

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA LÍNEA PARA CONDUCCIÓN DE FLUIDO VISCOSO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE GALLETA RECUBIERTA EN LA EMPRESA NUEVAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS S.A. -NIASA-.

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

JAVIER EDUARDO OCHOA PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,999

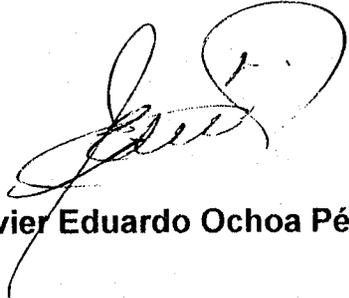


HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA LÍNEA PARA CONDUCCIÓN DE FLUIDO VISCOSO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE GALLETA RECUBIERTA EN LA EMPRESA NUEVAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS S.A. -NIASA-,

tema que me fuera asignado por la Coordinación de la carrera de Ingeniería Mecánica, en marzo de 1,998.



Javier Eduardo Ochoa Pérez

Guatemala, 26 de mayo de 1999

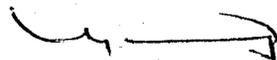
Ing. Carlos H. Pérez
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Pérez:

Atentamente se hace de su conocimiento que el estudiante Javier Eduardo Ochoa Pérez, número de carnet 9112569, ha desarrollado satisfactoriamente el Ejercicio de Práctica Supervisada (E.P.S), "Diseño e instalación de una línea para conducción de fluido viscoso, e implementación de un programa de mantenimiento correctivo en el área de producción de galleta recubierta en la empresa Nuevas Industrias de Alimentos S.A. (NIASA)", punto aprobado por la Escuela que usted acertadamente dirige; por lo cual se solicita que giren sus buenos oficios a donde corresponda para continuar con los trámites necesarios.

Agradeciendo su atención a la presente,

Atentamente,



Ing. Jorge Cerezo Fernández
Colegiado No. 1776



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador de E.P.S., al trabajo de tesis, Diseño e Instalación de una Línea para Conducción de Fluido Viscoso e Implementación de un Programa de Mantenimiento Correctivo en el Área de Producción de Galleta Recubierta en la Empresa Nuevas Industrias de Alimentos S. A. -NIASA-, del estudiante Javier Eduardo Ochoa Pérez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAR A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR

Guatemala, noviembre de 1,999.



FACULTAD DE INGENIERIA

DECANATO

Tels.: 4760790 al 94 - Ext. 348

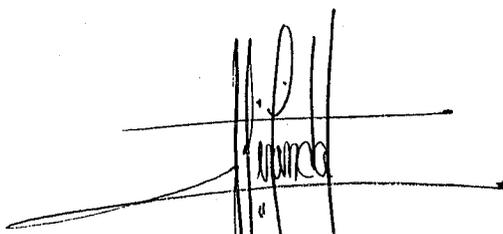
Directo: 4769579 - Fax: 4760365

E-mail: hmiranda@usac.edu.gt

Ref. D-T-002-99

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 Química al trabajo de tesis titulado: **Diseño e Instalación de una Línea para Conducción de Fluido Viscoso e Implementación de un Programa de Mantenimiento Correctivo en el Area de Producción de Galleta Recubierta en la Empresa Nuevas Industrias de Alimentos, S. A. -NIASA-** presentado por el estudiante universitario, **Javier Eduardo Ochoa Pérez**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRÍMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, Noviembre de 1999

/mds

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Gracias Señor por permitirme poner a tus pies un triunfo tuyo, como agradecimiento al amor incondicional que me brindas, porque tu mano protectora no me desampara y porque aún sin merecerlo me regalas un momento más de alegría.

A mis padres; por ser mi ejemplo, por ser mis guías, por ser la muestra palpable del amor de Dios, por demostrarme que el triunfo más grande de la vida es poder sacrificarse con el corazón lleno de alegría, por ser mi apoyo inquebrantable por ser el regalo más grande que Dios me ha dado.

A mis hermanas: Mayra, Ana Lucía y Claudia. Por ser parte de mi corazón, por compartir conmigo momentos de gran alegría y de profunda tristeza, por ser siempre mi esperanza y mi consuelo.

A mi mamita Higinia; por enseñarme que la sabiduría no la da el intelecto, la brinda Dios a las personas de corazón noble.

A mi tía Berta Pérez, por brindarme su apoyo y su cariño.

A mis primos y hermanos del alma Eduardo y Roberto Solis; por ser mis grandes ejemplos.

A Alida Estrada; por ser mi amor, mi apoyo y mi alegría.

A mi cuñado, Luis Alfredo; con respeto y cariño.

Al Ing. Jorge Cerezo; con profunda admiración.

A la familia NIASA, de todo corazón, muchas gracias por sus enseñanzas.

A Don Byron García (†), por ser nuestro consuelo y fortaleza por toda la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
HIPÓTESIS	VIII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	VII

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Generalidades de la empresa

1.1.1 Descripción de la empresa Nuevas Industrias de Alimentos, S.A.	1
1.1.2 Descripción del área de producción de galleta recubierta	5

1.2 Factores a considerar para elevar la eficiencia de los hornos productores de oblea

1.2.1 Especificaciones técnicas y descripción de los hornos	8
1.2.1.1 Sistema de alimentación de LPG (combustión)	9
1.2.1.2 Sistema eléctrico de los hornos	15
1.2.1.3 Consideraciones sobre evacuación de los gases quemados	16
1.2.1.4 Aire comprimido para uso de los hornos	17
1.2.1.5 Controles de temperatura	18
1.2.2 Principios fundamentales en cuanto al manejo de hornos	39
1.2.3 Seguridad en operación de hornos	43
1.2.4 Programa de mantenimiento preventivo para mantener eficiencias	45

1.3 Situación del aislamiento en los hornos productores de oblea

1.3.1 Estado actual del aislamiento de los hornos	48
1.3.2 Problemas causados por un mal aislamiento	48
1.3.3 Aislamientos utilizados en hornos	49
1.3.4 Descripción de los aislantes y tipos de aislantes	49
1.3.4.1 Aislantes utilizados en hornos sus especificaciones y diseños	50
1.3.4.2 Diseño y montaje en aislamientos para hornos y chimeneas	51
1.3.5 Temperatura en el interior y exterior del horno	57

2. FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

2.1 Diseño e instalación de una línea para conducción de fluido viscoso

2.1.1	Descripción del procedimiento actual para la conducción de chocolate	59
2.1.2	Definición del problema	59
2.1.3	Recopilación de datos	60
2.1.4	Diseño y cálculos	61
2.1.4.1	Sustento teórico	61
2.1.4.2	Requerimientos en cuanto a potencia (bombeo)	65
2.1.4.3	Requerimiento en cuanto a tuberías	69
2.1.4.4	Requerimiento de flujo de vapor para calentar la línea de conducción	70
2.1.5	Planos de instalación y montaje	71
2.1.6	Medición y controles de temperatura	76
2.1.7	Capacidad para balance de línea	76

2.2 Implementación de un programa de mantenimiento correctivo

2.2.1	Definición del problema	78
2.2.2	Puntos críticos del proceso desde el punto de vista mecánico	78
2.2.2.1	Ventilación	78
2.2.2.2	Iluminación	83
2.2.3	Planos de instalación	90

CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Página
1	Plano del sistema original de combustión de LPG	20
2	Plano del sistema implementado de combustión de LPG	26
3	Fotografía del sistema original (reguladores de presión)	30
4	Fotografía del sistema original (ventilador)	31
5	Fotografía del sistema original (distribución de LPG a los quemadores superior e inferior)	32
6	Fotografía del sistema implementado (sensores)	33
7	Fotografía del sistema implementado (válvula motorizada)	35
8	Fotografía del sistema implementado (reguladores de presión)	36
9	Fotografía del sistema implementado (distribución de LPG a los quemadores superior e inferior)	38
10	Fotografía de tipos de aislantes	56
11	Fotografía de una bomba de membrana	63
12	Planos de instalación de línea de tubería para conducción de chocolate	71
13	Planos de redistribución de iluminación y ventilación	90

GLOSARIO

ISO 9 000	Define políticas de calidad como el conjunto de objetivos y directrices de una organización en lo que a calidad respecta, tales como los que son formalmente expresados por la alta gerencia.
Obleas	Hojuelas que combinadas con cremas de sabor y recubiertas de chocolate dan forma a la galleta recubierta.
Batido	Crema de diferentes sabores que es untada entre las obleas que formarán la galleta.
Untadora	Máquina encargada de untar en la superficie de la oblea cremas de sabores (vainilla, chocolate y banano).
Mecanismo de resbalamiento	Consiste en dos discos antifricción que trabajan como acople, y girarán entre sí cuando se de un esfuerzo en el mecanismo que pueda dañar piezas importantes.
Vahos	Vapor resultante por el agua existente en el batido para oblea.
BTU	<i>British thermal unit</i> , 1/180 de la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 libra (0.45359 kg.) de agua desde 32°F a 212°F.
Tiro	Diferencia en la presión estática de un gas entre dos puntos en un sistema.

Refinadora	Máquina dentro de la cual se introducen los ingredientes, para mezclarlos y calentarlos aproximadamente por 6 horas, para obtener el chocolate de recubrimiento.
Poporopo	Exceso de masa para oblea desalojada del interior de la plancha de cocción al momento de cerrar; será la prueba inequívoca de que la masa ha llenado completamente la plancha de cocción.
Termocupla	Sensor de temperatura colocado dentro del horno que envía señales de voltaje que serán procesados por un controlador electrónico.
Válvula auxiliar	La válvula auxiliar es una alternativa de operación en caso no funcione la válvula motorizada pero se trabajará manualmente. Puede ser una válvula de globo.
Frecuencia	Indicador de velocidad de las planchas de cocimiento dentro del horno.
Panel auxiliar	Panel eléctrico donde se encuentra el controlador electrónico y el variador de frecuencia del motor del horno.
Número de Reynolds (NR)	Predice el comportamiento del flujo. Si $NR < 2000$, flujo laminar, si $NR > 4000$, flujo turbulento.
Régimen Turbulento	Flujo de tipo permanente en donde las partículas se mueven en forma desordenada en todas las direcciones, creándose corrientes irregulares.

**Sangrado o
purgado**

Procedimiento por el cual se saca el aire existente en el sistema de calentamiento, pues es un agente negativo, ya que no transmite calor como lo hace el agua.

Chapa

Espacio entre tubos, por donde transitará el agua caliente para evitar la solidificación del chocolate y la consecuente creación de tapones en la tubería.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado -E.P.S.-, y tiene como objetivo estudiar a profundidad los problemas que se presentan en la línea de producción de galleta recubierta en la empresa Nuevas Industrias de Alimentos, S.A.

Se realizó una verificación exhaustiva de la maquinaria que interviene en el proceso de elaboración de galleta recubierta, y basándose en manuales de operación, experiencias del personal operativo, personal administrativo y la puesta en práctica de principios de ingeniería se buscó dar solución a los problemas existentes y presentar propuestas para la mejora de algunos aspectos dentro del proceso de elaboración de galleta recubierta. El objetivo que se persiguió fue lograr el aprovechamiento de la maquinaria en un 100 por ciento y dotar al personal de un ambiente seguro y acogedor en sus puestos de trabajo.

El primer capítulo ofrece una descripción de la empresa, su estructura administrativa, y la maquinaria involucrada en la producción de galleta recubierta. Dentro del mismo capítulo se examina a profundidad el estado de los hornos productores de oblea y la manera más eficiente para ahorrar energía durante su operación.

En el segundo capítulo se presenta el estudio para el montaje de una línea de conducción de fluido viscoso, específicamente chocolate de recubierto, y los diseños para mejorar el ambiente de trabajo del personal operativo. Se tomaron en cuenta aspectos como ventilación, e iluminación.

Al haber analizado las soluciones que resultaron más adecuadas se ofrecen recomendaciones para dar seguimiento a los cambios realizados dentro de las líneas de producción de galleta, siempre desde el punto de vista mecánico.

HIPÓTESIS

La elaboración de galleta recubierta con chocolate es uno de los procesos más complicados que se realizan en la empresa NIASA, ya que el transporte de chocolate se hace de forma manual existiendo el riesgo de contaminación así como la provocación de derrames en el área de trabajo lo que afecta la apariencia física de dicho lugar; además al ocupar instalaciones acondicionadas originalmente para la elaboración de otra clase de producto, se dan ineficiencias en el área de producción, por lo que es necesario diseñar e instalar un sistema de tuberías e implementar un plan de mantenimiento correctivo.

OBJETIVOS

Objetivos generales

1. Diseñar e instalar una línea de tubería para la conducción de chocolate de cobertura para la empresa Nuevas Industrias de Alimentos S. A. –NIASA-.
2. Implementar un programa de mantenimiento correctivo en el área de producción de galleta recubierta .
3. Brindar capacitación y asesoría técnica al personal del área de talleres.

Objetivos específicos

1. Agilizar el proceso de conducción de chocolate desde la máquina refinadora hasta la máquina que aplica el recubierto a la galleta.
2. Elevar la eficiencia de la línea de producción del área de galleta, desde el punto de vista mecánico (maquinaria y equipo).
3. Determinar y analizar los criterios que se deben tomar en cuenta con relación al manejo de chocolate de cobertura.
4. Elaborar los juegos de planos que muestren a detalle los trabajos a realizar, y los manuales de operación.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Generalidades de la empresa

1.1.1 Descripción de la empresa Nuevas Industrias de Alimentos, S. A.

En 1985, se constituye la empresa NUEVAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS S. A. -NIASA-, ubicada en las antiguas instalaciones de la fábrica COLGATE PALMOLIVE, con la misión de ofrecer productos de la máxima calidad, en lo referente a confitería. Estos productos son exportados a El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica, dentro del territorio centroamericano y a otros países del mundo, tales como: Jamaica, Puerto Rico, España, Senegal, Dackar, México, Corea y Japón. El chicle Bazooka, es el punto de partida de tan exitosa empresa, y su venta llevó a lo largo de los años a ampliar las líneas de producción a otras áreas como galleta, paleta y chicle bolita.

Nuevas Industrias de Alimentos S. A., cuenta con aproximadamente 200 trabajadores, distribuidos en turnos rotativos a lo largo del día, siendo estos los responsables directos de llevar a cabo las actividades de la empresa, de una manera exitosa.

La Empresa se divide en cuatro departamentos, igualmente importantes, Administración, Control de Calidad, Recursos Humanos y Producción.

Administración

Tiene como principal actividad el Control General de la empresa y debe garantizar la generación de utilidades suficientes para el pago de los salarios, de los principales gastos y para inversiones en instalación, equipo y mobiliario. También ve el detalle de caja diariamente y controla saldos bancarios, emisión de cheques y compra de dólares para financiar las importaciones. Realiza los pagos de salarios, pago a proveedores y administra el presupuesto general. Otra de sus funciones es coordinar las actividades del Departamento de Ventas así como la consecución de las metas del mismo. Apoya la gestión de todos los distribuidores, sugiriendo precios y actividades de mercadeo.

Control de calidad

Es el departamento encargado de implementar en la empresa un sistema de garantía de calidad **ISO 9 000** y lograr que NIASA sea reconocida en el ámbito mundial como una empresa que fabrica productos de primera calidad. Establece controles estadísticos de los procesos productivos y vela por que se cumplan las normas y procedimientos.

Producción

Administra la planta de producción tanto a los trabajadores como el material que se utilizará. Planifica las importaciones de materia prima y control de las existencias de materiales. Maneja un equilibrio entre alta producción y alto nivel de calidad, sumando a todo lo anterior, entregas de productos en tiempo, para un buen servicio al cliente.

Recursos Humanos

Por ser el recurso humano el motor principal en toda organización, en NIASA, el departamento de Recursos Humanos es el encargado del reclutamiento, selección y contratación del personal, elaboración de programas de inducción al personal y administración de los beneficios del trabajador. También es el encargado de implementar programas de seguridad e higiene industrial.

Su visión

Ser una empresa líder a nivel Latinoamericano, con productos de alta calidad y de primera línea que compitan en el mercado mundial y que soportada por altos niveles de rentabilidad, permita el bienestar para quienes trabajan en ella, así como para sus respectivas familias.

Su misión

Ser una industria dedicada a la confitería de productos de alta calidad y orientada a la venta en el mercado mundial. Nuestros productos son diseñados para satisfacer a nuestros clientes a quienes a la vez brindamos un excelente servicio, lo logramos a través de un personal altamente calificado y motivado, actualizándolos en tecnología moderna de fabricación y apoyándolos en sistemas de información exactos y oportunos. Se cree en un cambio dinámico y permanente que asegure un crecimiento económico estable para el beneficio de los accionistas, de los clientes y de cada una de las personas que laboran en esta organización. La alta gerencia se ha comprometido a implementar un sistema de aseguramiento de calidad que permita cumplir con los requerimientos de calidad de los clientes.

Declaración de la política de calidad

Durante la junta del 22 de abril de 1997, la Gerencia conjuntamente con su equipo ejecutivo acordó implementar un sistema de aseguramiento interno de calidad, y elaboró el siguiente compromiso de política gerencial.

La Gerencia de Nuevas Industrias de Alimentos S. A., se compromete a implementar un sistema de aseguramiento de calidad, de acuerdo con la norma ISO 9 004-1, propiciando las condiciones necesarias para evolucionar hacia un sistema gerencial de calidad que opere bajo la serie de normas ISO 9 001, buscando la certificación de los sistema de calidad para el año 2 002.

El propósito de esta política es desarrollar, mantener y asegurar una calidad de producto y servicio que satisfaga consistentemente las necesidades implícitas de los clientes internos y externos, asegurándoles el cumplimiento de sus requerimientos de calidad a tiempo, a través del control de los procedimientos, los cuales deberán operar de acuerdo a las normas estipuladas. Los objetivos que se persiguen con esta política son:

- Contar con una organización con personal altamente calificado y talentoso en gestión de calidad que capacite, integre y logre que el personal se mantenga en la empresa, para enfrentar los nuevos paradigmas; que implemente mejoras continuas a todos los procesos y evalúe permanentemente los cambios necesarios para que se logre un nivel de alta calidad y constante.
- Aceptar como filosofía de trabajo la búsqueda de la excelencia enmarcada dentro de un sistema de calidad que garantice la supervivencia de la empresa dentro del mercado mundial y un crecimiento continuo de las

utilidades y de la rentabilidad.

- Sobrepasar las expectativas de los clientes con relación a la calidad de los productos y brindarles un servicio excelente y diferenciado de la competencia.

1.1.2 Descripción del área de producción de galleta recubierta

El área de producción de galleta recubierta cuenta con un área aproximada de 1070 m² y ocupa un 40%, del total de la planta de producción de la fábrica NIASA. Actualmente dicha parte de la planta sufre de varios problemas como, iluminación, ventilación, mala distribución de instalaciones mecánicas (tubería de gas y agua), además de tubería eléctrica que necesita ser reubicada.

El proceso comienza con proporcionar, de parte de la bodega de materias primas, los elementos necesarios para la elaboración del batido (para después de hacerlo pasar a través del horno, obtener la oblea). Por otra parte, y también proveniente de la bodega de materias primas, se pasan los ingredientes necesarios para el batido, que puede ser de diferentes sabores: vainilla, chocolate y banano.

Cabe mencionar que sólo nos referiremos a los procedimientos para la elaboración de galleta recubierta, a sabiendas que en NIASA no solo se fábrica esta clase de galleta, sin embargo, es en este proceso (elaboración de galleta recubierta) donde más factores se deben considerar para lograr una alta eficiencia en cuanto a su fabricación.

Actualmente la iluminación del área de producción ha sido reestructurada pero, aún así, no se cuenta con un estudio técnico que de una solución

adecuada a dicho problema. Siguiendo con el estado físico actual de la planta nos damos cuenta que, en una misma área se encuentra máquinas y equipos que transfieren mucha energía calorífica a sus alrededores (caldera, hornos de cocimiento de oblea) seguidos de los equipos de refrigeración (túneles de enfriamiento). También se carece de un estudio, que tomando en cuenta dichos factores, presente soluciones en cuanto a un adecuado sistema de ventilación. Los hornos de cocimiento de oblea presentan un grave deterioro del material aislante, además de carecer de una baja depresión en el tiro natural de los hornos, lo cual provoca excesivas temperaturas internas. Por una parte, la llama producida por la combustión de LPG debe mantenerse alta y constante por el calor cedido al ambiente, y por la otra, la dificultad que tienen los gases de combustión para salir del horno (la succión obtenida por el tiro natural no es suficientemente fuerte para vencer las resistencias al paso de los gases de combustión).

De manera general se puede describir el área de producción de galleta recubierta, como una bodega de forma cuadrada, en donde se sitúan oficinas -Recursos Humanos, Gerencia de Planta, Control de Calidad y Mantenimiento-, y se tienen divisiones que colindan con la bodega de materia prima.

El proceso comienza con la mezcla de los materiales para obtención de oblea y con la mezcla de cocoa, leche, lecitina, etc., para obtener el chocolate de recubierto. Ambos procedimientos se realizan al mismo tiempo, en diferentes partes del área de producción con la utilización de diferentes máquinas.

La elaboración del batido se realiza en una batidora, que básicamente se compone de un recipiente de acero inoxidable de forma cilíndrica dentro del cual hay un aspa circular acoplada directamente a un motor eléctrico de 3HP

girando a 1000 RPM. La velocidad del mezclador es determinante para la consistencia del batido, desde el punto de vista de textura de la oblea (velocidades de mezclado bajas producen batidos poco homogéneos, con presencia de gránulos).

El chocolate para recubierto se obtiene después de juntar manteca, cocoa, azúcar, lecitina y sal, en la máquina mezcladora (refinadora). Para la operación de dicha mezcladora se debe observar parámetros de temperatura y tiempo de mezcla. La temperatura determina el momento de poner en marcha las aspas del mezclador, esperando llegar a 50°C (122°F), punto donde disminuye la viscosidad, y consecuentemente, la resistencia a fluir; disminuyendo así el torque necesario para que el motor pueda mover las aspas del mezclador. El control de la velocidad de mezclado se basa en la observación de un amperímetro situado en el panel de control de la mezcladora, el cual se encontrará en rangos de 10 A. El tiempo de mezclado es de 12 horas a una temperatura de 50 a 55°C (122 a 131°F).

Retomando el proceso para la obtención de oblea; después de haber mezclado el batido correctamente, se traslada a los depósitos de los hornos, de donde, por medio de mangueras y la succión de una bomba dosificadora, se inyectará batido a la superficie de las planchas de cocimiento, donde después de realizar un recorrido circular dentro del horno a una temperatura aproximada de 260°C (500°F), se pasará la oblea a un ordenador de obleas que realiza también un trabajo de enfriamiento. El enfriamiento de la oblea busca darle una consistencia sólida, ayudar a un recubrimiento homogéneo de batido dulce por medio de la untadora, evitando también temperaturas indeseables en los túneles de enfriamiento.

Después de la untadora, el paso siguiente es enfriar la unión de obleas (libros), pasando por un túnel refrigerado a una temperatura de 6°C (42.8°F). Después a la máquina cortadora de libros.

Pasando por la cortadora se llega al punto de unión entre la galleta y el recubierto, desarrollándose este paso, por medio de la máquina de recubierto. Su trabajo consiste en dejar caer en forma de cascada, sobre la galleta, chocolate previamente elaborado en la refinadora. Pasando finalmente a otro túnel refrigerado (ahora será el tratamiento para el chocolate de recubierto, se busca darle solidez y brillo), para llegar al área de empaque.

1.2 Factores a considerar para elevar la eficiencia de los hornos productores de oblea

1.2.1 Especificaciones técnicas y descripción de los hornos

Las máquinas automáticas para la cocción de las obleas existentes en NIASA, son adecuadas para la producción de los distintos tipos de obleas como las planas y las huecas, por ejemplo nueces, conchas, formas de fantasía, etc.

La máquina consiste de un bastidor robusto de acero con un riel incorporado para la cadena. Una cadena articulada sin fin es la que transporta en sí los carros de pinzas con las planchas de cocción instaladas sobre ellos. La cadena portadora de las pinzas de cocción es apretada por tornillos tensores.

La máquina es accionada a través de un motor reductor con un acoplamiento de resbalamiento como protección contra esfuerzos extremos en el mecanismo. Para trabajos de ajuste es posible mover la cadena portadora

de las pinzas también mediante una manivela a mano. La máquina es calentada por gas licuado de petróleo (LPG).

Un revestimiento de material refractario en el interior de las paredes exteriores del horno, es el encargado de evitar excesivas pérdidas de calor en la cámara de combustión, logrando al mismo tiempo un ambiente agradable de trabajo.

Los vahos de cocción y los gases de escape son conducidos mediante una cúpula de escape, hacia la chimenea.

1.2.1.1 Sistema de alimentación de LPG (Combustión)

La máquina es calentada por gas. Este puede ser: gas de ciudad, gas natural, gas propano/butano o gas licuado de petróleo junto con una instalación gasificadora de aceite.

El gas licuado de petróleo -LPG, *liquefied petroleum gas*-, es una mezcla de hidrocarburos que por lo común contiene propano, butano, isobutano y, en menor grado, propileno o butileno. Los productos comerciales más comunes son propano, butano o una mezcla de ambos. El propano y el butano por lo general se extraen del gas natural o del petróleo crudo. El propileno y los butilenos provienen del craqueo de otros hidrocarburos en la refinería de petróleo y son dos básicos químicos importantes.

