



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

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO DE CAL

José Luis Hernández López
Asesorado por el Ing. Oscar Orlando Sapón Rodríguez

Guatemala, marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE UN
HORNO DE CAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. ÓSCAR ORLANDO SAPÓN RODRÍGUEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL I	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Leonel Ovalle
EXAMINADOR	Ing. Walter Leonel Ávila Echeverría
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE UN
HORNO DE CAL,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 26 de noviembre de 2008.



José Luis Hernández López

Guatemala 28 de octubre del 2009

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Director
Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por este medio hago de su conocimiento que yo Oscar Orlando Sapón Rodríguez, Ingeniero Mecánico Industrial, colegiado Activo 6775, asesore y revise el trabajo de Graduación del estudiante José Luis Hernández López carné 1999-11164 titulado **DISEÑO Y AUTOMATIZACION DEL SISTEMA DE COMBUSTION DE UN HORNO DE CAL**. Por lo que considero que cumple con los requisitos para que pueda seguir con la continuidad del proceso de aprobación del trabajo de Graduación.

Agradeciendo tomar nota de la presente me suscribo.

Atentamente



ING. OSCAR ORLANDO SAPÓN RODRIGUEZ
MECÁNICO INDUSTRIAL
Col. 6775

ING. OSCAR SAPÓN
COL. 6775

ING. OSCAR ORLANDO SAPÓN RODRIGUEZ
MECÁNICO INDUSTRIAL
Col. 6775

Ing. Oscar Orlando Sapón Rodríguez
Colegiado 6775



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO DE CAL** presentado por el estudiante universitario José Luis Hernández López, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ingeniero Industrial
Luis Gerardo González Castañeda
Colegiado No. 7814

Ing. Luis Gerardo González Castañeda
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, Enero de 2010.

/agrm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO DE CAL**, presentado por el estudiante universitario **José Luis Hernández López**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2010.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala

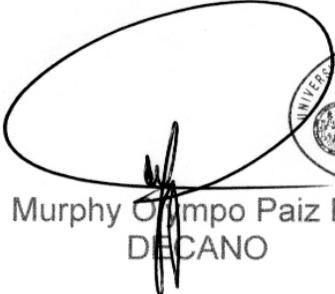


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.084.2010

El Decano 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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE UN HORNO DE CAL**, presentado por el estudiante universitario **José Luis Hernández López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, marzo 2010

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Todopoderoso, ser que me guía y bendice mi vida en todo momento.
- MIS PADRES** Lo más grande en mi vida, las personas por las que me debo por completo, ejemplo inquebrantable en mi ser.
- MI ESPOSA** El amor de mi vida, por todo su apoyo y amor.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS	Por ser la luz en mi vida, creador del cielo y de la tierra, por bendecirme con todo lo que me ha dado.
Mis padres	Jorge Luis Hernández Ayala y Miriam Judith López Loarca; el regalo más grande que Dios me ha dado, por darme todo lo que tengo y todo lo que soy.
Mi esposa	Gabriela, la mujer que Dios me destinó como mi compañera y que me apoya en las buenas y en las malas, que me brinda su amor incondicional.
Mis hermanos	Jorge Alberto y Juan Carlos, por apoyarme en cada momento de mi vida, sangre de mi sangre.
Toda mi familia	Por creer en mí, por sus ánimos y todo lo bueno que día a día me brindan.
Mi asesor	Ing. Oscar Orlando Sapón, por sus conocimientos y apoyo en todo momento que lo requerí; compartiendo toda su sabiduría y cordialidad.
Mis amigos	Por estar siempre a mi lado, por compartir conmigo tantos buenos momentos, por ser el complemento de mi familia.
El Colegio San Sebastián	Lugar donde empecé el camino del saber, que forjó mi carácter y que a sus sombras busqué ser el mejor.
U.S.A.C.	Por haberme permitido ser un profesional, por el camino del esfuerzo y dedicación, buscando la superación personal.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 La empresa.....	1
1.1.1 Ubicación.....	2
1.1.2 Historia.....	2
1.1.3 Misión.....	3
1.1.4 Visión.....	3
1.1.5 Valores.....	3
1.1.6 Filosofía.....	3
1.1.7 Constitución de la empresa.....	4
1.1.8 Organigrama de la empresa.....	6
1.1.9 Análisis FODA.....	7
1.1.10 Cadena de suministros.....	10
1.1.11 Producción.....	10
1.2 Marco teórico.....	11
1.2.1 Obtención de la cal.....	11
1.2.2 Combustibles.....	12
1.2.2.1 Origen del petróleo.....	13
1.2.2.2 Extracción.....	13
1.2.2.3 Producción.....	13
1.2.2.4 Refinación.....	14

1.2.2.5 Separación.....	15
1.2.2.6 Purificación.....	15

2. DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y ESTUDIO

2.1 Proceso de combustión.....	17
2.1.1 Combustión de sólidos y líquidos.....	18
2.1.2 Combustión de gases.....	19
2.1.3 Combustibles alternativos.....	19
2.1.3.1 Usos de los combustibles.....	25
2.1.3.2 Costo/beneficio.....	26
2.1.4 Relación aire-combustible.....	31
2.1.5 Factor de exceso de aire.....	32
2.2 Descripción del proceso.....	33
2.3 Descripción de maquinaria.....	33
2.4 Problemas encontrados.....	34
2.5 Estudio piloto.....	36
2.6 Estudio definitivo.....	40
2.7 Ventajas del actual proceso.....	41
2.8 Desventajas del actual proceso.....	41
2.9 Merma de calidad.....	42
2.10 Mantenimiento de maquinaria.....	42

3. PROPUESTA, MODELO A IMPLANTAR

3.1 Cálculo de los ventiladores.....	45
3.2 Caudal volumétrico de los ventiladores.....	45
3.2.1 Temperatura de los gases de combustión.....	52
3.3 Caída de presión en el sistema.....	56
3.3.1 Diseño de los ductos.....	57
3.3.1.1 Tipos de aislamiento.....	57

3.3.1.2 Tipos de accesorios.....	63
3.4 Pérdidas de carga en el sistema.....	64
3.4.1 Pérdida en chimenea del horno.....	65
3.4.2 Pérdida en entrada del horno.....	65
3.4.3 Pérdida por frotamiento contra las paredes de los conductos.....	66
3.4.4 Pérdida en los intercambiadores de calor.....	69
3.4.5 Pérdida por cambio de dirección de la corriente gaseosa.....	70
3.4.6 Pérdida en los registros o reguladores de tiro.....	72
3.5 Disminución brusca de sección.....	72
3.6 Aumento brusco de sección.....	74
3.7 Cálculo de tiro necesario.....	74

4. IMPLANTACIÓN, MODIFICACIÓN

4.1 Equipo para recolección de polvo.....	77
4.2 Cámara de depósito.....	79
4.3 Elutriators.....	82
4.4 Separadores dinámicos.....	82
4.5 Precipitadores electrostáticos.....	83
4.6 Flotadores húmedos.....	83
4.7 Absorvedores de gas.....	84
4.8 Incineradores.....	84
4.9 Recolectores de filtros.....	85
4.10 Quemadores.....	85
4.11 Método de aumento de presión en ventilador.....	90
4.11.1 Tipos de ventiladores.....	90
4.11.2 Ventiladores en altitud diferente al nivel del mar.....	91
4.11.3 Aire caliente.....	93

4.11.4 Gases.....	93
4.12 Método de sobredimensionar el ventilador y quemador.....	94
4.13 Control del sistema de combustión del horno de cal.....	94
4.14 Mantenimiento.....	98
4.14.1 Mantenimiento de avería.....	99
4.14.2 Mantenimiento preventivo.....	99
4.14.3 Mantenimiento predictivo.....	101
4.14.4 Mantenimiento pro-activo.....	102

5. SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA Y RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

5.1 Resultados.....	103
5.2 Ventajas.....	103
5.3 Desventajas.....	104
5.4 Costo/beneficio del sistema.....	104
5.5 Auditoría.....	105
5.5.1 Interna.....	105
5.5.2 Externa.....	107
5.6 Recomendaciones de implementación.....	108
5.7 Conductividad calorífica y número de <i>prandtl</i> optimizado.....	110
5.8 Control y seguimiento.....	111
CONCLUSIONES.....	113
RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Organigrama funcional general Caleras del Sur, S.A.	6
2	Cambios de dirección del flujo según ángulo α	71
3	Esquema de automatización de horno de cal	125
4	Diagrama de Moody	126
5	Vista aérea Caleras del Sur, S.A	127
6	Materia prima y triturado de piedra	127
7	Aserrín utilizado como materia prima proceso de combustión	128
8	Horno de cal	128
9	Producto terminado	129

TABLAS

I	Matriz FODA Caleras del Sur, S.A.	9
II	Lista de proveedores	10
III	Cálculo de masa molar de un mol de CaCO_3 .	46
IV	Parámetros de elementos Bunker C	48
V	Balanceo de ecuación aire de combustión en horno	49
VI	Análisis volumétrico aire de combustión	50
VII	Balanceo ecuación agua en combustión del horno	51
VIII	Cálculo de pesos relativos de reactivos en proceso de combustión	53
IX	Cálculo de pesos relativos de productos en proceso de	

	combustión	53
X	Cálculo de pesos relativos de productos en proceso de combustión sobre peso relativo por unidad	54
XI	Cálculo de Cp de los productos a temperatura de 60 °C	55
XII	Tabla de temperaturas y caudales máximos y mínimos para la combustión de un Kg de combustible	55
XIII	Porcentajes de elementos en combustible Bunker C	56
XIV	Tabla de factores de pérdida de carga Jf y af	70
XV	Valores de α° respecto al ángulo del cambio de sección	71
XVI	Valores de cambio de sección (A) respecto factor de pérdida	72
XVII	Valores de JDB en función de la sección del conducto	73
XVIII	Mezcla de gases de combustión con productos de reacción del Carbonato de calcio	110
XIX	Determinación de conductividad calorífica y número de <i>Prandtl</i> para determinar coeficiente de transmisión calorífica h	110
XX	Tabla para calcular Cp de gases de combustión para determinar la relación de calor máxima que se puede transferir	123
XXI	Tabla para determinar densidad de gases utilizando números de Reynolds y cálculo de presión dinámica	123
XXII	Tabla para calcular Cp de gases de combustión para determinar delta de temperatura en transferencia de calor con 100% de eficiencia	124

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
O	Oxígeno
H	Hidrógeno
S	Azufre
N	Nitrógeno
Mm Hg	Milímetros de mercurio
°C	Grados Centígrados
φ	Humedad relativa del aire.
PD	Presión parcial del vapor del agua en el aire
CH ₄	Metano
GLP	Gas de petróleo licuado
CH ₃ OH	Metanol
KW	Kilowatts
KV	Kilo volts
EV	Vehículos eléctricos (siglas en ingles)
KJ	Kilojulios
Jp	Factor de pérdida de carga
γ	Peso específico del gas en (N/m ³)
f	Factor de fricción

ρ	Densidad del aire.
μ	Viscosidad dinámica del aire
Pa	Pascales
K	Grados Kelvin

GLOSARIO

Accesorio	Elemento o componente que forma parte de un equipamiento de una máquina.
Aislante	Tipo de material creado para la interrupción de paso de corriente eléctrica.
Algoritmo	Valor establecido que es utilizado en las operaciones para poder resolver un problema.
Ambiente	Entorno en donde se desarrolla la vida en un determinado lugar.
Automatización	Utilización de sistemas o elementos computarizados que controlan máquinas para la sustitución del trabajo humano.
Avería	Acción en la cual una o varias partes de los equipos se encuentran deteriorados o dañados.
Capacitación	Actividad que busca el mejoramiento de los conocimientos, actitudes y habilidades de un personal de trabajo.
Combustión	Reacción química en la que varios elementos se combinan entre sí para crear calor y luz, permitiendo que los materiales entren en un proceso de incineración y puedan quemarse.

Cronograma	Lista de actividades programadas que se deben realizar en orden y en un tiempo estipulado.
Estática	Parte de la mecánica que estudia el equilibrio de las fuerzas sobre un cuerpo en reposo.
Filtro	Dispositivo utilizado en los líquidos para separar diferentes sustancias o limpiarlos de impurezas llevadas.
Humedad	Cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire.
Implementación	Métodos y pasos necesarios que se realizan con el fin de realizar una nueva acción.
Mantenimiento	Serie de pasos que llevan a mantener o restaurar diferentes artículos para su mejor utilización y funcionamiento.
Merma	Pérdida o reducción de cierta mercancía en términos físicos.
Mol	Unidad utilizada por el Sistema Internacional de Unidades que permite establecer la cantidad de sustancias que posee los elementos.
Motor	Máquina que se utiliza para transformar cualquier clase de energía en energía mecánica, para luego realizar un trabajo.

Oxidación	Reacción química en la que un átomo de un elemento, cede sus electrones a otro átomo de otro elemento.
Presión	Cualidad de la física, que muestra la cantidad de fuerza que tiene un cuerpo sobre la superficie en la que se encuentra.
Sistema	Conjunto de funciones o elementos que están integrados entre sí, para la realización de un fin en común.
Temperatura	Medida referida a la cantidad de calor o frío que tienen los cuerpos o que hay en el ambiente.
Ventilador	Máquina creada para producir una corriente de aire por medio del giro constante de sus aspas.
Volumen	Medida establecida en la que se determina la cantidad de espacio ocupado por un cuerpo dentro de las tres dimensiones existentes.

RESUMEN

En la actualidad, la elaboración de cal es un proceso que se realiza alrededor del país en hornos artesanales, sin tener un proceso automatizado del mismo.

En el trabajo realizado se efectuó un diagnóstico del área administrativa de la empresa abarcando su organización y análisis FODA de la empresa.

Se detallan los distintos combustibles utilizados en los sistemas de combustión, describiendo las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Se describe el proceso de combustión de la cal, sus reacciones químicas dentro del proceso, se detallan los componentes básicos del proceso de combustión dando a conocer los valores óptimos que se deben manejar en el proceso de combustión.

El sistema de combustión debe manejarse bajo los parámetros estipulados, observando las variaciones en su funcionamiento dependiendo del valor de cada parte que compone el mismo.

El sistema debe ser controlado y evaluado por normas específicas, así como tener un mantenimiento del sistema, logrando un funcionamiento óptimo.

Este proceso busca la manera de poder optimizar el recurso teniendo un producto de mejor calidad, evitando la merma de la calidad de la materia prima que se desperdicia por el funcionamiento de hornos artesanales y sus respectivos sistemas de combustión.

OBJETIVOS

General

Diseñar y automatizar el sistema de combustión del horno de cal.

Específicos:

1. Determinar la energía necesaria para calcinar la cal en el proceso de producción de la misma.
2. Determinar el flujo másico de combustible Bunker C necesario para realizar el proceso de calcinación de cal.
3. Diseñar ventiladores, ductos y quemadores que permitan realizar la combustión para condiciones críticas.
4. Hacer una propuesta para controlar el sistema de combustión, que permita adecuar la quema de combustible a la cantidad de material a calcinar y las condiciones del aire atmosférico.
5. Controlar el sistema de combustión, permitiendo tener un registro del consumo y costo del horno.
6. Desarrollar un sistema eficiente, que logre la mayor optimización del recurso humano.
7. Implementar un diseño básico que permita ser utilizado en cualquier tipo de horno.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación tiene como finalidad diseñar y automatizar el sistema de combustión de un horno de cal.

Para la realización se utilizarán principios termo-dinámicos y mecánicos, se realizará un control del proceso de combustión por medio de la instrumentación de dicho proceso. Se pondrá en práctica todos los conceptos de Ingeniería Industrial para la aplicación y optimización de los recursos.

Con el diseño del equipo apropiado y el control del proceso de combustión se podrá adaptar el consumo de combustible del horno a variables como carga de material en el horno, requerimientos de producción de la empresa y condición del aire de combustión. Todo esto aumentará la eficiencia de operación del horno que se traduce en mayor productividad económica para la empresa que le permitirá de esa manera, ofrecer plazas de trabajo estables y seguras a la población guatemalteca. Dirigida a personas con conocimientos en principios de termo-dinámica, máquinas térmicas, dinámica de fluidos y principios de automatización de procesos.

El presente trabajo permitirá a los estudiantes de Ingeniería tener una fuente de consulta de aplicaciones de principios térmicos y del control del proceso de combustión por medio de una instrumentación del mismo.

La globalización exige que la producción de un bien, sobrepase las expectativas que el cliente tiene sobre el producto de una manera rentable y eficiente. Con la elaboración de este trabajo de graduación, se conseguirá una correcta calcinación en el proceso de elaboración de cal, elaborando un producto que cumpla con los estándares de calidad requeridos que le permita competir en el mercado mundial.

Para el diseño del sistema de combustión se utilizarán los principios del área mecánica, para el diseño del sistema de ductos y ventiladores que creará el tiro necesario para una correcta combustión.

Por último, se aplicarán conocimientos del área de instrumentación para la automatización del sistema de combustión.

1. ANTECEDENTES GENERALES

En Guatemala se utilizan diferentes tipos de hornos para calcinar la cal, entre otros, los verticales, rotativos y convencionales o artesanales. Todos estos hornos utilizan los mismos principios de combustión, por lo que un análisis del proceso básico de calcinación se podrá aplicar a cualquier horno.

En el país se han elaborado algunos trabajos sobre hornos de cal y automatización de sistemas de combustión, estas son: co-generación de vapor mediante el aprovechamiento de gases de un motor de combustión interna, de José Antonio Castellanos Valladares (1999); presenta la utilización de los gases de combustión para el calentamiento de agua para la generación de vapor y su aplicación en algunos procesos de plantas textiles, así como en la generación de energía eléctrica, alcanzándose una mejor utilización de la energía calorífica.

Optimización de un horno rotatorio de cemento para la producción de cal, de Luis Fernando Díaz Oliva (2001), en la que se busca establecer el tamaño óptimo de la piedra alimentada, el porcentaje de llenado del horno y la velocidad para la operación del horno, con el fin de lograr una mayor eficiencia térmica y mantener la calidad del producto. El estudio toma como referencia la empresa Caleras del Sur, ubicada en el Km. 10.5 carretera al Atlántico de la zona 17 de la ciudad capital.

1.1 La empresa

A continuación se describen aspectos generales relacionados con la empresa objeto de estudio.

1.1.1 Ubicación

Caleras del Sur, empresa dedicada a la fabricación de cal en terrón e hidratada, se encuentra en el kilómetro 10.5 ruta al Atlántico zona 17 del Municipio y Departamento de Guatemala.

1.1.2 Historia

La empresa fue fundada el día 6 de mayo de 1983, en la dirección antes mencionada, bajo la propiedad de María Ortiz Escobar de Flores; reconocida en el Registro Mercantil con el número 43278–378–52, categoría única, establecimiento individual.

Inició sus labores con un solo horno, dedicado a la producción y venta de cal en terrón, la cual se empacaba en costales plásticos y se vendía por quintal; con el paso del tiempo se decidió hacer ampliaciones a su proceso productivo, fabricando más hornos, a la fecha se cuenta con seis hornos capaces de producir 1500 quintales semanales cada uno.

Al ver las oportunidades de demanda en el mercado, se decide crear la línea de fabricación de cal hidratada, adquiriendo maquinaria especial para este proceso. Hoy en día es una prestigiosa empresa a nivel nacional, que cuenta con varios productos como cal en terrón, cal hidratada y cal refinada; ocupando el tercer lugar en la producción y ventas en nuestro país según estadísticas de la Asociación Nacional de Caleros de Guatemala. Sus principales clientes son los Departamentos de Guatemala, Jalapa, Jutiapa, Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Progreso, Petén, Izabal, Escuintla, Sololá, Chimaltenango y Sacatepéquez.

1.1.3 Misión

De acuerdo a la información obtenida, la empresa tiene como misión lo siguiente:

“Producir cal de buena calidad”.

1.1.4 Visión

Como visión, la empresa está orientada a decir “Somos una empresa que se dedica a la fabricación de cal, que desea tener un crecimiento constante y dominar el mercado minorista de cal en Guatemala”.

1.1.5 Valores

Dentro de los valores que aplica la empresa, encontramos los siguientes:

- Responsabilidad
- Voluntad
- Entusiasmo
- Dedicación
- Trabajo en equipo
- Iniciativa
- Disciplina

1.1.6 Filosofía

La filosofía que la empresa ejecuta, se basa en el trabajo ordenado y en equipo, que logre cumplir con los requisitos y demandas que sus clientes exigen. Este fundamento comienza desde la obtención de las materias primas, pasando por la elaboración del producto y la atención debida hacia los clientes

al momento de solicitar el producto, llegando todos a trabajar ordenadamente y como equipo, siempre ofreciendo productos de calidad y con la garantía de que los clientes han satisfecho sus necesidades.

1.1.7 Constitución de la empresa

Caleras del Sur, está constituida por los siguientes puestos administrativos y operacionales:

- **Gerente General**

Organiza, dirige y supervisa la ejecución de las labores de la empresa, tomando decisiones, cumpliendo los objetivos de la empresa así como el de los empleados; es la representación legal de la empresa, buscando obtener el máximo rendimiento financiero posible sobre la inversión de la empresa; autoriza el pago de sueldos y salarios, promueve reuniones de trabajo y coordina los esfuerzos necesarios para el logro de los objetivos.

- **Asistente de Gerencia**

Asesora y dirige a la administración, apoya al Gerente General en la toma de decisiones.

- **Contador**

Lleva las cuentas al día, determina que los comprobantes estén legalmente autorizados y archivados, elabora cuadros estadísticos, presenta los balances de estado de cada ejercicio contable, rinde informes a las dependencias fiscales en el pago de los impuestos y paga planillas del personal semanalmente.

- **Secretaria**

Recibe y archiva la correspondencia de la empresa, recibe y hace llamadas telefónicas, atiende con cordialidad y educación a los clientes; elabora los documentos comerciales que emite la empresa, controla las ventas y controla la planilla y pago del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS).

- **Encargado de Personal**

Evalúa la realización de las tareas de los empleados, vela porque el trabajo se realice en forma normal avisando de cualquier anomalía y supervisa la asistencia y puntualidad del personal.

- **Mecánico Industrial**

Revisa y repara maquinaria, solicita la compra de repuestos, lubricantes y demás accesorios para el buen funcionamiento de la maquinaria.

- **Horneros**

Llenan los hornos de materia prima, controlar la distribución de materiales de combustión y preparan al personal que vela por el funcionamiento de los hornos.

- **Hidratadores**

Se encargan que el producto a hidratar reúna las condiciones necesarias para proseguir su proceso, de hidratado al envasado.

