



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

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE
ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS,
COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.**

Miguel Ángel Morales Ortiz

Asesorado por el Ing. Gustavo de León Escobar

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE
ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS,
COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIGUEL ÁNGEL MORALES ORTIZ

ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO DE LEÓN ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

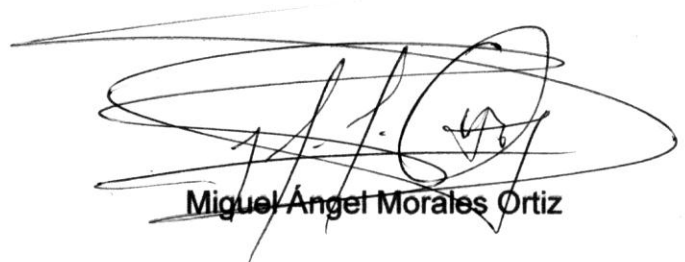
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE
ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS,
COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 11 de octubre del 2007.



Miguel Ángel Morales Ortiz

Escuintla, 24 de febrero 2011

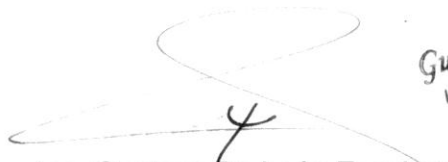
Ingeniero
Julio César Campos Paiz
Director
Escuela Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor de la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Miguel Angel Morales Ortiz** de la carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200313304**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS, COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.”**.

En tal virtud, **LO DOY COMO APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo. Agradeciendo su atención, sin otro particular me suscribo.

Atentamente,


Ing. Gustavo De León Escobar
No. Colegiado 4613

Gustavo Adolfo De León
INGENIERO MECÁNICO
Colegiado 4613

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 15 de marzo de 2011
REF.EPS.DOC.437.03.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

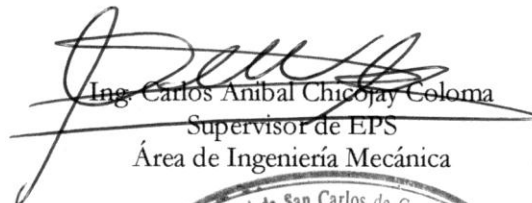
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Miguel Ángel Morales Ortíz** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200313304**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS, COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.”**.

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

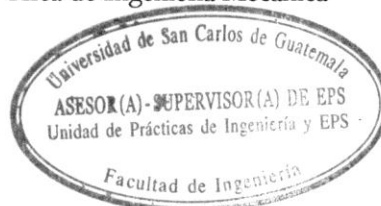
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 15 de marzo de 2011

REF.EPS.D.192.03.11

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


Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS, COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Miguel Ángel Morales Ortíz** quien fue debidamente asesorado por el Ing. Gustavo Adolfo de León Escobar y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

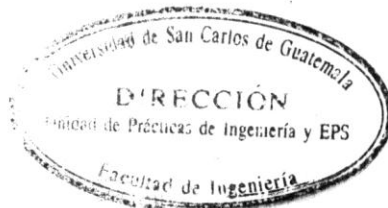
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

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 la aprobación de Directora del Ejercicio Profesional Supervisado E.P.S., al Trabajo de Graduación titulado PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS, COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S. A. del estudiante Miguel Angel Morales Ortiz, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR

Guatemala, octubre de 2011

JCCP/behde



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO Y PROPUESTA DE CAMBIO DE UNIDADES CRÍTICAS, COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Ángel Morales Ortiz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 14 de octubre de 2011.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de amor y sabiduría.
Mi madre	Martha Estela Ortiz Aguilar, por darme la vida, por los innumerables sacrificios y esfuerzos que realizó para darme la oportunidad de ser quien soy.
Hermana	Claudia Regina y su esposo Gustavo Adolfo Morales, por saberme orientar y por apoyarme incondicionalmente.
Hermana	Flor de María y su esposo Gustavo Adolfo Pérez, por su cariño y apoyo incondicional.
Mi abuelo	Miguel Ángel Morales por sembrar en mí la semilla de la responsabilidad, puntualidad, perseverancia y el respeto.
Mi esposa e hijo	Jennifer Racanac de Morales y Miguel Ángel Morales Racanac, por ser mi principal motivación para superarme y por su apoyo.
Toda mi familia en general	Respetuosamente.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por sus bendiciones e iluminar mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por su aporte al desarrollo de la educación.
Ing. Gustavo de León Escobar	Por su apoyo y asesoramiento para la elaboración del presente trabajo.
Ing. Gustavo Pérez	Por su apoyo y ayuda desinteresada en la realización del presente trabajo.
Ingenio Santa Ana	Por permitirme realizar en sus instalaciones mi Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) y proporcionarme todo el apoyo técnico necesario.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes de operación de Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Reseña histórica	1
1.1.3. Política de calidad	2
1.1.4. Servicios que presta	3
1.1.5. Organigrama operacional de Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.	6
1.2. Realidad actual del proceso de elaboración de azúcar	9
1.3. Transmisión de calor en estructuras de edificios	10
1.3.1. Conducción térmica	11
1.3.2. Convección térmica	15
1.3.3. Radiación térmica	21
1.3.4. Coeficientes tabulados de transferencia de calor global	26
1.3.4.1. Paredes y techos	26

1.3.4.2.	Ventanas	27
1.3.4.3.	Puertas	27
1.3.5.	Infiltración	27
1.3.5.1.	Método del cambio de aire	31
1.3.6.	Ganancias de calor interior	31
1.3.6.1.	Ocupantes	32
1.3.6.2.	Luces	33
2.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	37
2.1.	Identificación y evaluación de área de trabajo	37
2.2.	Identificación de los factores que influyen en el acondicionamiento del aire	40
2.3.	Identificación de las necesidades de temperatura ambiental	41
2.4.	Cálculos de ingeniería	41
2.4.1.	Cálculos de transmisión de calor a través de la estructura del edificio	41
2.4.1.1.	Paredes	41
2.4.1.2.	Ventanas	43
2.4.1.3.	Puertas	45
2.4.1.4.	Techo	47
2.4.1.5.	Tragaluz	50
2.4.2.	Cálculo de ganancias internas de calor	51
2.4.2.1.	Personas	52
2.4.2.2.	Iluminación	53
2.4.2.3.	Equipos eléctricos	54
2.4.3.	Ganancia de calor por infiltración o ventilación	56
2.4.3.1.	Cálculo de tasa de infiltración	56
2.4.3.2.	Cálculo de necesidad de ventilación	57

2.4.3.3.	Cálculo de calor sensible	57
2.4.3.4.	Cálculo de calor latente	58
2.5.	Propuesta de cambio de unidad crítica de aire acondicionado	59
2.6.	Plan de mantenimiento preventivo de unidades de aire acondicionado actualmente operando	62
2.6.1.	Identificación de las unidades de aire acondicionado	62
2.6.2.	Frecuencia de mantenimiento	65
2.6.3.	Procedimiento de mantenimiento	68
2.6.3.1.	Medición inicial de parámetros de operación	68
2.6.3.1.1.	Manómetros	68
2.6.3.2.	Concentración de refrigerante en condensador	69
2.6.3.3.	Revisión de condensador	69
2.6.3.3.1.	Condensador	70
2.6.3.4.	Desmontaje y revisión de evaporador	71
2.6.3.4.1.	Evaporador	71
2.6.3.5.	Mantenimiento de motores eléctricos	72
2.6.3.6.	Revisión de compresor	74
2.6.3.6.1.	Compresor	74
2.6.3.7.	Revisión general de sistema eléctrico	75
2.6.3.8.	Revisión general de la estructura	75
2.6.3.9.	Arme y montaje de unidades	76
2.6.3.10.	Revisión de fugas y carga de refrigerante	76
2.6.3.11.	Prueba general del sistema	76
2.6.4.	Lista de repuestos	77
2.6.5.	Rutinas de inspección	79

2.6.5.1.	Análisis VOSO	79
2.6.5.1.1.	Ver	79
2.6.5.1.2.	Oír	80
2.6.5.1.3.	Sentir	80
2.6.5.1.4.	Oler	80
3.	CAPACITACIÓN	83
3.1.	Análisis de necesidades de capacitación	83
3.2.	Capacitación principios básicos de refrigeración y aire acondicionado	84
3.3.	Capacitación mantenimiento preventivo y sus ventajas	86
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	93
	APÉNDICE	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama funcional división industrial	8
2.	Nomenclatura para la conducción en paredes planas	12
3.	Flujo de calor radial en un cilindro hueco	14
4.	Propiedades térmicas típicas de materiales de construcción y aislamientos comunes	17
5.	Pared y espacio de aire que ilustran los efectos de la radiación térmica	22
6.	Factor U para varios productos de ventanería	29
7.	Plano de iluminación laboratorio de fábrica	38
8.	Plano de planta laboratorio de fábrica	39
9.	Hoja inventario de unidades de aire acondicionado	63
10.	Hoja de control de unidad de aire acondicionado 931 – 0212	64
11.	Hoja de frecuencia de actividades de mantenimiento preventivo	66
12.	Hoja calendarización de mantenimiento preventivo	67
13.	Hoja mantenimiento preventivo unidad de aire acondicionado	78
14.	Hoja ruta de inspección análisis VOSO	81
15.	Hoja evaluación capacitación principios básicos de refrigeración y aire acondicionado	85
16.	Hoja evaluación capacitación mantenimiento preventivo y sus ventajas	87

TABLAS

I.	Resistencia térmica pared de laboratorio de fábrica	42
II.	Resistencia térmica ventana de laboratorio de fábrica	44
III.	Resistencia térmica puerta de laboratorio de fábrica	46
IV.	Resistencia térmica techo de laboratorio de fábrica	47
V.	Resistencia térmica tragaluz de laboratorio de fábrica	50
VI.	Lista de ocupantes del laboratorio de fábrica por turno	52
VII.	Consumo de potencia de equipos eléctricos del laboratorio de fábrica	55
VIII.	Resumen de carga de calor debido a conducción en laboratorio de fábrica	60
IX.	Resumen de carga interna de calor debido a personas en laboratorio de fábrica	60
X.	Resumen de carga interna de calor debido a iluminación y equipos eléctricos de laboratorio de fábrica	61
XI.	Resumen de carga de calor debido a infiltración en laboratorio de fábrica	61
XII.	Resumen de cargas de calor en laboratorio de fábrica	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área normal del flujo de calor
c_p	Calor específico
\dot{q}_l	Calor latente
i_{fg}	Calor latente de vaporización en condiciones internas
\dot{q}_s	Calor sensible
h	Coefficiente de película
U	Coefficiente de transferencia de calor global
C	Conductancia térmica unitaria
K	Conductividad térmica
σ	Constante de Boltzmann
ρ	Densidad

Δt	Diferencia global de temperatura
$W_i - W_o$	Diferencial en la relación de la humedad de diseño
ϵ	Emitancia de cada superficie
F	Factor de configuración, una función geométrica
F_U	Factor de uso
F_S	Factor especial de ajuste
$\frac{dt}{dx}$	Gradiente de temperatura
ACH	Número de cambios de aire por hora
r_0	Radio exterior
r_1	Radio interior
R'	Resistencia térmica
R	Resistencia térmica por unidad de área unitaria
\dot{m}_0	Tasa de flujo volumétrico del aire de infiltración
\dot{Q}	Tasa de flujo volumétrico

\dot{q}	Tasa de transferencia de calor
T	Temperatura absoluta
t_0	Temperatura exterior
t	Temperatura global
t_1	Temperatura interior
t_w	Temperatura de la pared
v_0	Volumen específico
V	Volumen total del espacio
W	Wataje total de iluminación instalada

GLOSARIO

Aislamiento térmico	Capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción.
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración, con el propósito de buscar avances en las ciencias y artes de la calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración, para el beneficio del público, a través de la investigación, escritura de las normas, educación continua y publicaciones.
Bagazo	Desecho fibroso de la caña de azúcar.
Calor	Transferencia de parte de la energía interna (energía térmica) de un sistema a otro, con la condición de que estén a diferente temperatura.
Calor latente	Energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido o de líquido a gaseoso.
Calor sensible	Energía calorífica que aplicada a una sustancia hace subir su temperatura.