Para lograr optimizar el sistema de alimentación, desde el tanque de almacenamiento, a los hornos debemos conocer aspectos básicos sobre instalaciones de LPG.

La extracción de LPG de un tanque reduce la presión contenida. Esto causa que el líquido **hierva** en un intento por restaurar la presión por medio de la generación de vapor para reemplazar aquel vapor que fue extraído. El **calor latente de vaporización** requerido es cedido por el líquido, lo que causa que la temperatura del líquido baje como resultado del calor consumido.

El calor perdido a causa de la vaporización del líquido es reemplazado por el calor del aire que rodea el recipiente. Este calor es transferido del aire al líquido por medio de la superficie metálica del tanque. El área del tanque en contacto con el vapor no se considera porque el vapor absorbido por el vapor es insignificante. La parte de la superficie del tanque que está bañada en este líquido se llama **la superficie mojada**. Mientras más grande sea esta superficie mojada, es decir, mientras más líquido haya en el tanque, mayor será la capacidad de vaporización del sistema. Un recipiente más grande tendrá una superficie mojada más grande y por lo tanto tendrá una capacidad de vaporización mayor. Si el líquido en el recipiente recibe el calor para la vaporización del aire exterior, mientras más alta sea la temperatura exterior, mayor será el índice de vaporización del sistema.

Para determinar apropiadamente las dimensiones del recipiente de almacenamiento, del regulador y de las tuberías, se debe determinar la carga/consumo total de BTU. La carga total es la suma de todo consumo de gas en la instalación. Se calcula sumando el consumo de BTU de todos los aparatos en la instalación. El consumo de BTU se puede obtener de la placa del fabricante, situada en algún lugar del horno sometido a estudio.

Durante la planificación inicial de la instalación, también deben ser considerados los aparatos que pueden ser instalados en el futuro, para poder eliminar la necesidad de hacer una revisión posterior de la tubería y de las

instalaciones de almacenamiento.

En el caso específico de NIASA, el combustible (LPG), es entregado en la planta de producción por Texaco Guatemala Inc., y según datos tabulados en el mes de abril de 1998 se tiene lo siguiente:

Tabla I. Características del LPG Texaco Guatemala Inc.

Características	Reporte
Gravedad específica 60/60°F	0.546
Presión de vapor 100°F, psig	110.4
95% evaporado, °F	29.8
Residuo líquido	<0.05
Etano, % vol.	1.043
Propano, % vol.	45.093
Iso-Butano, % vol.	29.534
n-Butano, % vol.	23.676
Propileno, % vol.	0.528
Iso-Pentano, % vol.	0.261
Corr. Cu STP a 122°F	1ª
Poder Calorífico, BTU/gal	96,122.42

Según datos estimados, el consumo de gas (trabajando los dos hornos), es de 10 gal/h. Asumiendo un poder calorífico constante de 96,122.42 BTU/gal., se tiene:

$$10 \text{ gal/hora} * 96,122.42 \text{ BTU/gal} = 961,224.2 \text{ BTU/hora}$$

Basados en datos del fabricante con relación a la energía calorífica utilizada por los hornos tendremos:

Del total de BTU requeridos por hora corresponde al horno de 18 planchas un 37.5 por ciento contra un 62.5 por ciento de consumo para el horno de 30 planchas.

Con los datos obtenidos anteriormente buscaremos determinar el diámetro y tipo de tubería correcta para la transportación de combustible, desde el depósito, hasta los hornos.

Selección de tubos y tuberías

Para la correcta selección de la tubería se utilizará el siguiente método sencillo. Se consideran las tuberías entre reguladores de primera y segunda etapa, como también tuberías de baja presión (pulgadas de columna de agua) entre reguladores de segunda etapa, etapa única, o etapa doble integral y aparatos.

Metodología

1. Determinar la demanda total de gas del sistema, sumando la entrada de BTU/h de las placas de los aparatos y agregándole la demanda apropiada para aparatos futuros.
2. Para tubería de segunda etapa, etapa única, o etapa doble integral.
 - A. Medir la longitud de la tubería requerida desde la salida del regulador hasta el aparato más lejano. No se necesita ninguna otra medida para sacar las dimensiones.

- B. Hacer un esquema sencillo del sistema de tuberías.
 - C. Determinar la capacidad que manejará cada sección de tubería.
 - D. Usando la tabla No. 6 (ver anexo 3) , seleccionar el diámetro correcto de tubo o tubería para cada sección, usando los valores en BTU/hr para la longitud determinada en el paso No.2-A. Si la longitud exacta no se encuentra en el cuadro, usar la siguiente longitud más larga. No use otra longitud para este propósito! Simplemente seleccione el tamaño que muestra por lo menos la capacidad necesaria para cada sección de tubería.
3. Para tuberías entre reguladores de primera y segunda etapa.
- A. Para un sistema sencillo con un solo regulador de segunda etapa, simplemente medir la longitud de tubería requerida entre la salida del regulador de primera etapa y la entrada del regulador de segunda etapa. Seleccionar el tubo o tubería requerida de la tabla 1, 2 o 3 (anexo 3).
 - B. Para sistemas con múltiples reguladores de segunda etapa, medir la longitud de tubería requerida para alcanzar el regulador de segunda etapa que esté más lejos. Hacer un esquema sencillo, y medir cada tramo de tubería usando la Tabla 1, 2 o 3 (anexo 3), utilizando los valores en la columna que corresponde a la longitud medida anteriormente, al igual que cuando se trata de tubería de segunda etapa.

Reguladores de LPG

El regulador es verdaderamente el corazón de una instalación de LPG. Este debe compensar por las variaciones en la presión del tanque, desde las

más bajas, como 8 PSIG hasta 220 PSIG; y aún así suministrar un flujo constante de LPG a 11" C.A. (columna de agua) a los aparatos consumidores. El regulador debe suministrar esta presión a pesar de la carga variable producida por el uso intermitente de los aparatos.

Aún cuando un sistema de etapa única puede operar de forma adecuada en muchas instalaciones, el uso de un sistema de dos etapas ofrece la máxima precisión en la instalación. La regulación de dos etapas puede tener como resultado una operación de LPG más rentable, debido al poco mantenimiento requerido.

La instalación de un sistema de dos etapas (un regulador de alta presión en el recipiente para compensar por las variaciones en las presiones de entrada, y un regulador de baja presión en la entrada del aparato consumidor), ayuda a mantener una eficiencia máxima y una operación libre de problemas. Es importante notar que mientras la presión en los aparatos puede variar hasta 4"C.A. (columna de agua) usando sistemas de etapa única, los sistemas de dos etapas mantienen las variaciones dentro de 1"C.A.

La congelación del regulador ocurre cuando la humedad del gas se condensa y se congela en las superficies frías de la boquilla del regulador. La boquilla se enfría cuando el gas de alta presión se expande a través de ella hasta llegar al regulador. Este enfriamiento es aún más severo en sistemas de primera etapa debido a que el gas se expande de la presión del tanque a 11" C.A. a través de una sola boquilla de regulador.

Los sistemas de dos etapas pueden reducir en gran parte la posibilidad de congelación, debido a que la expansión del gas de la presión del tanque a 11" C.A. se divide en dos partes, con menos enfriamiento en cada regulador.

Además, después de que el gas sale del regulador de primera etapa y entra a la línea de transmisión de primera etapa, este absorbe calor de la línea, lo que reduce aún más la posibilidad de congelación en la segunda etapa.

1.2.1.2 Sistema eléctrico de los hornos

El sistema eléctrico de los hornos se dirige desde el panel eléctrico situado en la parte opuesta del inyector de masa. El voltaje que llega al panel es 220 voltios, distribución tres fases, 60 hertz. El voltaje de trabajo (en contactores, relés y PLC) se reduce a 24 voltios por medio de un transformador situado dentro del panel.

El sistema eléctrico maneja la secuencia de encendido del horno. Para iniciar la secuencia se pulsa el accionamiento principal (situado a un costado del horno), acto seguido se enciende el motor que da movimiento a las planchas de cocción; después se procede a la ignición de las llamas: girando a la posición de encendido la manija que se encuentra en el tablero de control frente al inyector de masa. A partir del procedimiento anterior el orden de encendido en los demás componentes será dirigido por el PLC Logo, marca Siemens. El encendido solamente se interrumpe si en alguno, o en todos, los dispositivos de seguridad se verifican alguna anomalía.

1.2.1.3 Consideraciones sobre evacuación de gases quemados

Durante la combustión y la transferencia de calor a las superficies absorbentes de éste, es necesario mantener una presión suficiente para vencer la resistencia al flujo dentro del horno. La resistencia a los flujos del aire y del gas depende de la disposición del equipo y varía con los gastos y las

temperaturas del aire y del gas.

Los ventiladores de tiro forzado, que manejan aire frío y limpio, proporcionan la fuente más económica de energía para producir flujo a través de los hogares. Los ventiladores de tiro inducido, que manejan gases de combustión calientes, requieren más potencia y están sujetos a erosión por la ceniza muy fina, sin embargo, facilitan la operación al proporcionar un tiro en la parte final de la chimenea, evitando así, fugas de gas al exterior por medio de juntas o rendijas de la cubierta del horno.

El efecto de chimenea es causado por la diferencia en las densidades que resulta de la diferencia en las temperaturas de dos columnas verticales del gas. En una chimenea, el efecto de chimenea se debe a la diferencia entre el gas caliente confinado y el aire más frío circundante, y la presión estática igual en la parte superior o escape libre de la chimenea.

La tubería de empalme de la salida tiene un diámetro exterior de 200mm (atrás) y 300mm (delante).

Los hornos automáticos Franz Haas siempre tienen que ser equipadas con una salida de gases. Frecuentemente es suficiente unir las salidas en una chimenea cercana de buen tiro. Si no fuese suficiente, se hará uso de un ventilador (tiro inducido o forzado), para evitar una acumulación de gases de escape en el horno. Se requiere una depresión de 15-20 mm C.A. en la unión de las dos chimeneas.

Para calcular el volumen de gases de escape, se calcula la superficie de una plancha de cocción y se multiplica por 0.000825, que es un factor determinado a partir de una combustión bien proporcionada (aire - gas),

estudiando solamente la cantidad de vapor que se produce al momento de cocerse la masa, para obtener el volumen en metros cúbicos por hora y plancha. Finalmente, se multiplica por el número de planchas.

Tamaño de la plancha: 270mm X 370mm (MWA 30)

$$270 \times 370 = 99900$$

$$99900 \times 0.000825 = 82.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$2 \text{ m}^3/\text{h}$$

1.2.1.4 Aire comprimido para uso de los hornos

El horno no cuenta con sistemas neumáticos complicados para sistemas de control, el uso específico del aire se reduce al soplado en las planchas de cocción para desprender las obleas ya cocidas.

La presión a manejar será de 6 Bar y después de la línea principal de aire comprimido se colocará una llave principal, seguida de dos válvulas de rodillos que accionadas por dos levas desfasadas enviarán el caudal de aire necesario para desprender, en principio, el poporopo y luego la oblea de la superficie interna de la plancha de cocción.

Se colocará al final de las dos salidas de aire, válvulas de aguja para tener un flujo de aire controlado (el exceso de aire empuja la oblea con tal fuerza que la rompe por la fragilidad de esta).

1.2.1.5 Controles de temperatura

El control automático evita el desperdicio de calor por temperaturas innecesariamente elevadas, los períodos fríos evitables y el aire excesivo o el combustible no quemado por mala combustión. Es de importancia aún mayor, la prevención del daño al producto por variaciones incontrolables de temperaturas, oxidación excesiva. Estos controladores automáticos son actuados por termopares emplazados dentro del horno. El termopar (termocupla) no debe estar ubicado en la trayectoria directa de las flamas, ya que éstas no sólo están varios cientos de grados más calientes que la temperatura del horno, sino que también son de temperatura en extremo variable y no constituye una indicación de la temperatura promedio. El control automático de la atmósfera para el mantenimiento consecuente de una buena combustión, se logra mediante la dosificación adecuada de combustible y el aire de combustión conforme entran al horno. Esto se realiza mediante la aplicación de alguna característica del flujo de uno de los fluidos para controlar el otro. En nuestro caso particular aprovecharemos la velocidad del aire y la depresión causada al momento de pasar por el estrechamiento en el mezclador Vénturi para hacer nuestra mezcla combustible.

Durante el transporte de las obleas dentro del horno de cocimiento se presentan problemas relacionados con la calidad de cocimiento. Este problema repercute en los siguientes pasos del proceso. También, la falta o exceso de cocimiento puede llegar a afectar la consistencia de la galleta. El problema puede ser originado por una variedad de factores, pero el de mayor importancia lo representa la falta de controles automáticos que mantengan estables las temperaturas dentro del horno durante los períodos de producción. La utilización de controladores ciegos (On-Off), hace poco exacto el controlar la temperatura dentro del horno.

Al comenzar la producción de oblea, por la mañana, el operador enciende el horno y espera que llegue a la temperatura de trabajo indicada para accionar la válvula de dosificación de batido; es lógico pensar que en este preciso momento la temperatura dentro del horno no es estable y se espera que siga en aumento. Conforme el tiempo transcurre se empezará a notar que la oblea se oscurece (indicador de exceso de temperatura), cuando el operario se percata de esto, cierra las llaves de gas para apagar el horno y forzar a bajar la temperatura. Dentro de este procedimiento no se toma en cuenta los tiempos requeridos por el horno para estabilizar la temperatura en su interior.

La tabla II y III, expresan datos obtenidos en un típico turno de producción, y la figura No. 1, muestra las tendencias de la temperatura en base a los datos de las tablas anteriores.

Tabla II. Comportamiento de temperaturas dentro de los hornos Hass con el sistema original, a 19 obleas por minuto

Hora	Temperatura	Frecuencia
07:00	581°F	73
08:00	576°F	73
09:00	562°F	73
10:00	565°F	73
11:00	591°F	73
12:00	555°F	73
13:00	565°F	73
14:00	564°F	73
15:00	562°F	73
16:00	566°F	73
17:00	567°F	73
18:00	563°F	73
19:00	568°F	73

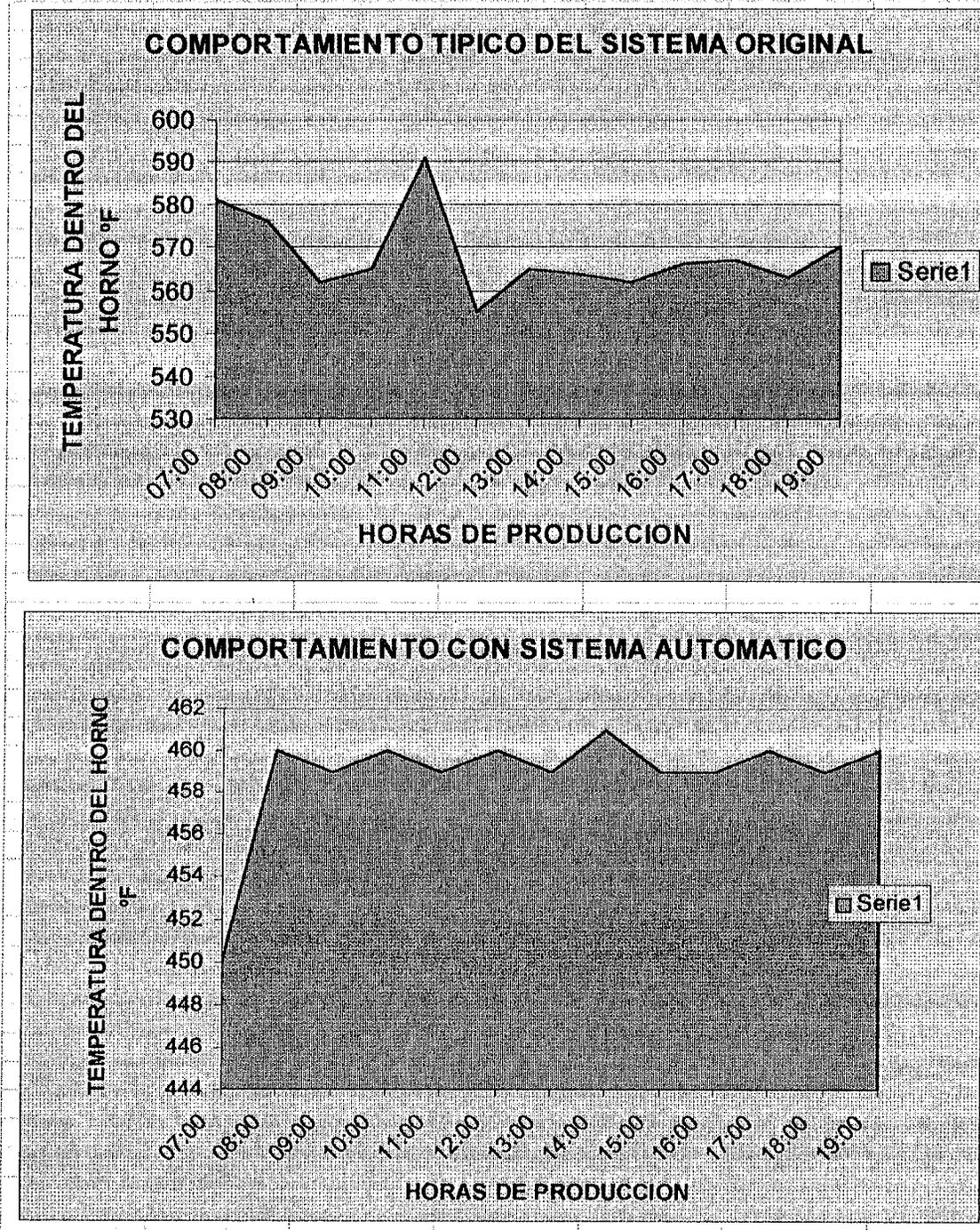
La temperatura se determina con base a la experiencia del operador del horno, quien usa como referencia el estado físico (visual), de las obleas obtenidas.

Tabla III. Comportamiento de temperaturas dentro de los hornos Hass con el nuevo sistema de autocombustión, a una velocidad de 19 obleas por minuto y un *set point* a 460°F

Hora	Temperatura	Frecuencia
07:00	450°F	73
08:00	460°F	73
09:00	459°F	73
10:00	461°F	73
11:00	459°F	73
12:00	461°F	73
13:00	459°F	73
14:00	461°F	73
15:00	459°F	73
16:00	459°F	73
17:00	460°F	73
18:00	461°F	73
19:00	459°F	73

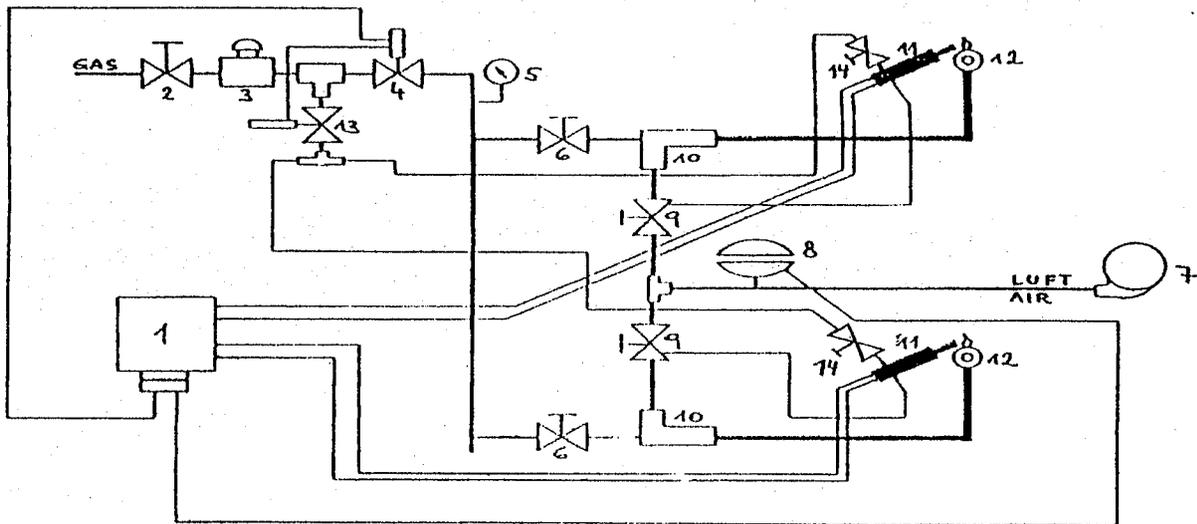
Se ha predeterminado una temperatura de trabajo en el controlador, y el motor actuador se ha mantenido modulando el flujo de aire para obtener una llama que esté cediendo una temperatura estable, cabe mencionar que al momento de requerir más temperatura (exigencias de producción en cuanto a balances de línea, más oblea) bastará con situar la temperatura necesaria en el controlador.

Figura 1. Gráficas del comportamiento de las temperaturas en el sistema anterior en comparación al sistema implementado



En la figura 2 se ilustra el sistema original utilizado para efectuar la combustión de LPG, con sus componentes enumerados e identificados seguidamente:

Figura 2. Plano del sistema original de autocombustión



Fuente: manual del fabricante de los hornos Franz Hass

Componentes del sistema original de combustión en el horno Hass

1. Armario de distribución eléctrica
2. Llave principal de gas
3. Regulador de segunda etapa en línea principal de gas
4. Válvula solenoide principal de gas accionada eléctricamente desde el PLC Siemens, Logo
5. Manómetro (0-60 mmBar)
6. Válvula de cierre para gas a la entrada de los mezcladores
7. Ventilador (40mmBar)
8. Sensor de ausencia y/o exceso de presión en la línea de aire
9. Válvula de cierre para aire a la entrada de los mezcladores
10. Mezclador de gas y aire
11. Pilotos
12. Quemador principal
13. Válvula solenoide secundaria de gas (accionada eléctricamente desde el PLC Siemens, Logo)
14. Válvula reguladora para llamas piloto

Los sistemas de autocombustión controlan flujos de gas y aire, trabajando bajo el concepto de nunca apagar la flama de los quemadores, haciendo variar únicamente su intensidad. Por el lado de conducción de gas, tendremos los mismos dispositivos utilizados en una instalación típica de LPG (regulador de primera etapa, manómetros, válvulas, regulador de segunda etapa, sensores), con la diferencia de dos nuevas partes: mezclador Vénturi y un regulador estándar o gobernador cero. En la parte de aire de combustión se implementara una válvula mariposa y un motor actuador, el cual por medio de una señal en mA (miliamperios), enviada por un controlador electrónico (que a

su vez tiene situada una termocupla en el interior del horno. Dicha señal ya procesada por el controlador determinará la cantidad de corriente enviada al motor actuador para que éste incremente o disminuya la abertura en la válvula mariposa.

Mezclador Vénturi (aspirador aire / gas)

Los mezcladores Vénturi aprovechan la energía cedida al aire por el ventilador (*blower*) para mezclar proporcionalmente gas/aire y luego enviarlo a los quemadores. Dicha mezcla se efectúa cuando al aire se le imprime velocidad haciéndolo pasar por una contracción dentro del mezclador efectuándose una depresión que se compensa con el volumen de gas estacionado a una presión muy pequeña. El gas se pone en contacto con el aire por medio de un orificio situado perpendicularmente a la dirección del aire proveniente del ventilador.

Gobernador cero (regulador estándar)

Cuando pensamos en dispositivos mezcladores de sustancias, es lógico imaginar medidas proporcionales de ambas sustancias. El gobernador cero (regulador estándar) nos brinda un flujo constante y libre de oscilaciones, al mismo tiempo que maneja presiones muy bajas que no afectan la presión negativa en la contracción del mezclador Vénturi. Hay varias situaciones críticas que justifican la utilización de este tipo de regulador en este sistema de autocombustión, pero quizás la más importante sea la búsqueda de una perfecta mezcla oxígeno/combustible, que hará aprovechable al 100%, las características caloríficas del LPG.

Válvula Mariposa

Aunque en principio, la válvula Mariposa de este sistema no difiere grandemente, de las que generalmente se encuentran en el mercado, se caracteriza por utilizar un motor actuador que recibe la señal de un controlador electrónico, que se describirá más adelante (Honeywell UDC 1000, Regulador-programador). Dicha señal tendrá que ser la requerida por el motor actuador (4-20 mA), abriendo o cerrando la compuerta según la señal que se esté recibiendo (4mA abertura 0°, hasta 20mA abertura 90°).

Las válvulas de la mariposa no tienen ninguna baja de presión apreciable cuando están totalmente abiertas manejando flujos y velocidades de sistemas de combustión normales. Por consiguiente, las pérdidas por fricción por la colocación de estas válvulas no son un factor importante al momento de ser seleccionadas para montarse en quemadores individuales o sistemas de combustión.

Capacidades de la válvula

Una válvula de mariposa motorizada del mismo tamaño de la tubería (en una instalación convencional de un quemador industrial) causa una resistencia al flujo mucho menor que cualquier otra válvula. La válvula motorizada de mariposa abierta solamente unos 50° provoca menos resistencia al flujo comparada con la baja de velocidad del fluido (aire) provocada por la misma tubería y accesorios de un quemador industrial trabajando a su máxima capacidad.