- **Peones**

Envasan el producto hidratado y extraen el producto calcinado de los hornos, cargan y descargan el producto.

- **Piloto**

Conduce los vehículos de la empresa, manteniendo cuidadosa y responsablemente las unidades para evitar accidentes que perjudiquen a la empresa.

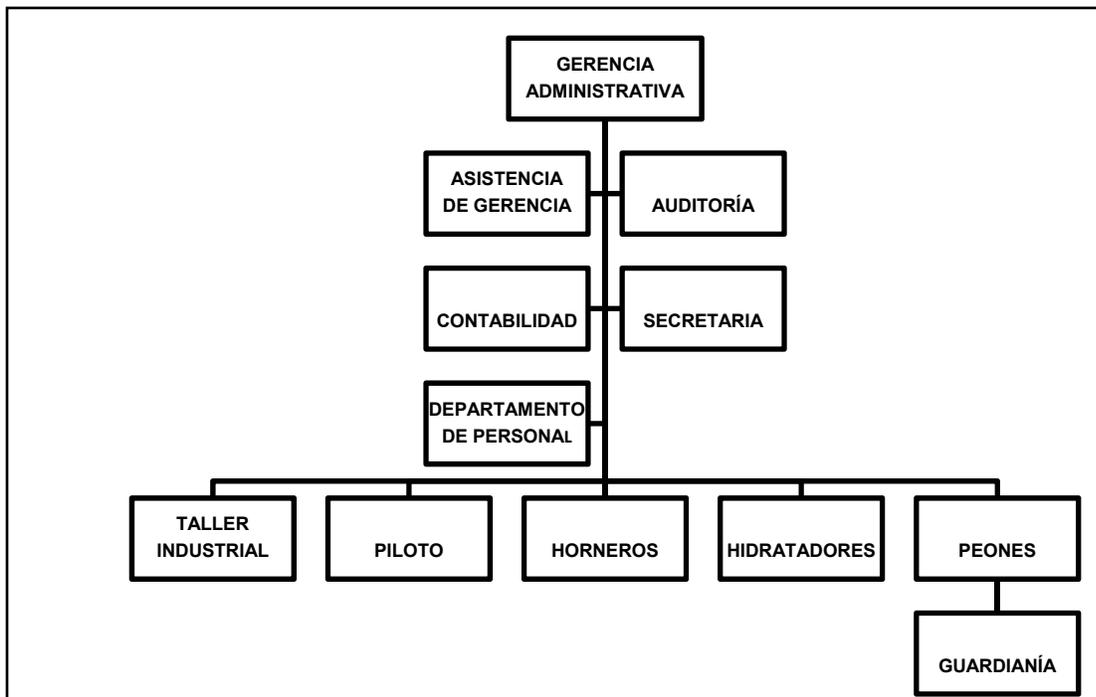
- **Guardián**

Vigila las instalaciones de la empresa y controla el movimiento de personas que ingresan y egresan de la misma, efectuando rondas periódicas por las instalaciones.

1.1.8 Organigrama de la Empresa

A continuación, se presenta el actual organigrama funcional, de cada uno de los puestos que se desarrollan dentro de la organización:

Figura 1. Organigrama Funcional General Caleras del Sur, S. A.



1.1.9 Análisis FODA

De acuerdo a los factores que rodean a la empresa, la misma ha elaborado un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas; dando como resultado las siguientes observaciones:

a) Fortalezas

- Precios competitivos
- Buena aceptación del producto
- Amplia cobertura nacional
- Cartera de clientes fieles
- Proveedores constantes
- Infraestructura
- Disponibilidad de fondos

b) Oportunidades

- Negocios.
- Clima favorable para producir cal.
- Almacenamiento del producto en tiempo de invierno
- Automatización en el pago de la nomina de planilla
- Contratación de asesorías para resolver problemas administrativos.

c) Debilidades

- Desaprovechamiento de recursos
- Falta de un programa de inversión
- Falta de controles
- Toma de decisiones
- Descontrol de la asistencia del personal
- Tecnología obsoleta

d) Amenazas

- Inflación de precios
- Inseguridad a nivel nacional
- Políticas fiscales
- Competencia local
- Violencia
- Escasez de piedra caliza

Estrategias aplicadas

- **Fortaleza – Oportunidad (FO)**

1. Los empleados trabajan en equipo y tenemos un personal administrativo competitivo.
2. Tenemos buena aceptación del producto y proveedores cumplidos y fieles.

- **Debilidad – Oportunidad (DO)**

1. Altos costos de producción y proveedores cumplidos y fieles.
2. Retraso en el pago de planillas por sobrecargo de actividades, hacer pagos por Internet.

- **Fortaleza – Amenaza (FA)**

1. Clientes cumplidos y fieles a pesar de la devaluación de nuestra moneda.
2. Tenemos precios competitivos a pesar de la competencia local.

- **Debilidad – Amenaza (DA)**

1. Pago en efectivo, hay violencia en el país.

Tabla I. Matriz FODA Caleras del Sur, S. A.

	<p>FORTALEZAS (F)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Precios competitivos 2. Buena aceptación del producto 3. Amplia cobertura nacional 4. Cartera de clientes fieles 5. Proveedores constantes 6. Infraestructura 7. Disponibilidad de fondos 	<p>DEBILIDADES (D)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desaprovechamiento de recursos 2. Falta de un programa de inversión 3. Falta de controles 4. Toma de decisiones 5. Descontrol de la asistencia del personal 6. Tecnología obsoleta
<p>OPORTUNIDADES (O)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Negocios. 2. Clima favorable para producir cal. 3. Almacenamiento del producto en tiempo de invierno 4. Automatización en el pago de la nomina de planilla 5. Contratación de asesorías para resolver problemas administrativos. 	<p>ESTRATEGIAS (FO)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los empleados trabajan en equipo y tenemos un personal administrativo competitivo 2. Tenemos buena aceptación del producto y proveedores cumplidos y fieles. 	<p>ESTRATEGIAS (DO)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Altos Costos de producción y proveedores cumplidos y fieles 2. Retraso en el pago de planillas por sobrecargo de actividades, hacer pagos por Internet.
<p>AMENAZAS (A)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inflación de precios 2. Inseguridad a nivel nacional 3. Políticas fiscales 4. Competencia local 5. Violencia 6. Escasez de piedra caliza 	<p>ESTRATEGIAS (FA)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Clientes cumplidos y fieles a pesar de la devaluación de nuestra moneda. 2. Tenemos precios competitivos a pesar de la competencia local 	<p>ESTRATEGIAS (DA)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pago en efectivo, hay violencia en el país.-

1.1.10 Cadena de Suministros

Para la empresa Caleras del Sur, S.A. es importante reconocer la labor que tienen sus proveedores, gracias a ellos pueden realizar una cadena de suministro que le permite organizar de mejor manera la producción de sus productos, se detalla a continuación el listado de los proveedores y la materia prima que aportan:

Tabla II. Lista de proveedores

PROVEEDORES	MATERIA PRIMA
Cantera El Rodeo S.A.	Piedra caliza
Fletes de El Rancho, El Progreso	Aserrín
Beneficio de café Depto. Guatemala	Cascabillo
Empresas de empaque Depto. Guatemala	Bolsas de papel

Fuente: Caleras del Sur, S.A.

1.1.11 Producción

Para la elaboración del producto, es necesario contar con los siguientes recursos: hornos hechos directamente en el suelo los cuales están forrados de ladrillo y piedra malpaís, pegados con una mezcla de arcilla, cal y cemento en todo el contorno, motores diésel para mantener el fuego a una temperatura uniforme y agua potable.

Se colocan las piedras calizas dentro del horno, hasta que estas se pongan al rojo vivo, las llamas del fuego han alcanzado la temperatura de 900 ó 1000 grados centígrados, siendo los ideales para la cocción. El color blanco posterior de las piedras indicaba que el proceso de calcinación habrá culminado, llegado ese momento se cerraba la boca del horno con losas de

piedra o tajas de tierra, así como cualquier respiradero, y se dejaba enfriar lentamente durante dos o tres días.

Finaliza el proceso retirando todas y cada una de las piedras de la estructura, que en la mayoría de los casos tienden a caerse durante este periodo de enfriamiento.

Al introducir las piedras calcinadas en agua el contacto entre ambos elementos hace que la piedra caliza se desintegre formando una pasta o “cal apagada”.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Obtención de la cal

La *cal viva* se obtiene por calcinación de la piedra caliza en hornos especiales, donde se le somete a temperaturas cercanas a los 1000 grados centígrados, provocando la siguiente reacción:

Piedra caliza + calor = gas carbónico + cal viva



Carbonato de calcio + calor = Anhídrido carbónico + Óxido de calcio

La cal viva es muy cáustica y tiene una gran afinidad con el agua, y al contactarse se transforma en hidróxido, con gran desarrollo de calor durante el proceso.

De la cal viva, mezclada con agua, se obtiene la *cal apagada* (o cal hidratada, que es hidróxido de carbono $\text{Ca}(\text{OH})_2$):

Cal viva + agua = cal apagada + calor



Óxido de calcio + Agua= Hidróxido de carbono + calor

Durante este proceso se produce la desintegración rápida de las piedras, que se diluyen en el agua. Posteriormente, dejando secar esta pasta, puede obtenerse cal en polvo.

Proceso de calcinación: La piedra caliza y la piedra dolomítica son transformadas en cal viva y cal dolomítica en hornos verticales u horizontales, para alcanzar esta transformación química son necesarias temperaturas superiores a los 900°C. Los hornos para calcinación están compuestos por un casco de acero revestido interiormente de material refractario.

Los hornos verticales se subdividen en las siguientes zonas:

- a) La zona de almacenamiento.
- b) La zona de calentamiento previo en la cual se enfrían los gases de combustión y se calienta la piedra.
- c) La zona de calcinación en la que se efectúa por lo menos el 90% de la calcinación de la piedra.
- d) La zona de terminación en la que se quema una parte del combustible con exceso de aire para terminar la calcinación de la piedra.
- e) La zona de enfriamiento en la que pasan a contracorriente aire y cal, enfriándose la cal y calentándose el aire.

1.2.2 Combustibles

Cualquier material que puede quemarse para liberar energía recibe el nombre de combustible. La mayoría de los combustibles conocidos se compone principalmente de hidrógeno y carbono. Reciben el nombre de combustibles hidrocarburos y se denotan por la fórmula general C_nH_n .

Los combustibles hidrocarburos existen en todas las fases, algunos de ellos son la gasolina, el bunker, entre otros.

1.2.2.1 Origen del petróleo.

El petróleo es un líquido aceitoso, inflamable, cuyo color varia de incoloro a negro y esta formado por una mezcla de hidrocarburos. Hay muchas teorías que pueden explicar el origen del petróleo; pero la de mayor aceptación tiene que ver con un origen orgánico, ya que hace millones de años existió animal y vegetal de gran tamaño, así como el plancton (diminutas especies). Cuando dichos vegetales y animales murieron se acumularon en mares, ríos etc., y fueron sepultados por sedimentos, por lo que fueron sometidos a grandes presiones y temperaturas. En estas condiciones se produjo la transformación de dichos restos en petróleo y gas natural.

1.2.2.2 Extracción.

El proceso consiste en perforar un orificio con una barrera de hierro, a la cual se le van enroscando tubos de acero. Cuando el pozo hace contacto con el yacimiento, el petróleo asciende violentamente debido a la presión del gas.

1.2.2.3 Producción.

Luego de haber realizado la perforación, el pozo está en condiciones de producir.

En este momento puede ocurrir que el pozo sea puesto en funcionamiento por urgencia natural, lo que no ocurre en la mayoría de las perforaciones.

Dependiendo de varias circunstancias, tales como la profundidad del yacimiento, su presión, la permeabilidad de la roca reservorio, etc., el fluido llegará a la superficie con caudales satisfactorios o no satisfactorios.

Los fluidos de un yacimiento –petróleo, gas, agua- entran a los pozos impulsados por la presión a los que están confinados en el mismo. Si la presión es suficiente, el pozo resultará "surgente": produce sin necesidad de ayuda. Pero en la mayoría de los casos esta urgencia natural decrece y el pozo deja de producir: el pozo está ahogado. Para proseguir con la extracción se procede a la utilización de métodos artificiales de bombeo.

Los yacimientos tienen tres tipos principales de "empujes naturales".

1.2.2.4 Refinación

El petróleo crudo es una mezcla de hidrocarburos con pequeñas cantidades de compuestos de azufre, oxígeno, nitrógeno y ciertos metales como: vanadio, níquel, sodio y otros, considerados impurezas de petróleo, las cuales afectan su calidad.

El color de petróleo crudo es variado: lechoso, marrón, amarillo, verde oscuro hasta negro. Su viscosidad y densidad varían dependiendo de su composición química y su olor depende del contenido de azufre.

El petróleo crudo, tal como se extrae del subsuelo, tiene poco uso, por lo que es necesario refinarlo. La refinación comprende una serie de procesos de separación, transformación y purificación, mediante los cuales el petróleo crudo es convertido en productos útiles con innumerables usos, que van desde la simple combustión en una lámpara hasta la fabricación de productos intermedios, que a su vez, son la materia prima para la obtención de otros productos industriales.

El petróleo crudo que fluye de un pozo es muy espeso. Antes de que pueda ser utilizado tiene que ser limpiado y descompuesto en las diferentes formas útiles del petróleo, en un proceso llamado refinación. Las diferentes formas son separadas en altas columnas llamadas columnas de fraccionamiento. Cada forma de petróleo, llamada fracción, es una mezcla de hidrocarburos (sustancias compuestas solamente por carbono e hidrógeno). Estas fracciones varían de "pesadas" (con grandes moléculas) a "livianas". Los procesos de refinación del petróleo pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1.2.2.5 Separación

Consiste en separar el crudo en diferentes fracciones de petróleo, de acuerdo con su temperatura de ebullición. Para ello se emplea procesos físicos como: destilación atmosférica y destilación al vacío.

Conversión: consiste en transformar unos componentes del petróleo en otros mediante reacciones químicas, por acción del calor y en general, con el uso de catalizadores. Son procesos de conversión, entre otros, la reformación y la desintegración o cracking; ambos procesos cambian la estructura molecular de los hidrocarburos, originalmente presentes en el petróleo.

1.2.2.6 Purificación

Los procesos de purificación son aquellos que se utilizan para eliminar las impurezas contenidas en las fracciones provenientes, de la destilación, a fin de cumplir con la especificaciones que exige su uso. Los procesos de purificación son muy numerosos y pueden ser físicos y/o químicos. La mayoría de los productos obtenidos de las diferentes destilaciones se pueden continuar procesando o tratando para mejorar la calidad y clase de productos que se desea.

2. DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y ESTUDIO

2.1 Proceso de combustión

Una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía recibe el nombre de combustión. El oxidante empleado con mayor frecuencia en los procesos de combustión es el aire, por obvias razones, es gratis y se consigue fácilmente. El oxígeno puro O_2 se emplea como oxidante sólo en algunas aplicaciones especializadas, como el corte y la soldadura, donde no se puede utilizar aire.

En una base molar o de volumen, el aire seco está compuesto por 20.9 por ciento de oxígeno, 78.1 por ciento de nitrógeno, 0.9 por ciento de argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, helio, neón e hidrógeno. En el análisis de los procesos de combustión, el argón en el aire se trata como nitrógeno, en tanto que los gases que existen en cantidades muy pequeñas se descartan. De modo que el aire seco puede considerarse aproximadamente como 21 por ciento de oxígeno y 79 por ciento de nitrógeno en números molares. Por consiguiente cada mol de oxígeno que entra a una cámara de combustión será acompañado por $0.79/0.21 = 3.76$ mol de nitrógeno. Es decir, $1 \text{ kmol } O_2 + 3.76 \text{ kmol } N_2 = 4.76 \text{ kmol de aire}$.

A temperaturas de combustión ordinarias el nitrógeno se comporta como un gas inerte y no reacciona con otros elementos químicos. Pero aún en este caso la presencia de nitrógeno influye de manera considerable en el resultado de un proceso de combustión, pues el nitrógeno suele entrar a una cámara de combustión en grandes cantidades a temperaturas bajas y salir a temperaturas considerablemente altas, absorbiendo una gran proporción de la energía química liberada durante la combustión en grandes cantidades a temperaturas

bajas y salir a temperaturas considerablemente altas, absorbiendo una gran proporción de la energía química liberada durante la combustión.

2.1.1 Combustión de sólidos y líquidos

Los combustibles que se queman en los hogares de las caleras no son de composición simple, sino que es aproximadamente como se indica a continuación. 1kg de combustible sólido o líquido contiene: C, Kg. de carbono; O, Kg. de oxígeno; H, Kg. de hidrogeno; S, Kg. de azufre; N, Kg. de nitrógeno; Z, Kg. de cenizas; Hu, Kg. de humedad.

Si se llama G_{amin} y V_{amin} respectivamente, al peso y al volumen mínimos de aire, es decir a su poder comburente se tiene que:

$$G_{amin} = 4.3 (2.67 C + 8H - O + S) \text{ (kg aire / kg combustible)}$$

$$V_{amin} = G_{amin} / 1.293 = 3.33 (2.67 C + 8H - O + S) \text{ (m}^3 \text{ aire/kg combustible)}$$

Siendo 1.293 el peso específico del aire a 0°C y 760 mm Hg.

El aire contiene siempre un poco de humedad, en forma de vapor de agua, de ahí que el volumen del aire húmedo que contiene la cantidad mínima del aire seco necesario para quemar el kilogramo del combustible considerado se obtiene multiplicando el volumen mínimo por el factor de multiplicación.

$$F = 1 + (p_D/p_1) \varphi$$

Siendo

φ = la humedad relativa del aire.

p_D = la presión parcial del vapor del agua en el aire

p_1 = la presión parcial del aire.

El volumen real de aire húmedo que debe suministrarse será:

$$V_{\text{amín real}} = f V_{\text{amín}}$$

2.1.2. Combustión de gases

Si el análisis demuestra que:

1 m³ de gas contiene: H, m³ de hidrógeno; CO, m³ de óxido de carbono; CH₄, m³ de metano; C₂H₂, m³ de acetileno; C₂H₄, m³ de etileno; C₆H₆, m³ de benzol; O, m³ de oxígeno; N, m³ de nitrógeno; CO₂, m³ de anhídrido carbónico. El volumen de aire teóricamente necesario será:

$$V_{\text{amín}} = 4.76 ((H+CO)/2 + 2CH_4 + 3 C_2H_4 + 2.5 C_2H_2 + 7.5 C_6H_6 - O) \text{ m}^3 \text{ aire/} \\ \text{m}^3 \text{ combustible.}$$

Si en este caso se quiere calcular el volumen mínimo de aire húmedo, deberá multiplicarse, como se explicó en el proceso anterior, por el factor de multiplicación.

2.1.3. Combustibles alternativos

Actualmente se están utilizando otros combustibles distintos al petróleo, los cuales se denominan combustibles alternos a la "gasolina". La razón de estos combustibles es el de buscar opciones que permitan minimizar los efectos no amigables al ambiente que se producen al quemar combustibles de origen fósiles. A continuación se describen los que han pasado pruebas técnicas y económicas y por ende los más utilizados.

Biodiesel es un combustible limpio parecido al diésel, elaborado de fuentes renovables tales como los aceites vegetales. Simplemente como el

diésel convencional, biodiesel puede ser utilizado en motores de combustión-ignición.

Esencialmente ninguna modificación de los motores es requerido, manteniendo la potencia que proporciona el diésel.

Propiedades químicas: Biodiesel tiene propiedades físicas muy similares al diésel convencional.

Gravedad específica 0.88

Viscosidad @ 20°C (centistokes) 7.5

Cetane Index en un índice 49

Filtro frío que tapa punto (°C) -12

Valor calorífico (kilo joules por el litro) 33,300

Combustible eléctrico es el único entre los combustibles alternativos en que su poder mecánico es derivado directamente de él, al considerar que los otros combustibles alternos guardan energía química y que al producirse la combustión proporcionan su poder mecánico. La electricidad usada para impulsar los vehículos normalmente es proporcionada por baterías, pero las celdas de combustible también están siendo exploradas. Las baterías son dispositivos de almacenamiento de energía, pero las celdas de combustible, convierten la energía química en electricidad.

Etanol (alcohol del etilo, alcohol de grano, ETOH) es un líquido claro, incoloro con un olor característico agradable. En solución con agua, tiene un sabor dulce, pero en soluciones más concentradas tiene un sabor ardiente. Etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, es un alcohol, perteneciente al grupo de compuestos químicos cuyas moléculas contenga un grupo del hydroxyl, $-\text{OH}$, unido a un átomo de carbono.

Dos mezclas altas de etanol, E-85 y E-95 están explorándose como combustible alternativo en programas de demostración. El etanol también se hace a partir de un éter, el éter del ethyltertiary-butyl (ETBE), que tiene propiedades interesantes para la oxigenación de la gasolina y combustibles reformulados.

Propiedades químicas: El etanol es etano con una molécula de hidrógeno reemplazada por un radical del hydroxyl.

Gas de hidrógeno (H_2) está explorándose para el uso en motores de combustión interna y en las celdas de combustibles para vehículos eléctricos. El hidrogeno esta en forma gaseosa a temperaturas y presiones estándares, lo cual obvia los obstáculos que presentan los combustibles líquidos. Sistemas del almacenamiento que se desarrollan incluyen hidrógeno comprimido, hidrógeno líquido, y químicos con compatibilidad entre el hidrogeno y los materiales de los recipientes de almacenamiento. Aun, hoy en día, no existiendo un sistema de distribución o de transporte, para el hidrogeno automotor, lo hacen un combustible alternativo deseable por su limpieza ante el ambiente.

Propiedades químicas: El combustible más simple y más ligero es gas de hidrógeno (H_2). El hidrógeno está en estado gaseoso a la presión atmosférica y temperatura ambiente. El hidrógeno para combustible no es hidrogeno puro. Tiene cantidades pequeñas de oxígeno y otros materiales.

Metanol (CH_3OH) es un combustible del alcohol. Hoy la mayoría de la producción de metanol a nivel mundial se realiza a través de un proceso que usa gas natural como insumo. Sin embargo, la razón para que se produzca metanol teniendo como insumo diferente al petróleo como el carbón o la biomasa es por reducir las importaciones de petróleo.

El combustible del metanol alternativo actualmente utilizado es M-85. En el futuro, se programa un metanol más limpio o M-100. El metanol también se puede obtener a partir de un éter, MTBE (metilterbutileter) que está mezclado con gasolina para reforzar el octanaje y crear gasolina oxigenada.