Energía	La energía es una magnitud física abstracta, ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable con el tiempo.
Humedad absoluta	Cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se expresa en gramos de agua por unidad de volumen (g/m^3).
Humedad específica	Cantidad de vapor de agua contenido en el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire húmedo (g/kg).
Humedad relativa	Humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.
Potencia	Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
Temperatura	Magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.
Zafra	Época en la cual se puede cosechar la caña de azúcar.

RESUMEN

La denominación de artículo de lujo con que se etiquetaba a los equipos de aire acondicionado antes de la Segunda Guerra Mundial, ha dado paso a otra que aprecia su lado práctico para hacer más saludable y productivas nuestras vidas.

Se volvió evidente que en un medio controlado de bienes se podían producir de mejor manera, más rápido y más económicamente. Mucho de los productos actuales no podrían fabricarse si no se dispusiera de instalaciones con un ambiente cuya temperatura, humedad y calidad de aire puedan ser controlados dentro de límites precisos, y el azúcar no es la excepción.

En todo el proceso de azúcar se necesita de espacios con un sistema de control permanente del ambiente interior, tal es el caso del laboratorio de fábrica. Para comprender lo importante que es mantener un ambiente interior controlado dentro del laboratorio, basta con mencionar que es aquí donde se lleva el control sistemático de las operaciones por medio de ensayos físicos y químicos, es a través de ellos que se fija el valor de los productos y sub productos, gracias a ellos también se determinan las pérdidas y el rendimiento de producción del ingenio.

Atendiendo a esta necesidad, el trabajo de graduación que a continuación se presenta contiene el cálculo de la unidad de aire acondicionado para el laboratorio de fábrica, basados en conocimientos de ingeniería mecánica, así como de una ardua investigación sobre los factores que afectan el ambiente

interior del laboratorio, la naturaleza de su estructura y la actividad que en él se desarrolla.

Este trabajo de graduación fue desarrollado a través del programa de E.P.S en el Ingenio Santa Ana, con el objetivo de poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica.

OBJETIVOS

Generales

1. Crear un plan de mantenimiento preventivo para las unidades de aire acondicionado, actualmente opera en Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.
2. Elaborar una propuesta de cambio para las unidades de aire acondicionado que se consideren críticas en Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.

Específicos

1. Identificar las unidades de aire acondicionado críticas a través de la identificación y evaluación de áreas de trabajo.
2. Calcular las cargas de calor que inciden en los ambientes que deben acondicionar las unidades de aire acondicionado que se consideren críticas en Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.
3. Crear un procedimiento de mantenimiento preventivo para las unidades de aire acondicionado que actualmente opera.

4. Determinar la frecuencia de mantenimiento preventivo que permita una operación óptima de las unidades de aire acondicionado, actualmente operan y se ajuste a la realidad del proceso de elaboración de azúcar.

INTRODUCCION

La importancia de las unidades de aire acondicionado en el proceso de elaboración de azúcar, así como en cualquier otro proceso, ha ido en aumento de la mano con la búsqueda de espacios con un sistema de control permanente del ambiente interior, que lleva a una mayor productividad.

Ahora bien, cómo se puede lograr una mayor productividad y a su vez menos pérdidas con una unidad de aire acondicionado, para empezar a responder esta interrogante se debe conocer la utilidad de una unidad de aire acondicionado, la cual es modificar y mantener las condiciones ambientales interiores de un espacio. Estas condiciones interiores son fijadas por el o los usuarios y depende del tipo de actividad a realizar en dicho espacio y los equipos que en él se puedan encontrar, en el proceso de la elaboración de azúcar uno de los espacios críticos en cuanto a condiciones ambientales interiores se refiere, es el laboratorio de fábrica, ya que en él se encuentra equipos que dependen de condiciones de temperatura y humedad relativa para su óptima operación. El confort de los colaboradores que en el laboran también es un factor a tomar en cuenta ya que ambientes agradables de trabajo se traducen en mayor productividad.

El laboratorio de fábrica es un ente independiente dentro de la estructura organizacional del Ingenio Santa Ana que tiene como objetivo principal monitorear a través de análisis fisicoquímicos cada etapa del proceso de elaboración de azúcar, del resultado de sus análisis depende en gran medida la toma de decisiones del ingeniero de turno o el jefe de proceso, por lo que es de vital importancia que sus análisis sean exactos y repetitivos y esto se logra

gracias a equipos en óptimas condiciones de operación y operadores capacitados en un ambiente propicio y agradable para realizar su labor.

Hoy en día la instalación de una unidad de aire acondicionado depende del precio y de la habilidad del vendedor, que muchas veces es alguien sin conocimientos de ingeniería, por lo que este proyecto realizado en la Corporación Agrícola Industrial Santa Ana, S.A. está enfocado en analizar los factores que influyen en el espacio interior del laboratorio de fábrica, para luego determinar sus cargas térmicas y recomendar la capacidad de la unidad de aire acondicionado que pueda mantener las condiciones interiores idóneas, así como la creación de un sistema de mantenimiento preventivo que pueda mantener dicha unidad en óptimas condiciones de operación.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes de operación de Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S. A.

1.1.1. Antecedentes

En estos últimos años, la producción azucarera de Guatemala ha tomado más importancia, debido a que en las cosechas recientes se han alcanzado niveles récord de producción, ocupando en el último año el tercer lugar como exportador más grande de Latinoamérica y el Caribe, y el sexto en importancia a nivel mundial. Este hecho representa significativos beneficios económicos para el país, sobre todo, por la generación de divisas y por el empleo que la industria azucarera provee.

1.1.2. Reseña histórica

En 1968 un grupo de empresarios adquirió parte de los equipos de los Ingenios Santa Juana y Canóvanas de Puerto Rico, iniciándose así la construcción del Ingenio Santa Ana, en la Finca Cerritos, ubicada a 65 Km. al Sur de la ciudad de Guatemala, en el departamento de Escuintla, a 220 m. sobre el nivel del mar. La primera zafra prueba se hizo en 1969/70, moliéndose 154 973,75 toneladas de caña y produciendo 239 525 quintales de azúcar en 136 días; la capacidad instalada en esa época era de 3 500 ton/día.

En 1993 comenzó a operar la refinería, diseñada para elaborar refina de alta calidad, partiendo de la azúcar blanca sulfitada, con capacidad de 500

toneladas de azúcar por día. Cuenta con tres tachos, siete filtros, seis centrífugas automáticas, una secadora y una enfriadora; años más adelante, se instaló un clarificador de azúcar disuelta, para trabajar con azúcares afinadas.

En el área de Cogeneración, el Ingenio Santa Ana produjo su propia energía eléctrica, desde el comienzo de sus operaciones. En efecto, desde 1969 contó con una potencia instalada de 3 500 Kw., actualmente la capacidad instalada es de 53 Mw.

Las operaciones de corte de caña se iniciaron en el período 1977/78. Se empleaban 1 200 cortadores para cortar 1 000 toneladas de caña diarias, con machete convencional. Hace ocho años, se inició el programa de capacitación permanente para el corte de caña con machete australiano, habiéndose incrementado la eficiencia en el corte, la calidad de producto final, y los ingresos de los cortadores. Así también, se construyeron módulos habitacionales con todas las comodidades, para albergar a los cortadores de cuadrilla, procedentes del altiplano guatemalteco, a los cuales se proporciona alimentación abundante en proteínas, completada con sales de rehidratación oral.

Para el 2010, Santa Ana ha avanzado significativamente en sus planes estratégicos, al desarrollar una de las fábricas más eficientes, lo cual logró colocar mayor capacidad instalada, con equipo de alta tecnología, ello apoyado por un proyecto de automatización industrial único en Centro América.

1.1.3. Política de calidad

La política de las empresas del Grupo Corporativo Santa Ana está dirigida a ofrecer productos que satisfacen los requerimientos de calidad de sus clientes. Se entiende que la calidad se logra mediante un trabajo de equipo,

integrado por personas que buscan su desarrollo día con día y realizan demostraciones constantes de sus compromisos con el mejoramiento continuo de los procesos, para fortalecer su competitividad y rentabilidad.

1.1.4. Servicios que presta

Como muchas de las empresas, Ingenio Santa Ana tiene dos mercados hacia los cuales comercializa los diversos productos que son aceptados por su calidad.

a) Mercado de exportación

- Azúcar refinada tipo “A”

Es el azúcar de mayor calidad. Sus especificaciones técnicas son: color 0 – 45 grados ICUMSA (constituye el factor más importante para este tipo de azúcar), Pol 99.85% mínima; humedad 0.04%.

- Azúcar cruda

Constituye el azúcar con una Pol mínima de 97.9%.

b) Mercado interno

- Azúcar blanca estándar (sulfitada)

Es el azúcar de mayor venta para consumo local. Sus características son: Pol 99.4 – 99.6%, color 180 – 400 ICUMSA, humedad 0.20%. Contiene

vitamina A en una concentración de 12 a 20 ppm. En Santa Ana, este tipo de azúcar se envasa bajo la marca “Caña Real”.

- Azúcar refinada local

Es un azúcar con 0 – 80 grados ICUMSA, Pol 99.6 – 99.8%, humedad 0.04%. Este tipo de azúcar es igual que la anterior, también está vitaminada. En Santa Ana se empaca bajo la marca “Nevada”.

- Azúcar superior

Es un azúcar con 99.6 – 99.79% de Pol, humedad 0.10%, color 80 – 200 ICUMSA.

- Azúcar morena

Es un azúcar con 98 – 99.4% Pol, 0.40 % humedad y color 400 – 800.

- Melaza

Se le denomina así a la miel final que se obtiene en el último agotamiento en el ciclo de mazas. Sus especificaciones técnicas son: Brix 85% y pureza entre 30 y 35. Constituye la materia prima para hacer alcohol y rones; además se usa para alimento de ganado. Este producto se distribuye tanto para mercado nacional como para el internacional.

- Torta de cachaza

Constituye el lodo filtrado y lavado, producido por la precipitación en el proceso de clarificación de jugo mezclado. Sirve como fuente primaria para abonos orgánicos en la producción agrícola.

- Energía eléctrica

Las especificaciones de este servicio es que la empresa cumpla con la cantidad de Mw. que se proyecte generar o cogenerar. Para tal efecto, Santa Ana cuenta con seis calderas, una que se alimenta con bunker y bagazo, y otras cinco que trabajan utilizando sólo bagazo. Se cuenta además con dos tipos de turbogeneradores:

- ✓ Turbos de escape: que se alimentan de vapor del ingenio y devuelven vapor al proceso.
- ✓ Turbos de condensación: que se alimentan de vapor y sacan agua condensada.

Dicha generación se efectúa a 69 000 voltios, 60 Hz, trifásica y un factor de potencia de 0.85. Actualmente, durante la época de zafra, se generan 40 Mw., de los cuales se venden 32 Mw. a la Empresa Eléctrica de Guatemala; durante la época de reparación, se mantienen disponibles con una capacidad de 25 MW.

1.1.5. Organigrama operacional de Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S. A.

Como empresa, Santa Ana está dirigida por una Junta Directiva, se estructura en siete divisiones y el *staff* de la gerencia general. Está representada por un organigrama tipo vertical dado que tiene una mejor representación administrativa.

a) Gerencia general

El gerente general es responsable de dirigir, planificar, coordinar, supervisar, controlar y evaluar las actividades de la gestión técnica y administrativa de las gerencias de división e impartir las instrucciones para la ejecución de las funciones correspondientes, además de definir e interpretar las políticas establecidas por la dirección. El correcto desempeño de estas obligaciones, requiere de un conocimiento funcional de todas las fases de la operación de la empresa, y una buena comunicación con sus subordinados.

b) División de recursos humanos

Su misión es satisfacer en forma eficaz los requerimientos del recurso humano adecuado mediante técnicas y procedimientos actualizados, propiciando las condiciones óptimas para su desarrollo personal y dentro de la empresa, con el propósito de lograr la mayor eficiencia del Grupo Corporativo.

c) División agrícola y servicios

Es un equipo multidisciplinario, cuyo compromiso fundamental es el aprovechamiento integral sostenible de los recursos naturales, para producir

caña de azúcar, otros productos agrícolas, servicios de cosecha, taller y transporte.