Algunas características importantes antes de considerar el montaje de una válvula motorizada son las siguientes:

- Los CFH totales requeridos por la mezcla aire/combustible, considerando llamas altas o bajas.
- presión atmosférica disponible
- Sensibilidad al momento de fijar parámetros proporcionales entre la válvula y los quemadores.
- El efecto de la proporción de bajas de presión en el sistema completo, contra las producidas a través de la válvula de mando.
- Donde una válvula de mando de mariposa motorizada controla un grupo de quemadores, caídas de presión del sistema determinadas por tamaño de la cañería, las longitudes, montajes, etc. Debe estudiarse detenidamente la selección de tamaño de válvulas en aplicaciones críticas.
- Una **regla para el manejo** ha sido clasificar la válvula de mariposa, cuando ésta, abierta unos 70° junto a todos los componentes del sistema (tuberías, accesorios y por supuesto incluyendo la caída de presión en los quemadores) provoque una baja de presión equivalente a 1/5 ó 1/6 de la presión total del sistema.

Controlador-regulador

Dispositivo encargado de recibir la señal de una termocupla (Tipo J), procesarlo y enviar una señal en mA hacia el motor actuador, que a su vez abrirá o cerrará el paso a través de la válvula mariposa.

Específicamente el controlador-regulador es el fabricado por la Compañía Honeywell, su designación es UDC 1000.

El Controlador UDC 1000 es altamente funcional para los requerimientos del proyecto. Es poseedor de una gran exactitud, sus dimensiones se basan en las medidas standard que especifica el Instituto Alemán de Normas (DIN), siendo un formato 1/16 para controladores electrónicos. Sus dimensiones son 48mm X 48mm (de carátula) X 110mm (largo). Trabaja en ambientes cuyos límites de temperatura estén dentro de 0 a 55°C y una humedad relativa alrededor de 20 al 95%. Sus tipos de salidas analógicas serán 3 (0-20mA, 4-20mA, 0-5V, 0-10V), de las cuales solo se utilizará la salida 4-20mA.

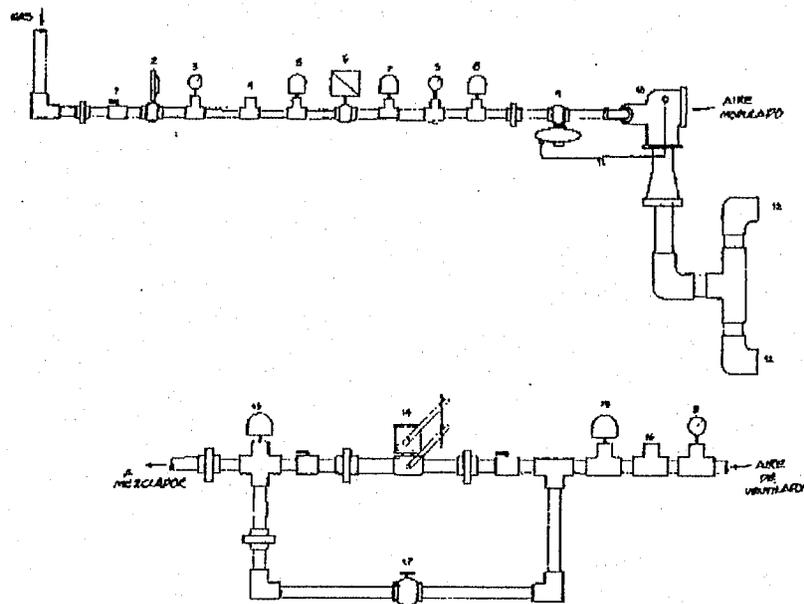
Descripción de los componentes del sistema a instalar

En la figura 3, se presenta un esquema en el que se detalla el sistema básico de autocombustión a instalar. Indicaremos sus partes de la siguiente manera:

1. Llave principal de gas
2. Regulador de segunda etapa en línea principal de gas
3. Manómetro (0-60 mmBar)
4. Te con suministro de gas para los quemadores piloto
5. Sensor de ausencia de gas
6. Válvula *shut-off*, electromecánica, recibe la señal de todas las protecciones del sistema
7. Válvula solenoide principal de gas (accionada eléctricamente desde el PLC Siemens, Logo
8. Sensor de exceso de presión en la línea de gas
9. Regulador estándar y/ó gobernador cero

10. Mezclador Vénturi
11. Línea piloto para aumentar caudal de gas
12. Quemador principal
13. Sensor de ausencia y/o exceso de presión en la línea de aire
14. Motor actuador
15. Sensor de ausencia de aire
16. Te de suministro a los quemadores piloto
17. Válvula de globo para regulación manual del sistema

Figura 3. Plano del sistema de autocombustión implementado



Calibración de los dispositivos

Al momento de trabajar, debe existir en nuestro sistema, una combustión bien proporcionada que mantenga la misma apariencia de la llama . La característica más importante de nuestro sistema es el hecho de mantener la llama equilibrada (aire-LPG) variando únicamente su tamaño, cediendo así más, o menos temperatura.

El procedimiento es el siguiente

- 1) Se abre totalmente el paso de aire ya sea la válvula motorizada o la válvula auxiliar depende de cual se esté usando, pero de ninguna manera se deben usar las dos conjuntamente.
- 2) Se procede a regular en el mezclador, si se tiene una llama muy clara (celeste, poco LPG) o una llama muy anaranjada (exceso de LPG), buscando la llama neutra (celeste con puntas ligeramente anaranjadas). Lo anterior se hace sacando el tornillo regulador del mezclador si se tiene poco porcentaje de gas ó introduciendo el tornillo si es lo contrario (El tornillo tiene rosca derecha y se encuentra quitando el tapón que está al lado opuesto de la entrada de gas). Realizado el anterior procedimiento se tendrá regulada la llama en fuego alto.
- 3) Seguidamente se regula la llama en fuego bajo. Cerrando la llave hasta tener a la entrada del aire del mezclador 1.22 mmBar, presión mínima para evitar posibles explosiones dentro de los quemadores por retorno de llama (cuando la presión de entrada de aire es muy pequeña es vencida por la presión de la mezcla produciendo explosiones dentro de los quemadores *flash back*). Regulada la presión de entrada de aire (verificando a través de un manómetro colocado en los orificios situado en el lateral superior del mezclador, se procede a regular la presión en el regulador estándar,

introduciendo en tornillo para más presión de gas o sacándolo para menos presión hasta obtener una llama con buena apariencia pero de tamaño menor a la llama en Fuego Alto.

- 4) Para verificar el buen funcionamiento se abre nuevamente en su totalidad la llave y se inspecciona el fuego alto. Si el rango de temperatura se cumple con una llama estable en proporción (variando tamaño), la calibración habrá terminado. De no ser así empezar por el paso número 1 realizando cuanto ciclo sea necesario para que la llama mantenga su proporción. Por experiencias transmitidas por el proveedor del equipo, se necesitará de algunos ciclos de calibración para obtener la llama ideal.

Es posible que solo se logre obtener una llama pobre de combustible (LPG) al momento de calibrar, aún después de haber utilizado todo el tornillo de calibración del mezclador. Lo anterior será una clara indicación que el regulador estándar no está cediendo la cantidad de gas necesaria para una buena mezcla combustible, en ese caso se debe instalar una línea piloto que compense la deficiencia de presión causada por utilizar solamente la presión atmosférica como equilibrio de la línea de gas.

La línea piloto se pondrá desde cualquier parte de la tubería de aire (por donde circule ya modulada por el motor actuador), hacia el orificio de regulación atmosférica situado en la parte inferior del regulador del lado de la succión de gas. Bastará con utilizar conectores de bronce de 1/4" NPT para tubo de cobre de 1/4".

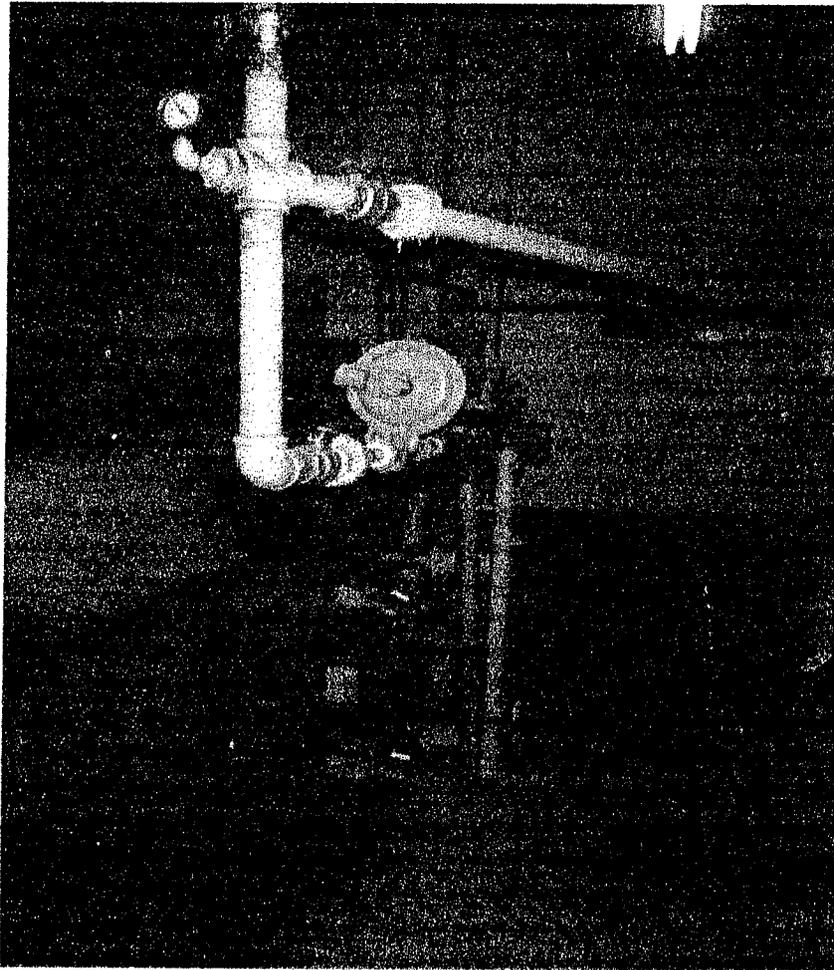
Después de colocar la línea piloto se tendrá que realizar nuevamente la calibración de las llamas (fuego alto y bajo) siguiendo los pasos descritos anteriormente.

Se debe tener especial cuidado al momento de hacer el arreglo de los pilotos, de no encender el horno con las mismas graduaciones pues se verá incrementada considerablemente la llama, se tendrá que introducir el tornillo de graduación del mezclador Vénturi al mínimo y empezar la calibración.

Descripción del sistema de combustión original y del sistema implementado

Se tiene una vista del sistema usado anteriormente, desde la alimentación de gas a los hornos, hacia la parte posterior del horno. Hacemos notar la presencia del regulador de segunda etapa, manómetro y llaves de paso (llaves de bola de 1½" de diámetro), ver figura 4.

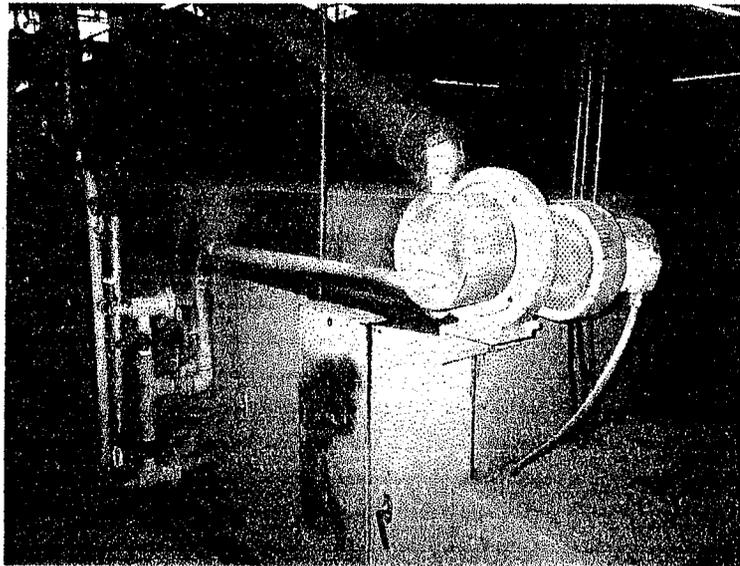
Figura 4. Instalación de reguladores de presión en el sistema original



Se recomienda para uso en sistemas de LPG, como para cualquier sistema donde se transporten líquidos volátiles, un cuidado específico en el tipo de accesorios a utilizar. Nos referimos a la calidad de materiales, fabricación y larga vida útil, que se pueda ofrecer como garantía por parte de las empresas proveedoras de dichos dispositivos. La figura muestra la utilización de llaves de bola de antimónio (material cuya principal propiedad no es una elevada resistencia mecánica a la tracción), para esta aplicación sería recomendable utilizar llaves de bola con cuerpo de acero al carbono con resistencias estimadas en 300 psi, para vapor.

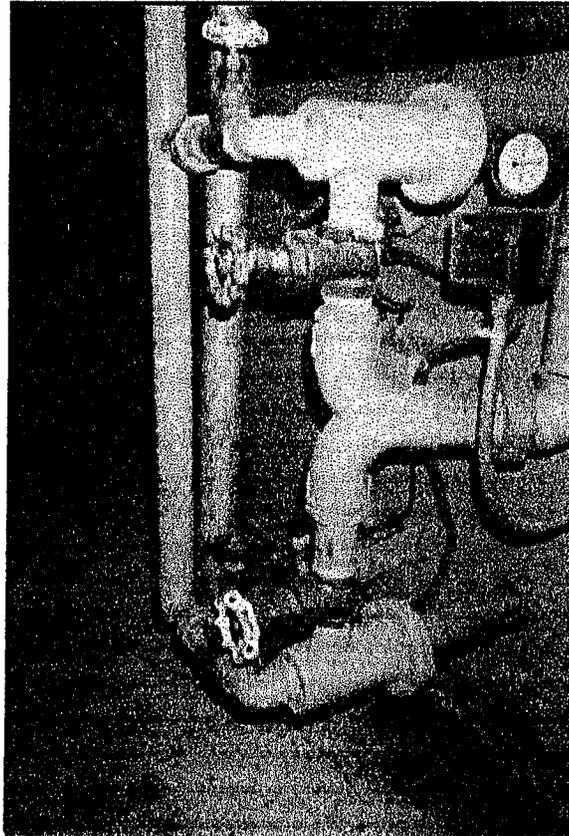
En la parte posterior del horno, se tiene presente el ventilador (40 mmBar), cuya línea de descarga termina en el mezclador manual del equipo original de horno. Cuenta con sus respectivo sensor de aire (falta o exceso), ver figura 5.

Figura 5. Sistema de inyección de aire



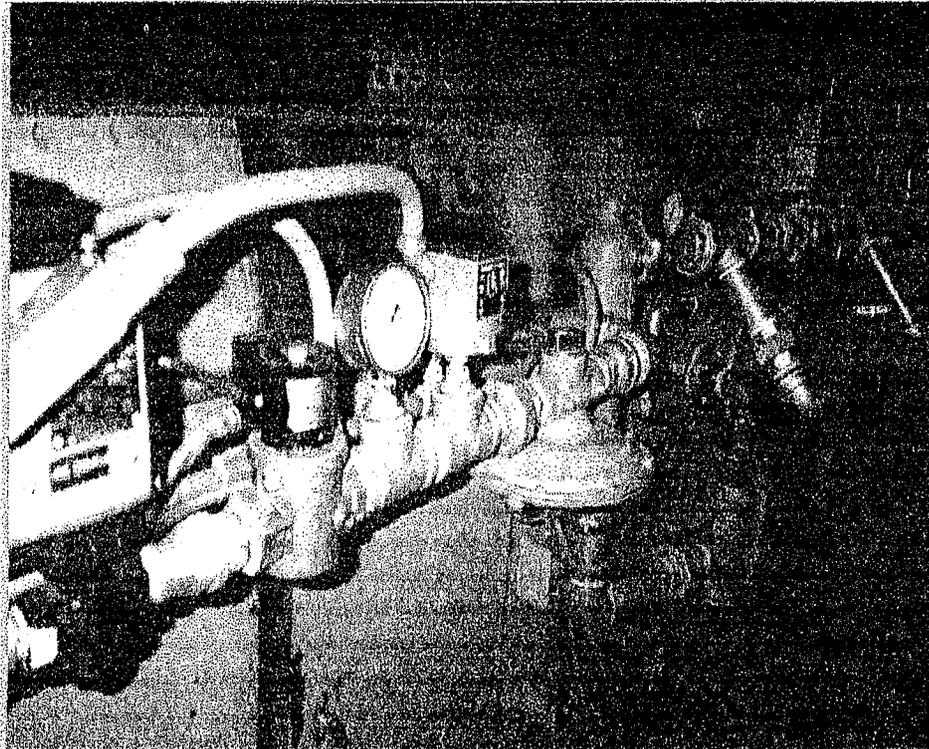
Se muestra en detalle el mezclador manual del equipo original del horno, figura 6, se aprecia después de la Ye, dos llaves en sentidos contrarios, las cuales regulan el flujo de aire y perpendicular a cada una de ellas los mezcladores con sus respectivas llaves de control de LPG. El sensor de montado en la línea de aire verifica exceso o falta de presión y después de mandar la señal al panel de control se posesiona automáticamente, para iniciar nuevamente en ciclo de arranque (después de haber verificado al motivo del disparo).

Figura 6. Válvulas para mezcla manual (aire/combustible)



En la figura 7, se muestra el sistema de autocombustión que trabaja actualmente, y detalla los dispositivos que lo conforman: partes de funcionamiento y sensores para seguridad del equipo. En el extremo izquierdo encontramos la válvula *shut off*, que es la receptora de la señal enviada por los sensores de alta y baja presión de aire y gas respectivamente y actúa cerrando el paso de gas (para su descripción dirigirse al principio del presente capítulo).

Figura 7. Vista general del sistema de autocombustión implementado

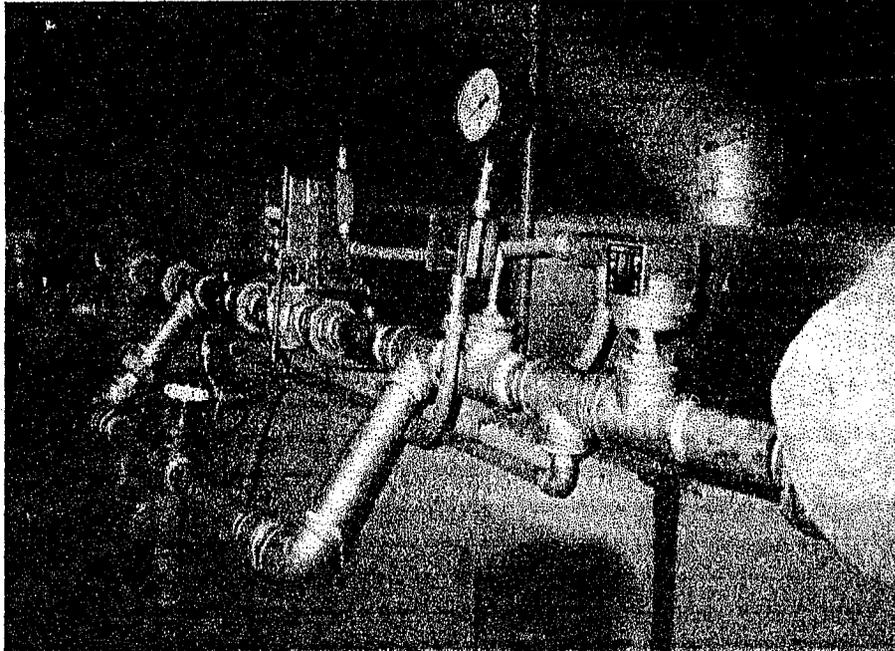


A partir del ventilador (40mmBar), empiezan los sensores de ausencia de aire, la respectiva alimentación a los pilotos de los quemadores (porción de aire), y tal vez una de las partes vitales del sistema el motor actuador Honeywell, quien modula el flujo de aire a través de la válvula mariposa situada por debajo de él, figura 8. El motor actuador y la válvula mariposa se unen por medio de una varilla que aumenta o disminuye la distancia de brazo según el requerimiento de ángulos al momento de calibrar el equipo y determinar sus aberturas máximas y mínimas para el paso de aire (fuego alto ó fuego bajo).

Paralelo a la parte del control automático se sitúa una válvula de globo *by-pass* para regular el flujo de aire, en ausencia -por desperfectos o servicios-, del motor actuador y que se usará si y solo sí, no hay otra alternativa, pues las pérdidas de presión de aire son representativas y afectarían sensiblemente la calibración realizada con referencia a flujo de aire manejado en la válvula mariposa.

Por ninguna razón se deben cerrar, las válvulas de bola situadas a los extremos del motor actuador, pues estas solamente cerraran el paso de aire cuando no se utilice en motor actuador y previo consentimiento del supervisor de área (mantenimiento o producción).

Figura 8. By-pass, en sistema de autocombustión implementado



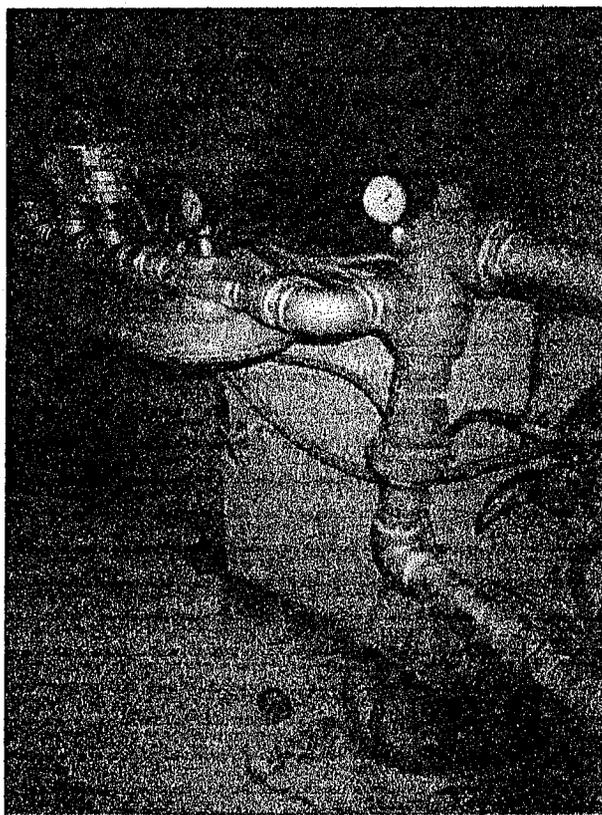
Según detalle de la figura 8, al extremo derecho se encuentra el mezclador Vénturi. La conexión superior es la destinada a la entrada de aire, ya modulada, por el motor actuador. En la parte inferior se tiene la salida de la mezcla aire - LPG, hacia los dos quemadores del horno. La distribución de los quemadores se hace por medio del accesorio tipo Ye, utilizado en el sistema usado anteriormente.

La mezcla de Aire-LPG se distribuye a través de la Ye que era utilizada originalmente solo para aire. De esta manera se consigue una proporción pareja de la mezcla combustible, hacia los dos quemadores del horno (superior e inferior), evitando así las deformaciones térmicas no controladas, provocadas

por la calibración irregular al momento de proceder manualmente y que producían esfuerzos perjudiciales para las piezas de transportación de las planchas de cocción.

Las pequeñas llamas de ignición son proporcionadas por los pilotos situados perpendicularmente a los quemadores, y su intensidad se controla por medio de una válvula de aguja situada sobre ellos (la podemos apreciar precisamente en la parte central de las conexiones de aire y mezcla aire - LPG de la figura 9).

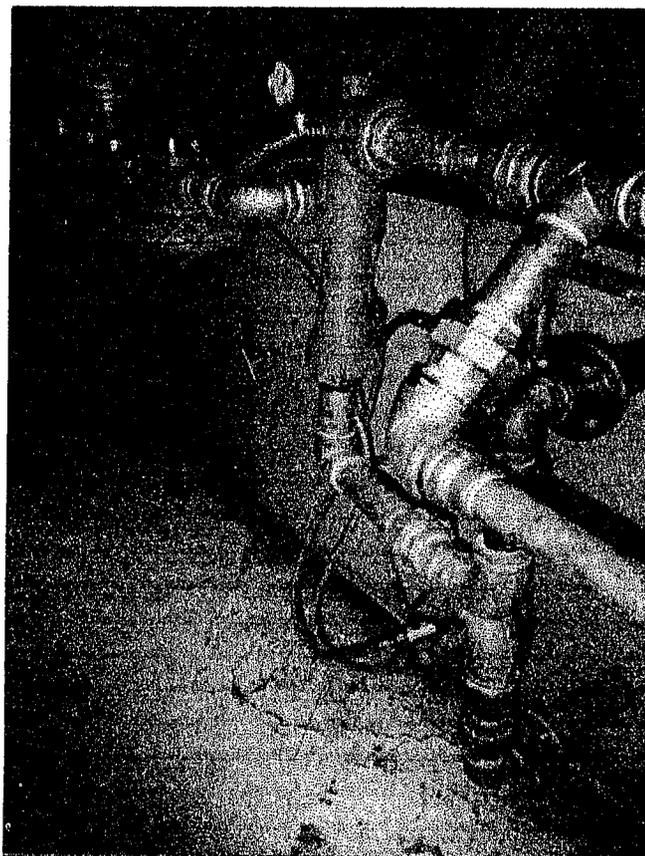
Figura 9. Regulador estándar y mezclador Vénturi



Para el montaje de la Ye, se fabricaron uniones tipo brida, y se muestra en detalle, que ahora a los quemadores, se envía directamente la mezcla aire - LPG, bien proporcionada (ver figura 10).