Propiedades químicas: como combustibles de motores, el etanol y el metanol tienen similares características químicas y físicas. El metanol, es metano con una molécula de hidrogeno reemplazada por un radical hydroxyl (OH).

El gas natural es una mezcla de hidrocarburo-principalmente metano (CH₄)- y es producido de los pozos de gas o junto con la producción de petróleo. El gas natural se consume en los sectores residencial, comercial, industrial y automotor.

El interés para el gas natural como un combustible alternativo proviene principalmente de sus cualidades de combustible amigable al ambiente, perfecta combustión, disponibilidad y su versatilidad de uso. Debido a la naturaleza gaseosa de este combustible, debe almacenarse en el vehículo en estado gaseoso comprimido (CNG) o en un estado licuado (GNL).

Propiedades químicas: el constituyente principal del gas natural es metano. El gas natural suministrado a los centros de consumo contiene otros hidrocarburos como etano, propano y más pesados en pequeñas cantidades.

Gas de petróleo licuado (GLP) consiste principalmente en propano, propylene, butano, y butylene en varias mezclas. Sin embargo, para uso domestico, comercial y vehicular, la mezcla es principalmente propano. Se produce como un derivado del gas natural, procesando este o por medio de la refinación del

petróleo. Los componentes de GLP son gaseosos a presión y temperatura normal.

Propiedades químicas: GLP, como el gas natural y la gasolina, es una simple mezcla de hidrocarburos, principalmente el propano/propylene (C_3S) y butano/butylene (C_4S).

La P-serie es un nuevo combustible que es clasificado ahora como un combustible alternativo. El Departamento de Energía de USA, ha incluido una enmienda a la norma para que las flotas gubernamentales utilicen este combustible. La enmienda define ciertas mezclas de methyltetrahydrofuran, etanol e hidrocarburos, las cuales se conocen como los combustibles de la P-serie. La corporación de energía pura (CEP), posee la licencia mundial para fabricar y distribuir combustibles de la P-serie de los que fueron desarrollados por Dr. Stephen Paul de la Universidad de Princeton.

Los combustibles de la P-serie de la CEP son mezclas de etanol, methyltetrahydrofuran (MTHF), y pentanos, mezclados con butano, que soportan severas condiciones de bajas temperaturas. Se anticipa que el etanol y el MTHF serán derivados de los recursos renovables, como biomasa de la celulosa, que puede obtenerse de desechos de papel, desperdicios agrícolas y de la madera desechada en los centros urbanos e industriales. La CEP, planea usar pentanos y más pesados derivados del procesamiento del GAS NATURAL.

El combustible solar se utiliza la luz del sol para calentar casas y proporcionar luz, calentamiento de agua y generación de electricidad. Investigaciones se han realizado para evaluar como la energía solar puede ser utilizada como fuente para mover vehículos. Aun esta lejos este uso, sin

embargo, puede ser utilizado para alimentar ciertos dispositivos auxiliares del vehículo.

A parte de estos existen otros tipos de combustibles alternativos, los más utilizados son:

E5: es una mezcla de nafta súper sin plomo con 5 % de etanol anhidro (se entiende por etanol anhidrido al que tiene el 99,5 % como grado de hidratación).

GASOHOL (E10): es una mezcla que contiene 90% de nafta súper sin plomo y 10% de etanol anhidro por volumen.

ALCONAFTA (E15): es una mezcla que contiene 15% de etanol anhidro y 85% de nafta súper volumen.

E85: es una mezcla que contiene 85% de etanol anhidro y 15% de nafta súper sin plomo por volumen.

E93: es una mezcla que contiene 93% de etanol anhidro, 5% de metanol anhidro y 2% de kerosén por volumen. **E95:** Es una mezcla que contiene 95% de etanol anhidro y 5% de nafta súper sin plomo por volumen.

E100: es etanol anhidro al 100%.

ETBE (ethyl tertiary butyl ether): es un aditivo que oxigena la nafta ayudando a una combustión más limpia. Se puede añadir a la nafta hasta un 17% del volumen.

M85: es una mezcla que contiene 85% de metanol anhidro y 15% de nafta súper sin plomo por volumen. Se utiliza en motores originalmente diseñados para gasolina.

M100: es metanol anhidro al 100%. Se utiliza en motores diseñados originalmente diésel.

Estas combinaciones son resultado de la mezcla de alcoholes (metanol y etanol), naftas y otros derivados del petróleo (kerosén), los cuales se utilizan con buenos resultados en los EE.UU., Canadá y Brasil.

2.1.3.1 Usos de combustibles

Biodiesel

El uso de biodiesel en un motor de diésel convencional proporciona una reducción sustancial de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, y materiales de la combustión. Se reducen también las emisiones de óxidos de nitrógeno. El uso de biodiesel disminuye las emisiones de carbón sólido ya que permite una combustión mas completa del CO₂.

Elimina los compuestos de azufre al no contener este dentro de su composición química. El biodiesel trabaja bien con nuevas tecnologías como catalizadores (qué reducen las fracciones solubles del diésel pero no las partículas sólidas de carbón), trampas y equipos para recirculación de gases de escapes (potencialmente alarga la vida de estos por menos cantidad de carbón).

Combustible eléctrico

Un gran número de varios tipos de baterías está probándose para el uso en vehículos eléctricos (EVs., por sus siglas en inglés). Algunas de las tecnologías que están probándose incluyen, además del ácido, níquel, cadmio, hierro de níquel, cinc- níquel, níquel hidratado, cloruro de níquel - sodio, bromo de cinc, azufre de sodio, lithium, aire de cinc, y aire de aluminio.

La mayoría de estos son utilizados para la combustión de motores.

2.1.3.2 Costo/beneficio

Biodiesel

Biodiesel es relativamente desconocido y enfrenta varias barreras a vencer para extender su uso comercial. Biodiesel debe superar varios obstáculos de regulación, y su precio debe ser más competitivo, antes de que alcance una penetración significativa del mercado.

Según la Asociación Americana de Biofuels, con incentivos Gubernamentales, comparable a los dados al etanol, la producción de biodiesel proveniente de aceites de semillas, puede alcanzar aproximadamente 2 mil millones galones por año (130 mbd), o sobre 8 por ciento del diésel automotor esperado como consumo en la primera década del siglo XXI. A este nivel de penetración del mercado, probablemente se usaría principalmente biodiesel como combustible en flotas de autobús y camiones (principalmente en mezclas con diésel fósil de 20 por ciento).

Soya de metilo, actualmente presenta costos de más de \$2 por galón y busca competir con diésel que cuesta 65 a 70 centavos por el galón. Los insumos representan el 90 % del costo directo de producción, incluyendo el costo y retorno del capital. Se necesitan alrededor de 7.3 libras de aceite de soya, por ejemplo, costando aproximadamente 20 centavos por la libra, para producir un galón. El insumo, esta en el orden de \$1.50 por el galón de soya de metilo, no considerando la comercialización y la ganancia. Los esfuerzos continúan para reducir los costos del insumo. Híbridos de la soya se están desarrollando, de tal manera que contengan más porcentaje de aceite.

Combustible eléctrico

Los costos de la electricidad son bastante razonables, sobre todo si se toman ventajas para su utilización fuera de los picos de demanda... Sin embargo, el costo de electricidad varía en función de la localización geográfica de la planta, el tipo de generación y el tiempo de uso.

Beneficios

Ninguna emisión, el vehículo no tiene tubo de escape para emisión de gases. Éste es el beneficio principal de un EV, ya que no contamina. Aunque, algunas personas sostienen que parte de las emisiones de gases de combustión para producir electricidad deben ser asignados a los EV.

Las economías de usar Evs, una vez que el alto costo de capital inicial se ha realizado, esta dado por un combustible de precio más bajo y menor mantenimiento. El costo equivalente de la cantidad de combustible para EVs es menor que el precio de la gasolina. También, el mantenimiento para EVs es menor por poseer menos partes movibles para reparar y reemplazar.

En USA, algunos dólares federales y estatales existen para proporcionar incentivos para las flotas y a los individuos privados para comprar este tipo de vehículos.

Etanol

El etanol se transfiere de los terminales de importación o centros de producción por barcaza, trenes o transporte en camión para alcanzar los centros de consumo. En la actualidad el etanol no puede moverse fácilmente a través de las redes existentes para los hidrocarburos líquidos convencionales. El etanol ya está penetrando el mercado de transporte a través del gasohol. Aunque una amplia infraestructura de distribución y llenado no está disponible, existen en diferentes países programas para el desarrollo de sitios de ventas de gasohol. Sin embargo, muchos técnicos consideran que el etanol usado en gasohol no es un combustible alternativo es mas bien un combustible de reemplazo.

Beneficios

En general, los beneficios de usar etanol son: Reduce la necesidad de importación de petróleo, previene la contaminación. Es un combustible renovable

Gas hidrógeno

Un sistema para la distribución del hidrógeno como un combustible de transporte no existe. Mientras el transporte por tubería es generalmente el medio más económicos de transportar combustibles gaseosos, un sistema para

el transporte masivo de hidrogeno no se ha construido, por lo cual el transporte de hidrógeno está típicamente confinado a botes y camiones presurizados.

Metanol

El metanol se transfiere de los terminales de importación o centros de producción por barcaza, trenes o transporte en camión para alcanzar los centros de consumo. En la actualidad el metanol no puede moverse fácilmente a través de las redes existentes para los hidrocarburos líquidos convencionales.

La Comisión de Energía de California estima para el M85 un precio en el año 2010 de \$1.27 por galón de gasolina equivalente, comparado con el de la gasolina de \$1.48 el galón. El combustible diésel se estima en \$1.24 el galón.

Gas natural

El gas natural es distribuido a través de extensos sistemas de tuberías que van desde los pozos de producción hasta los consumidores finales. El sistema de tubería consiste de tuberías de transmisión a largas distancias, seguidos por tuberías de distribución locales. Algunos almacenamientos subterráneos son empleados para cubrir las demandas picos estacionales.

Análisis recientes determinan que los costos para un sistema de "llenada lenta" o "llenada rápida" para manejar flotas públicas o privadas de vehículos pueden costar variar entre \$250,000 a \$3 millones para una flota de autobuses. La inversión inicial de una estación típica de compresión cuesta de \$2,000 a \$4,000 por pico de servicio. Re-abastecimiento pueden ser hechos fácilmente por chóferes especializados. Costos para un compresor individual para uso domestico esta en el orden de \$3,500. Los compresores de las casas usan un

sistema del llenado lento, el cual es realizado generalmente en horas nocturnas. Este compresor normalmente se ubica en el garaje de la casa y se conecta directamente al suministro de gas natural de la casa.

Beneficios

El gas natural tiene muchos beneficios que se relacionan con la economía, emisiones, el efecto invernadero, seguridad, creación de trabajo, y la abundancia doméstica.

Gas de petróleo licuado

En USA, más de 350,000 vehículos, principalmente en flotas, utilizan propano. El propano está impulsando taxis en Las Vegas; autobuses escolares en La Ciudad de Kansas y Portland, Oregón. El propano se usa tanto en vehículos livianos como pesados. El Propano ha sido usado como un combustible automotor por más de 60 años.

Beneficios

Los vehículos impulsados con propano emiten en la combustión menos carbón al compararlos con los que utilizan diésel y gasolina. Según la Asociación Nacional del Gas Propano, las bujías duran alrededor de 80000 y el motor puede durar dos o tres veces más tiempo que los que utilizan gasolina o diésel.

P-serie

La CEP propone comercializar los combustibles de la P-serie para combustible flexible de vehículos (FFVs, por sus siglas en ingles) originalmente diseñado para operar con E-85 (85 por ciento etanol/15 por ciento de gasolina), con gasolina, o con cualquier mezcla de esos dos combustibles.

Los combustibles de la P-serie contienen 60 por ciento de sustancias no petroleras, lo cual los hace más amigables al ambiente.

Combustible solar

Actualmente, el mercado para esta energía en vehículos es muy limitado y ninguna empresa constructora de vehículos esta produciéndolos. Sin embargo, existen prototipos. Un vehículo movido con esta energía no emitirá contaminantes.

2.1.4 Relación aire combustible

Es posible regular las entradas de aire o los quemadores o ambos a la vez para que el peso de aire introducido sea igual, superior o inferior al químicamente correcto, correspondiente al combustible que se está quemando. Se define como aire teórico o aire mínimo a la cantidad exacta de aire necesaria para que durante la combustión, se convierta todo el carbono en anhídrido carbónico y todo el hidrógeno en agua. La relación entre el peso de aire y el de combustible de esa mezcla recibe el nombre de relación aire combustible, químicamente correcta o estequiométrica.

La relación aire combustible de cualquier mezcla puede expresarse como relación de volúmenes o de moles o como relación de pesos. Conviene hacer notar que la relación de volúmenes sólo es válida si el combustible se encuentra al estado de vapor y de gas, en caso contrario el volumen que ocupa un mol de combustible es despreciable, comparado con el que ocupa el aire que requiere para su combustión.

2.1.5 Factor de exceso de aire

Cuando el peso de aire es superior al teórico, se habla de combustiones con exceso de aire o también de mezclas pobres, en este caso, la relación aire combustible será entonces mayor que la teórica y la mezcla será pobre.

En cambio, si el aire que acompaña al combustible es menor que el teórico, se trata de una combustión con escasez de aire, la relación aire combustible será entonces menor que la teórica y la mezcla será rica.

Cuando en una combustión existe exceso de aire la relación aire combustible es mayor que uno se dice que se opera con atmósfera oxidante; por otro lado, si hay escasez del mismo con un valor menor que uno, se habla de atmósfera reductora; finalmente, si la cantidad de aire presente es igual al mínimo necesario la combustión se realiza en atmósfera neutra.

La ventaja del exceso de aire es la de hacer más difícil la formación de monóxido de carbono y evitar además la descomposición de los hidrocarburos, fenómeno que produce hollín. Si los valores del coeficiente de aire alcanzan a ser mayores que los aconsejados, la temperatura disminuye debido al calor que absorbe el exceso de aire que no toma parte en la combustión, calor que pasa a la atmósfera a través de la chimenea. En la práctica para asegurar la

combustión perfecta, siempre es necesario que exista exceso de aire por lo tanto es inevitable que se produzcan pérdidas de calor.

2.2 Descripción del proceso

La estructura denominada llama dormida y la forma en que se acomoda la materia prima (moldes de arcilla y piedra caliza) impide una buena transferencia de oxígeno durante la combustión. En las capas inferiores de carbón, más cercanas a la llama, el oxígeno disponible en el periodo de encendido del horno es mayor generando así una combustión relativamente completa. El problema recae en que a medida que el combustible se va consumiendo, la ceniza generada impide la transferencia de calor, lo que a su vez aísla aun más las capas superiores de carbón del aire disponible para la combustión. La mezcla aire/carbón también es en promedio relativamente baja debido a la mala ventilación.

Otros factores que favorecen la combustión incompleta son las bajas temperaturas utilizadas para la combustión, la gran pérdida de energía térmica, los bajos periodos de residencia del aire en el horno y los extensos periodos de combustión. La suma de estos factores reduce las tasas de combustión del carbón y aumenta la emisión de material particulado, PAHs, CO y compuestos volátiles orgánicos (VOC) emitidos a la atmósfera.

2.3 Descripción de la maquinaria

Actualmente el proceso de combustión no cuenta con un sistema de maquinaria acoplada al horno, ya que el sistema de alimentación del hogar del horno es manual, se está utilizando para reforzar el suministro del hogar un

motor de nixtamal, con esto se logra alimentar el hogar sin poner en riesgo al obrero.

Los quemadores su propósito principal es mezclar y dirigir el flujo de combustible y aire de tal manera que se asegure el encendido rápido y la combustión completa. En los quemadores de carbón pulverizado, una parte del 15 al 25% del aire, llamada aire primario, se mezcla inicialmente con el combustible para obtener un encendido rápido y actuar como un medio de transporte del combustible. La porción restante o aire secundario se introduce a través de registros en la caja de viento.

El quemador de tipo circular está diseñado para quemar carbón mineral y puede equiparse para quemar cualquier combinación de los tres combustibles principales, si se toman las precauciones adecuadas para evitar la formación de coque en el elemento carbón, si se está quemando combustóleo y carbón mineral. Este diseño tiene una capacidad hasta de 165 millones de Btu/h para el carbón, y más elevada para combustóleo o gas.

2.4 Problemas encontrados

La industria actual ha traído la posibilidad de realizar la producción de cal a gran escala, y ha conseguido acabar en la mayoría de los casos con la antigua industria.

Hasta la revolución industrial y el descubrimiento del cemento, en 1824 en Portland, Inglaterra, la cal fue el principal ligante de la construcción utilizado en mortero mezclado con arena. Igualmente mezclada con arena fina fue utilizada para revoques que daban una protección extra a la pared frente a los elementos externos y cumplía una función estética. También fue utilizada como

pintura y desinfectante, que ahora estas funciones las realizan las pinturas sintéticas y los desinfectantes actuales. Además, la producción actual de cal se lleva a cabo en modernas industrias, con las cuales la fabricación artesanal no puede competir.

Se han desarrollado muchos hornos para satisfacer necesidades especiales, además de los hornos para convertir la energía contenida en los combustibles convencionales carbón, combustóleo y gas; en vapor para obtener potencia, calefacción o utilizarlo en procesos.

Es indispensable en los sistemas de combustión, ya que de esta manera pueden absorber el calor generado en los quemadores y así cumplen una doble función; la primera es enfriar el quemador y tener mejores propiedades mecánicas y su segunda función es aprovechar este calor, pasando los tubos de agua que posteriormente entraran a la caldera. Se utilizan diseños de hornos para uso general, de presión y temperatura altas con capacidades que van desde 500 000 hasta 9 000 000 lb. de vapor por hora pero en general pueden clasificarse como calderas del tipo radiante. En estas se genera poco vapor, o nada, por superficies absorbentes de calor por convección, ya que casi todo el vapor se genera en los tubos que forman las paredes que cubren el hogar del calor irradiado hacia estos tubos procedentes de los gases calientes de la combustión, este tipo de horno se alimenta con gas o combustóleo, o con ambos.

En los hornos de tipo domo, de circulación natural o forzada se restringen a una presión máxima de alrededor de 2600 lb./pulg², en la salida del sobrecalentador, debido a las características de circulación y de separación de vapor. Sin embargo, los hornos de tipo flujo forzado y paso único no se restringen a nivel alguno de presión por los límites de circulación.

En hornos de flujo forzado y paso único, se utilizan en sistemas donde el agua generalmente fluye del economizador a los tubos de las paredes del hogar, de ahí se dirige hacia los tubos de cubierta de paso de convección de gas y hacia el sobrecalentador primario. Por lo común, la transición hacia la fase vapor se inicia en los circuitos del hogar y, dependiendo de las condiciones de operación y del diseño, se completa en la cubierta de paso del gas de convección o en el sobrecalentador primario. El vapor que procede del sobrecalentador primario pasa al secundario. Se cuenta también con uno o más recalentadores para volver a calentar el vapor a baja presión.

2.5 Estudio piloto

Dadas las circunstancias de los actuales sistemas de combustión de los hornos para la obtención de cal, basamos nuestros estudios en un sistema de quemadores ideal con el fin de poner en práctica los conceptos básicos del mismo.

Quemadores de una llama o de un solo escalón. Su regulación es todo o nada se utiliza para pequeños quemadores hasta una potencia de 70 KW. Quemadores de dos llamas o dos escalones. La regulación que puede efectuarse es todo-parte-nada según funcionen una o dos boquillas o según la presión suministrada por el regulador de la bomba. Debe utilizarse para potencias superiores a 70KW. Quemadores de tres llamas, o de tres escalones. Cuando dispone de tres escalones de potencia Todo-mucho-poco-nada. Quemadores modulantes: para potencias del generador superiores a 800KW. La potencia se puede regular de forma continua, desde un mínimo indispensable para su funcionamiento y el 100% o máxima potencia.

Quemadores de combustibles líquidos o de pulverización mecánica. Cualquier quemador de estos tiene tres circuitos: hidráulico, neumático y eléctrico. Sus componentes son:

Bomba de combustible: que es del tipo de engranajes y cumple una doble misión, aspirar el combustible desde el depósito y suministra la presión suficiente para la pulverización del combustible en la boquilla para realizar una combustión perfecta. Boquilla: también llamado, chicler, tobera, inyector. Este es el último elemento del circuito hidráulicos puede considerar parte del cabezal de combustión. Ventilador: Su misión es aportar la cantidad de aire necesario para la combustión, en función del caudal de combustibles del tipo centrifugo para vencer las pérdidas de carga en el hogar de la caldera y en la chimenea y en el propio quemador, su eje es accionado por el motor, excepto en los grandes quemadores. Motor: su eje arrastra la bomba y generalmente el ventilador la tensión de utilización puede ser monofásico o trifásico.

Clapeta de Aire: es la compuerta para regular el caudal de aire que se introduce en el circuito neumático por la acción del ventilador, a veces es accionado por un pistón hidráulico. Programador: o caja de control: realiza las funciones de automatismo del quemador, para la secuencia de puesta en marcha, vigilancia de la continuidad de la combustión y de la seguridad de su funcionamiento. Cabezal de combustión: es la parte del quemador donde se realiza la mezcla de combustible+aire y se inicia la combustión, este componente tiene varios elementos:

Cono de llama: su situación relativa respecto al disco estabilizador variara las condiciones de turbulencia de la mezcla, frenando y comprimiendo el aire permitiendo una combustión perfecta con una llama estable.

Disco Estabilizador: tiene por misión darle un movimiento giratorio al aire en el sentido inverso que tiene el combustible al salir por la boquilla, para asegurar una buena mezcla entre ambos. Así mismo crea una diferencia de presiones entre sus caras para evitar los retornos de las llamas y la formación de una combustión con pulsaciones.

Electrodos de encendido: son dos varillas de acero, aisladas sobre un soporte de porcelana. Alimentados en alta tensión (10KV) por el transformador de alta sirven para con la chispa encender la mezcla van soportados por el porta electrodos para guardar la distancia adecuada. Transformador de encendido o alta: sirve para generar una alta tensión para que salte el arco eléctrico entre lo electrodos.

Electro válvula: el control de paso de combustible a presión hacia la boquilla se realiza generalmente con una electro válvula de dos vías que sin tensión permanecerá cerrada, (denominada normalmente cerrada) cuando aplicamos tensión se crea un campo magnético que atrae un vástago metálico abriendo el paso.

Fotocélula o célula foto eléctrica: generalmente es una resistencia eléctrica sensible a la luz su función es detectar si hay combustión o rescoldos candentes.