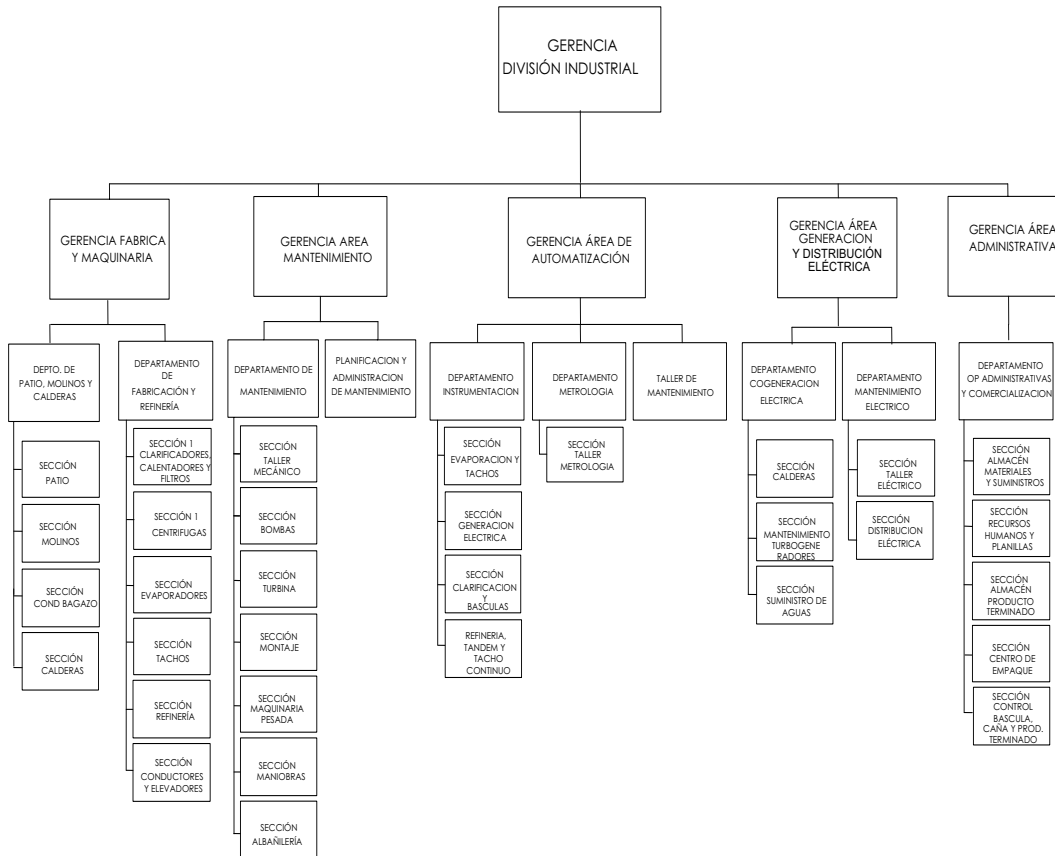
d) División administrativa

Es una división completamente de servicio, comprometida con todas las divisiones de la Corporación, a quienes asiste en sus necesidades en forma eficiente y oportuna, a través de una organización adecuada, utilizando recurso humano capacitado y tecnología para satisfacer a sus clientes.

e) División industrial

Se ocupa de la transformación de la caña de azúcar y otros insumos en productos de óptima calidad, administrando los recursos humanos, físicos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de los clientes.

Figura 1. Organigrama funcional división industrial



Fuente: Gerencia División Industrial.

1.2. Realidad actual del proceso de elaboración de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, que tiene la ventaja de ser la más eficiente por transformar la energía solar en azúcares y biomasa.

Genera igual cantidad de oxígeno que cualquier bosque tropical. La caña, cuando se planta, produce de 4 a 7 cortes anuales (retoños), sin necesidad de plantarla cada año.

Toda la caña se corta manualmente, hay siete frentes de corte que suministran entre 7 500 y 8 000 toneladas de caña diarias. Aproximadamente existen más de 3 000 hombres dedicados al corte de caña, además de los que se dedican a las otras labores de la cosecha, como maquinaria, apuntadores, recogedores de caña, etc.

La caña llega al patio de dos formas: caña maleteada que en su mayoría es verde, sin quemar; y caña a granel, que viene en contenedores, llamados jaulas, para que puedan ser fácilmente descargados.

En el patio, la caña es pesada en las básculas y luego se descarga en las mesas de caña, donde es lavada. Después, la caña pasa por los conductores donde es transportada y preparada para que en el sistema de molienda la extracción del jugo sea fácil.

El sistema de molienda consiste de un tándem de molinos compuestos de cuatro rodillos conocidos con el nombre de masas. Se agrega agua de imbibición para facilitar la extracción de sacarosa. La finalidad principal de los molinos es conseguir la mayor separación posible de los dos elementos de la

caña: fibra y jugo. El jugo extraído es bombeado a fábrica y el bagazo es conducido a calderas para utilizarse como combustible.

Luego del molino, el jugo se pasa por calentadores para subirle la temperatura, luego pasa a clarificación para sacarle los lodos en los clarificadores que trabajan por medio de decantación; el lodo es enviado a los filtros de cachaza para extraer parte del jugo. El jugo del clarificador es enviado a los evaporadores, y luego a los tachos donde se concentra la miel para formar el grano de azúcar.

En las centrifugas se recibe la maza de los tachos; aquí se separa el grano de la miel. El azúcar es enviada a una secadora y enfriadora, luego es transportada al envasado o a bodegas a granel para su distribución.

En las calderas se genera todo el vapor necesario para el funcionamiento de las turbinas, turbogeneradores y cocimientos en el proceso de fabricación. Los hornos de las calderas son alimentados con bagazo, que es transportado por conductores de tablillas o bandas transportadoras.

1.3. Transmisión de calor en estructuras de edificios

En la jerga de CVAA el término envoltura del edificio se refiere a paredes, techos, pisos y ventanearía que envuelve el edificio. A través de estos componentes la energía entra y sale del edificio por medio de la transferencia (transmisión) de calor. Es necesario hacer estimaciones adecuadas de las tasas correspondientes de transferencia de calor para diseñar un sistema aceptable de acondicionamiento de aire. En la estructura habitual las paredes y los techos son ensambles complejos de diferentes materiales. Con frecuencia, las ventanas están hechas de dos o más capas de cristales, con espacios de aire

entre ellas, y tienen persianas y cortinas. En los sótanos, los pisos y las paredes están en contacto con el suelo. Debido a estas condiciones es difícil elaborar cálculos precisos de las tasas de transferencia del calor. No obstante, la experiencia y los datos experimentales permiten hacer estimaciones confiables. Debido a que la mayoría de los cálculos requiere mucho trabajo repetitivo, se utilizan tablas de coeficientes y otros datos para situaciones típicas. La resistencia térmica es un concepto útil, la capacitancia térmica es otro concepto importante en los cálculos de todo análisis transitorio.

En los procesos de pérdida y ganancia del calor que ocurren en los edificios generalmente intervienen las tres maneras en las que se transmite el calor: por conducción, por convección y por radiación.

1.3.1. Conducción térmica

Es el mecanismo de transferencia de calor entre las partes de un continuo, a causa de la transferencia de energía a nivel atómico entre partículas o grupo de partículas. La ecuación de Fourier expresa la conducción de régimen permanente en una dimensión:

$$\dot{q} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (1-1)$$

donde:

\dot{q} = tasa de transferencia de calor, Btu/hr o W

K = conductividad térmica, Btu/(hr-ft-F) o W/(m-c)

A = área normal del flujo de calor, ft² o m²

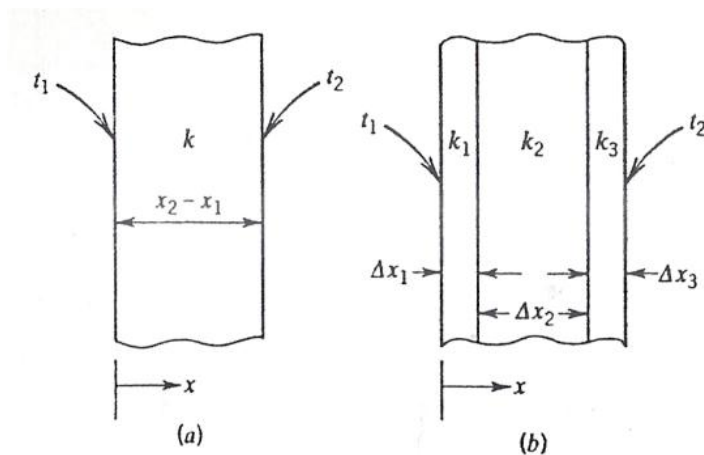
$\frac{dt}{dx}$ = gradiente de temperatura, F/ft o C/m

La ecuación 1-1 incorpora un signo negativo debido a que \dot{q} fluye en la dirección positiva de x cuando dt/dx es negativa.

Considere el ejemplo de la pared plana de la figura 2 y suponga que su superficie tiene una temperatura uniforme, t_1 y t_2 , respectivamente. Si la conductividad térmica, la tasa de transferencia de calor y el área son constantes, puede integrarse la ecuación 1-1 para obtener:

$$\dot{q} = \frac{-kA(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1} \quad (1-2a)$$

Figura 2. **Nomenclatura para la conducción en paredes planas**



Fuente: FAYE, Mac Quiston. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Análisis y Diseño. Pág. 125.

Una forma útil de la ecuación (1-2a) es:

$$\dot{q} = \frac{-(t_2 - t_1)}{R'} \quad (1-2b)$$

donde R' es la resistencia térmica definida por:

$$R' = \frac{x_2 - x_1}{KA} = \frac{\Delta x}{KA} \quad (1-3a)$$

La resistencia térmica para una área unitaria de material es un dato que se utiliza mucho en los manuales y en la literatura CVAA, (en ocasiones se domina como “factor – R ” se le hace referencia también como resistencia térmica unitaria, o simplemente como resistencia unitaria. Para una pared plana, la resistencia unitaria es:

$$R = \frac{\Delta x}{K} \quad (1-3b)$$

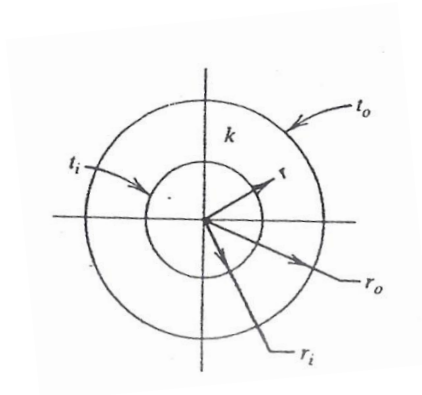
La resistencia térmica R' es análoga a la resistencia eléctrica, \dot{q} y $t_2 - t_1$ son análogas a la corriente y al diferencial de potencial de la ley de Ohm. Esta analogía proporciona un método muy conveniente para analizar una pared o una loza constituida por dos o más capas de materiales diferentes. En la figura 2 (b) se muestra una pared construida con tres materiales diferentes. La cantidad de calor transferido por conducción se obtiene con la ecuación 1-2b, donde:

$$R' = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{\Delta x_1}{K_1 A} = \frac{\Delta x_2}{K_2 A} = \frac{\Delta x_3}{K_3 A} \quad (1-4)$$

Aun cuando la discusión previa está limitada a una pared plana, en donde el área de la sección transversal es una constante, se puede aplicar un procedimiento similar para una pared curva.