Los tornillos para la calibración del sistema están situados, el del mezclador Vénturi, en la parte contraria posterior de donde se sitúa el manómetro y en el regulador estándar o gobernador cero, en la parte inferior. Para llegar a cualquiera de los dos ajustes, se debe quitar sus respectivas protecciones.

Figura 10. Mezclador Vénturi



El comportamiento típico de un sistema de autocombustión, nos da la certeza de obtener pequeñas variaciones de temperatura, aproximadamente de 3°F.

Pensar en la puesta en funcionamiento de este nuevo sistema, implica también la responsabilidad de estudiar detalladamente la función que cada dispositivo del actual sistema de combustión del horno desempeña, tratando así de no invertir en accesorios con los que ya se cuentan. La compra del mezclador inspirador, el conjunto de regulación de aire (control electrónico, motor actuador y válvula reguladora), sensores de presión para aire y LPG, gobernador cero y sensores de baja presión y alta presión de LPG, son partes vitales de nuestro nuevo sistema por lo que su compra es inevitable. Los equipos, aunque trabajan para un solo fin, se pueden dividir en dos partes: la que controlará aire (flujo y presión) marca Honeywell y la encargada de controlar presiones y flujos de LPG marca North American.

1.2.2 Principios fundamentales en cuanto al manejo de hornos

El método más sencillo para economizar calor, pero al que con mayor frecuencia se le concede menor atención, es el cuidado en la construcción y operación del horno. En el presente estudio se presenta la rutina de operación, que sobre la base de instrucciones del manual del fabricante y en la misma experiencia de operarios y personal encargado del mantenimiento. Se considera que esto resulta ser la mejor manera de mantener eficiencias máximas en la operación de los hornos.

Haciendo un desglose de los puntos importantes a considerar como referencia en principio de operación para operarios de hornos tenemos:

Accionamiento principal

Con el accionamiento del interruptor general, se ponen en marcha todos los componentes del horno. Por lo anterior, es de vital importancia poner cuidado especial en chequear visual y auditivamente los movimientos del horno. Movimientos violentos, ruidos anormales o cualquier otra evidencia de mal funcionamiento debe ser reportada inmediatamente a personal especializado, ya sea dentro o fuera de NIASA, para su pronta inspección y/o reparación.

Calefacción

El procedimiento para encendido de los hornos es totalmente automático, y solo se debe considerar que el manejar gas propano -por ser un combustible altamente volátil, y de fácil penetración en cualquier ambiente-, merece atención especial. Un conjunto de elementos como: válvulas (mecánicas y eléctricas), electrodos y toberas; deben trabajar en perfecta sintonía de lo contrario sería extremadamente peligroso algún retardo en la sincronía a la que trabaja uno del otro. No debe haber mucho tiempo entre el momento de salir la mezcla de combustible de las toberas y el instante preciso de accionarse la chispa de ignición; de no ser así habría un grave riesgo de explosión. Con la puesta en funcionamiento de nuestro sistema de autocombustión podremos preestablecer el porcentaje de la mezcla (aire/gas), pero en cualquier otro sistema, bastara con alternar los ajustes de las aberturas de las llaves de aire y gas para alcanzar llamas de buenas calidad (para mayor aprovechamiento del potencial calorífico de la mezcla combustible).

Procedimiento para encendido de llamas en los quemadores

El montaje de un nuevo sistema de combustión -ya sea automático o manual-, requiere de una pronta instrucción al personal sobre los nuevos dispositivos que entran a trabajar. Se debe tener amplio conocimiento y un sólido entendimiento de los principios sobre los cuales operan, para poder dilucidar cualquier acción anormal que se presente. A continuación se enumeran los pasos a seguir para el encendido del horno para cocimiento de oblea:

1. Encendido del accionamiento principal del horno.
2. Puesta en marcha de la planchas de cocción.
3. Inspección sobre ruidos anormales o situaciones irregulares del horno.
4. Abertura de las válvulas de la línea conductora de LPG.
5. Verificación de rangos normales de presión después del regulador de segunda etapa.
6. Puesta en funcionamiento del ventilador por medio del interruptor situado en el panel auxiliar del horno.
7. Por la ausencia de aire al momento de estar apagado el horno se procederá a posesionar nuevamente los sensores de presión en el punto que cierran el circuito para poder accionar la válvula *shut-off*.
8. Al posesionar o al haber verificado el posecionamiento correcto de todos los sensores que conforman la seguridad del equipo, se activa la válvula *shut-off*.
9. Se empieza el ciclo normal de encendido desde el panel de control del horno, específicamente girando la manija de accionamiento de quemadores, el que empezará el procedimiento programado en el controlador Siemens.

10. Por último se verifica que el controlador del motor actuador tenga situada la temperatura a la que se trabajará y que en principio no debe ser mayor de 450°F, para evitar que la oblea se queme y se pegue en las planchas. Los ciclos a los que trabajará el horno, no tendrán que ser mayores de 60 hertz.

Vertido de masa

Al momento de obtener una temperatura ideal para cocimiento (determinada por temperatura del medio, presión dentro del horno, velocidad del recorrido de las planchas de cocción, tipo de harina), la cual se identifica al hacer caer gotas de agua volviéndose éstas pequeñas esferas que circularan sobre la superficie interna de las planchas hasta caer, suponiendo la plancha en una posición de aproximadamente 45°, y que lleva varios minutos para estabilizar su temperatura (aproximadamente 20 minutos), se debe accionar la llave para el paso de masa. La válvula para paso de masa tiene dos posiciones, una para hacer pasar la masa al interior de las planchas y la otra para evitarlo y mantener la masa circulando entre el depósito, la bomba y el depósito en forma de un circuito cerrado. Para establecer la cantidad de masa dentro de las planchas se cuenta con una pieza roscada cuya función es reducir o aumentar (según sea el caso más o menos masa, respectivamente), la carrera del pistón, cuyo volumen desplazado determinará la cantidad de masa a ser cocida.

Cocimiento

Después de tener controladas variables como temperatura y cantidad de masa, se debe medir y establecer el flujo de aire comprimido para el desprendimiento de la oblea, de las planchas de cocción. Con el autocontrol de

la temperatura dentro del horno, hay que definir la calidad de cocimiento que requiere la oblea.

Terminación del cocimiento

Básicamente se debe realizar el procedimiento inverso, comenzando por cerrar la llave de la bomba de masa, teniendo especial cuidado en desmontar el inyector para evitar que la masa contenida en su interior se solidifique y obstruya los conductos por donde ha de salir la mezcla; luego proceder a desmontar y limpiar la tolva donde se deposita la masa. La bomba inyectora de masa se dejará funcionando solamente haciendo recircular agua dentro de ella. En lo referente a las planchas, se dejarán en movimiento abriéndose las compuertas alrededor del horno para que la temperatura interior disminuya gradualmente. Se debe cerrar las llaves del sistema que envía el aire comprimido, conmutar el interruptor general a posición de apagado para finalizar cerrando la llave principal de tubería de gas.

1.2.3 Seguridad en operación de hornos

La seguridad en cuanto al manejo de los hornos radica principalmente en considerar que es una máquina que trabaja a altas temperaturas por medio de un combustible volátil. Cualquier precaución que se pueda tomar será de vital importancia para evitar problemas innecesarios.

Será deber de la empresa dotar a los operarios de un entrenamiento detallado sobre el manejo de los hornos y hacer conciencia en ellos que, la vida de muchas personas dependen en algún momento de ellos, también deberán ser dotados del equipo necesario para su protección y de un ambiente

agradable de trabajo (evitar altas temperaturas centralizadas en el área de trabajo).

Factores a tomar en consideración para un manejo adecuado sin riesgos:

1. Antes de comenzar a trabajar, hay que realizar una inspección visual y tratar de distinguir olores que se puedan relacionar con fugas de LPG; de haber fugas no se debe seguir el procedimiento de arranque y se tiene que dar aviso a personal de mantenimiento de la planta o al jefe de área. Hay que recordar que el LPG es un gas inodoro y el olor que desprende es básicamente para detectar fugas al ambiente.
2. Al momento de empezar a trabajar el horno, se tiene que poner especial atención en los ruidos que dependan de él (para el operario será fácil reconocer algún ruido anormal). El fallo de cojinetes pueden provocar graves daños a los mecanismos internos del horno.
3. Hay que verificar las presiones de LPG y de aire comprimido. La buena presión en la línea de aire comprimido será vital para el correcto desprendimiento de oblea de las planchas de cocción. Es evidente que el tratar de desprender las obleas con la mano incurrirá en riesgos de provocar lesiones en las extremidades del operario.
4. Los cambios de inyectores se deberán realizar con las pinzas de cocción paradas, para evitar que estos caigan dentro de las mismas pinzas.
5. Se debe evitar en lo posible de enfriar bruscamente el interior del hogar, cambios repentinos de temperatura harán que se produzcan fallos

prematuras en los componentes internos del horno por fatiga del material.

6. El agente químico usado para la limpieza de las planchas de cocción, es de alto poder disolvente y reacciona de manera negativa con el lubricante especial utilizado para las ruedas portantes del horno y también de los cojinetes autolubrificantes de bisagras, cerrojos, etc. Se debe tener especial cuidado en no derramar dicho químico indiscriminadamente sobre las planchas de cocción para evitar bloqueos prematuros de los componentes móviles del equipo.
7. Siempre se debe verificar que las llamas no cubran totalmente las planchas de cocción para no someter a deterioro acelerado el lubricante especial de los puntos móviles de estas.

2.4.1 Programa de mantenimiento preventivo para mantener eficiencias

Un alto porcentaje de los fallos que se producen en la maquinaria se debe a la negligencia e insuficiencia del mantenimiento y de la limpieza.

Por eso es preciso hacer todos los esfuerzos para atender y limpiar debidamente la máquina, o sea para mantenerla en buen estado, no solo por razones de higiene si no también para garantizar su perfecto funcionamiento evitando así faltas de producción.

Tabla IV. Programa de mantenimiento preventivo

Tiempo de servicio	Actividad o tarea a realizar
Inicio de labores	Inspección de no fugas y buen comportamiento de todos los componentes del horno.
Cada 3 - 4 horas	Verificar el correcto funcionamiento de los componentes del sistema de autocombustión, verificar llamas y presiones requeridas en los manómetros de aire, mezclador vénturi y gobernador cero.
Cada 3 - 4 horas	Limpieza del vertedor de masa.
Cada 8 horas	Verificar la presión correcta en los manómetros de LPG. (de ser inferior a la requerida proceder a encender el evaporador).
Cada 8 horas	Limpieza del interior de la máquina automática y de las planchas de cocción (desperdicios del cocimiento).
Al finalizar horario de trabajo	Verificar el volumen total en el depósito de LPG.
Al finalizar horario de trabajo	Limpieza de la bomba de masa con agua después de la finalización del funcionamiento.
Fin de semana	Limpieza cuidadosa de las planchas de cocción mediante cepillo de acero inoxidable (diámetro de cerda de 0.2mm).
Fin de semana	Limpieza cuidadosa de la máquina
Fin de semana	Limpieza de filtros de soplador de la calefacción por gas; en caso necesario cambiarlo.
Cada 100 horas	Proceder a comprobar manualmente el correcto funcionamiento de los dispositivos de seguridad del sistema de autocombustión.

Cada 100 horas	Lubricar engranaje Haas (engrane motriz principal).
Cada 100 horas	Lubricar muñón del cigüeñal del accionamiento de la bomba de masa.
Cada 100 horas	Lubricar palanca angular del accionamiento de la bomba de masa.
Cada 100 horas	Examinar la temperatura de ruedas portantes (máxima 140°-460°C).
Cada 100 horas	Examinar la depresión en la salida de vahos de escape (15-20mmH ₂ O).
Cada 120 horas	Examinar las instalaciones e interruptores de seguridad.
Cada 160 horas	Examinar la tensión de la cadena portadora de las pinzas de cocción (desgaste de bujes).
Cada 160 horas	Controlar tensión de cadena motriz doble.
Cada 160 horas	Soplar aire comprimido en las toberas de quemadores.
Cada 200 horas	Limpieza química de las planchas de cocción.
Cada 200 horas	Drenar aceite concentrado en la línea de conducción de LPG.
Cada 500 horas	Lubricar cojinete de palanca de cambio de la bomba de masa.
Cada 1000 horas	Lubricar cojinete principal.
Cada 1000 horas	Controlar la correa trapezoidal del soplador de la calefacción por gas.
Cada 1000 horas	Verificar correcta calibración de los componentes del sistema de autocombustión y recalibrar de ser necesario.
Cada 1000 horas	Controlar la correa trapezoidal del accionamiento principal.
Cada 1000 horas	Examinar la instalación de evacuación de vahos y limpiarla de ser necesario.

Cada 4000 horas	Controlar ruedas portantes y lubricarlas, cambiarlas cuando estén totalmente bloqueadas.
Cada 4000 horas	Controlar rodillos de cierre y lubricarlos, cambiarlos cuando estén totalmente bloqueados.
Cada 4000 horas	Examinar juego de los pernos de cierre de planchas de cocción.
Cada 4000 horas	Reengrasar cadena motriz.
Cada 8000 horas	Equipar bridas con bujes nuevos autolubricantes.

1.3 Situación del aislamiento en los hornos productores de oblea

1.3.1 Estado actual del aislamiento de los hornos

Los constantes trabajos de mantenimiento del horno así como el mal manejo de los alojamientos de las planchas de material aislante al momento de realizar montajes y desmontajes, han disminuido sustancialmente su vida útil. Los materiales refractarios utilizados en los hornos Hass son fibras minerales entrelazadas con pequeños espacios de aire entre ellas y que cuentan con una capa de pintura protectora que refleja hacia las planchas el calor transmitido por las radiaciones de las llamas. Dicha capa de pintura es la que, al caer, deja al descubierto el material refractario empezando a desprenderse las partes de fibra que forman las tablas refractarias.

1.3.2 Problemas causados por un mal aislamiento

La transferencia de calor al ambiente, además de causar un malestar en los trabajadores que se ubican cerca de ésta área, implica serias pérdidas energéticas que se traducen en mayor inversión para mantener la temperatura de trabajo dentro del hogar. Pérdidas de fragmentos de las tablas refractarias, causadas por movimientos frecuentes al momento de realizar reparaciones y por la misma fatiga del material aumentan el problema de pérdidas de calor.

Según datos proporcionados por el fabricante, la temperatura de trabajo (dentro del hogar), se debe mantener alrededor de los 300°F. Contrario a lo anterior, la temperatura de trabajo real en los hornos se encuentra alrededor de los 550°F.

1.3.3 Aislamientos utilizados en hornos

Los aislamientos térmicos consistentes en un solo material, una mezcla de materiales o una estructura compuesta, se seleccionan para reducir el flujo de calor. La eficacia aislante se juzga sobre la base de la conductividad térmica y depende de la estructura física y química del material. El calor transferido a través de un aislamiento ocurre por conducción en sólidos, conducción en gases y por radiación. La conducción en sólidos se reduce mediante partículas o fibras de tamaño pequeño en paredes de aislamiento de relleno suelto y mediante paredes de celdas delgadas en espumas. La conducción en gases se reduce al proveer numerosos poros pequeños (interconectados entre sí) del orden de los caminos libres medios de las moléculas del gas, con el empleo de gases sustitutos de baja conductividad térmica o con la evacuación de los poros hasta lograr una baja presión. La radiación se reduce al agregar materiales que absorban, reflejen o dispersen la energía radiante.

1.3.4 Descripción de los aislantes y tipos de aislantes

Los buenos aislantes contienen un gran número de espacios de aire muy pequeños. Por consiguiente, los buenos aislantes tienen poca resistencia mecánica. Entre estos aislantes cabe citar: silocel, magnesia, materiales fibrosos como el amianto, lana mineral, lana de escorias y sílice celular y otros. El silocel es una piedra natural blanda que puede corroerse y partirse fácilmente; se emplea en bruto o calcinado. También existe silocel en forma de polvo al que se le denomina tierra diatomácea.

En el momento actual se prefiere el aislamiento a partir de fibras, al aislamiento granular (pulverulento). Las fibras son a partir de amianto o de material similar. Este aislamiento se conoce como aislamiento en bloque

celular o aislamiento en manta, según sea el espesor y la longitud. A pesar de su baja densidad de 320 a 352 los bloques y mantas tienen una buena resistencia mecánica. En los hornos con campana se han expuesto bloques a las temperaturas de la cara caliente que superaban los 760°C. En los Estados Unidos este tipo de aislamiento se vende con el nombre comercial **Superex**. También existen otras calidades comerciales de propiedad casi idénticas.

Un material aislante muy ligero y resistente se vende con el nombre comercial **Foamsil**

La lana mineral y la lana de escorias se mezclan con un aglomerante como mortero de cal y melaza, antes de su aplicación. Seleccionado el agregado apropiado, el hormigón refractario puede servir también como aislamiento.

Los fabricantes de materiales aislantes proporcionan información sobre las temperaturas y tensiones máximas a las que pueden someterse.

1.3.4.1 Aislantes a utilizar en hornos, sus especificaciones y diseños.

El aislamiento de mayor utilización en chimeneas pequeñas -por su versatilidad al momento del montaje-, son los aislamientos flexibles o mantas.

Los aislamientos flexibles o mantas incluyen los que se hacen de fibra de vidrio con aglutinante orgánico, lana de roca, lana de escoria, papel macerado o fieltro de pelo, colocados entre el laminado del papel o ligados con el mismo.

En base a la temperatura de trabajo 550°F, encontramos gran variedad

de aislamientos cuyas aplicaciones se dan generalmente en plantas generadoras y en el equipo industrial. Se encuentran aislamientos orgánicos para este rango de temperaturas y hay varios que pueden funcionar dentro de límites más amplios.

Los aislamientos de relleno suelto incluyen sílice de diatomáceas (esqueletos fosilizados de organismos microscópicos), perlita, vermiculita y fibras de vidrio, roca o escoria. Los aislamientos de tablero o mantas, de diversas formas y grados de flexibilidad y densidad comprenden fibras de vidrio y minerales, papel de adbesto y cartón.

1.3.4.2 Diseño y montaje en aislamientos para hornos y chimeneas

En cuanto a aislamiento térmico los hornos Hass vienen provistos de tablas refractarias alojadas en marcos alrededor de los hornos. Los tableros se fabrican empleando un proceso especial que combina fibras cerámicas y aglutinantes para servicios pesados. Estos tableros rígidos son ideales para aplicaciones donde la resistencia física y gran capacidad refractaria son necesarias.

Los tableros refractarios son desarrollados para satisfacer los requerimientos de diseño específico para cada horno. Variables como resistencia mecánica, densidad, baja conductividad térmica y estabilidad térmica son determinantes al momento de necesitar aislamientos para hornos.

A continuación se dan especificaciones del tipo de aislamiento a utilizar en los hornos Hass (por parte de proveedores nacionales):

Color:	Beige
Densidad:	250 Kg/cm ³
Espesor:	2.5 cm
Temperatura de fusión:	1760°C
Carga unitaria de rotura a la flexión:	800kPa ²

datos resultante de análisis químico:

Alúmina	Al ₂ O ₃	42%
Sílice	SiO ₂	56%
Otros		2%

En cuanto a los aislamiento para chimenea se usan fibras cerámicas para forrar las chimeneas, evitando así ceder demasiada temperatura al ambiente de trabajo.

La fibra cerámica cuya resistencia máxima es de 2400°F, se enrolla sobre la chimenea y se forra de lámina de aluminio o galvanizada remachada directamente a la chimenea (este forro de lámina aumenta considerablemente su resistencia mecánica y duración).

A continuación se dan especificaciones del tipo de aislamiento a utilizar en las chimeneas de los hornos Hass por parte de proveedores nacionales:

Color:	Blanco
Densidad:	0.00013 Kg/cm ³
Espesor:	1.5 cm
Temperatura de fusión:	2400°F
Resistencia a la tensión:	0.07 MPa

Datos sobre la composición química de la fibra cerámica utilizada para aislar chimeneas:

Sílice (SiO ₂)	49.1%
Alúmina (Al ₂ O ₃)	50.2%
Oxido de hierro (Fe ₃ O ₂)	0.2%
Cálcio (CaO)	0.1%
Magnesio (MgO)	0.1%
Titanio (TiO ₂)	0.1%
Alkalinos (Na ₂ O + K ₂ O)	0.2%

Son variados los diseños para aislamiento en hornos, pero los especificados anteriormente son los más adecuados a utilizar dada la construcción del horno a aislar.

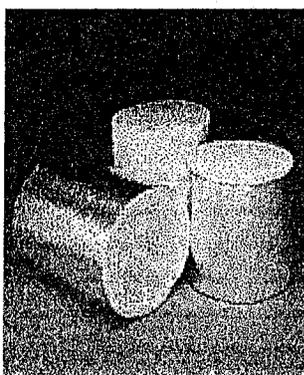
En la mayoría de montajes de aislamientos para chimeneas se utilizan fibras refractarias que no cuentan con gran resistencia mecánica por lo que se deben proveer de un forro de lámina galvanizada para protegerlas.

En la figura 11 se presentan aislamientos termoacústicos fabricados con fibras de vidrio aglutinadas con resina fenólica de fraguado térmico para soportar temperaturas hasta de 232°C (450°F). Este es un aislamiento flexible que se presenta en rollo y en los siguientes tipos: sin recubrimiento, con recubrimiento de aluminio reforzado con hilos de fibra de vidrio y con un foil de aluminio. cumple con las siguientes Normas Internacionales: ASTM C-411, ASTM E-96, ASTM C-553, ASTM C-665, ASTM E-84, ASTM C-518.

Este tipo de aislamiento flexible en rollos para los ductos de sistemas de aire acondicionado proporcionan economía al evitar pérdidas o ganancias de

calor en dichos ductos, permitiendo en esta forma, operar estos sistemas a menor costo. Los aislamientos flexibles también se usan en carrocerías de autobuses, embarcaciones, etc. Además del aislamiento térmico, proporcionan un tratamiento acústico debido a las altas cualidades de absorción de sonido de la fibra de vidrio.

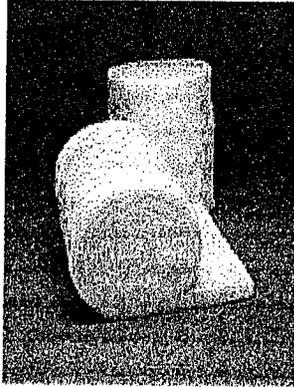
Figura 11. Aislante RF - 300



Fuente: Manual del distribuidor Glassfiber del Norte S.A.

El aislamiento térmico fabricado con fibra de vidrio aglutinada con resina termofija para aislar térmicamente estufas calentadores y hornos, se muestra la figura 12, y se presenta en rollos. Este producto cumple con las Normas Internacionales: ASTM C-411, ASTM E-96, ASTM C-553, ASTM C-665, ASTM E-84, ASTM C-518. Se usa para aislar térmicamente estufas, calentadores y hornos.

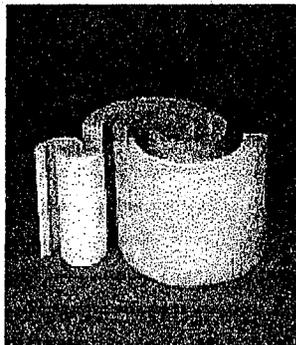
Figura 12. Aislante SR - 26



Fuente: Manual del distribuidor Glassfiber del Norte S.A.

La figura 13 presenta el Vitroform plus, que es un performado que se presenta con o sin cubierta ASJ -*All Service Jacket*-, ha sido fabricado con fibra de vidrio aglutinada con resinas especiales para emplearse en tuberías de acero al carbón y de cobre que operen en un rango de temperaturas desde -84° hasta 454°C (-120°F hasta 850°F). Se presenta en corte longitudinal tipo bisagra, el cual le permite fácil manejo y rápida instalación en tuberías hasta de 5" de diámetro. Está disponible desde 6" hasta 30" de diámetro, lo cual facilita su instalación en tuberías de grandes diámetros. En general, estos son los aislamientos térmicos ideales para tuberías de proceso y servicio, que conducen vapor, agua caliente, agua fría, refrigerantes, gases y toda clase de fluidos en que se requiera ahorrar energía. Por sus características, son los preformados de mayor uso en las áreas de petroquímica básica, petroquímica secundaria, refinación, farmacéutica, alimenticia, química, naviera; en hoteles, hospitales, edificios comerciales, restaurantes y clubes deportivos.