Programador, Caja de control o Centralita: componente que realiza el funcionamiento automático del quemador. La misión principal es la puesta en marcha o paro en función de la demanda, indicada por el termostato de trabajo vigilando en todo momento la seguridad del sistema, realizando las siguientes tareas: conectar la alimentación del quemador para hacer girar la bomba y el ventilador. Dar tensión al transformador de encendido para que salte la chispa

entre los electrodos, Dar tensión al electro válvula para su apertura, vigilar el proceso de encendido. En caso de producirse alguna anomalía durante el encendido o plena marcha para el funcionamiento de quemador interrumpiendo el paso de combustible, parando el motor.

Fases de la caja de control:

Fase 1: cuando el termostato de trabajo se cierra porque se demanda calor, se pone en marcha el motor y entra aire en el hogar para limpiar de gases de la anterior combustión, con el motor también se pone en marcha la bomba pero al estar la electro válvula cerrada este no pasa hacia la boquilla. En esta fase también se puede conectar el transformador de encendido con lo que empieza a saltar la chispa entre los electrodos, la fase es de 15 seg. aproximadamente.

Fase 2: encendido. El programador envía tensión a la electrovavula para abrirla a partir de ese instante sale combustible pulverizado por la boquilla se mezcla con el aire y la chispa lo enciende.

Fase 3: seguridad. Mediante la información recibida por la foto célula el programador detecta si se ha producido la combustión y si así es, desconecta el transformador y continua su funcionamiento con el motor en marcha y la electro válvula abierta hasta que el termostato de trabajo llegue a la temperatura establecida de corte en cuyo momento se para el quemador, cerrándose la electro válvula y parando el motor. Otras seguridades, además de la secuencia de arranque y paro el programador controla otras anomalías de funcionamiento como son: luz parasita, extinción de la llama, falta de tensión.

2.6. Estudio definitivo

Dadas las diferentes características del proceso de combustión y sus diferentes componentes, se debe de elegir las mejores características para automatizar el horno, permitiendo así escoger el mejor combustible y diseño de construcción, para que al momento de integrar las partes del mismo pueda generar la suficiente cantidad de aire que se necesita para que la combustión sea la mejor y sin desperdicio de merma, siendo también agradable para el ambiente que lo rodea mejorando su proceso; buscando darle el mantenimiento debido y constante para evitar costos innecesarios.

Es necesario aclarar, que para realizar los cambios a la automatización de los hornos, se requiere de una fuerte inversión, que muchas veces las empresas no pueden realizarlas, por la falta de capital o liquidez; además que muchas instituciones financieras (bancos, cooperativas, casa de préstamos, etc.) no prestan esas cantidades, si la empresa no cuenta con estados financieros aceptables. Todo este problema se deriva por el proceso artesanal que conlleva la fabricación de la cal, ya que se utiliza materiales rústicos y procesos muy largos para su obtención; en países industrializados la tecnología ha hecho que las calderas tengan mejores modificaciones y que los procesos sean de menor tiempo y con menos desperdicios, haciendo a un lado el trabajo artesanal de los caleros, dejando este oficio en el abandono.

Lo que se pretende realizar con este estudio, es mejorar los procesos de obtención de cal por medio de sistemas de combustión para nuevos hornos eficientes o de las adaptaciones que la tecnología ofrece para los hornos ya creados, haciendo de este un proceso menos tardado para los operarios y así obtener mejores resultados.

2.7. Ventajas del actual proceso

Los cambios tecnológicos que se prevén en las instalaciones están relacionados con el control de la contaminación medioambiental, como es el caso de la prohibición, a nivel mundial, del uso de determinados fluidos refrigerantes o la progresiva sustitución de determinados combustibles, produciéndose un desplazamiento en la utilización de sistemas de refrigeración en las aplicaciones industriales, así como en la utilización de equipos y sistemas de mejora de la eficiencia energética de las instalaciones.

Ventajas

- De fácil construcción y no se necesitan grandes extensiones de terreno.
- Bajo nivel de inversión.
- Permite un trabajo de tipo familiar.
- Conocimiento tradicional sobre su operación.

2.8 Desventajas del actual proceso

- Alto consumo de combustibles.
- Ineficiencia de la quema y bajo aprovechamiento del calor.
- No homogeneidad de la temperatura.
- Alta emisión de contaminantes.
- Baja producción y control de operación.
- Ciclos intermitentes y más lentos de cocción

2.9 Merma de calidad

El hecho de centrar su actividad en instalaciones térmicas de diversa índole (frío, climatización, agua, gas, etc.), y especialmente en los servicios prestados en el mantenimiento de las mismas requerirá, cada vez más, garantías de la fiabilidad y calidad en las intervenciones y un tiempo de actuación corto que aseguren la satisfacción de los clientes.

Es necesario destacar como hecho importante la situación de regulación administrativa de las actividades profesionales relacionadas con las instalaciones a la que el técnico tendrá que ajustarse en el desarrollo de su labor.

Además la merma de calidad es bastante alta debido al proceso artesanal de cocimiento de la piedra donde no se puede mantener una temperatura y conducción calorífica permanente; teniendo así mucho producto que no se transforma correctamente.

2.10 Mantenimiento de maquinaria

Este concepto, evaluación, el mismo se refiere a que maquinas, objetos, o equipamientos es al que se le va a aplicar algún tipo específico de mantenimiento. Se debe contar con algún método que permita determinar si le aplicará:

Mantenimiento por avería

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento predictivo

Mantenimiento correctivo

Mantenimiento alterno o combinado

De esta manera introducir en cada una de estas formas, tipos, o clases de mantenimiento a aplicar, según corresponda en cada caso, y luego evaluar cual corresponde aplicar según el caso del objeto de que se trate.

3. PROPUESTA, MODELO A IMPLANTAR

3.1. Cálculo de los ventiladores

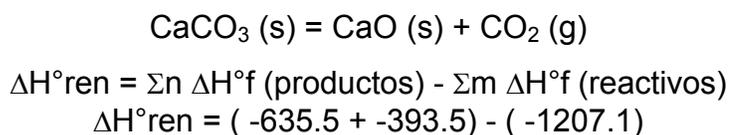
Para determinar la capacidad del ventilador (caudal) para un sistema, se tienen que sumar los caudales máximos de todos los ramales del sistema.

Para determinar la presión del ventilador requerida del sistema, se tienen que sumar las caídas de presión del sistema del ramal crítico (el más grande o el que posea caídas de presión más elevada). Estas pérdidas o caídas de presión deben estar basadas en el caudal máximo proyectado.

3.2. Caudal volumétrico de los ventiladores

Se define el cambio estándar de formación de la reacción de calcinación a partir de los valores de calores estándar de formación. Ya que se puede determinar el cambio estándar de entalpía para cualquier reacción utilizando los calores estándar de formación y la ley de Hess, se suman los calores de formación de todos los productos, cuidando de multiplicar cada calor molar de formación por el coeficiente que esa sustancia tenga en la ecuación balanceada. Posteriormente se resta la suma de los calores de formación de los reactivos.

Para la transformación del carbonato de calcio en óxido de calcio y dióxido de carbono se tiene la siguiente ecuación:



$$\Delta H^{\circ}_{\text{ren}} = 178.6 \text{ KJ / mol CaCO}_3$$

Se observa que el calor de reacción es positivo; esto significa que el sistema absorbe calor y la reacción es endotérmica.

Posteriormente se determina la cantidad de kilogramos que tiene un mol de CaCO_3 .

Tabla III. Calculo de masa molar de 1 mol de CaCO_3

Elemento	Moles	Peso Molar (kg)	Total Masa Molar (kg)
Ca	1	40.078	40.078
C	1	12.011	12.011
O	3	15.9994	47.9982
TOTAL			100.0872

Una vez determinado los kilogramos por mol de CaCO_3 se calcula la cantidad de kilogramos o tamaño de lote de producción óptimo que se requiere calcinar.

Energía Necesaria por unidad de tiempo = Tamaño de lote de producción (kg de CaCO_3 / h) *

$$(1\text{mol CaCO}_3 / 100.0872 \text{ kg CaCO}_3) * (178.6 \text{ KJ / mol CaCO}_3) (\text{KJ / h})$$

En el paso anterior se multiplicó los kilogramos de CaCO_3 que se necesitan producir por unidad de tiempo por el peso en kilogramos de una mol de CaCO_3 con esto se determina la cantidad de energía en KJ por hora que se requieren para poder realizar el proceso de calcinación en el horno de cal.

Una vez determinada la cantidad de energía por unidad de tiempo que se requiere para poder calcinar la piedra caliza se analiza que combustible se utilizará para el funcionamiento del horno; una vez decidido el combustible a utilizar se determina el poder calorífico del combustible, la energía necesaria por unidad de tiempo que se determinó con anterioridad se divide entre el poder calorífico del combustible para obtener la masa de combustible por unidad de tiempo que se necesitan quemar para desarrollar dicho proceso.

$$\text{Gasto másico de combustible} = \text{Energía necesaria por unidad de tiempo} / \text{poder calorífico del Combustible}$$

Antes de continuar se deben introducir ciertos conceptos de mucha importancia relacionados con la combustión.

Jones (1997) señala también que los combustibles normalmente consisten en carbono, hidrógeno y azufre ya que estos constituyentes se queman en presencia del oxígeno. La cantidad de aire que se requiere para quemar completamente una unidad de combustible se conoce como aire estequiométrico. Por otro lado Jones señala que el aire suministrado que excede al necesario para quemar por completo el combustible se llama aire en exceso.

Ahora se debe determinar la cantidad de aire u otro oxidante requerido para quemar completamente el combustible que se utilizará y esto se realiza por medio de un balance de masa de la combustión.

Existen dos tipos de combustión: ideal y real. La combustión ideal siempre es completa, la real es incompleta. Según Jones (1997), los cálculos de balances de masa para combustión ideal se hacen por lo general a priori (antes

del hecho), conociendo sólo los reactantes por lo tanto no se requiere información adicional.

Por otro lado, los balances de masa para los procesos de combustión reales, que son idénticos en principio, normalmente requieren algunos datos relativos a los productos y por lo tanto se hacen a posteriori (después del hecho) y se utilizan para determinar a partir de un análisis de productos de un proceso de combustión real la cantidad de aire que realmente se tiene que suministrar.

A continuación se muestra un balance de combustión ideal utilizando Bunker C como combustible, otros combustibles utilizados pueden ser cascarilla de café, gas, carbón, entre otros.

Según las normativas del Ministerio de Energía y Minas el combustible Fuel Oil No. 6 o Bunker C debe cumplir con las siguientes especificaciones.

Se compara con otras fuentes donde se indican los análisis elementales del Bunker C para Centro América se tiene que el combustible debe estar en los siguientes parámetros.

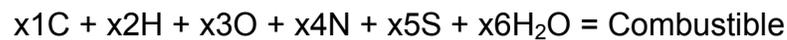
Tabla IV. Parámetros de elementos Bunker C

Elemento	Mínimo *	Máximo *
Carbono	84.67	87.26
Hidrogeno	10.49	11.02
Oxigeno	0.38	0.64
Nitrógeno	0.18	0.28
Azufre	2.8	3
Agua		

* Porcentaje en masa

Por medio del balance de masa de combustión ideal se logrará determinar la cantidad de aire que se requiere para quemar el combustible, la cantidad de gases de combustión que produce la quema del combustible y la temperatura de los gases de combustión.

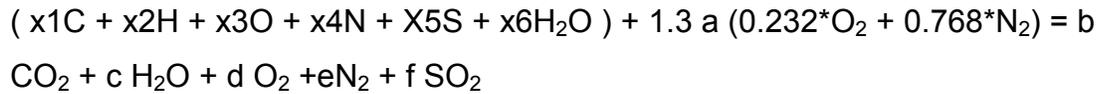
Según el Sr. Martínez de SEIGUA (2004) el aire de combustión en un horno debe realizarse con un 30% de exceso. Suponiendo X_1 igual al porcentaje en masa de Carbono en el combustible, X_2 porcentaje en masa de hidrogeno en el combustible, X_3 porcentaje de oxígeno en masa en el combustible, X_4 porcentaje en masa de nitrógeno en el combustible, X_5 porcentaje de azufre en masa en el combustible X_6 porcentaje del agua en masa en el combustible se tiene lo siguiente:



Balanceando la ecuación:

Tabla V. Balanceo de ecuación aire combustión en horno

MOLES DE REACTANTES		MOLES DE PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN IDEAL				
Elemento	Porcentaje	C	H	O	N	S
C	X_1	X_1		$2 * X_1$		
H	X_2		$2 * X_2$	X_2		
O	X_3			$2 * X_3$		
N	X_4				$2 * X_4$	
S	X_5			$2 * X_5$		X_5
H ₂ O	X_6		$2 * X_6$	X_6		



Donde:

b = masa de CO₂ (kg)

c = masa de H₂O (kg)

d = masa de O₂ (kg)

e = masa de N₂ (kg)

f = masa de SO₂ (kg)

Combustible + aire de combustión = productos

Realizando el análisis volumétrico:

Tabla VI. Análisis volumétrico aire de combustión

	Masa/kg combustible	Masa Molar	Moles / kg Combustible	Análisis Volumétrico
C	x ₁	12.011	x ₁ / 12.011	(x ₁ / 12.011) / TOTAL
H	x ₂	1.0079	x ₂ / 1.0079	(x ₂ / 1.0079) / TOTAL
S	x ₃	32.06	x ₃ / 32.06	(x ₃ / 32.06) / TOTAL
O	x ₄	15.9994	x ₄ / 15.9994	(x ₄ / 15.9994) / TOTAL
N	x ₅	14.0067	x ₅ / 14.0067	(x ₅ / 14.0067) / TOTAL

Donde:

$$TOTAL = (x_1/12.011) + (x_2/1.0079) + (x_3/32.06) + (x_4/15.9994) + (x_5/14.0067)$$

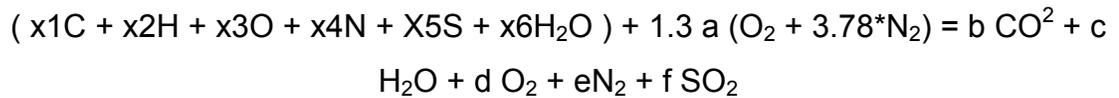
Suponiendo X1 igual al porcentaje en volumen de carbono en el combustible, X2 porcentaje en volumen de hidrogeno en el combustible, X3 porcentaje de oxígeno en volumen en el combustible, X4 porcentaje en volumen de nitrógeno en el combustible, X5 porcentaje de azufre en volumen en el

combustible, y X6 porcentaje del agua en volumen en el combustible, se tiene lo siguiente:

Balanceando la ecuación:

Tabla VII. Balanceo ecuación agua en combustión del horno

MOLES DE REACTANTES		MOLES DE PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN IDEAL				
Elemento	Porcentaje	C	H	O	N	S
C	x ₁	x ₁		2 ^x x ₁		
H	x ₂		2 ^x x ₂	x ₂		
O	x ₃			2 ^x x ₃		
N	x ₄				2 ^x x ₄	
S	x ₅			2 ^x x ₅		x ₅
H ₂ O	x ₆		2 ^x x ₆	x ₆		



Donde:

b = moles de CO₂ (kg)

c = moles de H₂O (kg)

d = moles de O₂ (kg)

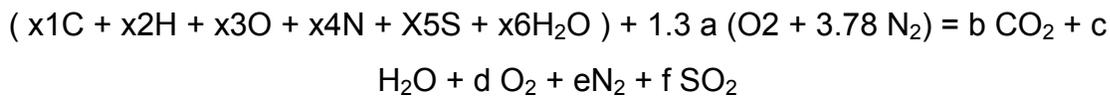
e = moles de N₂ (kg)

f = moles de SO₂ (kg)

3.2.1 Temperatura de los gases de combustión

Ahora se estima la temperatura de productos finales de combustión. Primero se establece la ecuación química para la combustión completa con 30 por ciento de exceso de aire.

Suponiendo X1 igual al porcentaje en volumen de carbono en el combustible, X2 porcentaje en volumen de hidrogeno en el combustible, X3 porcentaje de oxígeno en volumen en el combustible, X4 porcentaje en volumen de nitrógeno en el combustible, X5 porcentaje de azufre en volumen en el combustible X6 porcentaje del agua en volumen en el combustible se tiene lo siguiente:



Donde:

$$a = (2x_1 + (1/2)x_2 + 2x_5 - x_3) / 2$$

$$b = x_1$$

$$c = (1/2)x_2 + x_6$$

$$d = (x_3 + x_6 + 1.3(2x_1 + (1/2)x_2 + 2x_5 - 2x_3) - 2x_1 - (1/2)x_2 - x_6 - 2x_5) / 2$$

$$e = (1/2)x_4 + 2.457(2x_1 + (1/2)x_2 + 2x_5 - x_3)$$

$$f = x_5$$

Se calculan los pesos relativos de los reactivos y productos del proceso de combustión, siendo el peso relativo igual al número de moles por el peso molecular.

Tabla VIII. Calculo de pesos relativos de reactivos en proceso de combustión

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	% DE MOL	PESO RELATIVO
C	12.011	x_1	$12.011 \cdot x_1$
H	1.0079	x_2	$2.0158 \cdot x_2$
O	15.9994	x_3	$31.9988 \cdot x_3$
N	14.0067	x_4	$28.0134 \cdot x_4$
S	32.06	x_5	$32.06 \cdot x_5$
H ₂ O	18.0152	x_6	$18.0152 \cdot x_6$

Tabla IX. Calculo de pesos relativos de productos en proceso de combustión

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	NUMERO DE MOLES	PESO RELATIVO
CO ₂	44.0098	B	$44.0098 \cdot b$
H ₂ O	18.0152	C	$18.0152 \cdot c$
O ₂	31.9988	D	$28.0134 \cdot d$
N ₂	28.0134	E	$64.0588 \cdot e$
SO ₂	64.0588	F	$31.9988 \cdot f$

Después se calculan los pesos relativos de los productos de combustión sobre la base de un peso de combustible relativo por unidad

Tabla X. Calculo de pesos relativos de productos en proceso de combustión sobre peso relativo por unidad

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	NUMERO DE MOLES	PESO RELATIVO PRODUCTOS POR PESO RELATIVO DE COMBUSTIBLE
CO ₂	44.0098	B	$44.0098^b / (12.011^*x_1 + 1.0079^*x_2 + 15.9994^*x_3 + 14.0067^*x_4 + 32.06^*x_5 + 18.0152^*x_6)$
H ₂ O	18.0152	C	$18.0152^c / (12.011^*x_1 + 1.0079^*x_2 + 15.9994^*x_3 + 14.0067^*x_4 + 32.06^*x_5 + 18.0152^*x_6)$
O ₂	31.9988	D	$31.9988^d / (12.011^*x_1 + 1.0079^*x_2 + 15.9994^*x_3 + 14.0067^*x_4 + 32.06^*x_5 + 18.0152^*x_6)$
N ₂	28.0134	E	$28.0134^e / (12.011^*x_1 + 1.0079^*x_2 + 15.9994^*x_3 + 14.0067^*x_4 + 32.06^*x_5 + 18.0152^*x_6)$
SO ₂	64.0588	F	$64.0588^f / (12.011^*x_1 + 1.0079^*x_2 + 15.9994^*x_3 + 14.0067^*x_4 + 32.06^*x_5 + 18.0152^*x_6)$

Se calcula la temperatura del producto final. Como el horno está aislado el proceso de combustión se considera adiabático. Por lo tanto, sobre la base de una masa de combustible por unidad, el valor calorífico del combustible (HV) es igual al contenido de energía correspondiente a los productos.

$$1^* HV \text{ Combustible} = (\text{peso relativo CO}_2 * Cp \text{ CO}_2) + (\text{peso relativo H}_2\text{O} * Cp \text{ H}_2\text{O}) + (\text{peso relativo O}_2 * Cp \text{ O}_2) + (\text{peso relativo N}_2 * Cp \text{ N}_2) + (\text{peso relativo SO}_2 * Cp \text{ SO}_2) * (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}})$$

En Guatemala el valor mínimo del poder calorífico del bunker C es 39,628.06 KJ/kg. Ahora se realizan los cálculos de Cp de productos a una temperatura de 60°C; que es la temperatura inicial.

Tabla XI. Calculo del Cp de los productos a temperatura de 60 °C

	Cp (Kcal/molK)	Temperatura	Cp (KJ/KgK)
CO ₂	10.1524067	333.15	0.985832527
H ₂ O	8.488092178	333.15	1.972199827
O ₂	7.157071975	333.15	0.938448521
N ₂	6.89	333.15	1.030229834
SO ₂	9.655404454	333.15	0.831084699

Se realiza la maximización de la temperatura de los gases después de la combustión del bunker C, con los parámetros o porcentajes de masa dados por el Ministerio de Energía y Minas y los estándares señalados para esta área, y se tiene que corriendo el programa de maximización se obtiene las temperaturas máxima y mínima, así como los caudales de aire necesario para la combustión de un kg de combustible máximo y mínimo con los siguientes resultados:

Tabla XII. Tabla de temperaturas y caudales máximos y mínimos, para la combustión de un Kg. de combustible

T max (K)	3,106.13679
T min (K)	3,015.45455
CFM m ³ /min (pies ³ /min) max	0.159 (5.63263)
CFM m ³ /min (pies ³ /min) min	0.1568 (5.53981)

A continuación se presentan los porcentajes en masa de cada elemento para obtener las temperaturas máximas y mínimas, así como los metros cúbicos de aire máximos y mínimos que se necesitan para realizar la combustión por kg de combustible.

Tabla XIII. Porcentajes de elementos en combustible Bunker C

PORCENTAJE DE ELEMENTO EN COMBUSTIBLE BUNKER C							
	C	H	O	N	S	Agua	Total
T max	0.847	0.105	0.006	0.002	0.028	0.012	1
T min	0.855	0.11	0.004	0.002	0.028	0.001	1
CFM max	0.859	0.105	0.004	0.002	0.029	0.001	1
CFM min	0.847	0.105	0.006	0.002	0.028	0.012	1

3.3. Caída de presión en el sistema

En tiro natural, la chimenea es la encargada de producir la aspiración necesaria para que los gases puedan vencer las resistencias que encuentran, en su camino, a través de toda la instalación, circulando con velocidad aceptable y abandonen la chimenea con suficiente energía para alcanzar regiones elevadas de la atmósfera con el fin de no perjudicar a las personas.