Por ejemplo, considere un cilindro hueco que aparece en la figura 3 en donde se parte del supuesto de que las temperaturas superficiales t_i y t_o son uniformes y constantes. También se supone que el material es homogéneo y tiene un valor constante de conductividad térmica. La integración de la ecuación 1-1 con K y \dot{q} constantes pero con A en función de r , produce:

Figura 3. **Flujo de calor radial en un cilindro hueco**



Fuente: FAYE, Mac Quiston. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Análisis y Diseño. Pág. 126.

$$\dot{q} = \frac{2\pi KL}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}(t_i - t_o) \quad (1-5)$$

donde L es la longitud del cilindro. Aquí la resistencia térmica es:

$$R' = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi KL} \quad (1-6)$$

Los cilindros constituidos por varias capas pueden ser analizados con un método similar al que se aplica en una pared, plana en donde las resistencias en serie se suman como muestra la ecuación 1-4, excepto que las resistencias individuales están dadas por la ecuación 1-6, en la que r_o y r_i son los radios internos y externos de cada capa.

La tabla mostrada en la figura 4 proporciona la conductividad térmica K para una amplia variedad de materiales de construcción y aislantes. Otros datos útiles que aparecen en esas tablas son: conductancia térmica unitaria C , densidad ρ y calor específico c_p . Nótese que K tiene unidades de (Btu-in)/(ft²-hr-F) o W/(m-C). Con Δx en pulgadas o metros, respectivamente, la conductancia térmica unitaria C está dada por la ecuación siguiente:

$$C = \frac{1}{R} = \frac{K}{\Delta x} \quad (\text{Btu-in})/(\text{ft}^2\text{-hr-F}) \text{ o } \text{W}/(\text{m-C}) \quad (1-7)$$

1.3.2. Convección térmica

La convección térmica es la transferencia de energía por medio de la conducción y transporte de masa. La convección está asociada con fluidos en movimiento, generalmente a través de un tubo, un ducto o a lo largo de una superficie. El mecanismo de transferencia es complejo y depende mucho de si el flujo es laminar o turbulento. En los cálculos de la convección, lo usual es expresar la tasa de transferencia de calor como:

$$\dot{q} = hA(t - t_w) \quad (1-8a)$$

donde:

\dot{q} = tasa de transferencia de calor desde el fluido a la pared, Btu/hr

h = coeficiente de película, Btu/(hr-ft²-F) o W/(m²-s)

t = temperatura global del fluido, F o C

t_w = temperatura de la pared, F o C

Al coeficiente de película h a veces se le denomina conductancia de superficie unitaria o coeficiente de transferencia de calor convectivo.

Figura 4. **Propiedades térmicas típicas de materiales de construcción y de aislamiento comunes**

Descripción	Grosor en pulgadas	Densidad, ρ , lbfft ³	Conductividad, k (Btu-in.)/(hr-ft ² -F)	Conductancia, C , Btu/ (hr-ft ² -F)	Calor específico, Btu/ (lb-F)
Tablero o panel de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	0.25	120	-	16.5	0.24
Tablero de yeso	0.375	50	-	3.1	0.26
Tablero de yeso	0.5	50	-	2.22	0.26
Triplay (abeto Douglas)	-	34	0.8	2.22	0.26
Triplay (abeto Douglas)	0.25	34	-	3.2	-
Triplay (abeto Douglas)	0.375	34	-	2.13	-
Triplay (abeto Douglas)	0.5	34	-	1.6	-
Triplay o panel de madera	0.75	34	-	1.07	0.29
Tablero de fibra vegetal					
Revestimiento de densidad regular	0.5	18	-	0.76	0.31
Revestimiento de densidad intermedia	0.5	22	-	0.92	0.31
Tablero de amortiguamiento acústico	5	15	-	0.74	0.3
Tablero duro					
Mediana densidad	-	50	0.73	-	0.32
Grado de servicio	-	55	0.82	-	-
Alta densidad, grado estándar temperado	-	63	1	-	-
Aglomerado mineral					
De mediana densidad	-	50	0.94	-	0.31
Base	0.625	40	-	1.22	0.29
Base de madera	0.75	-	-	1.06	0.33
Membrana de construcción					
Filtro permeable al vapor	-	-	-	16.7	-
Sello de vapor de 2 capas de fieltro de 15 libras	-	-	-	8.35	-
Materiales para acabado de pisos					
Alfombra y bajoalfombra de fibra	-	-	-	0.48	0.34
Alfombra y bajoalfombra de hule	-	-	-	0.81	0.33
Loseta (de asfalto, linóleo, vinilo, hule)	-	-	-	20	0.3
Madera, acabado en madera dura	0.75	-	-	1.47	-
Materiales de aislamiento					
<i>Colchoneta y aislamiello de fibra de vidrio</i>					
Fibra mineral, forma fibrosa procesada de roca, escoria o vidrio					
aprox. 3-4 pulgadas	-	0.4-2.0	-	0.091	-
aprox. 3.5 pulgadas	-	1.2-1.6	-	0.067	-
aprox. 5.5-6,5 pulgadas	-	0.4-2.0	-	0.053	-
aprox. 5.5 pulgadas	-	0.6-1.0	-	0.048	-
aprox. 6-7,5 pulgadas	-	0.4-2.0.	-	0.045	-
aprox. 8.25-10 pulgadas	-	0.4-2.0	-	0.033	-
<i>Tablero o losas</i>					
Vidrio celular	-	8	0.33	-	0.18
Fibra de vidrio con aglomerante organico	-	4.0-9.0	0.25	-	0.23

Continuación de la figura 4

Figura 4. **Propiedades térmicas típicas de materiales de construcción y de aislamiento comunes**

Descripción	Grosor en pulgadas	Densidad, ρ , lb/ft ³	Conductividad, k (Btu-in.)/(hr-ft ² -F)	Conductancia, C , Btu/ (hr-ft ² -F)	Calor específico, Btu/ (lb-F)
Poliestireno expandido, molduras moldeadas	-	1	0.36	-	-
Fibra mineral con adhesivo de resina	-	15	0.29	-	0.17
Aislamiento de relleno o de techo	-	16-17	0.34	-	-
Loseta acústica	0.5	-	-	0.8	0.31
Loseta acústica	0.75	-	-	0.53	-
Relleno suelto					
Aislamiento de celulosa (papel molido o pulpa de madera)	-	2.3-32	0.27-0.32	-	33
Perlita expandida	-	2.0-4.1	0.27-0.31	-	0.26
	-	4.1-7.4	0.31-0.36	-	-
	-	7.4-1.0	0.36-0.42	-	-
Fibra mineral (roca, escoria o vidrio)					
aprox. 3.75-5 pulgadas	-	0.6-0.20	-	0.091	0.17
aprox. 6.5-8.75 pulgadas	-	0.6-0.20	-	0.053	-
aprox. 7.5-10 pulgadas	-	0.6-0.20	-	0.045	-
aprox. 10.25-13.75 pulgadas	-	0.6-0.20	-	0.033	-
Fibra mineral (roca, escoria, vidrio)					
aprox. 3.5 pulgadas (aplicación para muro lateral cerrado)	-	2.0-3.5	-	0.077	-
Vermiculita exfoliada	-	7.0-8.2	0.47	-	0.32
	-	4.0-6.0	0.44	-	-
Metales					
Aluminio (1100)	-	171	1536	-	0.214
Acero dulce	-	489	314	-	0.12
Acero inoxidable	-	494	108	-	0.109
Techumbre					
Tejas de asbesto-cemento	-	120	-	4.76	0.24
Techo de rollo asfaltado	-	70	-	6.5	0.36
Tejas asfaltadas	-	70	-	2.27	0.3
Techo prefabricado	0.375	70	-	3	0.35
Pizarra	0.5	-	-	20	0.3
Tejas de madera, planas y forradas con películas plásticas	-	-	-	1.06	0.31
Materiales para enlucido					
Enlucido de cemento, mezcla de arena	-	116	5	-	0.2
Mezcla de arena	0.375	-	-	13.3	0.2
Mezcla de arena	0.75	-	-	6.66	0.2
Enlucido de yeso					
Mezcla ligera	0.5	45	-	3.12	-
Mezcla ligera	0.625	45	-	2.67	-
Mezcla ligera sobre listones metálicos	0.75	-	-	2.13	-
Materiales de Albañilería					
Unidades de Albañilería	-	130	6.4-7.8	-	-
Tabique de barro cocido	-	120	5.6-6.8	-	0.19

Continuación de la figura 4

Figura 4. Propiedades térmicas típicas de materiales de construcción y de aislamiento comunes

Descripción	Grosor en pulgadas	Densidad, ρ , lb/ft ³	Conductividad, k (Btu-in.)/(hr-ft ² -F)	Conductancia, C , Btu/(hr-ft ² -F)	Calor específico, Btu/(lb-F)
Loseta hueca de barro					
de 1 celda de grosor	4	-	-	0.9	0.21
de 2 celdas de grosor	6	-	-	0.66	-
de 2 celdas de grosor	8	-	-	0.54	-
Bloques de concreto					
Aglomerado de peso estándar (arena y gravilla) de 8 pulgadas, 33-36 lb, concreto de 126-136 lb/ft ³ , 2 o 3 núcleos	-	-	-	0.90-1.03	0.22
Agregado ligero (pizarra, pizarra expandida, barro, escoria, pómez), concreto de 6 pulgadas, 16-17 lb, de 85-87 lb/ft ³ , 2 o 3 núcleos	-	-	-	0.52-0.61	-
Igual con núcleos rellenos de vermiculita, de 8 pulgadas: 19-22 lb, concreto de 72-86 lb/ft ³	-	-	-	0.33	-
	-	-	-	0.32-0.54	0.21
Igual con núcleos rellenos de vermiculita	-	-	-	0.19-0.26	-
Concretos	-	150	10.0-20.0	-	-
Concretos con arena y grava	-	140	9.0-18.0	-	0.19-0.24
(concretos con más de 50 % de cuarzo o arena de cuarcita con conductividades en el extremo más alto del rango)	-	130	7.0-13.0	-	-
Concretos de piedra caliza	-	120	7.9	-	-
	-	100	5.5	-	-
Mortero de caliza y estuco	-	100	6.7	-	-
	-	80	4.5	-	-
Hormigones ligeros de concreto	-	120	6.4-9.1	-	-
Hormigón celular de pizarra; escoria expandida; cenizas; pómez (con densidad de más de 100 lb/ft ³); escoria (los concretos con arena tienen conductividad en el extremo más alto del rango)	-	100	4.7-6.2	-	0.2
	-	80	33-4.1	-	0.2
Materiales para forrar paredes (sobre superficies planas)					
Asbesto-cemento	-	120	-	4.75	-
Rectángulos de madera de 1 x 8 pulgadas	-	-	-	1.27	0.28
Aluminio, acero o vinilo sobre enlucido, reverso hueco	-	-	-	1.64	0.29
Aislamiento sobre panel con grosor nominal de 0.375 pulgadas	-	-	-	0.55	0.32
de 0.375 pulgadas con revestimiento de chapa	-	-	-	0.34	-
Vidrio de cal y soda arquitectónico	-	158	6.9	-	0.21
Maderas (12% de humedad)					
Maderas duras					
Roble	-	41,2-46,8	1.12-1.25	-	0.39
Maderas blandas					
Pinabeto, abeto, pino	-	24,5-31,4	0,74-0,90	-	0.39

Fuente: FAYE, Mac Quiston. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, Análisis y Diseño. Pág. 127

La ecuación también puede ser expresada en términos de la resistencia térmica de la siguiente manera:

$$\dot{q} = \frac{t - t_w}{R'} \quad (1-8b)$$

donde:

$$R' = \frac{1}{hA} \quad (\text{hr-F})/\text{Btu o C/W} \quad (1-9a)$$

así que

$$R = \frac{1}{h} = \frac{1}{C^*} \quad (\text{hr-pie}^2\text{-F})/\text{Btu o (m}^2\text{-C)/W} \quad (1-9b)$$

La resistencia térmica dada por la ecuación (1-9a) puede ser sumada a las resistencias térmicas que surgen de la conducción pura, dadas por la ecuación (1-3a) o (1-6).