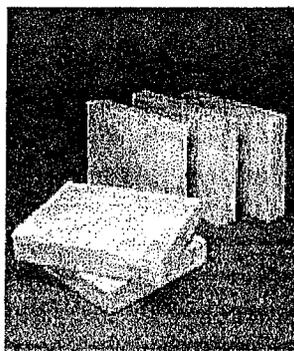
Figura 13. Aislante Vitroform



Fuente: Manual del distribuidor Glassfiber del Norte S.A.

En la figura 14 se presenta el aislante en forma de placas semirígidas. El producto cumple con la Norma Internacional: ASTM C-612 clase 4. Se recomienda para el aislamiento térmico de equipos industriales con altas temperaturas de operación, tales como: Calderas, hornos, tanques y productos para el hogar como calentadores, estufas y hornos.

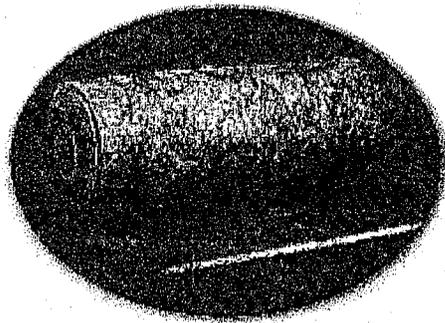
Figura 14. Aislante HT - 23



Fuente: Manual del distribuidor Glassfiber del Norte S.A.

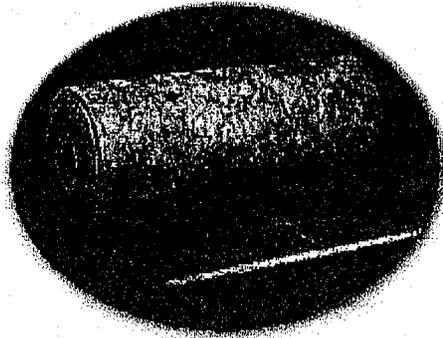
La figura 15 y 16 se muestran un diseños de fibra de vidrio ideales para colocarse dentro de ductos de gases de escape -figura 15- y por fuera en instalaciones o líneas de vapor -figura 3.6-. De gran resistencia al momento del montaje y máxima durabilidad en horas de trabajo. Cumplen con los requerimientos de la Asociación de Protecciones de Fuego Nacionales (Norma Americana) NFPA 90. Disponible en espesores de 1/2, 1, 1¼, y 1½. Soportan velocidades de 5000 CFM (siglas en inglés que significan pie³/min).

Figura 15. Aislante Duct liners



Fuente: Manual del distribuidor Glassfiber del Norte S.A.

Figura 16. Aislante Duct wrap



Fuente: Manual del distribuidor Glassfiber del Norte S.A.

1.3.5 Temperatura en el interior y exterior del horno

Es importante conocer las características y la manera a la cual la maquinaria a nuestro cargo trabaja, antes de planificar algún tipo de mantenimiento correctivo. De esta manera las soluciones que se obtengan traerán beneficios en cuanto a durabilidad de la maquinaria, así como el aumento a la eficiencia de producción del área de galleta, que es nuestro mayor objetivo.

A continuación se da un esquema de las temperaturas que se manejan en las chimeneas del horno para oblea Hass. Las temperaturas fueron tomadas con una pistola de rayos infrarrojos sobre la superficie de la chimenea.

Los datos de temperatura serán de vital importancia al momento de buscar en el mercado nacional algún tipo de material refractario que aisle la temperatura dentro del horno, como lo hace el aislamiento original (actualmente deteriorado).

La temperatura que se maneja dentro del horno es de, aproximadamente 500°F (hogar del horno), y en las planchas de cocción, aproximadamente 160°F. Las temperaturas en la chimenea no son las mismas en todo el conducto, la máxima se obtiene en las conexiones del cuerpo del horno a la chimenea, alcanzando los 327°F. En la parte restante del ducto, hasta alcanzar la parte libre, se normaliza la temperatura y se mantiene alrededor los 260°F.

2 FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

2.1 Diseño e instalación de una línea para conducción de fluido viscoso

2.1.1 Descripción del procedimiento actual para la conducción de chocolate

Dentro de las instalaciones de NIASA, se ha tratado de ubicar de la mejor manera posible toda la maquinaria que interviene directamente en el proceso de fabricación de galleta. Los equipos encargados del recubrimiento de la galleta no se encuentran ubicados de manera conveniente, teniendo el siguiente procedimiento: Los ingredientes necesarios para obtener la mezcla de recubierto se introducen en la maquina refinadora, después de un tiempo determinado se saca por medio de utensilios plásticos y toda la manipulación siguiente, hasta el momento de ser utilizado, se hace de la misma forma.

2.1.2 Definición del problema

Específicamente en el departamento de galleta, la línea de producción de galleta recubierta presenta problemas debidos al hecho de conducir chocolate de la máquina refinadora a la máquina encargada de recubrir la galleta. Durante la manipulación se pierde cierto porcentaje de chocolate por caídas accidentales al suelo de recipientes que lo contienen y lógicamente, por alguna contaminación al exponer el producto al ambiente. Actualmente NIASA trabaja para obtener aprobaciones de entidades internacionales en lo que respecta a calidad en la fabricación de productos alimenticios, para entrar a competir a

mercados internacionales.

2.1.3 Recopilación de datos

Basado en observaciones y datos proporcionados por el Departamento de Control de Calidad, se procedió a analizar el chocolate para recubierto, en busca de tener datos exactos sobre temperatura de trabajo, viscosidad, densidad, composición, etc.

Por políticas de la empresa no se puede indicar con precisión los porcentajes de materia prima utilizada en la elaboración de chocolate de recubierto, pero, para fines de cálculos bastará saber lo siguiente:

Características del chocolate de cobertura

Composición:

- Manteca vegetal hidrogenada
- Lecitina de soya
- Cocoa
- Leche entera
- Azúcar

Tabla V. Parámetros de operación del chocolate para cobertura

Características	Reporte
Temperatura de trabajo	45°C
Viscosidad (a 45°C)	22E3 Cp
Densidad	1.16E-3 kg/cm ³
Gravedad específica	1.16

La densidad y la gravedad específica se derivaron de cálculos a partir de los datos obtenidos en NIASA y el Centro de Investigaciones de Ingeniería – CII -, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con la aplicación de las fórmulas respectivas.

La viscosidad se obtuvo a una temperatura de 45°C, basado en análisis efectuados en el CII de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.1.4 Diseño y cálculo

2.1.4.1 Sustento teórico

El chocolate es sensible a la humedad y absorbe los olores y aromas de otros productos. Por ende, conviene conservar el chocolate en un lugar fresco y seco, siendo la temperatura ideal de conservación de 15° a 20° C. Definitivamente, a esta temperatura el chocolate no se presenta fluido y sería imposible tratar de transportarlo por una tubería en tales condiciones.

Para derretir el chocolate se recomienda calentarlo hasta una temperatura de 42° a 50°C, y así asegurar que todas las partes del volumen se calienten uniformemente, incluso el núcleo.

Nunca se debe poner el chocolate en contacto directo con fuentes de calor. Se debe utilizar, preferiblemente una estufa de calentamiento o un dispositivo de baño María. Se ha comprobado con base en la experiencia de las personas del área de producción (operarios), que al poner resistencias eléctricas alrededor de tubería que transporta chocolate, éste se carboniza creando tapones difíciles de quitar y ocasionando pérdidas en horas de producción por limpiezas en conductos.

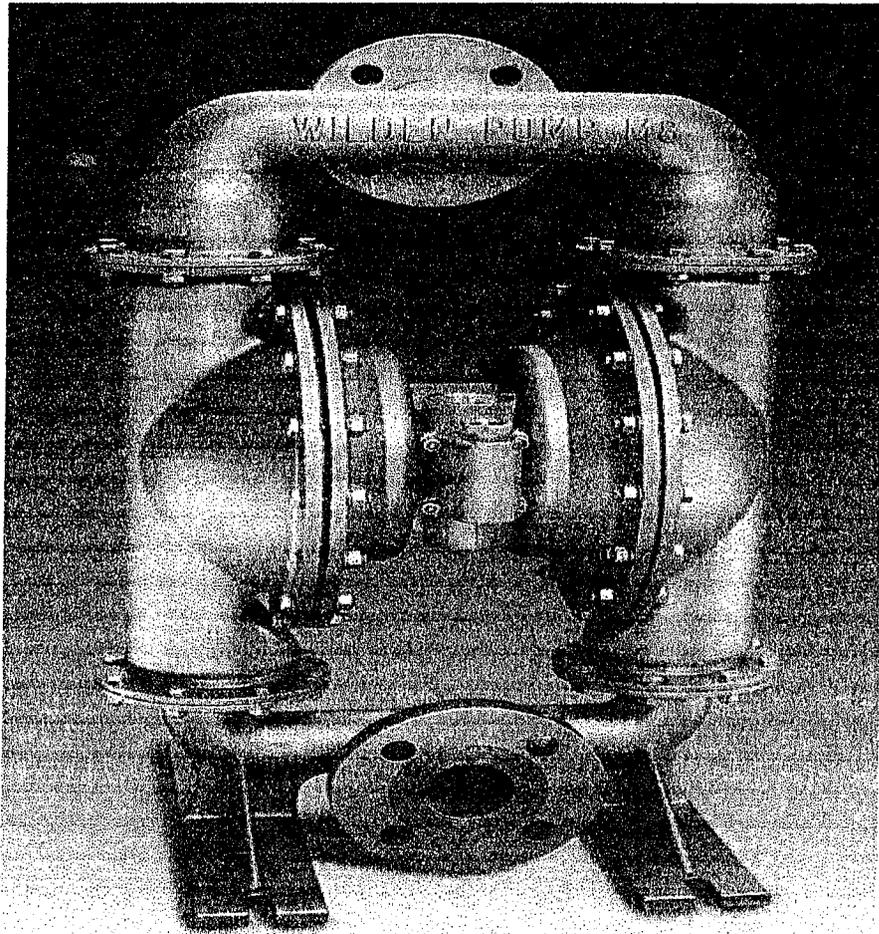
Es importante que, dado lo susceptible del chocolate de recubierto, el modo de transporte sea por medio de una instalación que cuide los requisitos de no-toxicidad (tuberías, accesorios y bombas con aprobación para ser utilizadas en industrias alimenticias).

En lo referente a las cualidades del chocolate como fluido para cálculos de tuberías y potencia necesaria para trasegar; podemos agregar que el chocolate se clasifica dentro de los fluidos de Bingham, conocidos también como fluidos de tapón. Estos requieren un nivel significativo de tensión de corte antes de que empiecen a fluir; cuando empiezan a fluir muestran una viscosidad aparentemente constante.

Se analizó y se llegó a la conclusión de utilizar tubería de acero inoxidable para la conducción del chocolate. Se utilizará tubería de 3" y alrededor de ella, tubería de acero inoxidable de 4", por donde se recirculará agua caliente en un circuito que incluirá la máquina que recubre de chocolate y la tubería de conducción de aproximadamente 15 metros. Una instalación de acero inoxidable grado alimenticio nos garantiza aprobación de organismos internacionales y por otra parte -desde el punto de vista tecnológico, menos coeficiente de fricción (paredes lisas), mejor transferencia de temperatura del agua al chocolate y por último un aspecto más agradable, punto no determinante.

La bomba a utilizar será neumática de membrana o diafragma de doble cabezal (figura 17). Consta, básicamente, de una varilla reciprocante que mueve los diafragmas flexibles dentro de una cavidad, luego descarga fluido de una manera alternada conforme la varilla se mueve de izquierda a derecha. Su principal característica es que el diafragma solamente hace contacto con el fluido, lo que elimina la contaminación de los elementos de alimentación. Además, obtiene un significativo ahorro en cuanto a energía necesaria para hacerla trabajar (rangos bajos de presión y flujo de aire). Se utilizan pocos componentes que requieran un mantenimiento constante y costoso.

Figura 17. Bomba neumática de membrana



Fuente: folleto técnico del fabricante de bombas *Wilder Pump*

2.1.4.2 Requerimientos en cuanto a potencia (bombeo)

A continuación se detallan datos para los cálculos de potencia requerida de bombeo:

$$\text{Caudal (Q)} = 20 \text{ gal/min} = 0.001261 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Diámetro de tubería } (\varnothing) = 3'' = 0.0762 \text{ m}$$

$$\text{Área del tubo (A)} = 4.56\text{E-}3 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad del fluido (V)} = 0.28 \text{ m/s}$$

$$\text{Densidad (d)} = 1160 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viscosidad dinámica (v)} = 22 \text{ pa} \cdot \text{s}$$

$$\text{Velocidad de succión (Vs)}$$

$$\text{Velocidad de descarga (Vd)}$$

Se utilizará el mismo tipo de tubería (diámetros y rugosidades iguales tanto en la succión como en la descarga), por consiguiente:

$$V_s^2/2g = V_d^2/2g = (0.28 \text{ m/s})^2/2(9.81\text{m/s}^2) = 0.004 \text{ m}$$

Determinamos el número de Reynolds –NR–:

$$NR = VDd/v = (0.28\text{m/s})(0.0762\text{m}^2)(1160\text{kg/m}^3) / (22\text{pa} \cdot \text{s}) = 1.12$$

Calculamos el coeficiente de fricción f , que en el caso de flujos laminares se calcula con la ecuación de Darcy. El coeficiente de fricción será el mismo para la succión como para la descarga, por lo tanto, $f_s = f_d$.

$$f = 64 / NR = 64 / 1.12 = 56.9$$

Orificio de entrada:

$$h_1 = k (V_s^2/2g) = (0.5)(0.004m) = 0.002m$$

donde $k = 0.5$ (anexo 4), por ser un orificio de salida que no entre en el depósito y tiene las orillas cuadradas.

Las longitudes equivalentes para el cálculo de pérdidas menores se encuentran al final del presente trabajo, en el anexo No. 5.

Pérdida de fricción de la tubería de succión:

$$h_2 = (f_s)(L/D)(V_s^2/2g) = (56.9)(0.75m/0.0762m)(0.004m) = 2.24m$$

donde L representa la distancia de tubería de succión.

Válvula de compuerta en la tubería de succión ($L_e/D = 35m$, abierta $3/4$):

$$h_3 = (f_s)(L_e/D)(V_s^2/2g) = (56.9)(35)(0.004m) = 8m$$

Codo a 90° estándar ($L_e/D = 30$), a la salida de la línea de descarga:

$$h_4 = (f_d)(L_e/D)(V_d^2/2g) = (56.9)(30)(0.004m) = 6.83m$$

Te para prueba de descarga y alivio de limpieza (hacia un solo ramal $L_e/D = 60$):

$$h_5 = (f_d)(L_e/D)(V_d^2/2g) = (56.9)(60)(0.004m) = 13.66m$$

Válvula de compuerta en la tubería de descarga ($L_e/D = 35m$, abierta $3/4$):

$$h_6 = (f_d)(L/D)(V_d^2/2g) = (56.9)(35)(0.004\text{m}) = 7.97\text{m}$$

Pérdida de fricción de la tubería de descarga:

$$h_7 = (f_d)(L/D)(V_d^2/2g) = (56.9)(17.85\text{m}/0.0762\text{m})(0.004\text{m}) = 53.3\text{m}$$

Te de derivación para los dos depósitos aéreos ($L_e/D = 20$, por salir hacia dos tramos):

$$h_8 = (f_d)(L_e/D)(V_d^2/2g) = (56.9)(20)(0.004\text{m}) = 4.55\text{m}$$

Codos a 90° estándar para derivaciones de depósitos aéreos (con $L_e/D = 30\text{m}$ y velocidades de $V_{da-b} = 8.27\text{E-}3$ por haberse dividido el caudal en dos líneas):

$$h_9 = 2(f_d)(L_e/D)(V_{da}^2/2g) = 2(56.9)(30)((8.27\text{E-}3\text{m/s})/(2*9.81\text{m/s}^2)) = 0.012\text{m}$$

Llaves de compuerta abiertas a $3/4$ de su capacidad para el desalojo del fluido a través suyo, colocadas en las ramificaciones de la línea principal de conducción ($L_e/D = 35$):

$$h_{10} = 2(f_d)(L_e/D)(V_{da}^2/2g) = 2(56.9)(35\text{m})((8.27\text{E-}3\text{m/s})/(2*9.81\text{m/s}^2)) = 0.014\text{m}$$

Para obtener h_L se hará la sumatoria de las h :

$$h_L = h_1 + h_2 + \dots + h_{10} = 96.58\text{m}$$

Para hA:

$$hA = (Z2 - Z1) + V^2/2g + hL = 3.6m + 0.004 + 96.58m = 100.18m$$

Para la potencia requerida a una eficiencia de 76%:

$$pe = (d)(g) = (1160kg/m^3)(9.81m/s^2) = 11.4E3N/m^3$$

$$P = (hA)(pe)(Q)/(em) = (100.18m)(11.4E3N/m^3)(0.001261m^3/s)/0.76$$

$$P = 1894.9watt$$

$$P = 1.89 Kw = 2.5 HP$$

Potencia teórica requerida y sobredimensionando el equipo para futuras exigencias de producción:

$$P = 3.3 HP \text{ utilizaremos una bomba de 4 a 5 HP}$$

2.1.4.2 Requerimientos en cuanto a tuberías

En cuanto a determinar el tipo de tubería a utilizar solamente basta pensar en el medio de aplicación. Dentro de algunos tipos de tubos especiales, se encuentra el tubo sanitario que se distingue de los demás de su clase (entiéndase tubería de acero inoxidable en general), por contar con una superficie pulimentada. Se fabrica normalmente de acero inoxidable con 18 por ciento de cromo y 8 por ciento de níquel, utilizable sin costura. Su aplicación primordial es en la industria alimenticia, se encuentra en tamaños de 1 hasta 4 pulg.

El requerimiento específico es de tubería de acero inoxidable grado alimenticio o sanitario de 3 pulg y 4 pulg. de diámetro, para utilizar con temperaturas que no sobrepasen los 100°C y presiones por debajo de los 150 PSI., y cuyo coeficiente de fricción será muy bajo. También se considero, al momento de calcular la potencia de la bomba, que se pueda trasegar el fluido (chocolate).

Esta tubería servirá de intercambiador de calor (en la parte externa del tubo interior) y como conducto para chocolate en la parte interior del tubo central. Se montará de manera que fluya vapor a muy bajas presiones en contra corriente a la dirección del chocolate. Su misión primordial será evitar que el chocolate, en su recorrido hasta las marmitas superiores, se llegue a solidificar.

Como unión se usarán bridas soldadas al tubo con gas inerte (argón), por ser la más apropiada, pues se obtiene un deposición uniforme del material de aporte, además de ser relativamente rápida y de mayor utilización cuando los espesores de las superficies a soldar son relativamente pequeños, obteniéndose rangos elevados en cuanto a resistencia a la tracción.

En lo posible se utilizarán los accesorios como codos, yees, tees, de tipo soldable y en el caso de los codos serán de radio largo (considerados así en la selección de la bomba), para obtener bajas perdidas. Las válvulas serán de tipo compuerta de 3" de diámetro, pues en el transporte de chocolate otro tipo de válvula es muy vulnerable a la creación de tapones del mismo fluido dentro de ellas.

La unión del circuito de agua caliente que transitará dentro de la chapa se unirá (solo en el caso que sea interrumpida por la colocación de bridas o válvulas), por medio de manguera de hule reforzada de 1/2" de diámetro para temperaturas de hasta 150°C y presiones de 300psi. Mangueras de hules sin refuerzo son débiles frente a temperaturas relativamente altas, se debe tomar en cuenta que se tendrá el agua transitando a 50-60 psi y a una temperatura promedio de 60-70°C registrándose un flujo turbulento (conducción de fluido a alta velocidad).

2.1.4.4 Requerimiento de flujo de vapor para calentar la línea de conducción

A un inicio se pensó en la utilización de vapor a muy bajas presiones, ya que la presión está estrechamente relacionado con la transmisión de calor, debido a que, a bajas presiones, bajas temperaturas. La inversión representa tomar en cuenta la adquisición de tubería para vapor, regulador, filtros, control de temperatura, válvulas anti-retorno, trampas para retorno de condensado, y tubería para retorno de condensado. El requerimiento de vapor es bajo y no representaba mayor carga de trabajo para la caldera York Shipley con que cuenta la planta de producción para sus aplicaciones de vapor, pero en busca de optimizar los recursos se utilizará el mismo sistema de calentamiento con que cuenta la maquina de recubierto Enrober, para calentar el agua que se conducirá dentro de la chapa de la tubería que trasegará el chocolate, de la refinadora, a las marmitas. Según datos del fabricante la bomba tiene la capacidad para mover agua a gran velocidad (para crear un flujo turbulento), hasta el triple de volumen del que maneja actualmente. La única diferencia estriba en la utilización de una resistencia de mayor vateaje (actualmente se utiliza una de 500 vatios a 24 volts), 1000 watts.

Se debe tener especial cuidado en llenar completamente el sistema de calentamiento y colocar orificios de sangrado o purgado en las partes más altas de la tubería.

2.1.5 Planos de instalación y montaje

En las páginas siguientes se presenta el tipo de montaje a utilizar para la línea de conducción de fluido viscoso (chocolate de recubierto). La tubería de conducción, como ya se a indicado será de 3" de diámetro envuelta por otro tubo de 4" de diámetro para conducir en la parte media entre uno y otro, agua caliente para mantener el sistema a 50°C. Las conexiones para la recirculación de agua caliente por todo el sistema se harán por medio de niples soldados a la chapa (tubos, codos, tes, solo se exceptúas las válvulas) y unidos por una manguera con resistencia a 300 psi y 100°C (reforzada).