Es importante recordar que a igualdad de temperatura y presión los gases de la combustión y el aire tienen prácticamente el mismo peso específico. Los gases que llenan la chimenea se encuentran a mayor temperatura que la del aire atmosférico; por consiguiente, el empuje hacia arriba que recibe la columna de gases calientes que es igual al peso del volumen de aire que desaloja será superior a su peso y en consecuencia, esa columna gaseosa

estará animada de movimiento ascendente. Como en virtud del diseño de la instalación, a medida que salen gases por la chimenea entra aire al hogar, el movimiento resulta continuo y se establece así la corriente gaseosa que constituye el tiro natural.

3.3.1. Diseño de los ductos

Cuando en un conducto por el que circulan humos o gases de la combustión la presión es superior a la atmosférica, se dice que dicho conducto se encuentra en presión, por el contrario, cuando su presión es menor que la atmosférica se halla en depresión.

3.3.1.1 Tipos de aislamiento

Morteros y cementos: consisten en polvos ó gránulos los cuales al mezclarse con agua adquieren plasticidad y adhesividad permitiendo ser arrojados ó soplados a la superficie por aislar siendo adecuados para cubrir superficies irregulares.

Flexibles ó semi-rígidos: estos materiales varían en sus grados de compresibilidad y flexibilidad siendo generalmente en forma de placas, colchonetas ó preformados y se disponen en forma de hojas, rollos, medias cañas, en diferentes tipos de formas y densidades, orgánicos e inorgánicos, con superficies con barrea de vapor, reflectivas ó dependiendo de su ubicación ó lugar de instalación, terminadas con tratamiento a prueba de intemperie ó para resistir abusos mecánicos. Su espesor, dimensiones ó forma de presentación permiten un manejo y facilidad de aplicación. Sin embargo medidas estándar

son generalmente usadas. Los materiales más comunes son la fibra de vidrio, los poliestirenos expandidos los elastómeros y la lana mineral.

Para el aislamiento interior de ductos se usa las placas fabricadas con largas fibras de vidrio de alta densidad comprimidas con una resina termoendurecida con acabado resistente a la erosión y al fuego logrando un aislamiento térmico y acústico que evita la propagación del ruido de los equipos y del flujo del aire. Se debe utilizar en los ductos que conectan a los equipos y en los sistemas de alta velocidad. Se debe tener cuidado cuando se utilice éste aislamiento, en señalar que las dimensiones del ducto respectivo son interiores tomando en cuenta el espesor del aislamiento.

Rígidos: estos materiales se encuentran disponibles en forma de bloques u hojas en tamaños estándar y se utilizan para el aislamiento de grandes tanques, hogares ó tuberías de gran tamaño. Por las últimas investigaciones, queda prohibido el uso del asbesto por ser cancerígeno.

Formados en sitio: estos son normalmente espumas de poliestireno ó poliuretano que se aplican en forma de rocío sobre las superficies formando un aislamiento de espuma rígida ó semi-rígida.

Materiales accesorios: para los aislamientos se incluyen: elementos de fijación, adhesivos, barreras de vapor, selladores y terminados a prueba de intemperie y contra abusos mecánicos.

Propiedades

Conductividad térmica: la habilidad de un material para retardar el flujo de calor, está dado por su conductividad térmica o conductancia. Un material

con una baja conductividad térmica es un material aislante y dependiendo de su valor, es la eficiencia del mismo. Por lo tanto el diseñador debe consultar los datos obtenidos en pruebas de laboratorio que proporcionan los diferentes fabricantes, para determinar el tipo, espesor, densidad y la temperatura de operación del aislamiento que va considerar y tomarlo en cuenta en sus cálculos

Resistencia a diferentes cargas: algunos aislamientos no tienen suficiente resistencia a cargas concentradas, cargas de compresión, al corte a la tensión ó a la intemperie, por lo que se debe especificar el acabado de los mismos de acuerdo a su ubicación y a los elementos a que estén expuestos.

Resistencia a la intemperie y medio ambiente: los aislamientos térmicos deben ser resistentes a su descomposición por formación de bacterias, hongos ó provocar enfermedades como el caso del asbesto, prevenir ó retardar el fuego, resistir la erosión, puesto que las partículas arrastradas por el aire provocan irritación en la piel, ser inodoros, no retener ó absorber olores, ser dimensionalmente estables, resistentes a la acción de los químicos, tener buena resistividad eléctrica, atenuar los ruidos, absorber las vibraciones y no producir humos tóxicos.

Limitaciones para el uso de aislamientos: queda restringido el uso de poliestirenos y elastómeros en el interior de los edificios por ser combustibles.

Barreras de vapor

Dependiendo de las condiciones de operación ó del ambiente que lo rodea, la presencia de humedad ó hielo en un aislamiento, disminuyen sus propiedades y lo llegan a destruir. Por lo cual se requiere de una barrera de

vapor, y que generalmente consiste en una película de aluminio en capas traslapadas y selladas perfectamente. Los conductos de fluidos calientes no requieren de barrera de vapor.

Aislamientos en el exterior de los ductos

Para el aislamiento de los ductos de Aire Acondicionado, se utiliza la colchoneta de fibra de vidrio con una densidad de 16 K./m³ (1 libra por pie cúbico). Si la dimensión del lado mayor del ducto excede los 100 cm. se deberán utilizar accesorios de fijación (clips) ó placas de una densidad de 24 K./m³ (1.5 lb. /pie³) de densidad para evitar el abolsamiento del aislamiento.

Aislamientos para aire caliente: los ductos que conducen aire caliente para calefacción se deben aislar con colchoneta de fibra de vidrio y cubiertos con papel kraft para proteger su superficie.

Aislamientos para aire frío: los ductos que conducen aire frío se deben aislar con colchoneta de fibra de vidrio y recubrir con una barrera de vapor de papel kraft y aluminio de 0.025 mm (0.001”) de espesor con un traslape de 50 mm sellado en sus juntas. Es recomendable el uso de la colchoneta de fibra de vidrio integrada con el papel kraft y el papel aluminio reforzado, con cinta en sus uniones, pues es más económica, resistente, fácil de aplicar y tiene una apariencia más uniforme.

Aislamientos para ventilación y enfriamiento evaporativo: estos ductos no se deben aislar, solo deben sellarse en sus uniones

Aislamientos para chimeneas y extracción de cocinas: se debe emplear colchoneta armada de lana mineral de 50 mm (2") de espesor. Terminados con cemento monolítico.

Acabados

Acabados para ductos expuestos a la intemperie: además de su aislamiento respectivo, se deben cubrir con una capa de manta, sellador en toda su superficie y terminados con pintura vinílica.

Acabados para ductos expuestos a abusos mecánicos: además del aislamiento respectivo, se deben cubrir con una protección de metal desplegado de 0.6 Kg./m² y una capa de cemento monolítico de 6 mm de espesor.

Espesores

Espesores de aislamientos para ductos interiores: el espesor del aislamiento para ductos instalados en los interiores de los edificios debe ser de 25.4 mm (1") y una densidad de 24 Kg./m³ (1.5 lb./pie³) y debe tener un recubrimiento de neopreno para evitar su erosión.

Espesores de aislamientos para ductos exteriores: el espesor del aislamiento para ductos instalados en los exteriores de los edificios, debe ser de 51 mm.

Especificaciones técnicas para aislamientos en el interior de los ductos.

Velocidades y temperaturas permisibles: el uso del aislamiento en el interior de los ductos tiene un doble propósito: como aislamiento térmico y como

aislamiento acústico, con la función de absorber ruidos indeseables ocasionados por el flujo de aire, por vibraciones y por los propios equipos. Se debe utilizar en ductos que operan con una velocidad del aire mayor a 30.5 m/seg. (6,000 pie/min.) Con temperaturas hasta de 1200 °C (2480 °F).y en los ductos que conectan a los equipos, en una longitud de 5.00 m a partir de éstos.

Al especificar éste tipo de aislamiento, de debe indicar que la dimensión del ducto es libre en el interior del mismo, sin tomar en cuenta el espesor de dicho aislamiento.

Conductividad térmica: debe cumplir con las normas ASTM 1071 tipo: I ó II; tener mínimo valor de NRC de 0.45 ó 0.55 y tener una conductividad térmica (k) a 240 °C (750 °F) de 0.31 ó 0.27 y cumplir con la norma NFPA 90A y 90B.

Procedimientos para su aplicación: la aplicación de este aislamiento debe ser, cortándolo con precisión para un perfecto ajuste de sus juntas, evitando que existan interrupciones ó protuberancias. Se debe adherir al ducto procurando que el adhesivo cubra el 90% de la superficie. Se deben utilizar sujetadores (clips) cuya longitud no permita que el aislamiento se comprima más del 10 %. Deben utilizarse ángulos sujetadores en sus juntas transversales para evitar daños al aislamiento, cuando la velocidad del aire exceda los 20.3 m/seg. (4,000 pie/min.).

3.3.1.2 Tipos de accesorios

Aislamientos en tuberías

Para los aislamientos de tuberías de aire acondicionado, se utilizan varios tipos, pudiendo ser en medias cañas preformadas, tubos preformados ó para diámetros mayores en forma de colchoneta, ó en placas seccionadas y adaptadas al diámetro de la tubería. Los materiales normalmente utilizados son la fibra de vidrio, el poliestireno expandido y los elastómeros, en diferentes formas, medidas y densidades, con ó sin barrera de vapor integral.

Aislamientos de tuberías para fluidos calientes: las tuberías que conducen fluidos calientes se aislarán con medias cañas preformadas de fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico y moldeadas para ajustarse a la superficie de la tubería de medidas comerciales tanto de fierro como de cobre, con una densidad de 80 Kg./m^3 (5 lb./pie^3).

Aislamientos de tuberías para fluidos fríos: las tuberías que conducen fluidos fríos se aislarán con medias cañas preformadas de fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico y moldeadas para ajustarse a la superficie de la tubería de medidas comerciales tanto de fierro como de cobre, con una densidad de 80 Kg./m^3 (5 lb./pie^3) cubriéndolo con una barrera de vapor. Esta barrera de vapor consiste en una cubierta de papel kraft asfaltado, película de aluminio de 0.025 mm ($0.001''$) de espesor y refuerzo de fibra de vidrio. Las medias cañas de poliestireno expandido con una densidad de 16 Kg. /m^3 (1 lb. /pie^3) y los tubos de elastómeros con una densidad de 32 Kg./m^3 (2 lb./pie^3) solo pueden ser utilizadas en tuberías instaladas en los exteriores de los edificios.

Acabados del aislamiento de tuberías.

a. Tuberías instaladas en el interior de los edificios.

- Para fluidos calientes. Además del aislamiento respectivo, debe dejarse la cubierta de manta con dos manos de pintura vinílica como acabado final.

- Para fluidos fríos. Además del aislamiento respectivo, el terminado final será con una barrera de vapor. Sellando debidamente sus juntas

- Tuberías instaladas en el exterior de los edificios.

Además del acabado indicado, deben protegerse con un recubrimiento rígido de lamina de aluminio lisa ó corrugada de calibre 32 con traslapes de 51 mm, sujetas con flejes ó remaches pop. En el caso de la lámina lisa, las juntas ó perforaciones, deben estar perfectamente selladas.

3.4 Perdidas de carga en el sistema

En un sistema de conductos que comienzan en la succión del horno y termina en la boca de la chimenea, los gases encuentran diversas resistencias que se oponen a su movimiento y que son la causa de pérdidas de presión. Las principales pérdidas que se deben tomar en cuenta para este diseño son:

3.4.1 Pérdida en chimenea del horno

Si se admite que la velocidad v del gas que se mueve en la chimenea al desembocar en la atmósfera se anula, la presión dinámica $v^2/2g$ también se anulará produciéndose una pérdida de carga cuyo valor está dado por:

$$n = \gamma * (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

En la cual el factor de pérdida de carga es igual a uno.

3.4.2 Pérdida en entrada al horno

En esta se puede admitir que el aire que se mueve a través de la puerta del cenicero, a la velocidad v , se encuentra en reposo en la sala o ambiente del horno, en consecuencia, la caída de presión, a través de dicha puerta, está dada por:

$$\text{Caída de presión por puerta o entrada de aire} = J_p \gamma * v^2/2g$$

Donde:

J_p = es el factor de pérdida de carga

v = es la velocidad del gas m/s,

γ = peso específico del gas en (N/m³)

El Valor de J_p se puede tomar igual a 0.45. Esta pérdida normalmente es más pequeña que en el cálculo de la caída total de carga en el sistema, y se puede prescindir de él.

3.4.3 Pérdida por frotamiento contra las paredes de los conductos

La pérdida de presión por frotamiento en los conductos de humo depende de la velocidad del gas, del peso específico de este último y de la rugosidad de las paredes. Dos tipos de pérdida de energía en sistemas de ductos provocan que la presión disminuya a lo largo de la trayectoria del flujo. Las pérdidas por fricción se presentan a medida que el aire fluye a través de accesorios tales como T y Y y por medio de dispositivos de control de flujo. La pérdida por fricción puede estimarse utilizando la ecuación de Darcy para flujo turbulento

$$hL = f * (L/D) * (v^2/2g)$$

No se puede determinar el factor de fricción “f” mediante un simple cálculo como se realiza en flujo laminar pues el flujo turbulento no se conforma de movimientos regulares y predecibles. Este flujo es caótico y está cambiando constantemente.

Por esto se utilizan datos experimentales para determinar el valor de “f”. El número adimensional “f” depende de otros dos números, también adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto. Según Mott (1996), ésta última es el cociente del diámetro “D” del conducto entre la rugosidad promedio, “E” de la pared del conducto como la altura de los picos de las irregularidades superficiales. La condición de la superficie del conducto depende bastante del material con que está hecho el conducto y el método de fabricación.

Uno de los métodos más extensamente empleados para evaluar el factor de fricción hace uso del diagrama de Moody. Este diagrama muestra el factor de fricción f, graficado contra el número de Reynolds NR con una serie de

curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa “D/E”. Es importante señalar que la mayoría de autores definen en forma inversa la rugosidad relativa por lo que se tendrá que utilizar gráficas que sean consistentes con la definición de rugosidad relativa que se haya escogido.

Sin embargo se han preparado tablas por parte de la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) para las condiciones típicas encontradas en el diseño de conductos.

Pérdida de carga a través del horno: la resistencia al flujo de un fluido a través de los huecos de un lecho de sólidos, es la resultante del frotamiento total de todas las partículas del lecho. Dependiendo del número de Reynolds el flujo puede ser laminar o turbulento y puede haber frotamiento de forma, separación y formación de estela. Igual que en frotamiento debido a una única partícula sólida, no hay transición brusca entre el flujo laminar y turbulento, como ocurre para el caso de flujo a través de conducciones de sección transversal constante.

La caída de presión en el lecho puede calcularse con la ecuación de Ergun quien ha correlacionado datos experimentales para determinar la siguiente ecuación:

$$\Delta p = [(150(1-\varepsilon)/(\phi_s D_s V_o \rho/\mu)) + 1.75] * [(L \rho V_o^2 * (1-\varepsilon)) / (g_c \phi_s D_s \varepsilon^3)]$$

Donde:

ε = depende de la forma y la distribución de tamaños de las partículas, la relación entre el diámetro de las partículas y el diámetro del lecho, así como del método utilizado para formar el lecho de partículas. Habitualmente se determina

midiendo la cantidad de agua que se requiere para rellenar los huecos del lecho y comparando con el volumen total calculado para el lecho. Si las partículas son porosas, habrá que descontar el agua retenida por las partículas de forma que representa la fracción externa de huecos del lecho.

ϕ_s = es la esfericidad. El diámetro equivalente de una partícula no esférica se define como el diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen que la partícula. La esfericidad es la relación entre la superficie de esta esfera y la superficie real de la partícula.

D_s = diámetro medio superficial de la mezcla; este diámetro medio puede calcularse a partir del número de partículas N_i en cada intervalo de tamaños, o a partir de la fracción de masa x_i en cada intervalo de tamaños.

$$D_s = \frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i^3}{\sum_{i=1}^n N_i D_i^2}$$

que es llamada la ecuación de Blake – Plummer

V_o = se denomina con frecuencia velocidad superficial o de torre vacía y corresponde a la velocidad de ascenso o descenso en la sección situada debajo de la rejilla o bien en la torre vacía por encima del lecho

L = longitud o altura del lecho.

ρ = densidad del aire.

μ = viscosidad dinámica del aire.

3.4.4 Pérdida en los Intercambiadores de Calor

Para este caso se pueden obtener del fabricante del aparato los valores de la pérdida de carga para distintos regímenes de funcionamiento. Según Izard (1995) pueden aceptarse los valores siguientes para una combustión de 80 a 100 kg/m²h.

EQUIPO	CAIDA EN mm H ₂ O
Calentador de aire	5 a 15

Las resistencias ofrecidas por estos haces tubulares se pueden calcular también, en base a las ecuaciones de Reihher y de Fritsche. En el caso de los calentadores aletados se puede aplicar la ecuación de Munzinger:

$$nf = J_f \cdot \gamma \cdot (p/S) \cdot L \cdot (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

o también:

$$nf = a_f \cdot \gamma \cdot (p/S) \cdot L \cdot (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

En las ecuaciones anteriores:

J_f = es el factor de pérdida de carga.

p = es el perímetro de la sección del conducto (m)

S = Es el área de la sección (m²)

L = longitud del conducto (m)

De la tabla que se muestra a continuación se pueden obtener los valores de J_f y a_f respectivamente. En general esta pérdida de carga es bastante pequeña y se la puede despreciar.

Tabla XIV. Tabla de factores de pérdida de carga Jf y af

Características del conducto	Jf	af
Secciones grandes y medianas (> de 0.1 m ²):		
Con paredes lisas y pulidas	0.006	0.0003
Con paredes rugosas y sucias de hollín	0.007	0.00035
Secciones pequeñas (< de 0.1 m ²):		
Con paredes lisas y pulidas	0.01	0.0005
Con paredes rugosas y sucias de hollín	0.012	0.0006

3.4.5 Pérdida por cambio de dirección de la corriente gaseosa

Se pueden presentar dos casos:

- 1) Cambio brusco de dirección.
- 2) Cambio paulatino.

Cambio brusco de dirección: la caída de presión depende del ángulo alfa de desviación que afecta el valor de J.

$$n = J * \gamma * (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

Figura 2. Cambio de dirección del flujo según ángulo α



Cambio de dirección de flujo (α°)

Tabla XV. Valores de α° respecto al ángulo del cambio de sección

α°	Jcb	α°	Jcb
10	0	90	1.55
20	0.05	100	1.9
30	0.12	110	2.35
45	0.33	120	2.8
60	0.6	130	3.4
75	1.05	135	3.6

Cambio paulatino de dirección: en general los dos tramos del conducto se unen entre sí con un arco de circunferencia

$$n = J * \gamma * (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

J se puede considerar casi independiente del ángulo de desviación pero varía con la relación r/d , siendo r el radio medio de la unión si es de sección circular o el ancho de aquélla (en el plano de la curvatura) si es de sección rectangular.

3.4.6 Pérdida en los registros o reguladores de tiro

Cuando estos registros están completamente abiertos no ofrecen resistencia alguna al movimiento del gas, es decir, que el factor de pérdida es $J = 0$. En cambio, si se encuentran parcialmente cerrados, deben considerarse como una contracción brusca seguida de un ensanchamiento también brusco. La velocidad del gas es v a ambos lados del registro y la pérdida de presión será expresada así:

$$h = J * \gamma * (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

J varía con la relación A entre la sección total S del conducto y la sección s libre para el paso de los gases, $A = s/S$. De la siguiente tabla se pueden obtener los valores de J :

Tabla XVI. Valores de cambio de sección (A) respecto al factor de pérdida

Ar	Jr	Ar	Jr
1	0	0.3	14.1
0.8	0.15	0.25	20.8
0.6	1.8	0.2	30
0.5	3.8	0.15	51
0.4	7.3	0.1	126

3.5 Disminución brusca de sección

Pérdida de carga por cambio de sección: se presentan dos casos: 1) El conducto disminuye de sección y 2) El conducto aumenta de sección. En ambos casos el cambio de sección puede ser brusco o con la interposición de un tramo troncocónico.

Disminución brusca de sección: la velocidad del gas aumenta desde v_1 a v_2 y la caída de presión se expresa en forma similar a la de los casos ya considerados es decir

$$n = J * \gamma * (v_2/2g)$$

A continuación se presentan los valores de J_{db} n función de la relación de las secciones del conducto.

Tabla XVII. Valores de J_{db} en función de la sección del conducto

Relaciones de secciones S_1/S_2	Valores de J_{db} para α igual a:				
	90° disminución brusca	75°	60°	45°	30°
1	0	0	0	0	0
1.5	0.055	0.044	0.028	0.019	0.008
2	0.12	0.096	0.06	0.04	0.02
3	0.21	0.17	0.11	0.07	0.03
4	0.29	0.23	0.15	0.1	0.04
6	0.4	0.32	0.2	0.14	0.06
8	0.44	0.35	0.22	0.15	0.07
>8	0.45	0.36	0.23	0.16	0.07

Disminución brusca de sección pero a través de un tronco de cono: la pérdida de carga es ahora menor, debiendo utilizarse, para el cálculo de la pérdida de carga los valores de J de las columnas 3 a 6 de la tabla anterior, de acuerdo el valor del ángulo alfa. Cuando alfa es menor a 15° la pérdida de carga es prácticamente nula.

3.6 Aumento brusco de sección

Ahora la velocidad del gas disminuye y:

$$n = J * \gamma * (v^2/2g) \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

Aumento de sección pero a través de un tramo tronco cónico: en este caso la caída de presión es menor que en caso anterior dependiendo el valor de J de la relación de secciones y del ángulo delta.

3.7 Cálculo de tiro necesario

Se está ahora en condiciones de calcular el tiro necesario en una instalación dada de caldera. Este debe ser suficiente para vencer las resistencias opuestas por el sistema y para asegurar la velocidad adecuada de los gases para que circule el caudal requerido. Este tiro debe ser igual entonces a:

$$\Delta = h_m + \sum n \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

Donde

$$h_m = \Delta - \sum n \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

Es la presión dinámica motriz disponible para el movimiento de los gases y $\sum n$ la suma de todas las pérdidas de carga.

Si Δ es superior al valor necesario habrá que aumentar la resistencia que se opone al movimiento del gas, estrangulando la corriente fluida con el registro o regulador de tiro. Cuando se desea quemar mayor cantidad de combustible, se abrirá más el registro disminuyendo así la resistencia al movimiento del gas.

Como consecuencia de ello aumentará la velocidad de la corriente fluida, penetrará más aire al horno y crecerá la actividad de combustión. La mayor velocidad que alcanza el gas es tal que el aumento de las pérdidas de carga, compensa exactamente a la mayor carga disponible.