El coeficiente h que aparece en las ecuaciones 1-8a y 1-9 depende del tipo de fluido, la velocidad del fluido, el canal de flujo y el grado de desarrollo del campo de flujo (es decir, si el fluido acaba de entrar al canal o está relativamente lejos de la entrada).

En transferencia de calor por convección es importante el mecanismo que provoca el movimiento del fluido. Cuando el grueso del fluido se mueve en relación con la superficie de transferencia de calor, el mecanismo se llama *convección forzada*, debido a que tal movimiento generalmente es causado por un ventilador o una bomba que está forzando el flujo. En la convección forzada pueden ignorarse las fuerzas ascensionales. En la convección libre, por el

contrario, el movimiento del fluido se debe enteramente a estas, que por lo general están confinadas a la capa cercana a la superficie calentada o enfriada. El resto del fluido circundante permanece estacionario, por lo que ejerce un frenado viscoso sobre la capa del fluido en movimiento. Como resultado, las fuerzas inerciales en la convección libre generalmente son pequeñas. A la convección libre generalmente se le denomina convección natural.

En la mayor parte de estructuras de edificios existe convección forzada a lo largo de las paredes exteriores y de los techos, en tanto que la convección natural ocurre en los espacios interiores estrechos y sobre paredes interiores.

Existe una considerable variación en las condiciones superficiales, y es muy difícil predecir la dirección y la magnitud del movimiento del aire en las superficies exteriores. El coeficiente de película para estas situaciones generalmente fluctúa entre $1.0 \text{ Btu} / (\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{F})$ [$6W / (m^2 - C)$] para la convección libre y $6.0 \text{ Btu} / (\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{F})$ [$35W / (m^2 - C)$] para la convección forzada, y en ambos casos la velocidad del aire es aproximadamente 15 millas por hora (20ft/ sec. o 6 m/s). Debido a los bajos coeficientes de película, especialmente en el caso de la convección libre, la cantidad de calor transferido por la radiación térmica puede ser igual o mayor a la transferencia por convección.

1.3.3. Radiación térmica

La radiación térmica es la transferencia de energía por medio de ondas electromagnéticas. Es un fenómeno enteramente diferente del de la conducción y la convección. De hecho, el fenómeno de la radiación térmica puede ocurrir en el vacío más completo, e incluso puede decirse que cualquier tipo de materia constituye un impedimento para su transmisión.

La transferencia neta directa de energía por radiación entre dos superficies que están frente a frente, separadas por un medio no absorbente, puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{A_{\epsilon_1}} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1-\epsilon_2}{A_{\epsilon_2}}} \quad (1-10)$$

donde:

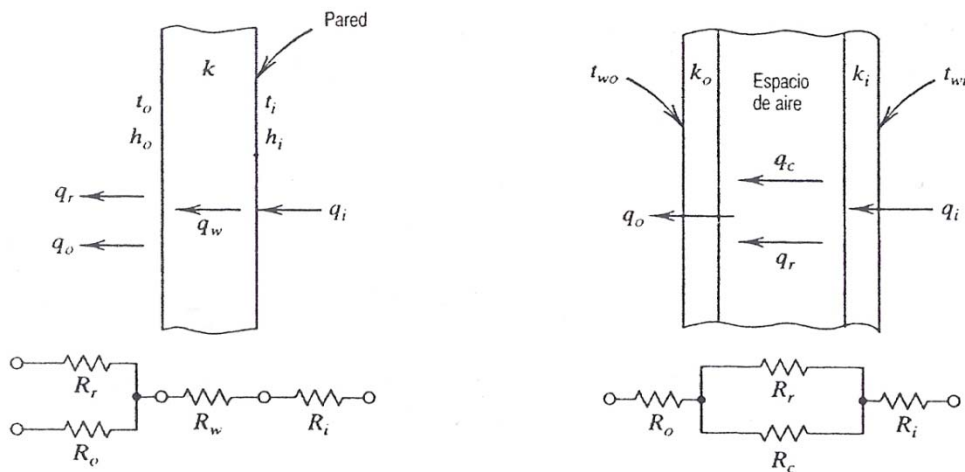
σ = constante de Boltzmann, 0.1713×10^{-8} Btu/(hr-ft²-R⁴)

T = temperatura absoluta, R o K

ϵ = emitancia de cada superficie

F = factor de configuración, una función geométrica

Figura 5. Pared y espacio de aire que ilustran los efectos de la radiación térmica



Fuente: FAYE, Mac Quiston. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Análisis y Diseño. Pág. 134.

En la ecuación 1-10 se parte del supuesto de que ambas superficies son “grises” (en donde la emitancia ϵ es igual a la absorbtancia α). Este supuesto, generalmente está justificado. En la figura 4 se muestra la situación en donde la radiación es considerada como un factor significativo. Para la pared

$$\dot{q}_i = \dot{q}_w = \dot{q}_r + \dot{q}_0$$

y para el espacio de aire

$$\dot{q}_i = \dot{q}_r + \dot{q}_c = \dot{q}_0$$

Las resistencias pueden combinarse para obtener una resistencia global equivalente R' , con la cual puede calcularse la tasa de transferencia de calor utilizando la ecuación 1-2b:

$$\dot{q} = \frac{-(t_0 - t_i)}{R'} \quad (1-2b)$$

Sin embargo, no es fácil calcular la resistencia térmica por la radiación, debido a la relación de temperatura de cuarta potencia de la ecuación 1-10. Por esta razón, y a causa de la incertidumbre inherente para describir la situación física, la teoría y el experimento se combinan para desarrollar resistencias térmicas unitarias y conductancias térmicas unitarias aplicables en muchas de las superficies y espacios de aire típico.

Es evidente que la radiación térmica es un factor importante cuando ocurre convección natural. Si la velocidad del aire se incrementa a 15 mph (aproximadamente 7 m/s), el coeficiente de película promedio se incrementaría

aproximadamente 6 Btu/(hr-ft²-F) o 34 W/(m²-C), A velocidades mayores del aire disminuye el efecto relativo de la radiación. La radiación parece ser un factor muy importante en las ganancias de calor a través de los espacios del techo.

La emitancia efectiva E está dada por:

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \quad (1-11)$$

Donde la emitancia ϵ_1 y ϵ_2 correspondiente a cada una de las superficies del espacio de aire. La ecuación 1-4 puede generalizarse para que proporcione la resistencia equivalente de n resistores en serie, de la siguiente manera.

$$R'_e = R'_1 + R'_2 + R'_3 + \dots + R'_n \quad (1-12)$$

Una pared que está haciendo calentada o enfriada por una combinación de de convección y radiación en cada superficie y que tiene 5 diferentes resistencias a través de las cuales debe ser conducido el calor. La resistencia térmica equivalente R'_e para la ecuación está dada por la ecuación 1-12.

$$R'_e = R'_i + R'_1 + R'_2 + R'_3 + R'_o \quad (1-13)$$

Cada una de las resistencias puede expresarse en términos de las variables fundamentales utilizando las ecuaciones 1-3a y 1-9a.

$$R'_e = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\Delta x_1}{K_1 A_1} + \frac{\Delta x_2}{K_2 A_2} + \frac{\Delta x_3}{K_3 A_3} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (1-14)$$

La convección ocurre sobre las superficies interna y externa, mientras que el calor es conducido a través de la pared del tubo y el aislamiento.

Se define a un puente térmico como un área envolvente con una tasa de transferencia de calor significativamente más alta que la envoltura contigua.

Una columna de acero dentro de una pared aislante constituye un buen ejemplo de este tipo de puente, puesto que la resistencia a la transferencia de calor a través de la parte que contiene es menor que la del resto de la pared que solamente contiene aislante. Incluso, si la columna de acero estuviera empotrada en una pared de concreto, seguiría habiendo un puente térmico, puesto que el acero tiene una conductividad térmica mayor que el concreto.

Los puentes térmicos tienen dos efectos indeseables de importancia: incrementan las ganancias o pérdidas de calor y pueden causar condensaciones en espacios dentro de la pared o sobre las superficies envolventes. Estos efectos pueden incrementar el consumo de energía en los edificios o dañar sus estructuras debido a la humedad que generan. También pueden producir variaciones significativas de temperatura dentro de los espacios acondicionados. Entre los métodos para mitigar los efectos del “puente” se incluye el uso de materiales de menor conductibilidad térmica en los puentes, el cambio de la geometría o el sistema de construcción y la colocación de un revestimiento aislante alrededor del puente.

El concepto de resistencia térmica es muy útil y conveniente en el análisis de la disposición compleja de los materiales de construcción. No obstante, después de que se ha determinado la resistencia térmica equivalente para una configuración, con frecuencia se utiliza la conductancia térmica unitaria global, que se conoce como *coeficiente de transferencia de calor global U*.

$$U = \frac{1}{R'A} = \frac{1}{R} \quad \text{Btu/(hr-ft}^2\text{-F) o W/(m}^2\text{-C)} \quad (1-15)$$

Entonces, la tasa de transferencia de calor está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{q} = UA\Delta t \quad (1-16)$$

donde:

U A= conductancia, Btu/(hr-F) o W/C

A= área superficial, ft² o m²

Δt = diferencia global de temperatura, F o C

Para una pared plana, el área A es la misma en cualquier posición a través de la pared. Cuando se trata de una pared curva, se selecciona un área particular (que podría ser un área de la superficie exterior), a fin de facilitar el cálculo.

1.3.4. Coeficientes tabulados de transferencia de calor global

Para auxiliar al diseñador, se han elaborado tablas de coeficientes de transferencia de calor global para muchas partes de los edificios, incluyendo paredes, pisos, puertas, ventanas y tragaluces.

1.3.4.1. Paredes y techos

Las paredes y los techos varían considerablemente en lo relativo a los materiales que los constituyen. Por lo tanto, la resistencia térmica o el

coeficiente de transferencia de calor global generalmente se calcula sobre una base individual, utilizando las ecuaciones 1-15 y 1-16.

1.3.4.2. Ventanas

La tabla mostrada en la figura 6 contiene coeficientes de transferencia de calor global para toda una gama de productos de ventanearía de instalación vertical. Los valores dados son para condiciones de diseño invernales; sin embargo, cuando se ajustan para tomar en consideración la velocidad del viento utilizando la tabla mostrada en la figura 6, estos datos también pueden emplearse para estimar las cargas de diseño para las condiciones prevalecientes en verano. Los factores U fueron elaborados con base en el área de apertura aproximada y tomando en cuenta el efecto del marco. Los coeficientes de transmisión están dados para el centro y el borde de los cristales. Los datos de las tablas mostradas en la figura 6 se aplican solo a la transferencia de calor aire-a-aire y no toman en cuenta la radiación solar.

1.3.4.3. Puertas

Las tablas utilizadas para el cálculo de transmisión de calor en ventanas serán utilizadas nuevamente para las puertas, ya que esta incluye puertas de cristal deslizantes como la que está instalada en el laboratorio de fábrica.