Figura 18. Plano de distribución de línea de conducción de chocolate

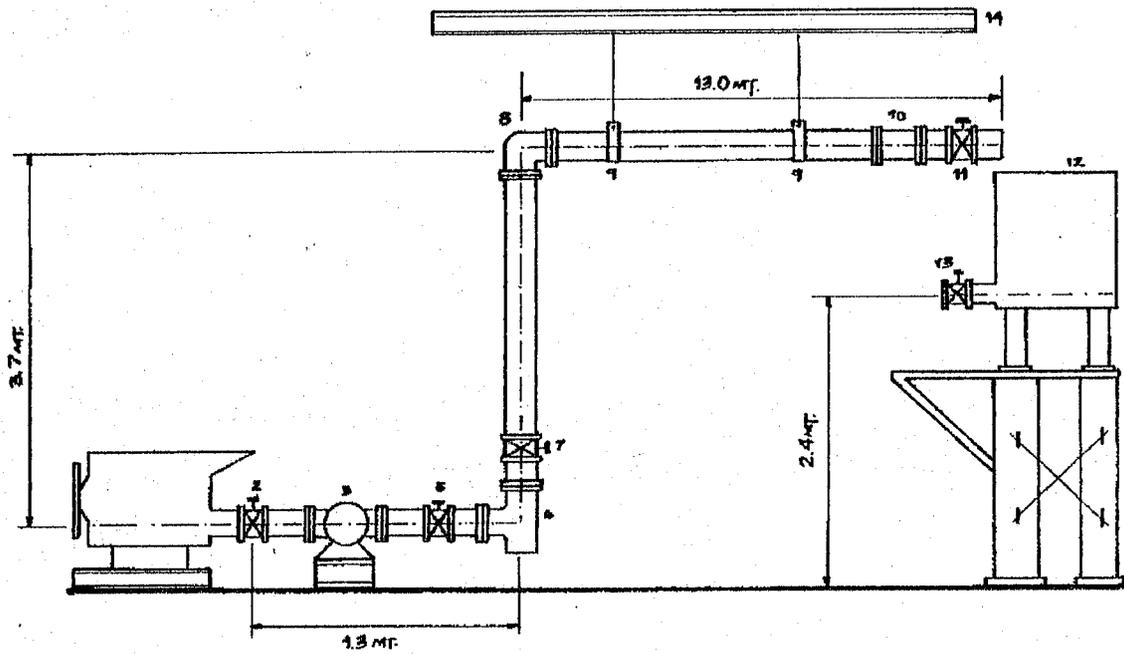


Figura 19. Plano de tubería de distribución de Marmita a Enrober

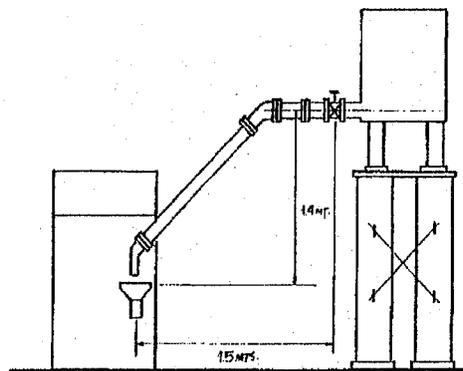


Figura 20. Ubicación para carga y descarga de chocolate en Marmita

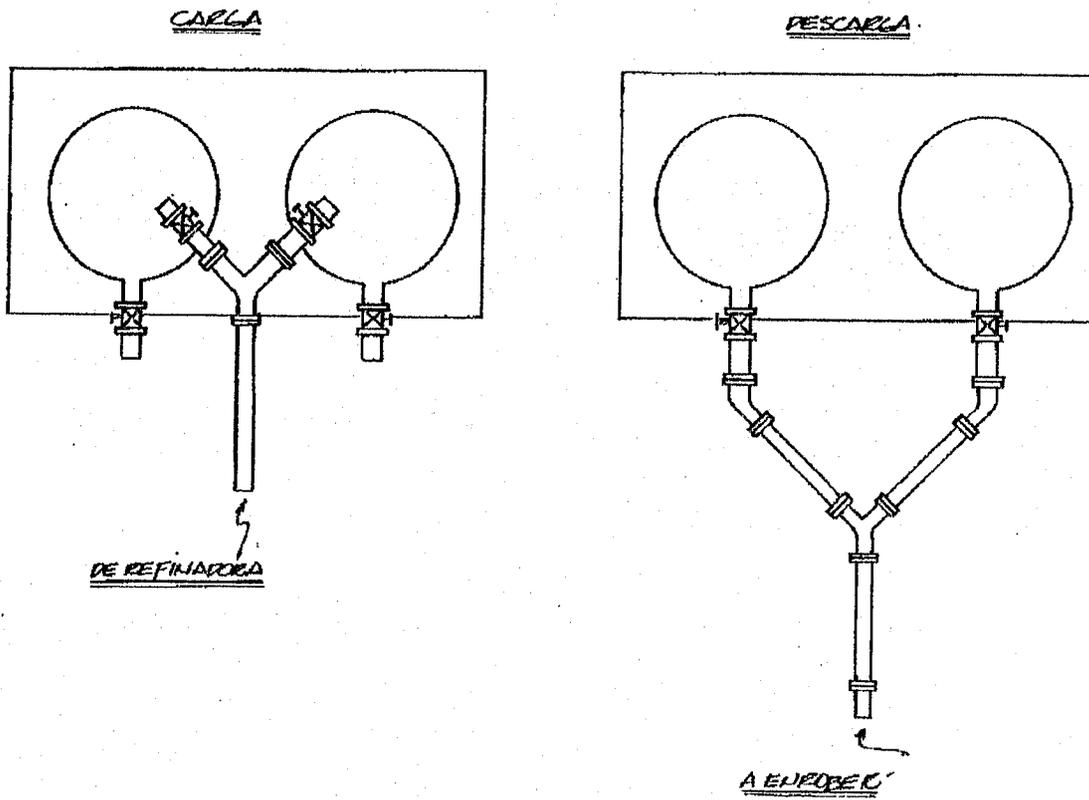
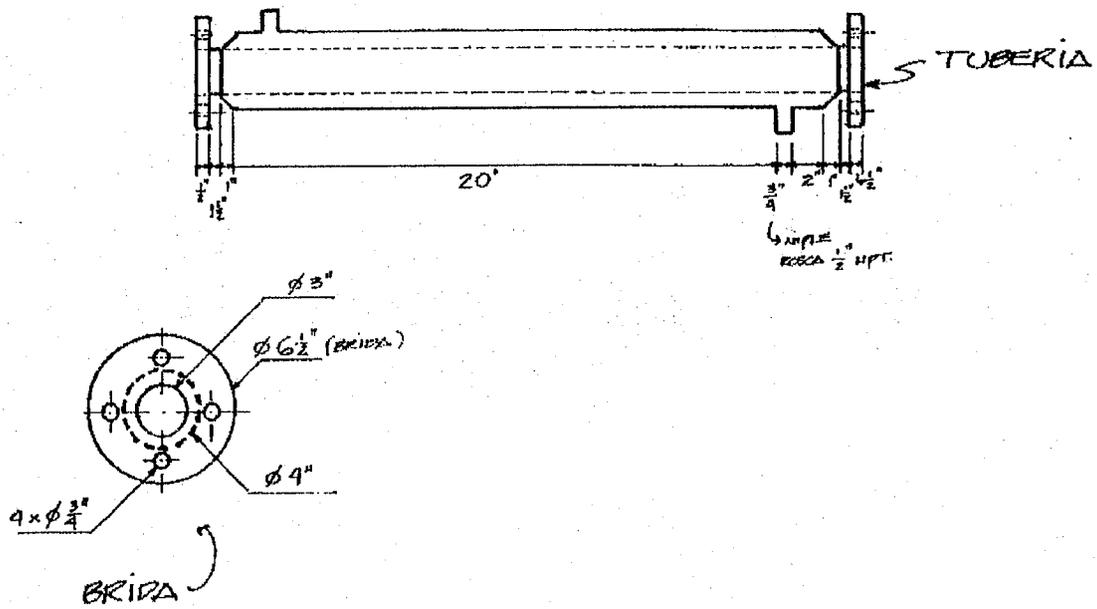


Figura 21. Plano detallado de tubería para conducción de chocolate



2.1.6 Medición y controles de temperatura

Se usarán los mismos que originalmente tiene la máquina y que consisten, básicamente en una termocupla tipo J, que censa la temperatura dentro del deposito de agua. El agua estará en movimiento a través de toda la línea de conducción de chocolate, por lo que estará cediendo temperatura al chocolate y al ambiente. Este calor lo recuperará la resistencia para mantener estable al sistema. La termocupla mandará una señal a un pirómetro que, en base a parámetros de temperatura definidos por el usuario (operario), mandará la señal de encender resistencia.

2.1.7 Capacidad para balance de línea

El chocolate que se estará enviando a la marmitas, a través de la bomba, será desalojado de la refinadora, cuya capacidad de captación es de 533.97 kg. y su capacidad en volumen igual a 0.46 m³ aproximadamente. Éste es el resultado de la suma en peso de todos los ingredientes utilizados para la hechura del chocolate de recubierto y que se utiliza en un turno de 12 hrs. de producción aproximadamente. La capacidad de la marmita es:

Marmita inferior (lámina negra):

$$r = 0.48 \text{ mts.}$$

$$h = 0.74 \text{ mts.}$$

$$v = 0.5356 \text{ m}^3$$

densidad del chocolate = 1160 kg/m³ (variable según la utilización del porcentaje de ingredientes en cada carga elaborada.)

Capacidad en kg:

621.33 kg

Marmita superior (lámina inoxidable):

$r = 0.415$ mts.

$h = 0.415$ mts.

$v = 0.22454$ m³

densidad del chocolate = 1160 kg/m³ (variable según la utilización del porcentaje de ingredientes en cada carga elaborada.)

Capacidad en kg:

260.46 kg

Si la capacidad de la bomba en cuanto a caudal es de :

$$Q = 0.001261 \text{ m}^3/\text{s}$$

entonces la refinadora se desalojará para cualquiera de las dos marmitas o ambas según la capacidad de ellas en:

$$t = 0.1 \text{ hrs}$$

sin tomar en cuenta el tiempo de elaboración de una cobertura que es de aproximadamente 8 hrs., se tiene el tiempo suficiente (en base a nuestros estándares actuales de producción) para trasegar el chocolate de un lugar a otro.

En las páginas siguientes se presenta el tipo de montaje a utilizar para la línea de conducción de fluido viscoso (chocolate de recubierto). La tubería de conducción, como ya se a indicado será de 3" de diámetro envuelta por otro tubo de 4" de diámetro para conducir en la parte media entre uno y otro, agua caliente para mantener el sistema a 50°C. Las conexiones para la recirculación de agua caliente por todo el sistema se harán por medio de niples soldados a la chapa (tubos, codos, tees, solo se exceptúa las válvulas) y unidos por manguera con resistencia a 300 psi y 100°C (reforzada).

2.2 Implementación de un programa de mantenimiento correctivo

2.2.1 Definición del problema

Como se señalo al principio, NIASA empezó a trabajar dentro de instalaciones diseñadas para otro tipo de proceso. No se han tomado en cuenta aspectos como tipo de iluminación y ventilación adecuada. Por lo anterior, se hace necesario rediseñar y reubicar las fuentes de iluminación así como elaborar un estudio para determinar el tipo de ventilación necesario para optimizar los procesos que se realizan en dicha área.

2.2.2 Puntos críticos en el proceso desde el punto de vista mecánico

2.2.2.1 Ventilación

La saturación de temperaturas en el ambiente, hacen del área de galleta, un lugar poco confortable para el personal, e influye negativamente para el desarrollo de los procesos de elaboración de galleta recubierta.

La ubicación, en la misma área de: hornos, caldera, motores (implícitos en cualquier proceso mecánico), la energía calorífica cedida por el cuerpo humano (que se vuelve significativa por el número de operarios que se encuentran invariablemente en el mismo lugar) y contrario a todo, túneles de enfriamiento, hacen necesario reflexionar e iniciar un estudio para mejorar la ventilación de dicha área.

Es indudable que el solo hecho de pensar en acondicionar el volumen de aire del área de galleta, sería complicado y costoso. En el proceso de elaboración de galleta recubierta no es determinante el manejar temperaturas que solidifiquen productos, pues en función de esto se utilizan los túneles de enfriamiento. Es suficiente el lograr manejar volúmenes de aire correctos (con parámetros exactos de velocidad y renovaciones de aire por hora). Debe tomarse en cuenta aspectos relacionados a la transferencia de calor al ambiente como los siguientes: permanencia de al menos 50 personas, 1 caldera de 20 HP, 2 hornos en cuyos interiores se manejan temperaturas de 500°F cediendo al ambiente casi un 10% de dichas temperaturas, 15 motores de 2 HP cada uno, 25 lámparas fluorescentes 2 * 96 vatios, 2 equipos de aire acondicionado para las oficinas del segundo nivel (que envían los BTU extraídos del interior hacia la planta de producción) y dos túneles de enfriamiento. Respecto a los túneles de enfriamiento, es lógico pensar que el problema no será dado por los túneles en sí, sino por los compresores de éstos equipos.

Normas generales para la correcta ventilación del área de galleta

La elección correcta para un proceso de ventilación viene determinada por los siguientes puntos.

a) Caudal en m³/hr

Se determina por medio de tablas para procesos típicos, el número de renovaciones por hora de volumen de aire. Para locales donde hay calderas y hornos se recomienda de 30 a 60 renovaciones de volumen de aire por hora. Las renovaciones de aire de hasta 8 por hora aseguran la eliminación de las poluciones provocadas por las personas. Mayor número de renovaciones aseguran la eliminación de calor y el vapor en las zonas calentadas. En épocas de clima cálido el número de renovaciones debe ser al menos duplicado. Y tomando en cuenta todo lo anterior se recomienda 35 renovaciones de volumen total de aire.

Se calcula el volumen del local: largo=39.2 m.; ancho=33.4 m.; altura=4.46 m. De lo que resulta:

$$\text{Volumen} = 39.2 * 33.4 * 4.46$$

$$\text{Volumen} = 5839.4 \text{ m}^3$$

Caudal necesario a trasegar = No. de renovaciones * Volumen

$$Q = 35 * 5839.4$$

$$Q = 204379 \text{ m}^3/\text{hr}$$

b) Presión necesaria en mm. columna de agua

En el caso de ventiladores que trabajan a descarga libre, la resistencia ofrecida por la instalación del edificio será insignificante, en caso contrario, al momento de calcular los ductos de aire, los accesorios se deben considerar como pérdidas de presión.

c) Situación correcta del ventilador

En busca de la eficiencia de ventilación en el área, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- La situación del ventilador deberá ser diametralmente opuesta a la entrada del aire.
- Es necesario remarcar que el éxito de un sistema de extracción está influenciado en gran manera por las entradas de aire. Donde deberán ser cerradas las entradas de aire no controladas (pared de materias primas y persianas).
- Las entradas de aire no deben colocarse a demasiada altura, pues en tiempo caluroso el aire entrante tiende a elevarse sobre las cabezas de los ocupantes en su recorrido hacia los extractores. Por regla general las entradas de aire deben colocarse a nivel de la zona de respiración (regularmente 3 m.).
- Las dimensiones de las aberturas influyen en el confort y el funcionamiento del ventilador. Si su área total es pequeña habrá resistencias a la entrada y la velocidad de extracción del edificio disminuirá.

d) Velocidades del aire en el recinto ventilado

Una velocidad inadecuada de aire puede producir corrientes desagradables.

$$\text{Velocidad} = Q / ((Q/2) * \text{área de entrada})$$

Se recomienda, para climas templados, de 0.5 a 1 m/s. Por manejar un ambiente muy cálido utilizaremos 1 m/s.

Despejando se obtiene:

$$\text{área de entrada} = Q / ((Q/2) * \text{velocidad})$$

$$\text{área de entrada} = (204379 \text{ m}^3/\text{hr}) / (102189.5 * 1 \text{ m/s})$$

$$\text{área de entrada} = 2 \text{ m}^2$$

Análisis de alternativa

Se evaluará la adquisición de 4 extractores de aire, así como la abertura de cuatro ventanas de 1m² (inducción de aire fresco). En lo posible se buscará la manera de cerrar paredes inconclusas, puertas innecesarias y cualquier otro punto que provoque corrientes de aire no controladas.

Datos adicionales

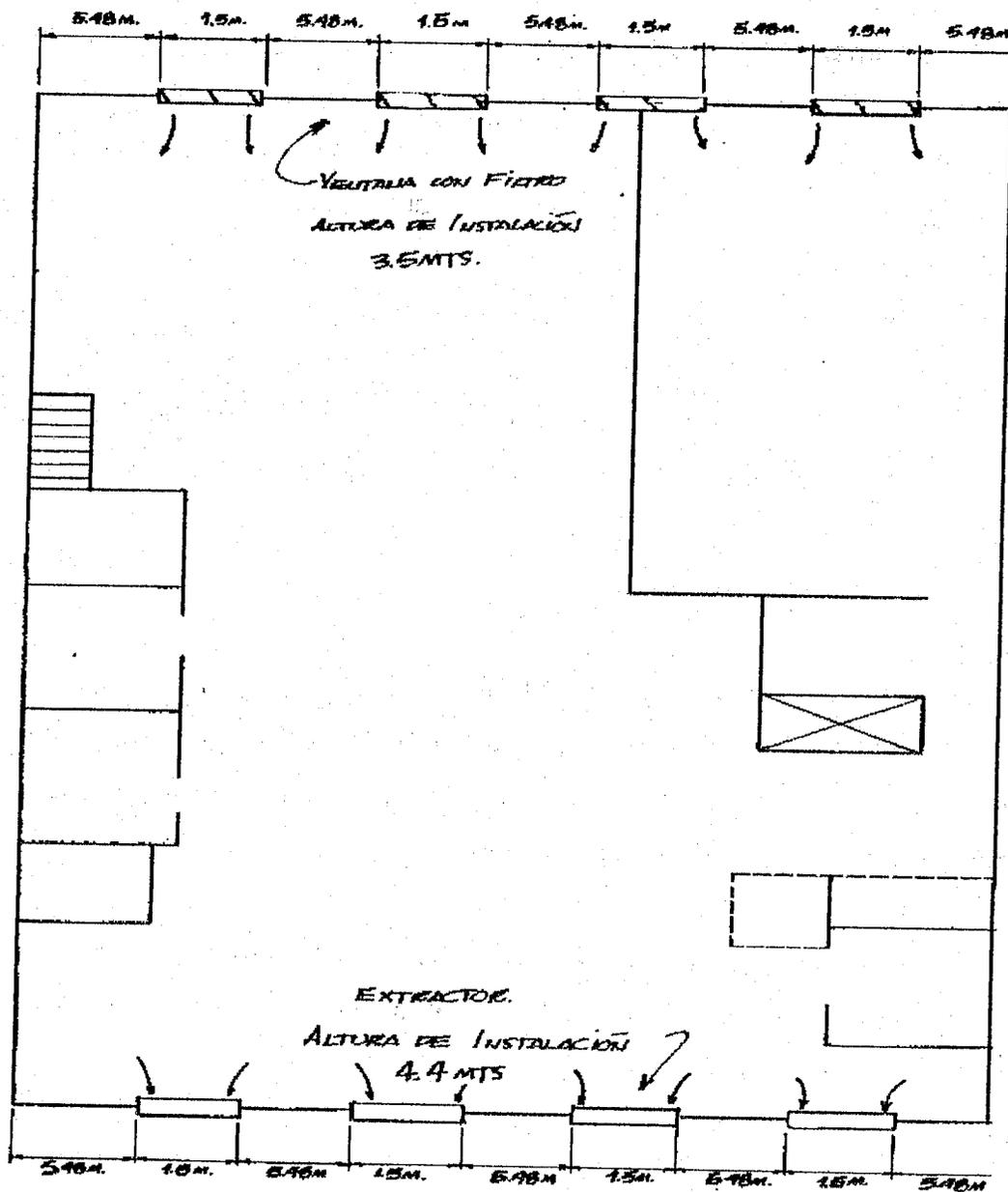
Datos técnicos del ventilador a utilizar:

- Velocidad 550 RPM
- Potencia 1 HP
- Descarga libre 39500 m³/hr.

Las ventanas serán distribuidas convenientemente, y dotadas de paletas inclinadas hacia abajo, ofreciendo de esta manera dirección al flujo de aire entrante. La dirección del flujo de aire busca llevar la corriente hacia la parte inferior de la planta.

Dado que las aberturas para la inducción de aire quedarán hacia el lado fuera de la planta, se ha pensado en la posibilidad de colocar filtros, que según indicación de los folletos técnicos, de los mismos, necesitan un incremento en la potencia del ventilador de al menos un 20%. Existe la posibilidad de evitar el incremento de potencia en los ventiladores, aumentando el área total de las entradas de aire a la planta.

Figura 22. Plano del sistema de ventilación en el área de producción de galleta



2.2.2.2 Iluminación

En la mayoría de cálculos y procedimientos mecánicos, el interés se centra en la resistencia y no de la manera en que reacciona el organismo humano. La respuesta de la visión es de vital importancia en las eficiencias del recurso humano. El cristalino del ojo enfoca una imagen sobre la retina; en esta tiene lugar un proceso fotoquímico que envía impulsos nerviosos al cerebro a través del nervio óptico. La cantidad de luz que entra al ojo se controla por la pupila. El ojo normal se adapta en forma automática por sí solo para enfocarse sobre un objeto, mientras que la pupila se ajusta por sí sola para tener en cuenta un alto o bajo nivel de iluminación del objeto.

Cuando el proceso exige mayor atención en el tipo de producto a elaborar, es necesario contar con las herramientas necesarias para un buen desenvolvimiento del trabajador. Básicamente se trata de hacer del ambiente de trabajo algo motivador.

La planta de producción en NIASA se encuentra en pleno desarrollo y busca incorporarse al mercado internacional de manera total, tomando como marcos referenciales principios de alta calidad en todos los factores que intervienen en el proceso de producción.

Para el cálculo de la iluminación se tomará como válidas las recomendaciones de la Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Estados Unidos – IES-, las cuales son los siguientes:

- **Ambiente D:** Entre los que tenemos trabajos de gran contraste o tamaño, lectura de originales y fotocopias buenas (legibles) y trabajos sencillos de inspección o de banco. El proceso no necesita una mayor verificación, los problemas más comunes son se fácil detección. Hay inconveniencias de empaque y colores no adecuados en el producto terminado, así como algún aspecto físico general no esperado.

Tabla VI. Factores de peso para evaluar luminosidad

Condición	-1	0	+1
EDAD (en años)	< 40	40 – 55	> 55
Velocidad	No importa	Importancia	Crítico
Reflectancia	> 70 %	30 - 70 %	< 30 %

Fuente: Manual del ingeniero mecánico 9ª. Edición

Según la suma de los factores se determina el número de lux necesarios promedio de la siguiente manera:

- 2 ó -3 usar el valor inferior
- 1 ó +1 usar el valor medio
- +2 ó +3 usar el valor superior

La edad de los trabajadores de la planta de producción oscila en un rango no mayor de 40 años, lo que nos da un factor de -1. La velocidad en cuanto al desarrollo de sus tareas toma importancia por lo que en este región manejaremos un factor 0. La reflectancia se determina en base a los colores predominantes en el ambiente, que en el caso específico de NIASA serán colores pálidos cuyo coeficiente es 70% correspondiéndole un factor 0. Si sumamos los factores tendremos -1, siendo éste el número que determina, el número de lux promedio a utilizar. La luminosidad necesaria para trabajos sencillos de inspección o de banco es de 300 lux.

- Determinamos P_c , P_p , y P_f

Tabla VII. Coeficientes de reflectancia para diferentes tonalidades de color en ambientes

Color	Coef. de reflex. %	Especificación
Blanco	75 – 85	Claros
Marfil	70 – 75	
Col. Pálidos	60 – 70	
Amarillo	55 – 65	Semiclarios
Marrón claro	45 – 55	
Verde claro	40 – 50	
Gris	30 – 50	
Azul	25 – 35	Oscuros
Rojo	15 – 20	
Marrón oscuro	10 – 15	

Fuente: Manual del ingeniero mecánico 9ª. Edición

Cualquier dato necesario que no se encuentre en la tabla se tendrá que interpolar. Las reflectancias Pc (cielo), Pp (paredes) y Pf (piso), se obtienen por tablas sobre la base de los colores predominantes en cualquiera de los tres puntos. Las tablas para determinar éstos puntos se describen en el anexo No. 6 al final del presente trabajo.

- **Calculando la relación de cavidad de ambiente – RCA-, la relación de cavidad del cielo – RCC-, y la relación de cavidad del piso – RCP-:**

$$RCA = 5 \cdot h_{CA} \cdot (L + W) / (L \cdot W)$$

$$RCA = 5 \cdot 2.73\text{m} \cdot (33.4\text{m} + 39.2\text{m}) / (33.4\text{m} \cdot 39.2\text{m})$$

$$RCA = 0.76$$

$$RCC = 5 \cdot h_{CC} \cdot (L + W) / (L \cdot W)$$

$$RCC = 5 \cdot 0.97\text{m} \cdot (33.4\text{m} + 39.2\text{m}) / (33.4\text{m} \cdot 39.2\text{m})$$

$$RCC = 0.27$$

$$RCP = 5 \cdot h_{CP} \cdot (L + W) / (L \cdot W)$$

$$RCP = 5 \cdot 0.9\text{m} \cdot (33.4\text{m} + 39.2\text{m}) / (33.4\text{m} \cdot 39.2\text{m})$$

$$RCP = 0.25$$

- Luego se busca la reflexión efectiva de la cavidad de cielo – PCC-, en anexo 6 los valores conocidos Pc= 50%, Pp=70% y RCC=0.27:

$$PCC = 49\%$$

- Con este valor se busca, introduciendo a anexo 7, los datos: Pf=50%, Pp=70% y Rcp=0.25:

$$P_{cp} = 49\%$$

- Evaluando el coeficiente de utilización K, anexo 8 se obtiene un resultado con Pcp al 20%, como no es así, se necesitara de un factor cuya referencia sea el valor exacto de Pcp. Con Pcc=49%, RCA=0.76 y Pp=70%

$$K = 0.84$$

el factor será el resultante de introducir a tablas los valores: PCC=49%, Pp=70% y RCA=0.76:

$$\text{Factor} = 1.06$$

multiplicamos ahora K por el respectivo factor de corrección:

$$K = 0.84 * 1.06$$

$$K = 0.89$$

- **Para encontrar el flujo total en lux**

$$FT = E * S / K * K'$$

$$FT = 300\text{lux} * (33.4\text{m} * 39.2\text{m}) / (0.89 * 0.6)$$

$$FT = 735550 \text{ lux}$$

asumiendo un servicio de limpieza deficiente, asignamos al factor de mantenimiento K' un valor de 0.6.

- **Para cumplir con criterios de espaciamiento máximo entre lamparas**

$$E = 2 * hCA$$

$$E = 2 * 2.73m$$

$$E = 5.46m$$

$$\text{No. Lámparas a lo largo} = 39.2m / 5.46m$$

$$\text{No. Lámparas a lo largo} = 7$$

$$\text{No. Lámparas a lo ancho} = 33.4m / 5.46m$$

$$\text{No. Lámparas a lo ancho} = 6$$

el factor 2 que multiplica a la cavidad ambiente se obtiene según normas americanas. Dichas normas recomiendan utilizar dos metros de cavidad de cielo (o sea la distancia del techo hacia donde esta suspendida la lámpara a utilizar), y también indican que el espaciamiento entre lámparas se obtiene de multiplicar la cavidad de cielo (2) por la cavidad ambiente –hca-.

- **Los espaciamientos reales serán**

$$\text{A lo largo} = 39.2m / 7\text{lámp.}$$

$$\text{A lo largo} = 5.5m \text{ (entre lámpara)}$$

$$\text{A lo ancho} = 33.4m / 6\text{lámp.}$$

$$\text{A lo ancho} = 5.5m \text{ (entre lámpara)}$$

El requerimiento de iluminación de la planta es de 735550 lux y el número de lámparas a utilizar es 42, esto quiere decir que cada lámpara necesitara ceder 17 513 luxes. Lo anterior se cumple con la utilización de 42 lámparas de 2 X 96 vatios (18 000 lux).