En la sección de control de un sistema de combustión de un horno de cal se muestra el cálculo de caídas de presión en un sistema de ductos.

4. IMPLANTACIÓN, MODIFICACIÓN

4.1 Equipo para la recolección de polvo

Según el Ingeniero Augusto Marroquín de FAMA INDUSTRIAL, para poder escoger un equipo se debe considerar lo siguiente:

Polvo o producto

- Se debe determinar el intervalo de tamaño de las partículas y el porcentaje de cada tamaño de partícula, especialmente las partículas muy finas.
- Densidad del polvo, tanto el polvo compactado como con aire.
- Determinar la carga de polvo del proceso en granos por pie cúbico de aire o gas, o en libras por hora alimentadas o capturadas por el sistema, o expresadas como volumen de producto por hora. Se debe considerar tanto los niveles máximos como normales de operación del proceso.
- Peso o volumen de polvo que será almacenado o que se mantendrá en el colector si es necesario.
- Cualquier característica especial del polvo o aire como temperatura, pH, abrasividad, contenido de humedad, explosividad, flamabilidad y tendencia a aglomerarse, si es higroscópico, etc.
- Ahorros potenciales a través de mejorar calidad o recolección en otros procesos más que en el dispositivo de recolección.

Gas o flujo de aire

- El volumen requerido en metros cúbicos por minuto o pies cúbicos por minuto, tanto en condiciones normales como máximas.

- La temperatura del flujo de aire, polvo y condiciones de la atmósfera, de nuevo en todas las condiciones.
- Determinar si serán considerados aislamiento o calentadores
- Cualquier característica especial del flujo de aire.
- La recolección potencial de energía u otro ahorro, tal como rehusar el flujo de aire limpio para la alimentación de aire de combustión.
- La caída de presión esperada en la captura y entrega del ducto, el colector, amortiguador y otros accesorios.

Límites de emisiones

- Establecer los límites de emisión permitidos del lugar de instalación.
- Determinar cuál es el mejor control de tecnología disponible para la aplicación estudiada y determinar si existen soluciones factibles.
- Determinar la posibilidad de alcanzar una emisión nula a través del diseño de una combinación de procesos o cambio, reciclando o reutilizando que permita eliminar la recaudación o necesitar conjuntamente el control de emisión.

Otros

- La carga del viento o sísmica, determinar si la estructura debe soportar alguna fuerza especial.
- Los requerimientos de seguridad y seguros, o beneficios por acceso a los mismos, control de riesgos.
- Los materiales de construcción o revestimientos protectivos.
- Los accesorios tales como control de niveles, control o panel de instrumentos, dámper de volumen del ventilador, entre otros.

- Las limitaciones de espacio, peso, área o acceso al lugar.
- Las horas de operación esperadas, o tiempo de vida del equipo.

Existen varios tipos de filtros para el control de la contaminación, en la siguiente figura se muestra la eficiencia contra el tamaño de la partícula para diferentes tipos de recolectores. Esta figura puede ser utilizada como una guía para la selección inicial basada en el funcionamiento y el tamaño mínimo de la partícula.

La selección preliminar puede empezar con el rango de la partícula y sus propiedades, también con las características del flujo de aire. La evaluación puede ser realizada con la comparación del funcionamiento proyectado, eficiencia, espacio, energía, caída de presión, temperatura de servicio, límites de emisiones, y un costo aproximado de la operación y la inversión. Es importante señalar que ésta es una selección preliminar debido a que cada proyecto en específico posee variables de diseño, materiales, accesorios y aplicaciones especiales.

A continuación se presenta una breve descripción de los intervalos de operación, eficiencias y usos de los diferentes sistemas de filtrado:

4.2 Cámara de depósito

Es un recinto que es más largo de la sección de paso que en el ducto de transporte por lo que reduce la velocidad del flujo de aire. Para partículas grandes alrededor de 40 micrones o más, este tipo de recolector puede ser utilizado como un recolector primario. Productos como viruta, gránulos plásticos, granos o concentrado, químicos y productos de comida pueden ser considerados.

Este tipo de filtros puede alcanzar una caída de presión de 0.0254 a 0.0762 mts (1 a 3 pulgadas) de agua, los costos iniciales son relativamente bajos y la temperatura de servicio depende de los materiales de construcción con que se fabrique el filtro. La eficiencia de recolección generalmente está alrededor del 50 al 75 %. El tamaño del filtro está basado en reducir la velocidad de flujo lo suficiente para permitir depositar el polvo deseado. Normalmente, la velocidad estará comprendida entre 3.05 m/s a 1.02 m/s (600 a 200 ft/min). La velocidad del flujo de aire puede ser calculada dividiendo el volumen del flujo de aire por el área de la sección de paso del flujo del recolector de polvo. La necesidad de un área de piso grande o espacio de piso puede convertirse un problema para volúmenes muy grandes.

Un volumen de 0.944 m³/s (10,000 pie³/min) debería entrar a través de un área de sección de 0.4645 m² (5 pie²) para reducir la velocidad del flujo de entrada alrededor de 10.16 m/s (2,000 pie/min) para minimizar la turbulencia y la caída de presión.

Luego el área de la sección de paso del flujo debe ser mayor a 4.645 m² (50 pie²), con el fin de bajar la velocidad de flujo de aire a 1.02 m/s (200 pie/min) o la velocidad que se necesite según la aplicación.

El concepto de la sección de transición de entrada y el recolector es una adaptación común de diseño en otros recolectores para reducir la velocidad de entrada a 10.16 m/s (2,000 pie/min) o más baja para obtener los beneficios de reducir la turbulencia y la caída de presión de entrada. Normalmente, algunas formas de entrada, como una placa difusora, será incluida para ayudar a derribar el polvo, reducir la abrasión por impacto y distribuir uniformemente el flujo de aire.

Una reducción de velocidad alrededor de 1.02 m/s (200 pie/min) debería ser considerada para un exitoso paso de flujo en la sección del recolector.

Ciclones: este tipo de recolector de polvo es un cilindro con una entrada horizontal tangencial, una salida vertical en el tope para producir una velocidad menor que en la entrada, y un cono en el parte baja con una descarga de polvo.

El flujo de aire que entra es desviado por una entrada tangencial y las paredes del cilindro en un patrón de ciclón, causando un cambio rápido de dirección que separa las partículas del flujo de aire por fuerzas centrífugas y el impacto en las paredes.

Debido a que las partículas de polvo son más densas que el aire, estas son conducidas alrededor de la pared por el flujo de aire. La fricción con las paredes y el cambio de dirección causa que las partículas desaceleren más que el flujo de aire. Estas se separan del flujo y se deslizan hacia el cono.

Una caída de presión baja puede proveer una eficiencia de recolección de hasta 80 o 95% en partículas de 10 a 40 micrones de tamaño, respectivamente. A una caída de presión alrededor de 0.051 a 0.076 m (2 a 3 pulgadas) de agua. Para un caudal de $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ ($10,000 \text{ pie}^3/\text{min}$) el diámetro del ciclón deberá ser de 1.07 a 1.73 mts (42 a 68 pulgadas). Este ocupará un área de piso de 1.07 a 1.73 m^2 (9.62 a 25.2 pie^2).

Un eficiencia alta en el ciclón se puede alcanzar cerca de 90 a 97.5 % con una caída de presión de 0.0762 a 0.127 mts (3 a 5 pulgadas) de agua, en partículas de tamaño de 5 a 10 micrones. Los ciclones de menor diámetro de alta eficiencia pueden ser utilizados con partículas menores de 3 micrones, pero la caída de presión y el costo deben ser considerados. Los ciclones de 0.0762 a 0.127 mts (3 o 5 pulgadas) de diámetro son utilizados en bancos o multiciclones para calderas y salidas de hornos a temperaturas de hasta $426.67 \text{ }^\circ\text{C}$ ($800 \text{ }^\circ\text{F}$).

La inversión y costos del ciclón son relativamente bajos si los límites de emisión pueden ser alcanzados. El desgaste por abrasión y corrosión pueden dar resultado de una corta vida de servicio. Los costos de energía pueden convertirse proporcionalmente significativos tanto como la caída de presión aumente y se eleve el caballaje de los ventiladores.

4.3 Elutriators

Estos recolectores usan el principio de que la relación a la que la partícula se deposita en el aire es una función del tamaño de la partícula, forma y su densidad, reduciendo el volumen de flujo y la velocidad en una cámara vertical

4.4 Separadores dinámicos

Por medio de motores se puede acelerar la velocidad del flujo de aire que es manejado a un separador tipo ciclón para mejorar la eficiencia de recolección. Otros diseños utilizan flujos de aire, independientes o auxiliares, para acelerar las partículas de polvo incrementando la eficiencia de separación. El tamaño de las partículas recolectadas puede ser tan pequeñas como 1 micrón.

La energía adicional incrementará los costos pero se pueden conseguir eficiencias de hasta 99%. El desgaste abrasivo se incrementará tanto como la velocidad se incremente, pero el área de piso se reducirá.

4.5 Precipitadores electrostáticos

La corriente de gas es pasada a través de una rejilla de cables o placas donde la partícula de polvo recoge una carga. El flujo de aire pasa a través de un segundo juego de rejillas o placas con una carga opuesta, el cual retiene las partículas de polvo. Periódicamente las placas o alambres son sacudidas causando que el polvo se caiga en la sección de almacenamiento donde son retenidas y se extrae la carga para una limpieza periódica.

Los precipitadores pueden recolectar partículas tan pequeñas con las que existen en el humo de cigarro, o cerca de 0.1 micrones. Poseen una eficiencia de 98 al 99.9% y son utilizados en grandes volúmenes de flujo de aire hasta temperaturas de 537.78 °C (1000 °F). Estos tipos de recolectores de polvo son bastante utilizados en plantas de generación y la separación de cenizas de las calderas hasta temperaturas de 537.78 °C (1000 °F).

4.6 Flotadores húmedos

Estos filtros utilizan agua en neblina para recolectar polvo, niebla o humos de un flujo de aire que pasa a través de la neblina. Recolectores que utilizan una cantidad media de energía pueden recolectar hasta el 98% del polvo. Scrubbers de alta energía pueden alcanzar eficiencias de hasta 99.5 % en partículas tan pequeñas como 0.5 micrones.

Los flotadores de alta energía requieren una gran cantidad de energía por el alta caída de presión. Por lo tanto los costos de operación y los costos de la eliminación de polvo deberán ser considerados en el análisis de costo de un recolector. La eliminación del polvo húmedo puede convertirse en un paso

costoso. Por otro lado algunos materiales húmedos pueden ser regresados, reciclados o rehusados directamente en los procesos.

4.7 Absorbedores de gas

Estos recolectores utilizan un líquido o solución reactiva en una torre con neblinas para remover gases contaminantes reactivos o solubles del flujo de aire. Estos removerán los humos contaminantes en tamaños menores de 0.001 micrones de los gases de salida del proceso. Absorbentes sólidos como cal o carbonato de calcio con inyectados en forma de polvo en el flujo de aire para neutralizar el dióxido de sulfuro en el flujo o corriente de aire.

Adsorbentes del gas: estos recolectores dependen en carbón activado, alúmina, gel sílica o colador de moléculas que recolectan los contaminantes por proceso físico o la adhesión de moléculas gaseosas a la superficie de un sólido.

El adsorbente puede ser regenerado o desechado después del uso. Las partículas recolectadas son moleculares de un tamaño abajo de 0.001 micrones.

4.8 Incineradores

Estos dispositivos térmicos están siendo usados cada vez más frecuente para desechos de industrias o desechos peligrosos. Se ha alcanzado un cumplimiento exitoso por lo que la incineración debería ser considerada para limpieza y rehusar material contaminado.

4.9 Recolectores de filtros

Este tipo de recolectores utiliza un medio poroso para separar partículas finas de polvo de la corriente de aire con unas eficiencias de 99.99 %. Los avances han hecho que estos recolectores de polvo puedan controlar contaminantes como SO₂ y NO.

4.10 Quemadores

La capacidad nominal de un quemador de gas viene dada o por el volumen de gas que pasa a través del quemador en la unidad de tiempo (m³/s) o por el calor liberado en la unidad de tiempo (Kw o kcal/hora). Se prefiere esta última medida para los quemadores cerrados porque una liberación de calor dada exige un volumen dado de combustible gaseoso más aire, indiferentemente de la composición del gas. Además de la magnitud de calor liberado, muchas veces se desea conocer la longitud de la llama; esto es, la distancia en la que se completa prácticamente la combustión con un exceso de aire del 3%. No obstante, en los catálogos no se proporciona esta información.

El volumen de gas más aire que pasa a través de un quemador dado en la unidad de tiempo es, naturalmente, proporcional a sus velocidades. Por lo tanto, podría esperarse que las velocidades en los quemadores de gas de diferentes tipos pudieran ser aproximadamente iguales para una capacidad nominal. Un estudio de muchos quemadores no confirma esta esperanza., ya que influye el coeficiente de descarga del aparato. Las velocidades medidas en frío en el extremo de la cámara refractaria del quemador variaban entre 9 y 21 m/s. Si comienza la combustión en el bloque del quemador, las velocidades reales son más elevadas.

Existen varias razones, respecto a la gran amplitud de velocidades. Los quemadores destinados a lanzar los productos de la combustión a una distancia considerable dentro del horno y activar la circulación llevan velocidades más elevadas. Existen quemadores en que la capacidad del mismo varía con la altura de presión del aire y también del gas. Los fabricantes de estos quemadores publican tablas en las que se expresa la capacidad de los diversos tamaños de quemadores en función de la presión del aire, para presiones hasta de 6867 Pa. En el mercado existen quemadores destinados a presiones superiores.

En la parte inferior de la gama de velocidades se encuentran los quemadores de torbellino de llama alargada; con este tipo se pretende conseguir una baja velocidad hacia adelante, pero una elevada velocidad tangencial.

En los quemadores corrientes de tipo de mezcla en la tobera, y de soplado cuando se emplean elevadas velocidades, los quemadores son pequeños y baratos con buena dirección de la llama, pero necesitan ventiladores más costosos y mayor gasto de energía.

-La reducción, retorno de la llama y soplado fuera, tienen efecto sobre la capacidad de los quemadores de gas.

-La velocidad de propagación de la llama (velocidad de retorno) está en función de varias variables. Entre éstas se encuentran:

- La composición del gas combustible
- La relación entre el gas combustible y el aire de la mezcla
- La temperatura de la mezcla combustible – aire.
- El diámetro del conducto a través del cual circula la mezcla.
- La temperatura del conducto por el que circula la mezcla.

A la vista de estas variables es comprensible que difieran los valores publicados. En una serie de datos muy difundidos se dan los siguientes valores en metros por segundo para una mezcla correcta combustible aire: gas pobre, 0.375; metano, 0.36; monóxido de carbono, 0.42; gas de agua carburado, 0.66 a 0.75; gas de agua, 0.75 a 1.35; gas de hornos de coque, 1.65; hidrógeno, 2.7. Estas pruebas se realizaron en laboratorios a la temperatura ambiente y con conductos de pequeño diámetro de aproximadamente 9.5 mm. Las pruebas realizadas con tubos de diámetro mayor muestran valores superiores de velocidad de retorno de la llama. La influencia del diámetro de la tubería fue estudiada por Heiligenstaedt.

Determinó que para una mezcla de gas de hornos de coque y aire, la llama se desplazaba a 6m/s en un conducto de 25.4 mm y 11.7m/s en otra de 76.2 mm.

La medida de la velocidad es claramente difícil, en especial en un quemador que descargue en un horno. Los fabricantes de quemadores de gas evitan el problema de la siguiente manera: Para cada quemador existe una relación definida entre la velocidad a una temperatura dada y la caída de presión en el quemador. Esto resulta cierto para quemadores de pre-mezcla y para quemadores de mezcla en la tobera. La relación entre velocidad y caída de presión permite emplear la presión de retorno de la mezcla en lugar de la velocidad de retorno de la llama. Las presiones de la mezcla de retorno de la llama en milímetros de columna de agua, en los quemadores bien diseñados, son aproximadamente: gas pobre de antracita, 5.08; gas natural, 7.62; gas utilizado en la ciudad, 12.7; gas de agua, 25.4.

Los valores antes mencionados son para quemadores de tipo medio. Para los quemadores muy grandes que descargan en una corriente no dividida, la presión de mezcla mínima admisible puede ser varias veces superior, ya que

la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad. No obstante, los quemadores de pre-mezcla de este tamaño no se emplean corrientemente.

-La relación entre velocidad y presión determina también la presión de la mezcla necesaria para conseguir la capacidad nominal.

Si se desea una reducción de 3 a 1, la presión de la mezcla a la capacidad nominal debe ser igual a $3^2 = 9$ veces la presión mínima admisible. Puesto que puede conseguirse cualquier presión de la mezcla que se desee, mediante aspiradores o inyectores o ventiladores impelentes volumétricos o ventiladores centrífugos; las causas que limitan la capacidad son las mismas para los quemadores de pre-mezcla, o para los quemadores de pre-mezcla, o para los quemadores de mezcla en la tobera (u otros de dos tuberías). Esto puede decirse también de la presión de soplado hacia afuera. No se sopla fuera la llama en los quemadores bien diseñados y en las cámaras refractarias del quemador.

Se obtienen fácilmente grandes presiones de mezcla si el aire aspira un gas de alta potencia calorífica. En el sistema basado en emplear el aire como fluido motriz, debe suministrarse el gas a la presión atmosférica.

Estos se consiguen con un regulador a cero, el cual consiste en una válvula reductora de presión. Sólo puede utilizarse un aspirador pero pueden servir también varios aspiradores si la tubería entre el regulador a cero y los aspiradores se diseña (diámetro y uniones) de modo que sea mínima la fricción existente. En esta tubería no se deben instalar válvulas.

Si el fluido motriz es un gas de alta potencia calorífica, debe elevarse la presión de dicho gas para que aspire el aire suficiente. Puesto que se construyen muchos inyectores de alta presión formando parte integrante con los quemadores, es necesario dar una breve explicación del principio fundamental.

El principio de la conservación del movimiento lineal para los aspiradores es de la siguiente manera: (masa de fluido impulsor x velocidad del fluido impulsor) + (masa del fluido conducido x velocidad del fluido conducido) = (masa de la mezcla x velocidad de la mezcla). En este caso, la masa significa las masas que fluyen en la unidad de tiempo. La ecuación es correcta si la presión en la entrada y en la descarga son iguales y si la tobera divergente tiene poca fricción. Puesto que el fluido conducido llega con escasa velocidad, la ecuación se convierte en:

$$\text{Velocidad de la mezcla (gas más aire)} = (\text{Masa del fluido impulsor} \times \text{velocidad del fluido impulsor}) / \text{masa de la Mezcla (gas + aire)}.$$

Si la velocidad de la mezcla pudiera convertirse sin pérdida en presión, la presión de la mezcla (en mm de columna de agua) sería

$$\text{Velocidad} / (19.6 \times \text{volumen específico})$$

En la ecuación, la velocidad se refiere al extremo de la descarga de la tobera divergente. Para conseguir la combustión completa sin exceso de aire, la composición de la mezcla es la misma, ya sea gas o aire el fluido impulsor. De donde se desprende que la velocidad de la mezcla, para obtener una presión dada de la mezcla, es aproximadamente igual si se emplea cualquiera de los dos fluidos como impulsor. Si se aplica este hecho al gas natural medio y si se emplea la ecuación del movimiento lineal, se encuentra que la velocidad del gas motriz debe ser 17 veces superior a la velocidad de la mezcla; mientras que la velocidad de aspiración necesaria es de $17/16 = 1.06$ veces la velocidad de la mezcla en el extremo de la descarga del tubo divergente cuando es aire el fluido impulsor. La pérdida de presión por fricción exige que las velocidades sean superiores a las que se han calculado. La fricción es muy grande si se

coloca un tubo cilíndrico entre el orificio y el tubo divergente para obtener una mezcla íntima. Si la ecuación anterior para un aumento y caída de presión pudiera ampliarse a grandes caídas de presión, la presión de impulsión del gas natural debería ser

$$((17 \cdot 16) / 17)^2 \cdot 0.6 = 154 \text{ veces tan grande cuando la aspiración de la realiza el gas}$$

Que cuando la realiza el aire.

Esta relación de presión es solamente una aproximación, ya que el cálculo está basado en una teoría incompleta. Para que una teoría sea completa se deben calcular varios factores que varían con el proyecto, lisura de las paredes y exactitud del mecanizado. En los inyectores de alta presión la velocidad del chorro debe calcularse a partir de una ecuación exponencial.

La velocidad de chorro no es uniforme en toda la sección.

4.11 Método de aumento de presión en ventilador

El procedimiento que a continuación se presenta selecciona un ventilador que entrega el peso adecuado de gas o aire, tomando en cuenta las leyes de los ventiladores, características de presión-flujo y la relación peso-volumen.

4.11.1 Tipos de ventiladores

Un ventilador es una turbo máquina que se caracteriza porque el fluido impulsado es un gas (fluido compresible) al que transfiere una potencia con un determinado rendimiento.

A pesar de que no existe convenio alguno universalmente adoptado; los ventiladores pueden subdividirse en cuatro grupos:

1. ventiladores de baja presión: hasta una presión del orden 200 mm c agua (ventiladores propiamente dichos).
2. ventiladores de media presión: entre 200 y 800 mm c agua (soplantes)
3. ventiladores de alta presión: entre 800 y 2500 mm c agua (turbo soplantes)
4. ventiladores de muy alta presión , mayor a 2500 mm c agua (turbocompresores)

En función de la trayectoria del fluido, todos estos ventiladores se pueden clasificar en

1. de flujo radial (centrífugos)
2. de flujo semiaxial (helico-centrífugos)
3. de flujo axial

4.11.2 Ventiladores en altitud diferente al nivel del mar

Para determinar la capacidad de flujo estándar requerido primero se diseña y dimensiona toda la tubería y equipo (excepto el ventilador) para el menor valor práctico de pérdida de presión. (Esta no representa la capacidad y presión actual que el ventilador debe desarrollar a la altitud real y la relación que se encuentra en el catálogo del fabricante del ventilador que hará el trabajo.

Procedimiento para corregir las especificaciones y el funcionamiento del ventilador para altitud mayor a la del nivel del mar, con aire caliente y gravedad de gas diferente o cualquier combinación de estas.

1. Corrija el requerimiento de presión: requerimiento de presión corregida = requerimientos de presión al nivel del mar / G.