1.3.5. Infiltración

En la mayoría de edificios ocurre el fenómeno de la infiltración o fuga de aire. Esto significa una ganancia de calor, ya que el aire caliente del exterior debe enfriarse hasta que alcance la temperatura de diseño; además debe de

restársele humedad para que el alcance el mismo nivel que el valor de diseño.
El calor sensible requerido esta dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{q} = \dot{m}_o C_p (t_o - t_i) \quad (1-17)$$

donde

\dot{m}_o = tasa de flujo volumétrico del aire de infiltración, lbm/hr o kg/s

C_p = Capacidad térmica específica del aire, Btu/(lbm-F) o J((Kg-C)

Figura 6. Factores U para varios productos de ventanería

	Estructura: sólo cristal		Operables (incluyendo puertas de cristal deslizantes y de bisagras)					
	Centro del cristal	Borde del cristal	Aluminio sin interrupción térmica	Aluminio con interrupción térmica	Vinilo reforzado/Aluminio-madera chapada	Madera/vinilo	Fibra de vidrio aislada/vinilo	Fijo Fibra de vidrio/vinilo
Cristal sencillo								
Vidrio de $\frac{1}{8}$ de pulgada	1.04	1.04	1.27	1.08	0.90	0.89	0.81	0.94
acrílico/policarbonato de $\frac{1}{2}$ de pulgada	0.88	0.88	1.14	0.96	0.79	0.78	0.71	0.81
acrílico/policarbonato de $\frac{1}{8}$ de pulgada	0.96	0.96	1.21	1.02	0.85	0.83	0.76	0.87
Cristal doble								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.55	0.64	0.87	0.65	0.57	0.55	0.49	0.53
esp. de aire de $\frac{1}{2}$ de pul.	0.48	0.59	0.81	0.60	0.53	0.51	0.44	0.48
esp. de argón de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.51	0.61	0.84	0.62	0.55	0.53	0.46	0.50
Cristal doble, $e = 0.60$ sobre la superficie 2 o 3								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.52	0.62	0.84	0.63	0.55	0.53	0.47	0.51
esp. de aire de $\frac{1}{2}$ pul.	0.44	0.56	0.78	0.57	0.50	0.48	0.42	0.45
esp. de argón de $\frac{1}{4}$ pul.	0.47	0.58	0.81	0.59	0.52	0.50	0.44	0.47
Cristal doble, $e = 0.10$ sobre la superficie 2 o 3								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.42	0.55	0.77	0.56	0.49	0.47	0.41	0.43
esp. de aire de $\frac{1}{2}$ pul.	0.32	0.48	0.69	0.49	0.42	0.40	0.35	0.35
esp. de argón de $\frac{1}{4}$ pul.	0.35	0.50	0.71	0.51	0.44	0.42	0.36	0.37
esp. de argón de $\frac{1}{2}$ de pul.	0.27	0.44	0.65	0.45	0.39	0.37	0.31	0.31
Cristal triple								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.38	0.52	0.72	0.51	0.44	0.43	0.38	0.40
esp. de aire de $\frac{1}{2}$ de pul.	0.31	0.47	0.67	0.46	0.40	0.39	0.34	0.34
esp. de argón de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.34	0.49	0.69	0.48	0.42	0.41	0.35	0.36
Cristal triple, $e = 0.20$ sobre las superficies 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.29	0.45	0.65	0.44	0.38	0.37	0.32	0.32
esp. de aire de $\frac{1}{2}$ pul.	0.20	0.39	0.58	0.38	0.32	0.31	0.27	0.25
esp. de argón de $\frac{1}{4}$ pul.	0.23	0.41	0.61	0.40	0.34	0.33	0.29	0.28
Cristal triple, $e = 0.10$ sobre las superficies 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.27	0.44	0.64	0.43	0.37	0.36	0.31	0.31
esp. de aire de $\frac{1}{2}$ pul.	0.18	0.37	0.57	0.36	0.31	0.30	0.25	0.23
esp. de argón de $\frac{1}{4}$ pul.	0.21	0.39	0.59	0.39	0.33	0.32	0.27	0.26
Cristal cuádruple, $e = 0.10$ sobre las superficies 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de $\frac{1}{4}$ de pul.	0.22	0.40	0.60	0.39	0.34	0.33	0.28	0.27

Los coeficientes de transmisión de calor están basados en las condiciones prevaletientes en invierno: 0 F en el exterior y 70 F en el interior, con vientos de 15 mph y cero flujo solar. Pequeños cambios en la temperatura interior o exterior no afectan significativamente los factores globales U. Las capas de cristal se numeran de afuera hacia adentro.

Fuente: FAYE, Mac Quiston. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, Análisis y Diseño. Pág. 148

La infiltración generalmente se estima con base a la tasa de flujo volumétrico del aire tal como se encuentra en el exterior. Por lo tanto, la ecuación 1-17 se convierte en:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}C_p(t_o - t_i)}{v_o} \quad (1-18)$$

donde:

\dot{Q} = tasa de flujo volumétrico, ft³/hr o m³/s

v_o = volumen específico, ft³/lbm o m³/kg

El calor latente requerido para humidificar el aire esta dado por:

$$\dot{q}l = \dot{m}_o(W_i - W_o)i_{fg} \quad (1-19)$$

donde:

$W_i - W_o$ =diferencial en la relación de la humedad de diseño, lbmv/lbma

i_{fg} = calor latente de vaporización en condiciones internas, Btu/lbmv

En términos de la tasa de flujo volumétrico de aire, la ecuación 1-19 se convierte en:

$$ql = \frac{\dot{Q}}{v_o}(W_i - W_o)i_{fg} \quad (1-20)$$

Es fácil demostrar, utilizando las ecuaciones 1-17 y 1-19, que la infiltración puede dar cuenta de una gran parte de la carga térmica.

1.3.5.1. Método del cambio de aire

Se requiere experiencia y buen juicio para obtener resultados satisfactorios con este método. A menudo, los ingenieros experimentados simplemente hacen un cálculo del número de cambios de aire por hora (ACH) que experimenta un edificio, con base en la valoración realizada acerca del tipo de construcción y uso del edificio. El rango suele fluctuar de 0.5 ACH (muy bajo) a 2.0 ACH (muy alto). Los edificios de oficinas modernos experimentan una tasa de infiltración muy baja, la cual puede acercarse a 0.1 ACH. Este enfoque resulta satisfactorio para los cálculos de la carga de diseño, pero no es recomendable para el ingeniero principiante. La tasa de infiltración está relacionada con ACH y con el volumen de espacio, de la siguiente manera.

$$Q = \frac{ACH(V)}{C} \quad (1-21)$$

donde:

Q= tasa de infiltración, cfm o m³/s

V= volumen total del espacio, ft³ o m³

C= constante, 60 para unidades inglesas

1.3.6. Ganancias de calor interior

Las ganancias de calor interior (producidas por los ocupantes, luces y equipo) con frecuencia incrementan significativamente la carga de enfriamiento requerida en los edificios comerciales e institucionales. De hecho, en algunos edificios de oficinas grandes las ganancias de calor interior constituyen la carga de enfriamiento principal de tal forma que los edificios necesitan enfriamiento a lo largo de todo el año, incluso durante el invierno. Por lo tanto, las ganancias de calor interior constituyen una parte importante tanto del balance térmico de la

superficie interior (cuando se manifiestan en forma de radiación), como del balance térmico del aire de la zona (cuando se manifiestan en forma de convección).

1.3.6.1. Ocupantes

La ganancia de calor producida por los ocupantes tiene dos componentes: el componente sensible y el componente latente.

El calor total y las proporciones del calor sensible y latente varían, dependiendo del nivel de actividad de las personas. Frecuentemente se cometen errores en el cálculo de la ganancia del calor, debido a una inadecuada estimación de los períodos de ocupación de los recintos o del número de ocupantes. Sea muy realista en el cálculo del número de personas que habitualmente se encuentran en una estructura; tengan siempre en mente que rara vez se encuentran presente en las oficinas todos los miembros del personal y que las aulas no siempre están llenas. Por el contrario, lo usual es que los teatros estén completamente llenos, y en ocasiones rebasan su capacidad.

Por lo tanto, cada problema debe juzgarse de acuerdo con sus circunstancias. Con excepción de los teatros y otros espacios de alta ocupación, la mayoría de los recintos por lo general alberga menos ocupantes que lo calculado durante el diseño, así que no debe considerar un número mayor de personas que el equivalente a los ocupantes de tiempo completo. Las ganancias del calor latente y sensibles producidas por los ocupantes deben ser calculadas por separado hasta que se estime la carga de refrigeración del edificio, que es cuando se combinan los dos componentes.

Se supone que la ganancia de calor sensible lo hace con cierto retraso, dependiendo de la naturaleza del espacio acondicionado. Por lo general, se supone que 30 por ciento de la ganancia de calor sensible generada por los ocupantes es por convección (porción instantánea) y que 70 por ciento es por radiación (porción retardada)

1.3.6.2. Luces

Puesto que a menudo el alumbrado constituye la fuente principal de ganancia de calor interno, se necesita realizar una estimación de la ganancia total de calor en el espacio acondicionado. La tasa de la ganancia de calor en un momento dado puede ser muy diferente del equivalente térmico de la energía suministrada instantáneamente a estas luces. Parte de la energía emitida por las luces es en forma de radiación absorbida en el espacio acondicionado. Después, la energía absorbida en el espacio acondicionado. Después, la energía es transmitida al aire por convección. La manera en que están instaladas las luces, el tipo de sistema de distribución del aire y la masa de la estructura son factores importantes.

Un dispositivo de iluminación empotrado tendera a calentar la estructura que lo rodea, mientras que una lámpara colgante transmitirá su calor directamente al aire por convección. Algunas fuentes de luz están diseñadas de tal manera que el aire pasa a través de ellas, absorbiendo una porción de calor que de otro modo iría al espacio acondicionado. En ocasiones se apagan las luces para ahorrar energía, lo cual no permite realizar cálculos precisos. Cuando las luces permanecen encendidas 24 horas al día se produce una condición de equilibrio en la que la carga de enfriamiento es igual al consumo de energía.

La principal fuente de calor del sistema de iluminación son los elementos emisores de luz (las lámparas), aun cuando otros componentes asociados con las lámparas (como los reactores o balastras) pueden generar una cantidad adicional de calor. Se puede calcular la tasa de ganancia de calor producida por el sistema de iluminación de la siguiente manera:

$$Q=3.41WF_UF_S \quad (1-22)$$

donde:

q = ganancia de calor, Btu/hr

W = wataje total de iluminación instalada, W

F_U = factor de uso (relación, wataje en uso y el wataje total instalado)

F_S = factor especial de ajuste (factor de balastro, en el caso de lámparas fluorescentes o de halógeno)

La cantidad de watt total de iluminación se obtiene a partir del consumo total de las lámparas instaladas tanto para la iluminación general como para usos especiales, por ejemplo, anuncios o señales. El factor de uso es la relación entre la cantidad de watt en uso y la capacidad total instalada.

Para los programas de cálculo de la carga de enfriamiento de diseño, este número se obtiene generalmente sumando los valores de 24 mediciones, una cada hora del día. El factor especial de ajuste es para lámparas fluorescentes y de halógenos o para unidades de iluminación ventiladas de tal forma que solo una parte de su calor pasa al espacio acondicionado. En el caso de las lámparas fluorescentes, este factor toma en cuenta las pérdidas que ocurren en las balastras, las cuales pueden ser hasta 2.19 para accesorios de una lámpara de 32 W en circuitos de 277 voltios. Las lámparas de 40 W de encendido rápido tienen factores de ajuste que van desde 1.18 para lámparas gemelas en

circuitos de 277 voltios hasta 1.3 para lámparas unitarias en circuitos de 118 voltios con un valor recomendado de 1.20 para aplicaciones generales. Otras lámparas industriales que son fluorescentes, tales como las de vapor de sodio, pueden tener factores de ajuste que van desde 1.04 hasta 1.37. Los datos para un tipo de lámpara en particular los proporciona el fabricante. En el caso de unidades de iluminación ventiladas o empotradas, busque los datos proporcionados por el fabricante para determinar la fracción del wataje total que se espera que entre de manera directa al espacio acondicionado (sujeta al efecto de retardamiento) y compárela con la fracción que debe ser expulsada por el aire de retorno o de otra forma adecuada. En la estimación de la carga de diseño habitualmente puede calcularse la ganancia de calor para cada componente como una fracción de la ganancia de calor total por iluminación, utilizando el buen juicio para estimar el porcentaje de calor introducido al espacio y el porcentaje expulsado por el aire de retorno.