Requerimiento = 42 lámparas fluorescentes de 2 * 96 vatios

Se dejará de instalar estas lámparas en lugares donde se encuentran las oficinas de administración de la planta de producción (-4), cuarto de caldera (-1), jálula de materia prima (-1), área de limpieza (-2) y área de bodega de materia prima (-7); por lo anterior:

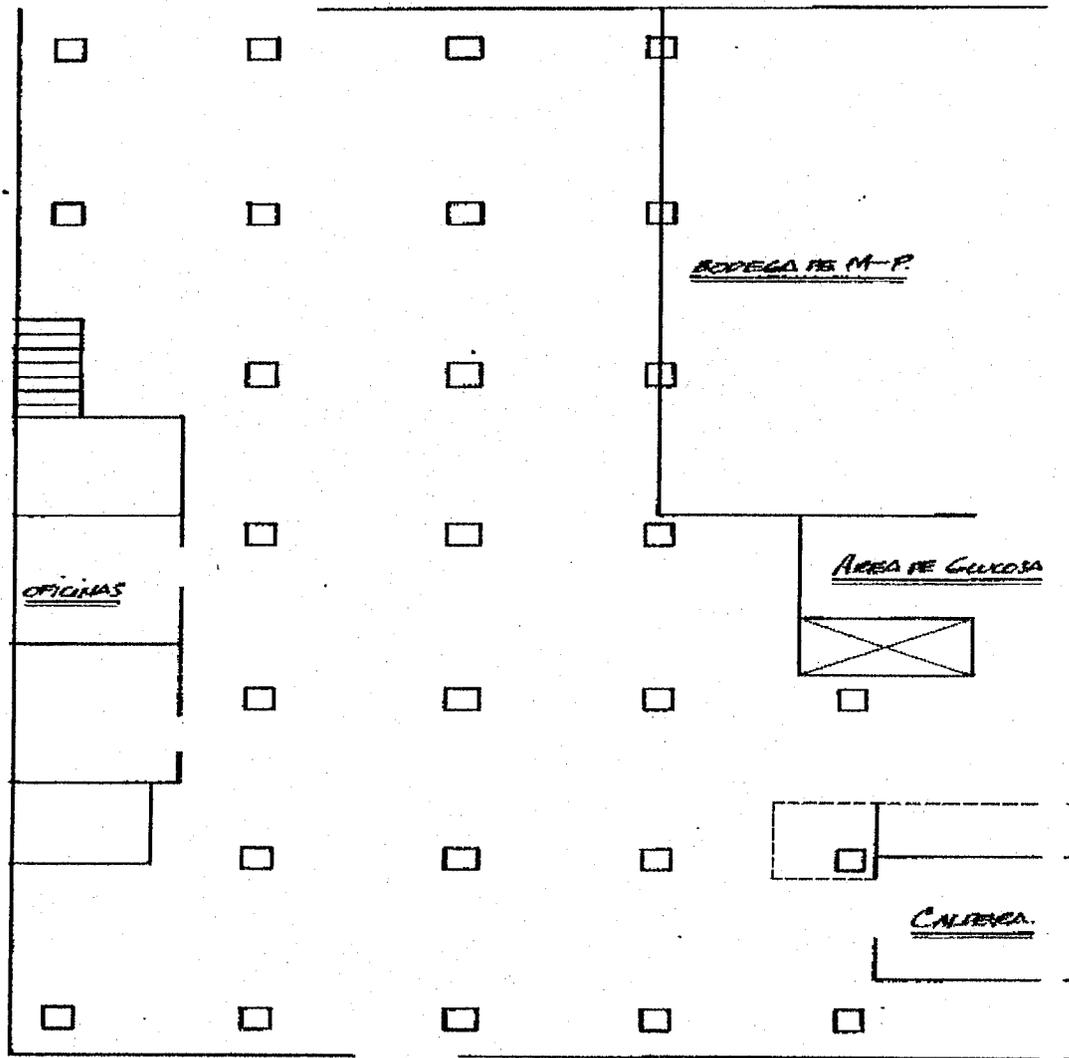
Requerimiento exacto = 27 lámparas fluorescentes de 2 * 96 vatios

Esquema de montaje al final de presente capítulo

2.2.3 Planos de instalación

Se presentan a continuación el tipo de montaje a implementar para la ejecución del presente proyecto

Figura 23. Plano de distribución de iluminación para el área de galleta



ILUMINACIÓN DEL AREA DE GALLETA.
DISTANCIA ENTRE LAMPARAS 5.5 MTS. (LARGO Y ANCHO).

CONCLUSIONES

1. NIASA debe tener una amplia visión de desarrollo, estar dispuesta al cambio, a la inversión, e investigar incansablemente sobre los avances tecnológicos que puedan ser aplicados a sus procesos para lograr elevar las eficiencias de producción.
2. La implementación del sistema de autocombustión, no solamente ayudará a elevar la eficiencia del departamento de galleta, sino también, contribuirá a reducir los índices de contaminación enviando al ambiente gases de una combustión bien realizada.
3. Cuando se trabaja con sistemas de LPG, se debe tener especial cuidado en manejar niveles adecuados de gas líquido dentro del tanque receptor, ya que éste es necesario para obtener presión de vaporización lo suficientemente alta para evitar congelamiento en la línea de distribución de gas.
4. Es necesaria la observación de las especificaciones técnicas de la maquinaria a la que se le desea realizar mantenimientos correctivos para obtener óptimos resultados en los trabajos a ejecutar.
5. El cocimiento adecuado de la oblea será determinado única y exclusivamente por la temperatura a la que este programado el controlador electrónico, y no a la apariencia de la llama dentro del horno, por ser éste un parámetro erróneo de temperatura.

6. Con una temperatura adecuada y uniforme dentro del horno se evitarán fallas prematuras de los componentes internos, pues el material del que están fabricadas se someterá a menos fatiga por la constante deformación térmica ocasionada por temperaturas no estables.
7. Al programa de mantenimiento preventivo ya establecido para los hornos, debe hacerse las modificaciones pertinentes, pues ahora se cuenta con nuevos componentes del sistema que no deben estar ajenos a inspecciones periódicas sobre su buen funcionamiento.
8. Un mal aislamiento en los hornos produce pérdidas de energía calorífica considerables, que se ven traducidos en la utilización de más recursos para llegar a producir lo mismo. Tal es el caso de NIASA en donde los hornos productores de oblea trabajaban con una temperatura de 35% más de la necesaria, pues se necesita recuperar la cantidad de calor cedida al ambiente, a causa de un aislante deteriorado.
9. Para conducir chocolate por medio de tubería se debe hacer en un rango de temperatura de 40° a 50°C, para evitar la solidificación del fluido y la obstrucción en el sistema.
10. La densidad del chocolate, difícilmente será siempre igual, dado que los porcentajes de sólidos utilizados en su elaboración pueden variar debido a muchos factores, como: temperatura ambiente, velocidad o atraso en las líneas de producción, etc. Para motivos de cálculo de debió tomar el dato más alto de viscosidad del que se tiene conocimiento.

11. Las bombas de membrana, son por excelencia, las más utilizadas para la conducción de fluido viscoso de tipo alimenticio, pues los componentes que tienen contacto directo con el alimento son plásticos que cumplen normas sobre manejo de productos alimenticios.
12. La bomba de membrana seleccionada está sobredimensionada en un 20 por ciento, en previsión a futuras exigencias de producción, haciendo de ésta manera más funcional el sistema instalado.
13. En cuanto a requerimientos de iluminación, éstos se cumplen con la instalación de 42 lámparas de 2 * 96 vatios, de las cuales ya se cuenta con 27, por lo que la inversión inicial para la reestructuración de la iluminación en el departamento de galleta no implica una inversión alta.
14. El montaje de un adecuado sistema de ventilación busca hacer del lugar de trabajo un ambiente más agradable evitando el deterioro de la salud, al mismo tiempo reduce factores negativos que inciden en el rendimiento de los trabajadores.

RECOMENDACIONES

- Al jefe del área de producción de galleta y personal operativo:
 1. Inspeccionar rutinariamente la línea de conducción de LPG de la planta de producción de NIASA, evitando así la aparición de factores de riesgo (explosión), pues no se debe olvidar que el LPG es un gas altamente volátil y su manejo merece toda la atención en cuanto a medidas de seguridad se refiere.
 2. Velar porque todos los dispositivos de seguridad del sistema de autocombustión implementado permanezcan en buen estado de funcionamiento, para brindar al operario y a todas las personas dentro del recinto de trabajo, la seguridad adecuada y la tranquilidad de realizar su trabajo sin riesgos.
 3. No dejar residuos dentro de la línea de conducción de chocolate para evitar tapones en la tubería.
- A la jefatura de mantenimiento y jefe del área de producción de galleta:
 4. Instalar en la línea de LPG de la planta de producción, llaves fabricadas de acero al carbono para presiones de 300 psi de vapor, ya que estas tienen alta resistencia mecánica y pueden soportar mejor las vibraciones no controladas en la línea de conducción de gas.

5. Realizar a conciencia cada una de las tareas en cuanto a mantenimiento preventivo se refiere (enumeradas en la página 33 del presente trabajo), y en el tiempo estipulado, para obtener altas eficiencia en las líneas de producción.
6. No tratar de calibrar los dispositivos de autocombustión, hasta no tener la certeza que el problema de combustión radica en la calibración de los dispositivos, pues estos son de gran precisión y una vez calibrados deben trabajar así por mucho tiempo.
7. Realizar limpiezas periódicas en las lámparas fluorescentes colocadas en el área de producción de galleta, pues, aunque para motivos de cálculo, el coeficiente de limpieza de las lámparas se tomó como deficiente, el objetivo es no reducir su eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. HORNOS Hass. **Manual de operación para hornos automáticos.** Austria. Editorial Franz Haas Waffelmaschinen, 1989
2. KENNETH, Wark Jr.. **Termodinámica.** México. Editorial McGraw-Hill, 1991
3. KOENIGSBERGER, Rodolfo. **Ingeniería eléctrica 2.** Guatemala. Editada por la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1982
4. MARKS, L **Manual del ingeniero Mecánico.** Novena edición. Colombia. Editorial McGraw-Hill, 1997
5. NIASA. **Manual de procedimientos en la elaboración de galleta recubierta.** Guatemala. Editado en Nuevas Industrias de Alimentos, S.A., 1993
7. NORTH American. **Air/gas ratio regulators, Bulletin 7218.** Estados Unidos de América. *Edit for Flow control business group.*, 1992
6. NORTH American. **Aspirator air/gas mixers, Bulletin 3065.** Estados Unidos de América. *Edit for Flow control business group.*, 1992
8. NORTH AMERICAN. **Butterfly Valves, Bulletin 1123/24/26.** Estados Unidos de América. *Edit for Flow control business group.*, 1998
9. REGO PRODUCTS. **Manual de servicio para el instalador de gas-LP.** Estados Unidos de América. Editada por *Engineered controls international, inc.*, 1990
10. ROBERT L. MOTT. **Mecánica de fluidos aplicada.** Cuarta edición. México. Editorial Prentice-Hall hispanoamericana, S. A., 1996
11. RONALD V. GILES. **Mecánica de los fluidos e hidráulica.** México. Editorial McGraw-Hill, 1994
12. VENTILACION. **Instalaciones, técnicas del confort.** Latinoamérica. Revista editada por AID., 1991
13. W. H. SEVERNS. **Energía mediante vapor, aire o gas.** España. Editorial Reverté, 1994

Anexo 2. Consumo aproximado en BTU para algunos aparatos comunes

Aparato	Consumo aproximado Btu/hr.
Cocina/estufa económica, autoestable doméstica	65 000
Horno integrado o unidad de parrilla, doméstica	25 000
Unidad superior integrada, doméstica	40 000
Calentador de agua, (recuperación rápida), almacenamiento automático	
Tanque de 30 galones	30 000
Tanque de 40 galones	38 000
Tanque de 50 galones	50 000
Calentador de agua, instantáneo automático	
2 galones por minuto	142 800
4 galones por minuto	285 000
6 galones, por minuto	428 400
Refrigerador	3 000
Secadora de ropa doméstica	35 000
Incinerador doméstico	32 000
Hornos Franz Hass	961 224

Fuente: Manual de servicios para el instalador de LPG, Rego products

Anexo 3. Tablas para la ejecución de cálculos para tubería de conducción de LPG

Tabla 1 - Dimensiones de tuberías de primera etapa

Entrada de 10 PSIG con una caída de presión de 1 PSIG
Capacidad máxima de tubo o tubería, en miles de BTU/hr de Gas-LP.

Tamaño del tubo o tubería de cobre, en pulgadas	Longitud del tubo o tubería, en pies										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Tubería de cobre (D.E.)	3/8	558	383	309	265	235	213	196	182	171	161
	1/2	1387	870	700	595	531	481	443	412	386	365
	5/8	2360	1622	1303	1115	988	896	824	767	719	679
	3/4	3933	2475	2205	1887	1672	1515	1394	1297	1217	1149
Tamaño de tubo	1/2	3339	2295	1843	1577	1398	1267	1165	1084	1017	961
	3/4	6982	4799	3854	3296	2923	2649	2437	2267	2127	2009
	1-1/4	13153	9040	7259	6213	5507	4989	4590	4270	4007	3785
	1-1/2	27004	18560	14904	12756	11306	10244	9424	8767	8226	7770
	2	40461	27809	22331	19113	16939	15348	14120	13136	12325	11642
	2	77924	53556	43008	36809	32623	29559	27194	25299	23737	22422

Tubería de cobre (D.E.)	Tamaño de tubo	Longitud del tubo o tubería, en pies									
		125	150	175	200	225	250	275	300	350	400
3/8	1/2	142	130	116	111	104	90	89	89	82	75
1/2	3/4	323	293	269	251	235	222	211	201	185	172
5/8	1-1/4	631	546	502	467	436	414	393	375	345	321
3/4	1-1/2	1076	923	843	790	740	700	664	634	584	543
1/2	2	1552	1372	1270	1200	1140	1080	1020	960	880	820
3/4	2	3104	2744	2540	2400	2280	2160	2040	1920	1760	1640
1-1/4	2	6208	5488	5080	4800	4560	4320	4080	3840	3520	3280
1-1/2	2	12416	10976	10160	9600	9120	8640	8160	7680	7120	6640
2	2	19824	17560	16240	15200	14400	13680	12960	12320	11360	10720

Longitud total de tubería desde la salida del regulador de primera etapa hasta la entrada del regulador de segunda etapa o a la entrada del regulador de segunda etapa más leñano.

- Nota: 1. Para una caída de presión de 1 PSIG multiplique la demanda total de gas por 100% de las capacidades de la tabla.
- 2. Para distintas presiones de primera etapa multiplique la demanda total de gas por los factores siguientes - use las capacidades de la tabla.

PSIG de presión de primera etapa Multiplíquese por
 0.44
 0.91

Datos calculados según NFPA # 54 y 58.

Tabla 2 - Dimensiones de tuberías de primera etapa

Entrada de 5 PSIG con una caída de presión de 1 PSIG
Capacidad máxima de tubo o tubería en miles de BTU/hr de Gas-LP.

Tamaño del tubo o tubería de cobre, en pulgadas	Longitud del tubo o tubería en pies										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Tubería de cobre (D.E.)	3/8	454	312	251	215	190	172	159	148	138	131
	1/2	912	644	518	443	393	356	327	304	286	270
	5/8	1517	1011	803	690	609	556	516	481	451	429
	3/4	2324	1529	1240	1065	946	866	802	752	702	661
Tamaño de tubo	1/2	2946	2025	1626	1392	1233	1118	1028	957	897	848
	3/4	6101	4234	3400	2910	2579	2337	2150	2000	1877	1773
	1-1/4	12202	8468	6800	5822	5158	4674	4300	4000	3753	3539
	1-1/2	24404	16936	13600	11644	10316	9348	8600	7900	7506	7158
	2	36606	25404	20400	17466	15474	14022	12800	11900	11100	10472
	2	73212	50808	40800	34932	30948	28044	25600	23800	22144	20943

Tubería de cobre (D.E.)	Tamaño de tubo	Longitud del tubo o tubería, en pies									
		125	150	175	200	225	250	275	300	350	400
3/8	1/2	116	105	97	90	84	80	76	72	66	62
1/2	3/4	232	210	194	185	174	164	156	149	137	127
5/8	1-1/4	446	441	405	377	354	334	318	303	279	259
3/4	1-1/2	892	770	709	659	619	584	555	529	487	453
1/2	2	1338	1161	1062	987	927	876	834	792	732	690
3/4	2	2676	2322	2124	1974	1854	1752	1668	1584	1464	1380
1-1/4	2	5352	4644	4248	3948	3708	3492	3312	3120	2880	2700
1-1/2	2	10704	9288	8496	7896	7392	6984	6624	6300	5760	5400
2	2	16056	13932	12744	11844	11184	10656	10160	9696	9040	8480

Longitud total de tubería desde la salida del regulador de primera etapa hasta la entrada del regulador de segunda etapa o a la entrada del regulador de segunda etapa más leñano.

Nota: 1. Para una caída de presión de 1 PSIG multiplique la demanda total de gas por 100% de las capacidades de la tabla.

Datos calculados según NFPA # 54 y 58.

Fuente: Manual de servicios para el instalador de LPG, Rego products

Anexo 3. Tablas para la ejecución de cálculos para tubería de conducción de LPG (continuación)

Tabla 3 - Dimensiones de tuberías plásticas de primera etapa

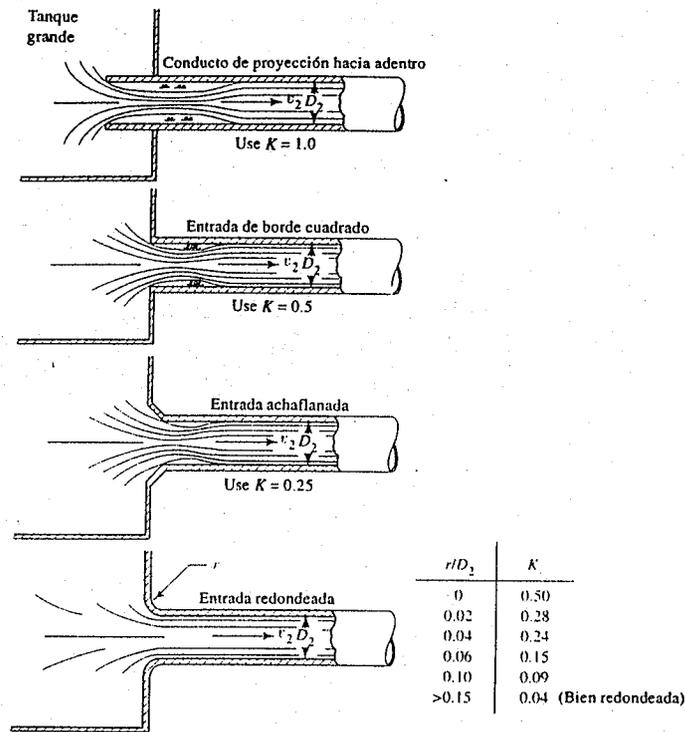
Entrada de 10 PSIG con una caída de presión de 1 PSIG
Capacidad máxima de tubería plástica en miles de BTU/hr de Gas-LP

Tamaño de tubería de plástico	SDR	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1/2"	1387	954	766	655	581	526	484	450	423	399	388
3/4"	991	2681	2153	1843	1633	1480	1361	1267	1188	1122	1062
1"	781	5369	4311	3690	3270	2953	2726	2536	2379	2248	2136
1 1/4"	6251	4094	3249	2779	2429	2175	2002	1878	1765	1665	1588
1 1/2"	5308	3594	2911	2426	2126	1928	1753	1624	1510	1411	1339
2"	4566	3257	2615	2207	1978	1801	1667	1553	1454	1369	1293
2 1/2"	3747	2723	2233	1946	1746	1590	1464	1357	1264	1184	1114
3"	3207	2423	2022	1779	1629	1504	1404	1321	1251	1191	1141
3 1/2"	2825	2223	1899	1699	1561	1442	1342	1269	1204	1144	1094
4"	2555	2023	1729	1561	1442	1342	1269	1204	1144	1094	1044
4 1/2"	2355	1946	1678	1529	1410	1310	1237	1172	1112	1062	1012
5"	2155	1779	1529	1390	1290	1217	1152	1092	1042	992	942
5 1/2"	1955	1629	1410	1290	1217	1152	1092	1042	992	942	892
6"	1755	1499	1310	1217	1152	1092	1042	992	942	892	842
6 1/2"	1555	1379	1217	1152	1092	1042	992	942	892	842	792
7"	1355	1259	1152	1092	1042	992	942	892	842	792	742
7 1/2"	1155	1139	1042	992	942	892	842	792	742	692	642
8"	955	1019	942	892	842	792	742	692	642	592	542
8 1/2"	755	899	842	792	742	692	642	592	542	492	442
9"	555	779	742	692	642	592	542	492	442	392	342
9 1/2"	355	659	642	592	542	492	442	392	342	292	242
10"	155	539	542	492	442	392	342	292	242	192	142

Capacidad máxima de tubería de tubo o tubería en miles de BTU/hr de Gas-LP
Entrada de 11 pulgadas columna de agua con una caída de 1/2 pulgadas de columna de agua

Tamaño del tubo	Longitud de tubo o tubería, en pies	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1/2"	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450
3/4"	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500
1"	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550
1 1/4"	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600
1 1/2"	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650
2"	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700
2 1/2"	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
3"	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
3 1/2"	325	375	425	475	525	575	625	675	725	775	825
4"	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
4 1/2"	375	425	475	525	575	625	675	725	775	825	875
5"	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
5 1/2"	425	475	525	575	625	675	725	775	825	875	925
6"	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950
6 1/2"	475	525	575	625	675	725	775	825	875	925	975
7"	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
7 1/2"	525	575	625	675	725	775	825	875	925	975	1025
8"	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
8 1/2"	575	625	675	725	775	825	875	925	975	1025	1075
9"	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
9 1/2"	625	675	725	775	825	875	925	975	1025	1075	1125
10"	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150
10 1/2"	675	725	775	825	875	925	975	1025	1075	1125	1175
11"	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
11 1/4"	725	775	825	875	925	975	1025	1075	1125	1175	1225
11 1/2"	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
12"	775	825	875	925	975	1025	1075	1125	1175	1225	1275
12 1/2"	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300
13"	825	875	925	975	1025	1075	1125	1175	1225	1275	1325
13 1/2"	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
14"	875	925	975	1025	1075	1125	1175	1225	1275	1325	1375
14 1/2"	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
15"	925	975	1025	1075	1125	1175	1225	1275	1325	1375	1425
15 1/2"	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450
16"	975	1025	1075	1125	1175	1225	1275	1325	1375	1425	1475
16 1/2"	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
17"	1025	1075	1125	1175	1225	1275	1325	1375	1425	1475	1525
17 1/2"	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550
18"	1075	1125	1175	1225	1275	1325	1375	1425	1475	1525	1575
18 1/2"	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600
19"	1125	1175	1225	1275	1325	1375	1425	1475	1525	1575	1625
19 1/2"	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650
20"	1175	1225	1275	1325	1375	1425	1475	1525	1575	1625	1675
20 1/2"	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700
21"	1225	1275	1325	1375	1425	1475	1525	1575	1625	1675	1725
21 1/2"	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750
22"	1275	1325	1375	1425	1475	1525	1575	1625	1675	1725	1775
22 1/2"	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800
23"	1325	1375	1425	1475	1525	1575	1625	1675	1725	1775	1825
23 1/2"	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850
24"	1375	1425	1475	1525	1575	1625	1675	1725	1775	1825	1875
24 1/2"	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900
25"	1425	1475	1525	1575	1625	1675	1725	1775	1825	1875	1925
25 1/2"	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950
26"	1475	1525	1575	1625	1675	1725	1775	1825	1875	1925	1975
26 1/2"	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000
27"	1525	1575	1625	1675	1725	1775	1825	1875	1925	1975	2025
27 1/2"	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050
28"	1575	1625	1675	1725	1775	1825	1875	1925	1975	2025	2075
28 1/2"	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100
29"	1625	1675	1725	1775	1825	1875	1925	1975	2025	2075	2125
29 1/2"	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150
30"	1675	1725	1775	1825	1875	1925	1975	2025	2075	2125	2175
30 1/2"	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200
31"	1725	1775	1825	1875	1925	1975	2025	2075	2125	2175	2225
31 1/2"	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250
32"	1775	1825	1875	1925	1975	2025	2075	2125	2175	2225	2275
32 1/2"	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300
33"	1825	1875	1925	1975	2025	2075	2125	2175	2225	2275	2325
33 1/2"	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350
34"	1875	1925	1975	2025	2075	2125	2175	2225	2275	2325	2375
34 1/2"	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350	2400
35"	1925	1975	2025	2075	2125	2175	2225	2275	2325	2375	2425
35 1/2"	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350	2400	2450
36"	1975	2025	2075	2125	2175						

Anexo 4. Longitudes equivalentes para orificios de salida en depósitos



Parte (b): Para una entrada bien redondeada, $K = 0.04$. Entonces tenemos:

$$h_L = (0.04)(0.56 \text{ m}) = 0.02 \text{ m}$$

Fuente: Mecánica de fluidos aplicada, 4ta. Edición 1996

Anexo 5. Factor de fricción para diversos diámetros de tuberías y longitudes equivalentes para válvulas y accesorios

Tamaño de conducto nominal (pulg.)	Factor de fricción, f	Tamaño de conducto nominal (pulg.)	Factor de fricción, f	Longitud equivalente en diámetros de conductos, L_e	Tipo
1/2	0.027	4	0.017		
3/4	0.025	5	0.016		
1	0.023	6	0.015		
1 1/2	0.022	8-10	0.014		
2	0.019	12-16	0.013		
2 1/2	0.018	18-24	0.012		
3	0.018				