2. Determine el factor de diseño. Para los requerimientos de presión súmele un 16% (un sexto de la caída total de presión del sistema por pérdidas en tuberías y 16% por la válvula de control). Esta es una regla empírica y debería ser ajustada con juicio dependiendo de la extensión de la tubería y del número de accesorios y válvulas. Para el requerimiento de capacidad adicione un 10% por ser común la práctica de operar los quemadores con 10% de exceso de aire.

3. Seleccione el ventilador que posea el valor de presión inmediato superior disponible del catalogo.

4. Corrija el requerimiento de la capacidad (corrección por presión menor): requerimientos de capacidad de ventilador = requerimientos de capacidad a nivel del mar / G

5. Corrija el requerimiento de la capacidad (corrección por presión del ventilador disponible): requerimiento de capacidad de ventilador (4) * presión inmediata superior del catalogo (3) * factor de diseño del sistema (2)

6. Seleccione el valor inmediato superior de la capacidad del catalogo a la presión que obtuvo en el paso tres (3), y obtenga el requerimiento de energía.

7. Corrija el requerimiento de energía: requerimiento de energía = hp o Kw. del paso seis (6) * G * requerimiento de capacidad corregida en paso cinco (5) / capacidad de caudal requerido obtenido en paso seis (6).

8. Seleccione el valor inmediato superior de hp o k.o. disponible para el motor, turbina o cualquier otro.

9. Determine el valor de la presión relativa de funcionamiento que será: presión obtenida en paso tres (3) * G.

10. Determine el valor equivalente en condiciones estándar del aire que entregará: volumen equivalente en condiciones estándares de aire = requerimientos de capacidad corregida obtenida en paso cinco (5) * G.

11. Consumo actual de energía será el valor obtenido en el paso siete.

4.11.3 Aire caliente

En este caso determine el flujo requerido en condiciones estándares y la caída de presión. Posteriormente realiza el procedimiento anteriormente descrito. El aparato que caliente el aire constituye una caída de presión extra en el sistema, y este debe ser evaluado cuando está caliente. El quemador, válvulas y accesorios deberían ser más largos para que pase el aire menos denso y debería ser de diferente material o diseño para soportar altas temperaturas.

4.11.4 Gases

Determine los requerimientos de caída de presión y la relación de flujo para condiciones estándares de combustible gaseoso, convierta a los estándares de aire equivalentes; luego siga el procedimiento anteriormente descrito.

Normalmente, los ventiladores de aire raramente capaces de controlar fugas para ser utilizados con combustibles gaseosos. Por lo tanto, las unidades especiales para manejar gases deben ser utilizadas. Los datos de

funcionamiento de estos ventiladores deben ser corregidos para diferentes densidades.

4.12 Método de sobredimensionar el ventilador y el quemador

Ciertos procesos donde hay entrada de material o mezcla del ambiente de combustión con aire fresco, o bien donde se siguen curvas de calentamiento que dificultan mantener adecuadamente la relación aire/combustible en los regímenes del proceso. Esto último puede corregirse, en algunos casos, añadiendo elementos adicionales, (quemadores y ventiladores adicionales además de los controladores respectivos), pero aún así es difícil garantizar cumplir la norma para todo el rango de operación, particularmente en los transcientes. Algunos hornos tienen quemadores un poco sobredimensionados para la geometría del fogón por lo que se les ha limitado su capacidad. Se sugiere que el sistema no exija medir fuera de los límites fijados pues es posible que los niveles de emisión se descontrolen. Se hace esta sugerencia ya que actualmente se tiende a exigir que las pruebas se hagan a toda carga forzando al quemador a funcionar fuera del límite prefijado para la instalación.

4.13 Control del sistema de combustión de un horno de cal

Se deben determinar las temperaturas, presiones y puntos de rocío con que trabaja el horno. A continuación se muestra como se determinan.

Presión inicial de gases de combustión (kPa) 101.3250

La temperatura de los gases de combustión se determinó con el programa de maximización de temperaturas y se obtuvo el siguiente valor:

Temperatura de gases de combustión (K) 2,462.3

Durante el proceso de combustión se libera calor hacia el ambiente, el valor del calor producido en la combustión de los componentes cuando toda el agua que contienen el combustible, o que se forma en la combustión, se desprende en forma de vapor junto a los demás gases que se forman en la combustión, y se indica por medio del poder calorífico inferior. El valor para el Bunker C mínimo en Guatemala es de 39,628 KJ/kg. Se debe determinar la temperatura de los gases de combustión después de haber transferido este calor a la piedra caliza que se encuentra en el horno. Que produce 1kg de combustible (Calor específico de gases de combustión).

Diferencial de temperatura.

Para esto, se deben determinar cuántos kg de gases de combustión se producen por kg de combustible quemado. Del programa se obtiene que los valores o porcentajes de cada elemento para la maximización de la temperatura sean:

$$(x_1 C + x_2 H + x_3 O + x_4 N + x_5 S + x_6 H_2O) + 1.3 a (0.232 * O_2 + 0.768 * N_2) = b \\ CO_2 + c H_2O + d O_2 + e N_2 + f SO_2$$

Donde:

%C: x_1 0.8470

%H: x_2 0.1050

%O: x_3 0.0040

%N: x_4 0.0020

%S: x_5 0.0290

%H²O: x_6 0.0130

a 13.4260

b 3.1035

c 0.9514

d 0.9345

e 2.9342

f 0.0579

Ahora se determina el número de moles dividiendo los kg de cada elemento entre el peso molecular de los mismos, se obtiene lo siguiente:

Moles de C 0.0705

Moles de H 0.1042

Moles de O 0.0003

Moles de N 0.0001

Moles de S 0.0009

Moles de H₂O 0.0007

Moles .Totales 0.17671466

Se determina el porcentaje en volumen de cada elemento, dividiendo el número de moles de cada elemento entre el número total de moles.

%V de C 0.3991

%V de H 0.5895

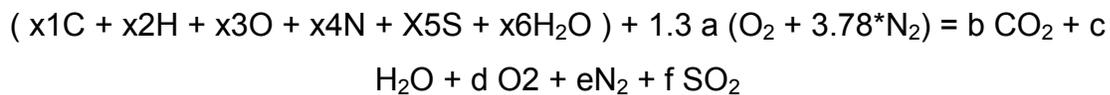
%V de O 0.0014

%V de N 0.0008

%V de S 0.0051

%V de H₂O 0.0041

Sustituyendo los valores de número de moles en las siguientes ecuaciones se tiene que:



Donde:

$$a = (2x_1 + (1/2) x_2 + 2x_5 - x_3) / 2$$

$$b = x_1$$

$$c = (1/2) x_2 + x_6$$

$$d = (x_3 + x_6 + 1.3 (2x_1 + (1/2) x_2 + 2x_5 - 2x_3) - 2 x_1 - (1/2)x_2 - x_6 - 2x_5) / 2$$

$$e = (1/2)x_4 + 2.457 (2x_1 + (1/2) x_2 + 2x_5 - x_3)$$

$$f = x_5$$

Los resultados son:

$$a \ 0.5508$$

$$b \ 0.3991$$

$$c \ 0.2988$$

$$d \ 0.1653$$

$$e \ 2.7073$$

$$f \ 0.0051$$

Se calcula ahora la masa gases de combustión por masa de combustible = Masa de gases que produce 1kg de combustible * Calor específico de gases de combustión

Diferencia de temperatura.

Se debe determinar el calor específico a presión constante, este calor se debe determinar a la temperatura promedio $((T \text{ inicial} + T \text{ final}) / 2)$ de los productos, por medio de una hoja electrónica se realiza varias iteraciones hasta obtener el valor adecuado que se muestra a continuación:

$$((T \text{ inicial} + T \text{ final}) / 2) = 1681.5311 \text{ K}$$

$$\text{si } T \text{ inicial} = 2462.2896 \text{ K}$$

$$T_{\text{final}} = 900.7727 \text{ K}$$

Temperatura media de gases de combustión después de calcinación con T combustión inicial 2444.3710 (K): 1,681.5311 (K).

Para determinar la temperatura de operación del horno se determinará la cantidad de calor y la caída de presión de los gases por medio de la ecuación de transferencia de calor para lechos sólidos y la ecuación de diferencial de presión a través de lechos sólidos que se mostró anteriormente. Con esta ecuación se determinará la caída de presión de los gases de combustión en el horno mientras asciende al tubo de descarga de los mismos.

Para determinar la velocidad de transferencia de calor en los lechos empacados para una longitud diferencial dz en metros se tiene la siguiente ecuación:

$dq = h (a S dz) (T_1 - T_2)$ donde a es el área superficial de la partícula sólida por volumen unitario del lecho en m^{-1} , S el área de corte transversal vacía del lecho en m^2 , T_1 la temperatura general del gas en K y T_2 la temperatura superficial del sólido, h es el coeficiente de transferencia de calor en W/m^2K .

4.14 Mantenimiento

Los diferentes tipos de mantenimiento se pueden aplicar dependiendo el tipo de avería, es necesario recomendar una bitácora de servicio del equipo y así evitar daños en el sistema. A continuación se describen los tipos de Mantenimiento.

4.14.1 Mantenimiento de avería

Consiste en intervenir con una acción de reparación cuando el fallo o avería se ha producido, restituyéndose la capacidad de trabajo o prestación original.

Aspectos positivos:

- Máxima aprovechamiento de la vida útil de los elementos
- No necesidad de contratar personal calificado
- No hay necesidad de detener máquinas con ninguna frecuencia prevista

Aspectos negativos:

- Ocurrencia aleatoria del fallo y la parada correspondiente en momentos indeseados
- Menor durabilidad de las máquinas
- Menor disponibilidad de las máquinas (paradas por roturas de mayor duración)
- Ocurrencia de fallos catastróficos que pueden afectar la seguridad y el medio ambiente
- Este sistema fue el empleado hasta mediados del siglo XX.

4.14.2 Mantenimiento preventivo

Consiste en intervenciones periódicas, programadas con el objetivo de disminuir la cantidad de fallos aleatorios. No obstante éstos no se eliminan totalmente. El accionar preventivo, genera nuevos costos, pero se reducen los costos de reparación, las cuales disminuyen en cantidad y complejidad.

Acciones típicas de este sistema son:

Limpieza; ajustes; reaprietes (torqueado); regulaciones; lubricación; cambio de elementos utilizando el concepto de vida útil indicada por el fabricante de dicho elemento; reparaciones propias pero programadas.

Aspectos positivos:

- Mayor vida útil de las máquinas
- Aumenta su eficacia y calidad en el trabajo que realizan
- Incrementa la disponibilidad
- Aumenta la seguridad operacional
- Incrementa el cuidado del medio ambiente

Aspectos negativos:

- Costo del accionar preventivo por plan
- Problemas que se crean por los continuos desarmes afectando a los sistemas y mecanismos que de no haberse tocado seguirían funcionando sin inconvenientes.
- Limitación de la vida útil de los elementos que se cambiaron con antelación a su estado límite

Este último punto, es el que por medio del accionar predictivo se soluciona, dado que éste actúa cuando el resultado del diagnóstico así lo indican, y es coincidente con la opinión de la gente experimentada en mantenimiento de que "es imprudente interferir con la marcha de las máquinas que van bien".

El sistema preventivo nació en los inicios del siglo XX, (1910) en la firma FORD en Estados Unidos, se introduce en Europa en 1930, y en Japón en

1952. Sin embargo su desarrollo más fuerte se alcanza después de mediados de siglo, y es el sistema que responde a los requerimientos de esa etapa.

4.14.3 Mantenimiento predictivo

Se trata de un mantenimiento profiláctico, pero no a través de una programación rígida de acciones como en el mantenimiento preventivo. Aquí lo que se programa y cumple con obligación son "Las inspecciones", cuyo objetivo es la detección del estado técnico del sistema y la indicación sobre la conveniencia o no de realización de alguna acción correctora. También nos puede indicar el recurso remanente que le queda al sistema para llegar a su estado límite.

Las inspecciones pueden ser de dos tipos:

Monitoreo discreto, en el cual las inspecciones se realizan con cierta periodicidad, en forma programada.

Monitoreo continuo, se ejerce en forma constante, con aparatos montados sobre las máquinas. Este tiene la ventaja de indicar la ejecución de la acción correctora, lo más cerca posible al fin de su vida útil.

Este sistema es el que mejor garantiza el mejor cumplimiento de las exigencias de mantenimiento de los últimos años dado que se logra:

- Menores paradas de máquinas, ya sea por programas de paradas preventivas o por roturas aleatorias.
- Mayor calidad y eficiencia de las máquinas e instalaciones
- Garantiza la seguridad y la protección del medio ambiente

- Reduce el tiempo de las acciones de mantenimiento.

Como aspectos negativos se señalan:

- La necesidad de un personal más calificado para las revisiones e investigaciones
- Elevado costo de los equipos de monitoreo continuo.

4.14.4 Mantenimiento pro-activo

No se trata de un sistema nuevo sino de la combinación de cada uno de los anteriores, en la industria, en las instalaciones y hasta en las maquinas en la dosificación que resulte más conveniente desde el punto de vista técnico-económico y de seguridad hacia las personas y el medio ambiente.

Y esa dosificación es justamente lo que se refería a la evaluación que nombramos anteriormente y que fue necesario previamente introducir estos conceptos para poder avanzar en forma práctica y con cierto fundamento en lo que vamos a exponer en adelante.

5. SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA Y RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

5.1 Resultados

El proceso se mantendrá vigente y óptimo siempre y cuando se cumplan con las normas e indicaciones establecidas en este trabajo. Pueden existir variaciones debido al ambiente, posición geográfica, clima y otros elementos, los cuales hay que considerar en su preciso momento.

Dentro del proceso de producción debemos de considerar las especificaciones que recomienda el fabricante de la línea de producción o de la maquinaria a instalar, tomando en cuenta las características del país de fabricación, considerando si las mismas se adecuan a los parámetros que se manejan en Guatemala, y aplicar las que se adapten a nuestra situación actual.

5.2 Ventajas

La automatización de cualquier proceso conlleva a tener mejoras y ventajas dentro del proceso de producción de un producto, lo que permite mejorar los niveles de producción, tiempos de entrega y eliminación de tiempos muertos en la línea de producción.

Se destacan las siguientes ventajas:

- El desmontaje/montaje y sustitución de piezas y elementos de los equipos para su mantenimiento y reparación.
- Las operaciones de montaje de los equipos y redes de las instalaciones.
- El ensamblado de subconjuntos de equipos.

- El diagnóstico y reparación de averías de los equipos.
- La puesta a punto y correcto funcionamiento de los equipos.
- La utilización de las herramientas y útiles inherentes a su trabajo.
- El registro de los resultados e incidencias surgidas.
- La interpretación de la información asociada (planos, manuales de mantenimiento, etc.) a los equipos e instalaciones que se deben mantener.

5.3 Desventajas

Dentro de cualquier implementación de un nuevo proceso se presenta la resistencia al cambio por parte de los empleados como la alta gerencia, por los cambios que implica en el proceso de producción y los costos de inversión en el nuevo equipo y tecnología a instalar.

Se destacan las siguientes desventajas:

- Impacto ambiental del nuevo equipo de producción
- Personal no capacitado
- Falta de servicio técnico en el mercado nacional
- Niveles de producción elevados a la demanda actual
- Reducción de personal por eficiencia del proceso
- Alto costo de inversión del nuevo equipo
- Tasa interna de retorno no cumple las expectativas a corto plazo

5.4 Costo/beneficio del sistema

La introducción de las nuevas tecnologías, tanto en los equipos como en los soportes utilizados en la transmisión de datos, facilitará la tendencia hacia el

control a distancia de los procesos (tele medida, telecontrol, tele alarmas, etc.) de las instalaciones térmicas. Esto conlleva a la generación de inversiones altas en tecnología que no se aplica actualmente en el proceso productivo, teniendo para la alta gerencia costos innecesarios que actualmente no utilizan.

La tendencia, cada vez mayor, de incorporar dispositivos electrónicos en los equipos que configuran las instalaciones permite dotarlas de cierta “inteligencia”, aumentando las posibilidades de automatización de las mismas. Reduciendo costos de personal utilizado en el proceso de seguimiento y supervisión de la producción.

En las instalaciones de los edificios la tendencia es hacia la convergencia de la gestión de los distintos servicios técnicos (gestión de la energía, confortabilidad, seguridad), reduciendo los márgenes de error y accidentes labores, evitando tiempos muertos y suspensión de mano de obra, beneficiando el proceso continuo de un producto con estándares de calidad lineales.

5.5. Auditoria

5.5.1 Interna

Los encargados del proyecto de implementación deben de estar atentos al proceso, verificando que los cambios a realizar sean los correctos, además de monitorear las nuevas instalaciones a realizarse, velando por la seguridad e higiene de los trabajadores como de la capacitación constante hacia los encargados del nuevo proceso.

La importancia de la capacitación, radica muchas veces en el poco conocimiento que tienen los operarios respecto a la forma correcta en que se debe de trabajar la cal, la forma de obtener menos desperdicios de la materia, así como de los diferentes medios de combustión que permita tener mejor preparación del producto como mejor cuidado para el ambiente; en Guatemala aun se conservan procesos artesanales en base a la obtención de cal, haciendo de este un proceso muy rudimentario que tarda varios días en realizarse.

En cuanto a la higiene y seguridad del trabajo, es necesario implementar estrategias que permitan concientizar a los trabajadores sobre su salud física así como de las instalaciones donde trabajan, haciendo de esta una acción preventiva que permita eliminar accidentes y correctiva para el buen manejo de las herramientas de trabajo.

La persona o personas encargadas de este control, deben de estar consientes que el actual proceso debe mejorarse y modernizarse para obtener mejores resultados en el largo plazo; por ello necesitan de los conocimientos básicos y actuales para ejercer un mejor control dentro del proceso de automatización para guiar adecuadamente a su personal en la realización de los cambios necesarios.

Si la empresa lo desea, puede invertir en un departamento de auditoria, en donde tendrá a su cargo el seguimiento continuo de las implementaciones antes mencionadas, además de verificar si su principal activo, debe de continuar en su forma tradicional o necesita implementar nuevas mejoras, que permitan un adecuado desarrollo productivo, por medio de estudios periódicos.

5.5.2 Externa

En cada fase del nuevo proceso, se debe de contratar a un especialista en la materia para verificar que lo realizado, este correctamente instalado; además de capacitar a los trabajadores sobre el mantenimiento debido para evitar costos de reparación. Por último traer a un especialista en ecología que verifique que el proceso es inofensivo para el ambiente.

Se establece la necesidad que el proceso de automatización sea realizado por fases, ya que se requiere de una fuerte inversión para llegar a obtener los resultados deseados, el no llevar un cronograma adecuado puede ocasionar gastos innecesarios que a su vez resultaran muy elevados.

Cada vez que se avance en las distintas fases, es necesario verificar lo realizado por medio de un experto, ya que en los distintos trabajos, se necesita establecer cuál es el mejor diseño del horno, que materiales deben utilizarse al momento de construir una nueva caldera, como adaptar mejoras a las calderas existentes, la modernización de los proceso de obtención de cal, disminución de desperdicios y mermas del producto entre otros.

Además de todos estos aspectos a verificar, se necesita de otra clase de control, como por ejemplo la calidad del producto, el cumplimiento de los estatutos que demanda el mercado nacional, así como el grado de contaminación que puede generar, para evitar problemas con el medio que lo rodea.

Esto permitirá que la empresa pueda establecer su propia calificación en base a las opiniones externas y por medio de la competencia, así obtendrá la información necesaria que ayudara a medir la importancia de implementar la

automatización o seguir con el proceso tradicional, esperando poder hacer cambios más detallados en el proceso.

5.6. Recomendaciones de implementación

Para controlar la combustión del sistema del horno se utilizará un controlador de combustión. Con este elemento se controlará dos variables que son la presión del combustible y el volumen del aire, disminuyéndolos o aumentándolos según se requiera. Para controlar la combustión se necesita que se midan cuatro parámetros por medio de un paquete de medición, estos son:

- Nivel de CO_2 en gases de combustión.
- Nivel de O_2 en gases de combustión.
- Temperatura de área de calcinación.
- Punto de rocío de gases de combustión.

Primero se mide la temperatura del punto de rocío de los gases de combustión; esta se compara con un set point puesto en el algoritmo y se determina la temperatura que debe tener el área de calcinación. Esta temperatura se puede medir por medio de dispositivos que midan la temperatura por efectos mecánicos, por efectos eléctricos o por radiación.

Esta temperatura de calcinación se compara con la temperatura medida del área de calcinación que es una variable del proceso. Con el algoritmo se determina si se debe subir o bajar la temperatura del área de calcinación.

El nivel del CO_2 y el nivel de O_2 servirán para determinar la eficiencia de la combustión en el horno. Para esto se tomará una muestra de los gases de combustión que por medio de una bomba los lleve a unos sensores que

determinen el nivel de CO_2 y O_2 en la muestra que será transmitido por medio de una señal análoga por un transistor al PLC o controlador de combustión. El algoritmo del controlador de combustión determina la eficiencia de la combustión con los datos enviados; una vez determinada la eficiencia, éste decidirá si modificar la presión de la combustión o el volumen del aire. Existen dispositivos como el aparato de Orsat, utilizar la cromatografía del gas o la absorción infrarroja no dispersiva para medir los niveles de los compuestos y elementos dentro de los gases.

El PLC tendrá la capacidad de modificar la combustión en cada quemador del horno, ya sea por un damper que modifica el volumen de aire o aumentando la presión el combustible.

La temperatura del área de calcinación se medirá con para determinar si es necesario aumentar la relación de transferencia de calor hacia la piedra caliza.

Para esto se utilizará una termo copla tipo K que soporta temperaturas de hasta 1200°C ; esto es suficiente para la temperatura del proceso que es de 1000 K aproximadamente.

Los gases de combustión del horno se utilizaran para realizar un intercambiador de calor que permita subir la temperatura del aire de combustión con esto; se logra obtener una mejor eficiencia en la combustión del combustible.

Para medir las presiones se pueden utilizar transductores capacitivos o de efecto piezoeléctricos.