El porcentaje de calor por estas unidades fluctúa entre 40 y 60 por ciento para lámparas ventiladas y entre 15 y 25 por ciento para lámparas no ventiladas. Frecuentemente se da por supuesto que el 59 por ciento de la ganancia de calor producida por las lámparas fluorescentes es por radiación, y que el 41 por ciento restante es por convección. Se estima que la ganancia de calor producida por las lámparas incandescentes está constituida en un 80 por ciento por radiación y 20 por ciento por convección.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

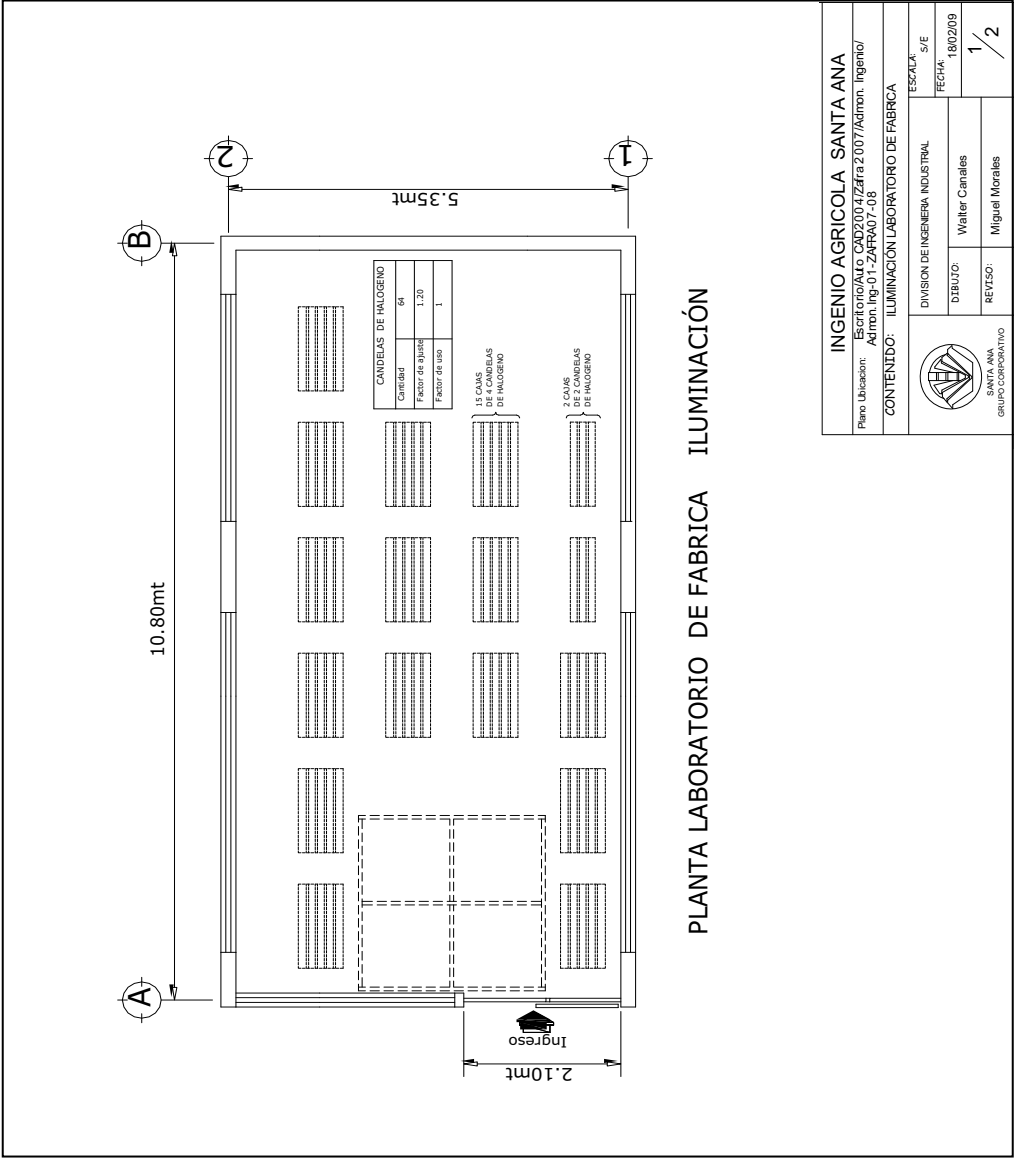
2.1. Identificación y evaluación de área de trabajo

Se identificó como única área crítica el “laboratorio de fábrica” debido a los siguientes factores:

- a) Los análisis fisicoquímicos que se realizan en el laboratorio, necesitan condiciones ambientales específicas de temperatura de bulbo seco, según ICUMSA, variaciones con amplitudes muy grandes y en intervalos cortos de tiempo pueden afectar considerablemente la exactitud y reproducibilidad de los resultados de los análisis.
- b) La unidad de aire acondicionado del laboratorio de fábrica debe de permanecer operando en período de zafra y no zafra.
- c) Es una sala donde además de equipos se encuentran colaboradores laborando las 24 horas, los 365 días del año, por lo que la humedad relativa es otro factor a tomar en cuenta, ya que una humedad relativa del 50% es la adecuada para el confort y la salud de los ocupantes.
- d) La temperatura y humedad relativa deseadas no se están logrando mantener con la unidad actualmente operando.

En la figura 7 y 8 se presentan los planos del laboratorio de fábrica.

Figura 7. Plano de Iluminación del laboratorio de fábrica

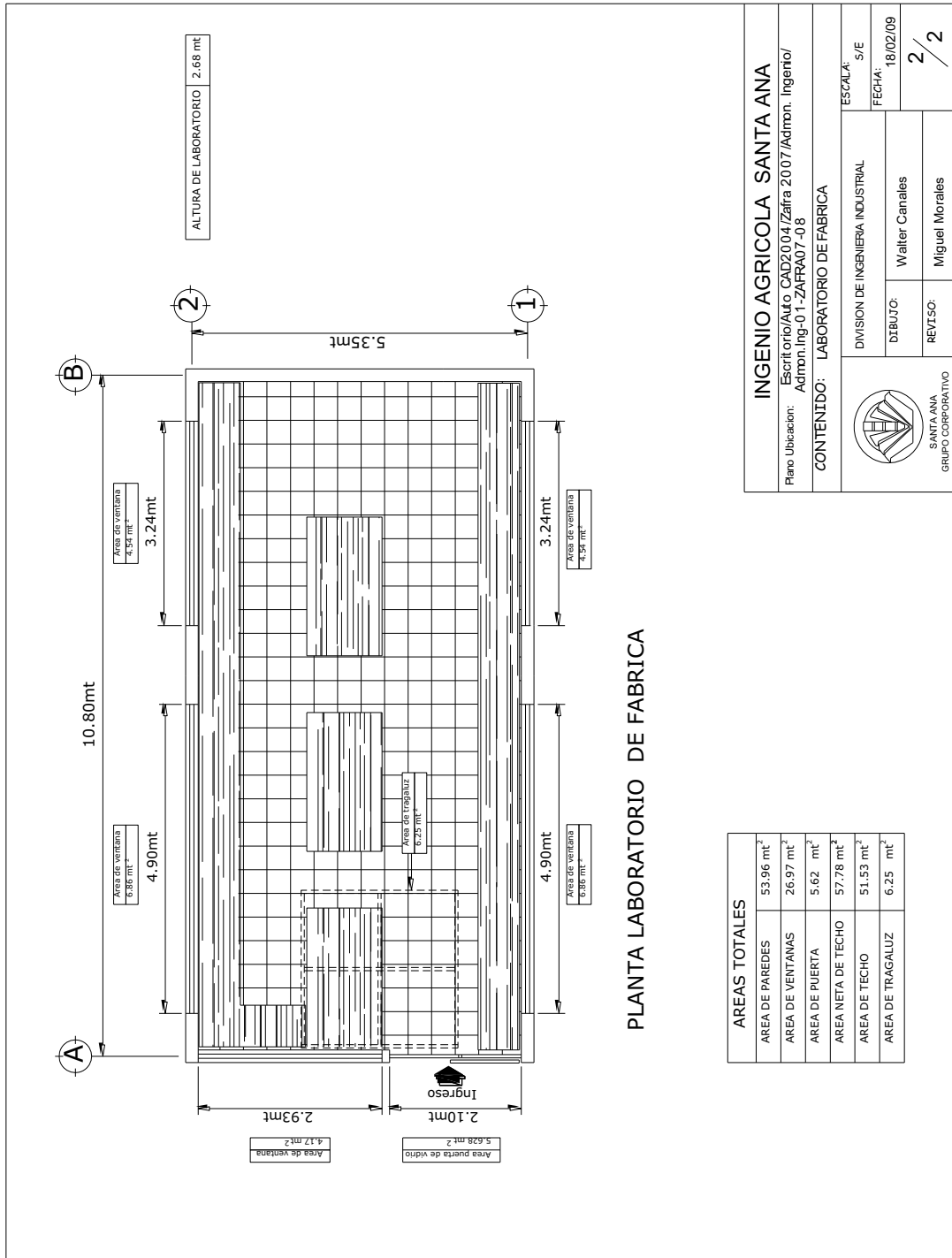


PLANTA LABORATORIO DE FABRICA ILUMINACIÓN

INGENIO AGRICOLA SANTA ANA	
Escritorio/Auto CAD2004/Zorra 2007/Adman. Ingenieros/Adman. Ing-01-ZAPPAU7-08	
CONTENIDO: ILUMINACIÓN LABORATORIO DE FABRICA	
ESCALA: S/E	
FECHA: 18/02/09	
DIBUJO:	Walter Canales
REVISO:	Miguel Morales
	1 / 2

Fuente: Departamento de dibujo Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

Figura 8. Plano de planta del laboratorio de fábrica



Fuente: Departamento de dibujo Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

2.2. Identificación de los factores que influyen en el acondicionamiento del aire

Las condiciones ambientales en la costa sur del país se caracterizan por su alta temperatura del bulbo seco y alto porcentaje de humedad relativa, aumentándose así considerablemente las cargas de calor por conducción e infiltración.

La ubicación del laboratorio de fábrica es un factor determinante en las cargas de calor, ya que al estar adentro de un complejo industrial que ha crecido por la constante alza de demanda de azúcar refinado así como de la alta competitividad del mercado, a este se le obstaculiza la radiación solar, también se cuenta con poca ventilación.

La naturaleza del proceso de la producción de la azúcar también es un factor a considerar, ya que se manejan altas temperaturas en casi todas las etapas del proceso, aumentando considerablemente la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

La mala ubicación de los evaporadores causada por la falta de espacio y la contaminación del ambiente con bagacillo de caña afecta directamente a los condensadores disminuyendo la eficiencia de las unidades de aire acondicionado considerablemente hasta llegar a reducir totalmente la capacidad de condensación.

2.3. Identificación de las necesidades de temperatura ambiental

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en el interior del laboratorio de fábrica deben de estar en un rango que satisfaga los requerimientos impuestos por ICUMSA (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*) y logre crear un ambiente confortable y sano para los colaboradores. ICUMSA es el ente que estandariza los métodos de análisis físico químicos de materiales azucarados, el cual establece que la temperatura ideal para realizar análisis físico químico de cualquier material azucarado debe de ser de 20° C, y para lograr un ambiente confortable y sano para los colaboradores se necesita mantener una humedad relativa de 50%.

2.4. Cálculos de Ingeniería

2.4.1. Cálculo de transmisión de calor a través de la estructura del edificio

2.4.1.1. Paredes

El cálculo de transmisión de calor a través de las paredes del laboratorio de fábrica debe comenzar por el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global, para lo cual se necesita la elaboración de una tabla que permita calcular la resistencia térmica total.

Tabla I. Resistencia térmica pared de laboratorio de fábrica

Ítem	Resistencia (R) hr-ft ² -F/Btu
Aire tranquilo	0.68
Revestimiento de yeso de 0.5 pulgadas	0.45
Bloque de concreto	0.97
Revestimiento de yeso de 0.5 pulgadas	0.45
Aire tranquilo	0.68
Resistencia térmica total (R)	3.23

Fuente: elaboración propia.