340	Válvula de globo—completamente abierta
150	Válvula de ángulo—completamente abierta
8	Válvula de compuerta—completamente abierta
35	—3/4 abierta
160	—1/2 abierta
900	—1/4 abierta
100	Válvula de verificación—tipo giratorio
150	Válvula de verificación—tipo de bola
45	Válvula de mariposa—completamente abierta
30	Codo estándar de 90°
20	Codo de radio de largo de 90°
50	Codo de calle de 90°
16	Codo estándar de 45°
26	Codo de calle de 45°
50	Codo de devolución cerrada
20	Te estándar—con flujo a través de un ramo
60	Te estándar—con flujo a través de una rama

Fuente: Mecánica de fluidos aplicada, 4ta. Edición 1996

Anexo 6. Porcentaje de reflectancias efectivas de cavidades del plafón o el piso para diversas combinaciones de reflectancia -IES-

Relación de cavidad	% de reflectancia base*																																								
	40								30								20								10																
	% de reflectancia de muros																																								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
0.2	40	40	39	39	38	38	37	36	36	36	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	27	21	20	20	20	20	19	19	19	17	17	11	11	11	10	10	10	09	09	09	
0.4	41	40	39	39	38	37	36	35	34	34	31	31	30	30	29	28	28	27	26	25	25	22	21	20	20	19	19	18	18	16	12	11	11	11	10	10	10	09	09	08	
0.6	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	26	25	23	23	23	21	21	20	19	19	18	17	15	13	13	12	11	11	10	10	09	08	08	
0.8	41	40	38	37	36	35	33	32	31	29	32	31	30	29	28	26	25	25	23	22	22	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14	15	14	13	12	11	10	10	09	08	07
1.0	42	40	38	37	35	33	32	31	29	27	33	32	30	29	27	25	24	23	22	20	20	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13	16	14	13	12	11	10	09	08	07	
1.2	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	33	32	30	28	27	25	23	22	21	19	19	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12	17	15	14	13	12	11	10	09	07	06
1.4	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	34	32	30	28	26	24	22	21	19	18	18	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12	18	16	14	13	12	11	10	09	07	06
1.6	42	39	37	35	32	30	27	25	23	22	34	33	29	27	25	23	22	20	18	17	17	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11	19	17	15	14	12	11	09	08	07	06
1.8	42	39	36	34	31	29	26	24	22	21	35	33	29	27	25	23	21	19	17	16	16	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10	19	17	15	14	13	11	09	08	06	05
2.0	42	39	36	34	31	28	25	23	21	19	35	33	29	26	24	22	20	18	16	14	14	28	25	23	20	18	16	15	13	11	09	20	18	16	14	13	11	09	08	06	05
2.2	42	39	36	33	30	27	24	22	19	18	36	32	29	26	24	22	19	17	15	13	13	28	25	23	20	18	16	14	12	10	09	21	19	16	14	13	11	09	07	06	05
2.4	43	39	35	33	29	27	24	21	18	17	36	32	29	26	24	22	19	16	14	12	12	29	26	23	20	18	16	14	12	10	08	22	19	17	15	13	11	09	07	06	05
2.6	43	39	35	32	29	26	23	20	17	15	36	32	29	25	23	21	18	16	14	12	12	29	26	23	20	18	16	14	11	09	08	23	20	17	15	13	11	09	07	06	04
2.8	43	39	35	32	28	25	22	19	16	14	37	33	29	25	23	21	17	15	13	11	11	30	27	23	20	18	15	13	11	09	07	23	20	18	16	13	11	09	07	05	03
3.0	43	39	35	31	27	24	21	18	16	13	37	33	29	25	22	20	17	15	12	10	10	30	27	23	20	17	15	13	11	09	07	24	21	18	16	13	11	09	07	05	03
3.2	43	39	35	31	27	23	20	17	15	13	37	33	29	25	22	19	16	14	12	10	10	31	27	23	20	17	15	12	11	09	06	25	21	18	16	13	11	09	07	05	03
3.4	43	39	34	30	26	23	20	17	14	12	37	33	29	25	22	19	16	14	11	09	09	31	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	18	16	13	11	09	07	05	03
3.6	44	39	34	30	26	22	19	16	14	11	38	33	29	24	21	18	15	13	10	09	09	32	27	23	20	17	15	12	10	08	05	26	22	19	16	13	11	09	06	04	03
3.8	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	38	33	28	24	21	18	15	13	10	08	08	32	28	23	20	17	15	12	10	07	05	27	23	19	17	14	11	09	06	04	02
4.0	44	38	33	29	25	21	18	15	12	10	38	33	28	24	21	18	14	12	09	07	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	05	27	23	20	17	14	11	09	06	04	02
4.2	44	38	33	29	24	21	17	15	12	10	38	33	28	24	20	17	14	12	09	07	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	09	06	04	02
4.4	44	38	33	28	24	20	17	14	11	09	39	33	28	24	20	17	14	11	09	06	06	34	28	24	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	08	06	04	02
4.6	44	38	32	28	23	19	16	14	11	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	06	06	34	29	24	20	17	14	11	09	07	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02
4.8	44	38	32	27	22	19	16	13	10	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	05	05	35	29	24	20	17	13	10	08	06	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02
5.0	45	38	31	27	22	19	15	13	10	07	39	33	28	24	19	16	13	10	08	05	05	35	29	24	20	16	13	10	08	06	04	30	25	20	17	14	11	08	06	04	02
6.0	44	37	30	25	20	17	13	11	08	05	39	33	27	23	18	15	11	09	06	04	04	36	30	24	20	16	13	10	08	05	02	31	26	21	17	14	11	08	06	03	01
7.0	44	36	29	24	19	16	12	10	07	04	40	33	26	22	17	14	10	08	05	03	03	36	30	24	20	15	12	09	07	04	02	32	27	21	17	13	11	08	06	03	01
8.0	44	35	28	23	18	15	11	09	06	03	40	33	26	21	16	13	09	07	04	02	02	37	30	23	19	15	12	08	06	03	01	33	27	21	17	13	10	07	05	03	01
9.0	44	35	26	21	16	13	10	08	05	02	40	33	25	20	15	12	09	07	04	02	02	37	29	23	19	14	11	08	06	03	01	34	28	21	17	13	10	07	05	02	01
10.0	43	34	25	20	15	12	08	07	05	02	40	32	24	19	14	11	08	06	03	01	01	37	29	22	18	13	10	07	05	03	01	34	28	21	17	12	10	07	05	02	01

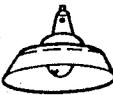
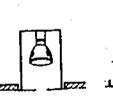
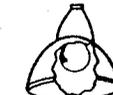
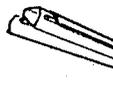
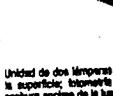
Fuente: Manual del ingeniero mecánico 9ª. edición

Anexo 6. Porcentaje de reflectancias efectivas de cavidades de plafón o el piso para diversas combinaciones de reflectancia -IES- (continuación)

Reflexión de cavidad	% de reflectancia base*									
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
89	88	88	88	87	86	85	84	84	84	82
88	87	86	85	84	83	81	80	79	76	74
87	86	84	82	80	79	77	76	74	73	71
86	83	80	77	75	72	69	66	64	62	60
85	82	78	75	72	69	66	63	60	57	54
84	80	77	73	69	65	62	59	57	52	50
83	79	75	71	67	63	59	56	53	50	48
82	76	72	68	64	60	56	53	50	47	43
81	74	67	62	58	54	50	47	44	41	38
80	72	64	58	52	47	42	38	34	30	27
79	71	63	56	50	45	40	36	32	28	25
78	69	61	54	48	43	38	34	30	26	22
77	68	59	52	46	41	36	32	28	24	20
76	67	58	51	45	40	35	31	27	23	19
75	66	57	50	44	39	34	30	26	22	18
74	65	56	49	43	38	33	29	25	21	17
73	64	55	48	42	37	32	28	24	20	16
72	63	54	47	41	36	31	27	23	19	15
71	62	53	46	40	35	30	26	22	18	14
70	61	52	45	39	34	29	25	21	17	13
69	60	51	44	38	33	28	24	20	16	12
68	59	50	43	37	32	27	23	19	15	11
67	58	49	42	36	31	26	22	18	14	10
66	57	48	41	35	30	25	21	17	13	9
65	56	47	40	34	29	24	20	16	12	8
64	55	46	39	33	28	23	19	15	11	7
63	54	45	38	32	27	22	18	14	10	6
62	53	44	37	31	26	21	17	13	9	5
61	52	43	36	30	25	20	16	12	8	4
60	51	42	35	29	24	19	15	11	7	3
59	50	41	34	28	23	18	14	10	6	2
58	49	40	33	27	22	17	13	9	5	1
57	48	39	32	26	21	16	12	8	4	0
56	47	38	31	25	20	15	11	7	3	0
55	46	37	30	24	19	14	10	6	2	0
54	45	36	29	23	18	13	9	5	1	0
53	44	35	28	22	17	12	8	4	0	0
52	43	34	27	21	16	11	7	3	0	0
51	42	33	26	20	15	10	6	2	0	0
50	41	32	25	19	14	9	5	1	0	0
49	40	31	24	18	13	8	4	0	0	0
48	39	30	23	17	12	7	3	0	0	0
47	38	29	22	16	11	6	2	0	0	0
46	37	28	21	15	10	5	1	0	0	0
45	36	27	20	14	9	4	0	0	0	0
44	35	26	19	13	8	3	0	0	0	0
43	34	25	18	12	7	2	0	0	0	0
42	33	24	17	11	6	1	0	0	0	0
41	32	23	16	10	5	0	0	0	0	0
40	31	22	15	9	4	0	0	0	0	0
39	30	21	14	8	3	0	0	0	0	0
38	29	20	13	7	2	0	0	0	0	0
37	28	19	12	6	1	0	0	0	0	0
36	27	18	11	5	0	0	0	0	0	0
35	26	17	10	4	0	0	0	0	0	0
34	25	16	9	3	0	0	0	0	0	0
33	24	15	8	2	0	0	0	0	0	0
32	23	14	7	1	0	0	0	0	0	0
31	22	13	6	0	0	0	0	0	0	0
30	21	12	5	0	0	0	0	0	0	0
29	20	11	4	0	0	0	0	0	0	0
28	19	10	3	0	0	0	0	0	0	0
27	18	9	2	0	0	0	0	0	0	0
26	17	8	1	0	0	0	0	0	0	0
25	16	7	0	0	0	0	0	0	0	0
24	15	6	0	0	0	0	0	0	0	0
23	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0
22	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
21	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
20	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0
19	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

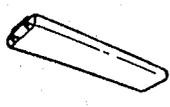
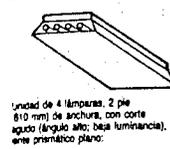
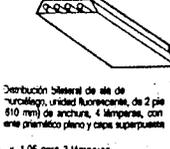
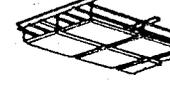
Fuente: Manual del ingeniero mecánico 9ª edición

Anexo 7. Coeficiente de utilización de luminarias típicas

Distrib. típica y porcent. de lúmenes de la lámpara	P _{cc} →	ρ _w →	80		70		50		30		10					
			50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30			
 <p>0% ↑ 83 1/2% ↓</p> <p>Tipótipo estándar verificado de montaje horizontalizado con lámpara incandescente</p>	IV	1.3	0	.99	.99	.99	.97	.97	.93	.93	.89	.89	.85	.85		
			1	.88	.85	.82	.86	.83	.81	.83	.80	.78	.79	.78	.76	.77
			2	.78	.73	.68	.76	.72	.67	.73	.69	.66	.71	.67	.64	.68
			3	.69	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.63	.58	.55	.61
			4	.61	.54	.49	.60	.53	.48	.58	.52	.48	.56	.51	.47	.54
			5	.54	.47	.41	.53	.46	.41	.51	.45	.41	.50	.44	.40	.48
			6	.48	.41	.35	.47	.40	.35	.46	.39	.35	.44	.39	.34	.43
			7	.43	.35	.30	.42	.35	.30	.41	.34	.30	.39	.34	.30	.38
			8	.38	.31	.26	.38	.31	.26	.37	.30	.26	.36	.30	.26	.35
			9	.35	.28	.23	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.31
			10	.31	.25	.20	.31	.24	.20	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.29
 <p>0% ↑ 44 1/2% ↓</p> <p>Lámpara EAF-38 arriba de una abertura de 2 pulg (51 mm) de diámetro, (aumenta la eficiencia hasta 54.5% para abertura con diámetro de 3 pulg (76 mm))</p>	IV	0.7	0	.52	.52	.52	.51	.51	.48	.48	.46	.46	.45	.45		
			1	.49	.48	.48	.48	.47	.47	.46	.45	.45	.44	.43	.42	.43
			2	.47	.46	.45	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.42	.41	.42	.41
			3	.45	.44	.43	.45	.43	.42	.44	.42	.42	.43	.42	.41	.40
			4	.43	.42	.41	.43	.41	.40	.42	.41	.40	.41	.40	.39	.41
			5	.42	.40	.39	.41	.40	.38	.41	.39	.38	.40	.39	.38	.39
			6	.40	.39	.37	.40	.38	.37	.39	.38	.37	.39	.38	.37	.38
			7	.39	.37	.36	.39	.37	.36	.38	.37	.35	.38	.36	.35	.37
			8	.37	.36	.34	.37	.35	.34	.37	.35	.34	.36	.35	.34	.36
			9	.36	.34	.33	.36	.34	.33	.35	.34	.33	.35	.34	.33	.35
			10	.35	.33	.32	.35	.33	.32	.34	.33	.32	.34	.33	.32	.34
 <p>0% ↑ 71 1/2% ↓</p> <p>Reflector encerrado con una lámpara incandescente</p>	V	1.4	0	.85	.85	.85	.83	.83	.83	.80	.80	.76	.76	.73	.73	
			1	.78	.76	.74	.76	.74	.73	.73	.72	.70	.71	.69	.68	.68
			2	.71	.68	.65	.70	.67	.64	.68	.65	.63	.65	.63	.61	.63
			3	.65	.61	.57	.64	.60	.57	.62	.59	.56	.60	.57	.55	.59
			4	.60	.55	.51	.59	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.52	.50	.54
			5	.54	.49	.45	.54	.49	.45	.52	.48	.45	.51	.47	.44	.50
			6	.49	.44	.40	.49	.44	.40	.48	.43	.40	.46	.42	.40	.45
			7	.44	.39	.35	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.38	.35	.41
			8	.40	.35	.31	.40	.35	.31	.39	.35	.31	.38	.34	.31	.38
			9	.37	.31	.28	.36	.31	.28	.36	.31	.28	.35	.31	.28	.34
			10	.33	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.31
 <p>17% ↑ 66% ↓</p> <p>Reflector de aluminio difuso con ventalla de 35° en sentido transversal</p>	II	1.5/1.3	0	.95	.95	.95	.91	.91	.83	.83	.83	.76	.76	.69	.69	
			1	.85	.82	.80	.82	.79	.77	.75	.73	.72	.69	.68	.66	.64
			2	.76	.72	.68	.74	.70	.66	.68	.65	.62	.63	.61	.58	.58
			3	.69	.63	.59	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.57	.54	.51	.53
			4	.62	.56	.51	.60	.54	.50	.56	.51	.47	.52	.48	.45	.48
			5	.55	.49	.44	.53	.48	.43	.50	.45	.41	.47	.43	.39	.44
			6	.50	.43	.39	.48	.42	.38	.45	.40	.36	.42	.38	.35	.40
			7	.45	.38	.34	.43	.37	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.30	.36
			8	.40	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.28	.34	.30	.26	.32
			9	.36	.30	.25	.35	.29	.25	.33	.28	.24	.31	.26	.23	.29
			10	.33	.26	.22	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26
 <p>17% ↑ 56 1/2% ↓</p> <p>Reflector de aluminio difuso con ventalla de 35° en sentido transversal</p>	II	1.5/1.1	0	.83	.83	.83	.79	.79	.72	.72	.72	.65	.65	.59	.59	
			1	.75	.72	.70	.72	.69	.67	.65	.64	.62	.60	.59	.58	.55
			2	.67	.63	.60	.65	.61	.58	.59	.57	.54	.55	.53	.51	.50
			3	.61	.56	.52	.58	.54	.51	.54	.50	.48	.50	.47	.45	.46
			4	.55	.49	.45	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.45	.42	.40	.42
			5	.49	.44	.40	.47	.42	.39	.44	.40	.37	.41	.38	.35	.38
			6	.45	.39	.35	.43	.38	.34	.40	.36	.33	.37	.34	.31	.35
			7	.40	.35	.31	.39	.34	.30	.36	.32	.29	.34	.30	.27	.32
			8	.36	.31	.27	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.29
			9	.33	.27	.23	.32	.26	.23	.29	.25	.22	.28	.24	.21	.26
			10	.30	.24	.21	.29	.24	.20	.27	.22	.19	.25	.21	.19	.23
 <p>9 1/2% ↑ 78% ↓</p> <p>Unidad de dos lámparas desnudas, montadas sobre la superficie; iluminadas con panel de 18 pulg de anchura encima de la luminaria (lámpara con 8 pulg entre centros)</p>	I	1.3	0	1.02	1.02	1.02	.99	.99	.92	.92	.92	.86	.86	.81		
			1	.86	.82	.78	.83	.79	.75	.78	.74	.71	.73	.70	.67	.68
			2	.74	.67	.61	.71	.65	.60	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.55
			3	.64	.56	.50	.62	.55	.49	.58	.52	.47	.54	.49	.45	.47
			4	.56	.48	.42	.55	.47	.41	.51	.45	.39	.48	.42	.38	.45
			5	.49	.41	.35	.48	.40	.34	.45	.38	.33	.42	.36	.32	.39
			6	.44	.36	.30	.43	.35	.29	.40	.33	.28	.38	.32	.27	.35
			7	.39	.31	.25	.38	.30	.25	.36	.29	.24	.34	.28	.23	.32
			8	.35	.27	.22	.34	.27	.22	.32	.26	.21	.30	.24	.20	.29
			9	.32	.24	.19	.31	.23	.18	.29	.22	.18	.27	.21	.17	.26
			10	.29	.21	.17	.28	.21	.16	.26	.20	.16	.25	.19	.15	.23

Fuente: *Lighting Handbook* de la Asociación de Ingenieros electricistas de Estados Unidos de América

Anexo 7. Coeficiente de utilización de luminarias típicas (continuación)

Distrib. típica y porcent. de lúmenes de la lámpara	$P_{cc} \rightarrow$ $P_{cc} \uparrow$	80		70		50		30		10		0						
		50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0				
 <p>Luminarias típicas</p> <p>V 1.5/1.2</p> <p>Cant. mant. 0</p> <p>Gufa S/MEH máxima§</p> <p>RCR†</p> <p>Coefficientes de utiliz. para el 20% de reflect. efect. de la cavidad del piso ($P_{FC} = 20$)</p>	0	.81	.81	.81	.78	.78	.78	.72	.72	.72	.66	.66	.66	.61	.61	.61	.58	
	1	.71	.69	.66	.69	.66	.64	.64	.62	.60	.59	.58	.56	.55	.54	.53	.53	.50
	2	.64	.59	.56	.61	.58	.54	.57	.54	.51	.53	.51	.49	.49	.48	.46	.44	.44
	3	.57	.52	.48	.55	.50	.47	.51	.48	.45	.48	.45	.42	.45	.42	.40	.38	.38
	4	.51	.46	.41	.49	.44	.41	.46	.42	.39	.43	.40	.37	.41	.38	.35	.34	.34
	5	.46	.40	.36	.44	.39	.35	.41	.37	.34	.39	.35	.32	.37	.33	.31	.29	.29
	6	.41	.35	.31	.40	.35	.31	.38	.33	.30	.35	.31	.28	.33	.30	.27	.26	.26
	7	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.34	.29	.26	.32	.28	.25	.30	.27	.24	.23	.23
	8	.33	.28	.24	.32	.27	.23	.30	.26	.22	.29	.25	.22	.27	.24	.21	.19	.19
	9	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.22	.19	.24	.21	.18	.17	.17
	10	.27	.22	.18	.26	.21	.18	.25	.20	.17	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.15	.15
 <p>Cubierta envolvente prismática de 2 lámparas; multiplique por 0.95 para 4 lámparas</p> <p>V 1.4/1.3</p> <p>Cant. mant. 0</p> <p>Gufa S/MEH máxima§</p> <p>RCR†</p> <p>Coefficientes de utiliz. para el 20% de reflect. efect. de la cavidad del piso ($P_{FC} = 20$)</p>	0	.78	.78	.78	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.66	
	1	.71	.69	.67	.70	.68	.66	.67	.65	.64	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.59	.59
	2	.64	.61	.58	.63	.60	.58	.61	.59	.56	.59	.57	.55	.57	.55	.54	.53	.53
	3	.58	.54	.51	.58	.54	.51	.56	.52	.50	.54	.51	.49	.52	.50	.48	.47	.47
	4	.53	.48	.45	.52	.48	.44	.51	.47	.44	.49	.46	.43	.48	.45	.43	.42	.42
	5	.48	.43	.39	.47	.42	.39	.46	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.37	.37
	6	.43	.38	.35	.43	.38	.34	.42	.37	.34	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.32	.32
	7	.39	.34	.30	.38	.34	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.28	.28
	8	.35	.30	.26	.35	.30	.26	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25	.25
	9	.31	.26	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21	.21
	10	.28	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.22	.20	.26	.23	.20	.19	.19
 <p>Unidad de 4 lámparas, 2 pie (610 mm) de anchura, con corte agudo (ángulo alto; baja luminancia), entre prismático plano;</p> <p>† 1.05 para 3 lámparas † 0.9 para 2 lámparas</p> <p>IV 0.9</p> <p>Cant. mant. 0</p> <p>Gufa S/MEH máxima§</p> <p>RCR†</p> <p>Coefficientes de utiliz. para el 20% de reflect. efect. de la cavidad del piso ($P_{FC} = 20$)</p>	0	.55	.55	.55	.54	.54	.54	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.47	.47	.47	.46	
	1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.45	.45	.44	.43	.43	.43	.42	.41	.41
	2	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.39	.41	.40	.38	.40	.39	.37	.37	.37
	3	.41	.38	.36	.40	.38	.35	.39	.37	.35	.38	.36	.34	.37	.35	.34	.33	.33
	4	.37	.34	.32	.37	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.29	.29
	5	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.30	.27	.32	.29	.27	.31	.29	.27	.26	.26
	6	.31	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.27	.25	.29	.26	.24	.24	.24
	7	.29	.25	.23	.28	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.26	.24	.22	.21	.21
	8	.26	.23	.20	.26	.23	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.20	.24	.22	.20	.19	.19
	9	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.18	.23	.20	.18	.22	.20	.18	.17	.17
	10	.22	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.18	.16	.15	.15
 <p>Lámpara encastada de 4 lámparas, de 2 pie (610 mm) de anchura, con rayitas de metal blanco a 45°</p> <p>† 1.05 para 3 lámparas † 0.9 para 2 lámparas</p> <p>V N.A.</p> <p>Cant. mant. 0</p> <p>Gufa S/MEH máxima§</p> <p>RCR†</p> <p>Coefficientes de utiliz. para el 20% de reflect. efect. de la cavidad del piso ($P_{FC} = 20$)</p>	0	.57	.57	.57	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.48	
	1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.44	.45	.44	.43	.44	.43	.42	.41	.41
	2	.44	.41	.38	.43	.40	.38	.41	.39	.37	.40	.38	.36	.38	.37	.35	.34	.34
	3	.39	.35	.32	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.33	.30	.34	.32	.30	.29	.29
	4	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.30	.27	.25	.24	.24
	5	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.26	.23	.21	.20	.20
	6	.26	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.17	.17
	7	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.15	.21	.18	.15	.14	.14
	8	.21	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.15	.13	.18	.15	.13	.12	.12
	9	.18	.14	.11	.18	.14	.11	.17	.14	.11	.17	.13	.11	.16	.13	.11	.10	.10
	10	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.15	.12	.09	.15	.12	.09	.08	.08
 <p>Distribución bilateral de lámparas de "carrilaje"; unidad fluorescente, de 2 pie (610 mm) de anchura, 4 lámparas, con entre prismático plano y capa superpuesta</p> <p>† 1.05 para 3 lámparas † 0.9 para 2 lámparas</p> <p>RCR</p> <p>desde abajo, ~ 65%</p> <p>Cant. mant. 1</p> <p>Gufa S/MEH máxima§</p> <p>RCR†</p> <p>Coefficientes de utiliz. para el 20% de reflect. efect. de la cavidad del piso ($P_{FC} = 20$)</p>	1	.60	.58	.56	.58	.56	.54											
	2	.53	.49	.45	.51	.47	.43											
	3	.47	.42	.37	.45	.41	.36											
	4	.41	.36	.32	.39	.35	.31											
	5	.37	.31	.27	.35	.30	.26											
	6	.33	.27	.23	.31	.26	.23											
	7	.29	.24	.20	.28	.23	.20											
	8	.26	.21	.18	.25	.20	.17											
	9	.23	.19	.15	.23	.18	.15											
	10	.21	.17	.13	.21	.16	.13											

Fuente: *Lighting Handbook* de la Asociación de Ingenieros electricistas de Estados Unidos de América