Determinación de gases de combustión

Tabla XVIII. Mezcla de gases de combustión con productos de reacción del carbonato de calcio

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	B	c	D	e	f	y	Masa (kg/kmol de combustible)	
CO2	44.0098	221.9522					0.9992	9,788.0899	
H2O	18.0152		0.0528				0.0002	0.9514	
O2	31.9988			0.0292			0.0001	0.9345	
N2	28.0134				0.1047		0.0005	2.9342	
SO2	64.0588					0.0009	0.0000	0.0579	
TOTAL							222.1398	1.0000	9,772.9479

5.7. Conductividad Calorífica y Número de *Prandtl* Optimizado

Tabla XIX. Determinación de conductividad calorífica y número de *Prandtl* para determinar coeficiente de transmisión calorífica h

COMPUESTO	k (Kcal/m-h°C) a 0°C	k (Kcal/m-h°C) a 100°C	k (Kcal/m-h°C) a 999.88 °K	k(cal/s*cm**C)	k(btu/h*pie**F)	k (W/m*K)	yl	kl*yl	Pr	Prl*y
CO2	0.0125	0.0191	0.0605	0.0002	0.0119	0.020574358	0.9992	0.0205	0.750	0.749
H2O		0.0202	0.1468	0.0004	0.0289	0.049952032	0.0002	0.0000	1.060	0.000
O2	0.0211	0.0280	0.0712	0.0002	0.0140	0.024242557	0.0001	0.0000	0.700	0.000
N2	0.0207	0.0269	0.0658	0.0002	0.0129	0.022375437	0.0005	0.0000	0.700	0.000
SO2	0.0074	0.0103	0.0285	0.0001	0.0056	0.009689342	0.0000	0.0000	0.001	0.000
TOTAL								0.0205	3.211	0.750

Fuente. Cengel, Y., y Boles, M. 1996. Termodinámica Tomo I y II. 2ª.

Edición. Pág.927

5.8 Control y seguimiento

En este proceso se deberán seguir los controles necesarios adoptados por el fabricante, para mantener una producción continua, sin afectar el rendimiento del equipo.

Los controles se deben de seguir teniendo en cuenta los valores ideales que manejan los equipos, llevando una bitácora sobre los datos que los instrumentos de control miden.

Los niveles deben ser estandarizados con las condiciones nacionales, tomando en consideración la variación que encontraremos con los parámetros internacionales del equipo a instalar.

El seguimiento del proceso debe de estar confirmado por el área administrativa de la empresa, se sugiere contratar un ingeniero de planta o supervisor de maquinas con lo cual se espera tener una vida útil y un proceso productivo acorde a las necesidades del equipo instalado.

El equipo a implementar requerirá de personal capacitado que permite el funcionamiento óptimo del sistema, tomando en consideración los aspectos antes mencionados.

La capacitación y evaluación del sistema deberá ser respaldado por personal capacitado con el tema y sistema a instalar.

Se sugiere a la empresa realizar un proceso de capacitación al personal que laborara en el proceso productivo.

Llevar un control sobre los tiempos de producción, así como los suministros a utilizar durante el proceso, con el fin de estandarizar el costo y cantidades de cada línea producida.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta investigación se recomienda que para el diseño de un sistema de combustión de un horno de cal se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Diseño de los ventiladores: en este se debe determinar la capacidad del ventilador y la presión requerida del sistema, es importante también calcular la temperatura de los gases de combustión con que el ventilador trabajará. Para el cálculo de caudal es necesario determinar la energía necesaria para que se produzca un mol de CaCO_3 o carbonato de calcio, este es 178.6 KJ/Sol de CaCO_3 .
2. Posteriormente, se determina la energía necesaria por unidad de tiempo tomando en cuenta las necesidades del departamento de producción (kg de CaCO_3 por unidad de tiempo) y pasarlas a moles. Ésta se multiplica por la energía necesaria para conseguir un mol de carbonato de energía y se obtiene la energía necesaria para realizar el proceso de calcinación. En el ejemplo presentado se muestra que el área de calcinación es de 4.5 mts de altura, para esta altura el volumen de producto dentro del horno es de 9.1469 m^3 ; esto necesita $1.97\text{E}5$ kJ para llevar el proceso de calcinación. Además, es necesario llevar la piedra caliza a una temperatura de aproximadamente $1,000 \text{ }^\circ\text{C}$ que es la temperatura a la que ocurre esta reacción química. Para esto se necesitan $1.218\text{E}8$ KJ, y esto hace que la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de calcinación sea de $1.22\text{E}8$ KJ.

3. Para poder llevar a la calcinación se necesitan 3,073.0595 kg de combustible Bunker C para llevar a 1,000 °C la piedra caliza y 4.960013 kg de combustible Bunker C, dando como resultado un total de 3,078.0195 kg de bunker C. Estas masas se obtuvieron dividiendo la energía necesaria total del proceso de calcinación entre el poder calorífico del combustible.
4. Según el combustible que se desee utilizar se divide el poder calorífico del combustible entre la energía necesaria por unidad de tiempo requerida para que se produzca el carbonato de calcio. Los combustibles normalmente utilizados son el Bunker C, cascarilla de arroz, gas y diésel, entre otros.

Como se mencionó anteriormente, los conductos de humos se calculan en función del volumen de los gases y de su velocidad, el valor más usual de esta última para tiro natural es de 3 a 4 m/s en el caso de tiro normal y hasta 6 m/s cuando el tiro es enérgico. Para tiro artificial se adoptan velocidades de hasta 10 m/s, y en algunos casos se utilizan velocidades de 15 a 18 m/s.

5. Recolectores de polvo: para poder escoger uno que elimine los polvos de la combustión se debe considerar lo siguiente:
 - Polvo o producto
 - Gas o flujo de aire
 - Límites de emisiones
 - La carga del viento o sísmica, determinar si la estructura debe soportar alguna fuerza especial.
 - Los requerimientos de seguridad y seguros, o beneficios por acceso a los mismos, control de riesgos.

- Los materiales de construcción o revestimientos protectivos.
- Los accesorios tales como control de niveles, control o panel de instrumentos, dámper de volumen del ventilador, entre otros.
- Las limitaciones de espacio, peso, área o acceso al lugar.
- Las horas de operación esperadas, o tiempo de vida del equipo.

6. Diseño de quemadores. Se debe considerar que la capacidad de un quemador de gas viene dada por el volumen de combustible que pasa por unidad de tiempo. La capacidad de los atomizadores de combustóleo y de los quemadores de combustóleo se expresa por el volumen que pueden atomizar y quemar en la unidad de tiempo; por ejemplo, litros por hora o por el calor que puede liberarse por combustión en la unidad de tiempo, o kilocalorías por hora o bien KW que son unidades más modernas.
7. Siempre que un ventilador tenga que manejar aire o gas de menor densidad que la estándar, es necesario seleccionar un ventilador más grande que posea una mayor presión que lo requerido para manejar el aire en condiciones estándares. Es muy importante que los mínimos valores de presión posibles sean elegidos cuando se dimensiona un sistema de combustión basado en las condiciones estándares corrigiendo antes los valores por baja densidad del gas o aire. Usualmente existe un ahorro si se sobredimensionan los quemadores, válvulas y la tubería usada en lugar de sobredimensionar el ventilador en lo que a presión se refiere.
8. Para cuando las condiciones no son los estándares se pueden realizar dos métodos que son:
 1. Método de aumento de presión en ventilador

2. Método de sobredimensionar el quemador y el ventilador

9. Control del sistema: se deben determinar las temperaturas, presiones y puntos de rocío con que trabaja el horno. Utilizar el nivel del CO_2 y el nivel de O_2 servirá para determinar la eficiencia de la combustión en el horno.

RECOMENDACIONES

Para disminuir el efecto que la variación de la materia prima tiene en la combustión, se recomienda realizar un estudio de campo que permita determinar estadísticamente las variaciones normales y, de esta forma, mejorar el proceso de combustión.

1. Para obtener un valor de transferencia de calor entre los gases de combustión y la piedra caliza del horno más exacto, se propone a la Facultad de Ingeniería un estudio para determinar el coeficiente de transferencia de calor en un lecho sólido conformado por esferas similares al material utilizado en un horno de cal.
2. Se han desarrollado muchos hornos para satisfacer necesidades especiales, además de los hornos para convertir la energía contenida en los combustibles convencionales: carbón, combustóleo y gas; en vapor para obtener potencia, calefacción o utilizarlo en procesos.
3. El uso de hogares es indispensable en las caleras, ya que de esta manera pueden absorber el calor generado en los quemadores y así cumplen una doble función; la primera es enfriar el quemador y tener mejores propiedades mecánicas y su segunda función es aprovechar este calor.
4. El encarecimiento del petróleo ha disparado un alboroto por la búsqueda de fuentes alternativas de energía (y muy poco entusiasmo por reducir el consumo de la misma). Las posibilidades de nuevas fuentes de combustibles son amplias, van desde las algas a la grasa animal, micro-

organismos, eucaliptos transgénicos, entre muchas otras. Nadie sabe con certeza cuáles tecnologías lograrán producir mayor energía o mayores ganancias. Los gigantes del petróleo, como British Petroleum, están diversificando sus inversiones para asegurarse un lugar en cualquiera de las alternativas que resulte más promisorias. Pero no esperemos que la opción más productiva o la menos contaminante sean las que se adopten más pronto: los gobiernos poderosos y las corporaciones trabajarán juntos para determinar quién gana. Seguramente las tecnologías que sirvan mejor a sus intereses.

5. Los procedimientos de operación manual incrementarán su complejidad al utilizar materiales y dispositivos basados en nuevas tecnologías y medios de producción más especializados (procedimientos de unión, utilización de autómatas, etc.).
6. Aumenta la relevancia de los servicios de mantenimiento de las instalaciones, derivando en este caso las actividades que debe desarrollar este técnico hacia el mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones, aumentando la complejidad de las intervenciones por la diversidad de los sistemas y de las tecnologías que intervienen en las mismas.
7. Al mismo tiempo se incorporan nuevas técnicas de diagnóstico de averías basadas en la utilización de herramientas “*software*”, que producirán cambios específicos en los procedimientos que se van a utilizar en la actividad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brown, T., LeMay, H. y Bursten, Bruce. 1993. Química la ciencia central. 5ª. Cecsá.
2. Cengel, Y., y Boles, M. 1996. Termodinámica Tomo I y II. 2ª. Edición. Edición. México. Prentice Hall Hispanoamericana.
3. Cifuentes Soto, Víctor Hugo. Conversión de un horno de clinker a horno de cal en la planta La Pedrera. Tesis Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1997.
4. Heizer, J. Y Render. 2001. Dirección de la Producción. 6ª. Edición. España. Prentice Hall.
5. Hicks, T., Hicks, D. y Leto, J. 1995. Manual de cálculos para las ingenierías. 3ª. Edición. México. McGrawHill.
6. Holman, J.P. 1985. Heat Transfer. International Student Edition. Estados Unidos.
7. Izard, J. 1955 Physique Industrielle. Francia. Aide memoire, Dunond.
8. Jones. (1997). Ingeniería Termodinámica. México. Prentice Hall Hispanoamericana.
9. López Revolorio, Luis Roberto. Evaluación del diseño de un horno mejorado para cal. Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1986.

10. Lorain, P. 1950. Les caudieres a vapeur. Francia. Tomo 3.
11. McCabe, W., Smith, J. y Harriott, P. 1991. Operaciones básicas de ingeniería química. 4ta. Edición. México. McGraw Hill.
12. Mott, R. 1996. Mecánica de fluidos aplicada. 4ª. Edición. México. Prentice
13. Obert, E. 1966. Motores de combustión interna. 24va. Edición. México. McGrawHill
14. <http://mie.esab.upc.es/df/fluids/moody.pdf> (octubre 2009)

ANEXOS

Tabla XX. Tabla para calcular Cp de gases de combustión para determinar la relación de calor máxima que se puede transferir

	Cp (cal/molK)	Temperatura	Cp (kcal/kgK)	yi	Cpi * yi (KJ/KgK)
CO2	12.8841243	900.7700	1.224890273	0.9992	1.2239
H2O	9.70986042	900.7700	2.255052355	0.0002	0.0005
O2	8.34022398	900.7700	1.090525181	0.0001	0.0001
N2	7.50	900.7700	1.120160278	0.0005	0.0005
SO2	12.1695632	900.7700	0.79485492	0.0000	0.0000
				TOTAL	1.2251

Fuente. Cengel, Y., y Boles, M. 1996. Termodinámica Tomo I y II. 2ª.
Edición. Pág.1005

Tabla XXI. Tabla para determinar densidad de gases utilizando números de Reynolds y cálculo de presión dinámica

COMPUESTO	yi	Densidad Gases a 0°C (lb/pe3)	Densidad Gases a 100°C (kg/m3)	Densidad Gases a 999.88 K por Ley de Ventiladores (kg/m3)	Densidad I * yi (kg/m3)	Viscosidad a 999.88 K (centiPoises)	Viscosidad (Pa*s)	Viscosidad I (Pa*s)*yi
CO2	0.9992	0.1235		0.5404	0.5400	0.0410	0.004100000	0.0040965364
H2O	0.0002		958.3650	357.6568	0.0850	0.0365	0.003650000	0.0000008677
O2	0.0001	0.0892		0.3903	0.0001	0.0470	0.004700000	0.0000006179
N2	0.0005	0.0782		0.3422	0.0002	0.0430	0.004300000	0.0000020276
SO2	0.0000	0.1828		0.7999	0.0000	0.0350	0.003500000	0.0000000143
TOTAL	1.0000				0.6252			0.0041000638

Fuente. Cengel, Y., y Boles, M. 1996. Termodinámica Tomo I y II. 2ª.
Edición. Pág.987

Tabla XXII. Tabla para calcular Cp de gases de combustión para determinar delta de temperatura en transferencia de calor con 100% de eficiencia

	Cp (cal/molK)	Temperatura	Cp (kcal/kgK)	yi	Cpi * yi (KJ/KgK)
CO2	12.8841243	999.8800	1.224890273	0.9992	1.2239
H2O	9.70986042	999.8800	2.255052355	0.0002	0.0005
O2	8.34022398	999.8800	1.090525181	0.0001	0.0001
N2	7.50	999.8800	1.120160278	0.0005	0.0005
SO2	12.1695632	999.8800	0.79485492	0.0000	0.0000
				TOTAL	1.2251

**Fuente. Cengel, Y., y Boles, M. 1996. Termodinámica Tomo I y II. 2ª.
Edición. Pág. 976**

Figura 3. Esquema de automatización de horno de cal

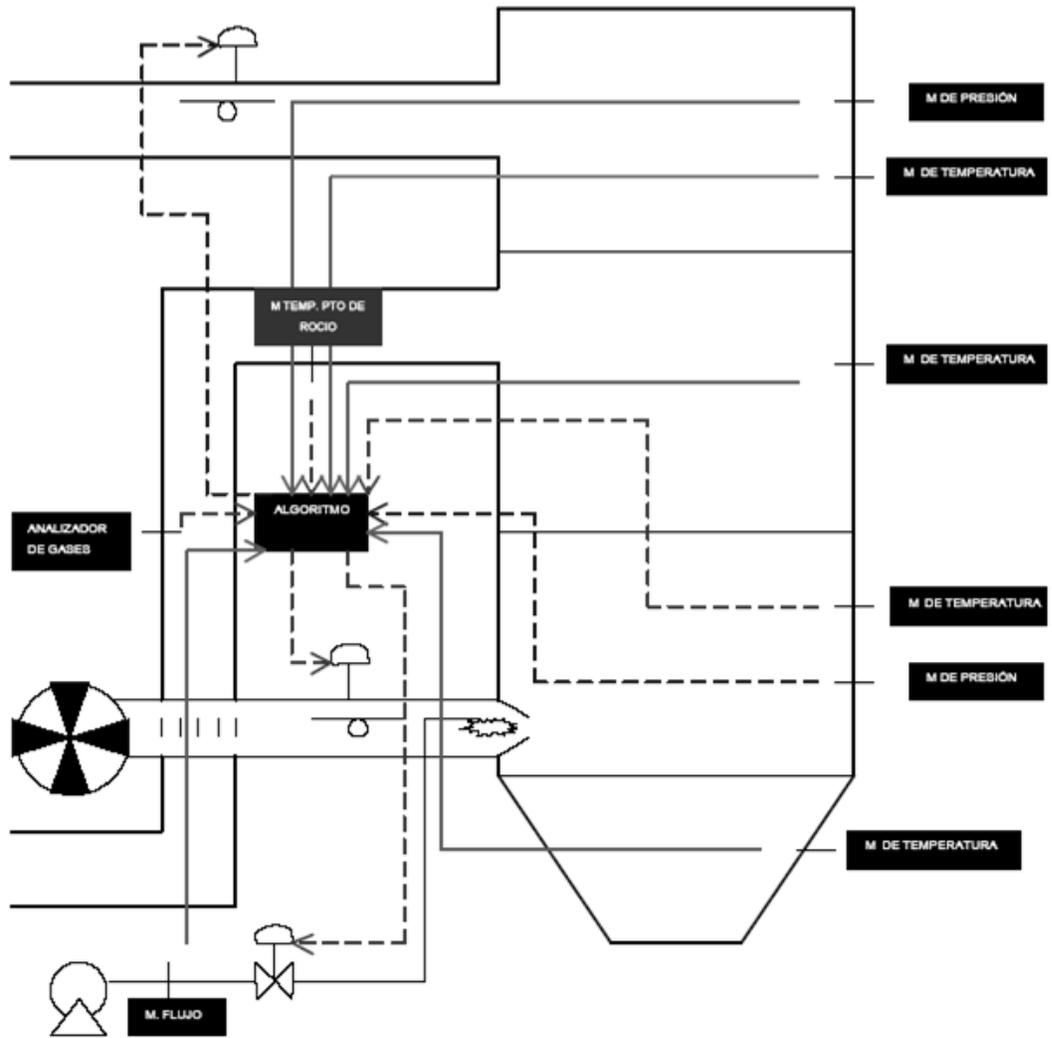
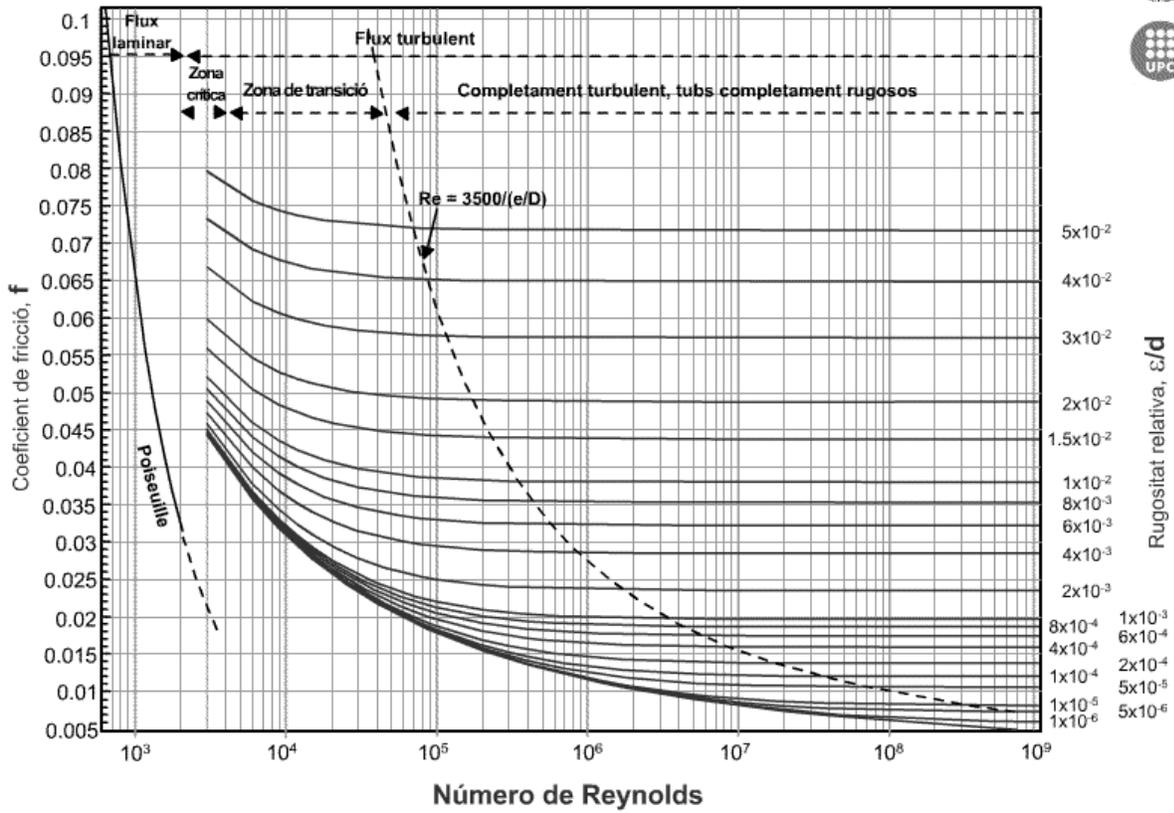


Figura 4. Diagrama de Moody



Fuente: <http://mie.esab.upc.es/df/fluids/moody.pdf>

Figura 5. Vista aérea caleras del sur



Figura 6. Materia prima y triturado de piedra



Figura 7. Aserrín utilizado como materia prima proceso de combustión



Figura 8. Horno de cal

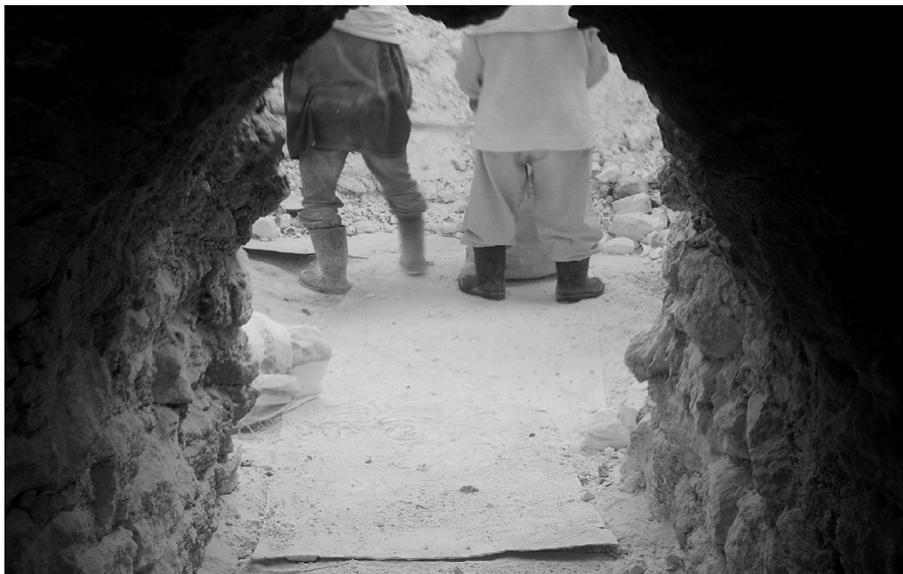


Figura 9. Producto terminado (cal)

