torre de Refrigeración .....	6
Fotografía I.3	Sistema de refrigeración por ventilador de aire frío de flujo axial.....	7
Fotografía II.1	Ventilador de tiro inducido 400VE14 de gases calientes.....	14
Fotografía II.2	Filtro de mangas 400FM01 .....	15
Fotografía II.3	Entrada al acondicionador refrigerador de gases calientes .....	19
Fotografía II.4	Ductos de refrigeración de gases calientes.....	20
Fotografía II.5	Ciclón 400CT01 .....	22
Fotografía II.6	Vista general de los cuatro ciclones instalados verticalmente .....	23
Fotografía II. 7	Horno de Clinkerización FLS 400HR .....	27
Fotografía II. 8	Quemador de Gas del horno FLS .....	32
Fotografía II. 9	Combustión en el horno FLS.....	33
Fotografía II. 10	Vista general del Horno de Clinkerización FLS .....	35
Fotografía II. 11	Playa de almacenamiento de Clinker producido por el Horno FLS .....	41

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS DE BLOQUES Y CUADROS

Diagrama I. 1	Diagrama de bloques del área en estudio (proceso de Clinkerización).....	8
Diagrama III. 1	Balance de masa del sistema ciclón - horno.....	61
Diagrama III. 2	Transferencia de calor por convección.....	71
Diagrama III. 3	Transferencia de calor por convección forzada con enfriamiento por aire frío, con ventilador de flujo axial .....	76
Cuadro IV.1	Descripción de resultados técnicos actuales y nuevos datos de implementación, con el sistema de refrigeración por convección forzada.....	89

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS DE PRODUCCIÓN DE CLINKER

Ver anexos

Diagrama 1	Sistema de supervisión
Diagrama 2	Sistema de refrigeración
Diagrama 3	Dosificación, molienda y homogenización
Diagrama 4	Transporte de harina
Diagrama 5	Oxigenación
Diagrama 6	Clinkerización
Diagrama 7	Transporte de Clinker

## ÍNDICE DE PLANOS

Ver anexos:

PLANO 1 Filtro de mangas 400FM01

PLANO 2 Torre refrigerador acondicionador de gases calientes

PLANOS 3 y 4 Torre pre calentador

PLANOS 5, 6 y 7 Horno de Clinkerización 400HR