Fórmula a utilizar para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global:

$$U = \left(\frac{1}{R} \right)$$

Sustituyendo datos

$$U = \frac{1}{3.23 \left(\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F} / \text{Btu} \right)}$$

$$U = 0.3095 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F}}$$

Habiendo obtenido el coeficiente de transferencia de calor global, se puede aplicar la ecuación 1-16 para el cálculo de la transferencia de calor a través de la ventana:

$$q = UA(t_2 - t_1)$$

donde:

U = coeficiente de transferencia de calor global (Btu/hr-ft²-F)

A = área superficial (ft²)

t₂ = temperatura ambiental

t₁ = temperatura de diseño

Sustituyendo datos:

$$\dot{q} = 0.3095 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F}} * 580.59 \text{ft}^2 (91.4 \text{ F} - 68 \text{ F})$$

Calor total transmitido a través de las paredes del laboratorio de fábrica.

$$\dot{q} = 4,204.81 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

2.4.1.2. Ventanas

El cálculo de transmisión de calor a través de las ventanas del laboratorio de fábrica, debe comenzar por el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global, para lo cual se necesita la elaboración de una tabla que permita calcular la resistencia térmica total. Luego de haber llevado a cabo la realización de dicha tabla, se prosigue al cálculo del calor transmitido a través de la estructura de la ventana.

Tabla II. Resistencia térmica ventana de laboratorio de fábrica

Ítem	Resistencia (R) hr-ft ² -F/Btu
Aire tranquilo	0.68
Cristal sencillo de 1/4 de pulgada	1.136
Aire tranquilo	0.68
Resistencia térmica total (R)	2.496

Fuente: elaboración propia.

Fórmula a utilizar para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global:

$$U = \left(\frac{1}{R} \right)$$

Sustituyendo datos

$$U = \frac{1}{2.496 \left(\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F} / \text{Btu} \right)}$$

$$U = 0.4006 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F}}$$

Al obtener el coeficiente de transferencia de calor global se puede aplicar la ecuación 1-16 para el cálculo de la transferencia de calor a través de la ventana.

$$\dot{q} = \frac{-kA(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1}$$

$$\dot{q} = UA(t_2 - t_1)$$

donde:

U = coeficiente de transferencia de calor global (Btu/hr-ft²-F)

A = área superficial (ft²)

t₂ = temperatura ambiental

t₁ = temperatura diseño

Sustituyendo datos:

$$\dot{q} = 0.4006 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F}} * 290.15 \text{ft}^2 * (91.4\text{F} - 68\text{F})$$

Calor total transmitido a través de las ventanas del laboratorio de fábrica:

$$\dot{q} = 2,719.88 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

2.4.1.3. Puertas

El cálculo de transmisión de calor a través de la puerta del laboratorio de fábrica debe comenzar por el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global, para lo cual se necesita la elaboración de una tabla que permita calcular la resistencia térmica total.

Tabla III. Resistencia térmica puerta de laboratorio de fábrica

Ítem	Resistencia (R) hr-ft ² -F/Btu
Aire tranquilo	0.68
Puerta de aluminio con vidrio sin interrupción térmica	0.87
Aire tranquilo	0.68
Resistencia térmica total (R)	2.23

Fuente: elaboración propia.

Fórmula a utilizar para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global.

$$U = \left(\frac{1}{R} \right)$$

Sustituyendo datos

$$U = \frac{1}{2.23 \left(\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F} / \text{Btu} \right)}$$

$$U = 0.4484 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} - \text{ft}^2 - \text{F}}$$

Habiendo obtenido el coeficiente de transferencia de calor global se puede aplicar la ecuación 1-16 para el cálculo de la transferencia de calor a través de la puerta.

$$\dot{q} = \frac{-kA(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1}$$

$$\dot{q} = UA(t_2 - t_1)$$

donde :

U = coeficiente de transferencia de calor global (Btu/hr-ft²-F)

A = área superficial (ft²)

t₂ = temperatura ambiental

t₁ = temperatura de diseño

Sustituyendo datos

$$\dot{q} = 0.4484 \frac{Btu}{hr-ft^2-F} * 60.55ft^2 * (91.4F - 68F)$$

Calor total transmitido a través de la puerta del laboratorio de fábrica:

$$\dot{q} = 635.32 \frac{Btu}{hr}$$

2.4.1.4. Techo

El cálculo de transmisión de calor a través del techo del laboratorio de fábrica debe comenzar por el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global, para lo cual se necesita la elaboración de una tabla que permita calcular la resistencia térmica total.

Tabla IV. **Resistencia térmica techo de laboratorio de fábrica**

Ítem	Resistencia (R) hr-ft ² -F/Btu
Aire tranquilo	0.68
Losa de concreto de 4 pulgadas	4.44
Aire tranquilo	0.68
Resistencia térmica total (R)	5.8

Fuente: elaboración propia.

Fórmula a utilizar para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global.

$$U = \left(\frac{1}{R} \right)$$

Sustituyendo datos:

$$U = \frac{1}{5.8 \left(\frac{hr - ft^2 - F}{Btu} \right)}$$

$$U = 0.1724 \frac{Btu}{hr - ft^2 - F}$$

Obsérvese que el calor puede entrar al espacio acondicionado a través del techo o de la pared que lo envuelve por lo que es necesario hacer el cálculo tomando la resistencia del techo y de la pared en paralelo.

$$R'Total = \frac{1}{(Cpared * Acontacto) + (CtechoAtecho)}$$

donde:

C = conductancia

A = área

Sustituyendo datos:

$$R'Total = \frac{1}{\left(0.3095 \frac{Btu}{hr - ft^2 - ^\circ F} * 35.1416 ft^2 \right) + \left(0.1724 \frac{Btu}{hr - ft^2 - ^\circ F} * 554.38 ft \right)}$$

$$R'Total = 0.0093 \frac{hr - F}{Btu}$$

Se procede a calcular la resistencia térmica unitaria del techo.

$$UTotal = \left(\frac{1}{R'Total * ATotal} \right)$$

Sustituyendo datos:

$$UTotal = \frac{1}{0.0093 \frac{hr - F}{Btu} * 554.38ft^2}$$

$$U = 0.1940 \frac{Btu}{hr - ft^2 - F}$$

El resultado del coeficiente de transferencia de calor global se puede aplicar la ecuación 1-16 para el cálculo de la transferencia de calor a través del techo.

$$q = \frac{-kA(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1}$$

$$\dot{q} = UA(t_2 - t_1)$$

donde :

U = coeficiente de transferencia de calor global (Btu/hr-ft²-F)

A = área superficial (ft²)

t₂ = temperatura ambiental

t₁ = temperatura de diseño

Sustituyendo datos:

$$\dot{q} = 0.1940 * 554.38ft^2 (91.4F - 68F)$$

Calor total transmitido a través del techo del laboratorio de fábrica.

$$\dot{q} = 2,516.66 \frac{Btu}{hr}$$

2.4.1.5. Tragaluz

El cálculo de transmisión de calor a través del tragaluz del laboratorio de fábrica debe comenzar por el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global, para lo cual se necesita la elaboración de una tabla que nos permita calcular la resistencia térmica total.

Tabla V. **Resistencia térmica tragaluz de laboratorio de fábrica**

Ítem	Resistencia (R) hr-ft ² -F/Btu
Aire tranquilo	0.68
Cristal sencillo de 1/4 de pulgada	1.136
Aire tranquilo	0.68
Resistencia térmica total (R)	2.496

Fuente: elaboración propia.

Fórmula a utilizar para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global:

$$U = \left(\frac{1}{R} \right)$$

Sustituyendo datos:

$$U = \frac{1}{2.496 \left(\frac{hr - ft^2 - F}{Btu} \right)} \quad U = 0.4006 \frac{Btu}{hr - ft^2 - ^\circ F}$$

Al obtener el coeficiente de transferencia de calor global se puede aplicar la ecuación 1-16 para el cálculo de la transferencia de calor a través del tragaluz:

$$\dot{q} = \frac{-kA(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1}$$

$$\dot{q} = UA(t_2 - t_1)$$

donde:

U = coeficiente de transferencia de calor global (Btu/hr-ft²-F)

A = área superficial (ft²)

t₂ = temperatura ambiental

t₁ = temperatura de diseño

Sustituyendo datos:

$$\dot{q} = 0.4006 * 67.24ft^2 * (91.4^\circ F - 68^\circ F)$$

Calor total transmitido a través del tragaluz del laboratorio de fábrica

$$\dot{q} = 630.31 \frac{Btu}{hr}$$

2.4.2. Cálculo de ganancias internas de calor

El cálculo de las ganancias internas de calor es de suma importancia, ya que constituyen en la mayoría de los casos una gran parte del calor sensible y latente a remover del espacio acondicionado con las unidades de aire acondicionado. A continuación realizan los cálculos de ganancias internas de

calor para el laboratorio de fábrica, dicha carga se compone de carga por ocupantes y por equipos eléctricos.

2.4.2.1. Personas

El cálculo de ganancia de calor latente y sensible en un espacio acondicionado debido a personas se basa en el nivel de actividad de las mismas, ya que a mayor actividad más aporte de calor sensible y latente hacia el ambiente. A continuación se presenta el cálculo de ganancia de calor debido al metabolismo de personas.

Tabla VI. **Listado de ocupantes del laboratorio de fábrica por turno**

Puesto	No. Colaboradores
Analista general	1
Analista de refinería	1
Ayudante de analista de refinería	1
Analista de Fabrica	1
Ayudante de Analista de fabrica	1
Analista de agua de calderas	1
Ayudante General	1
Total de ocupantes por turno	7

Fuente: elaboración propia.

No. de colaboradores en el espacio acondicionado por turno = 7

Aporte de calor por personas: $300 \frac{Btu}{hr}$ calor sensible, $150 \frac{Btu}{hr}$ calor latente

- Cálculo de calor sensible

Fórmula a utilizar:

$$\dot{q}_{sensible} = (\text{No. personas}) * (\dot{q}_{sensible} \frac{\text{Btu}}{\text{hr}})$$

Sustituyendo datos:

$$\dot{q}_{sensible} = (7 \text{ personas}) * (300 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}})$$

Aporte de calor sensible al ambiente acondicionado:

$$\dot{q}_{sensible} = 2,100 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

- Cálculo de calor latente:

Fórmula a utilizar:

$$\dot{q}_{latente} = (\text{No. personas}) * (\dot{q}_{latente} \frac{\text{Btu}}{\text{hr}})$$

Sustituyendo datos:

$$\dot{q}_{latente} = (7 \text{ personas}) * (150 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}})$$

Aporte de calor sensible al ambiente acondicionado:

$$\dot{q}_{sensible} = 1,050 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

2.4.2.2. Iluminación

La iluminación constituye a menudo la mayor ganancia de calor, por lo que es de suma importancia su correcto cálculo, tomando en cuenta el tipo de unidades luminosas utilizadas, así como el tiempo de uso de las mismas; en el caso del laboratorio de fábrica, la iluminación se utiliza las 24 hrs, por lo que

hay un equilibrio en la carga térmica hacia el ambiente. A continuación se presenta el cálculo de la ganancia de calor debido a la iluminación.

Fórmula a utilizar:

$$\dot{q}_{\text{iluminacion}} = 3.41 * W * Fu * Fs$$

Donde:

W = consumo

Fu= factor de uso

Fs = factor de ajuste

Sustituyendo datos:

$$\dot{q}_{\text{sensible}} = 3.41 * 2560W * 1 * 1.20$$

Ganancia de calor debido a iluminación

$$\dot{q}_{\text{sensible}} = 10475,52 \frac{Btu}{hr}$$

2.4.2.3. Equipos eléctricos

Los equipos eléctricos o misceláneos son otra importante fuente de ganancia de calor dentro de espacios acondicionados y esta depende de la potencia consumida por los mismos.

Tabla VII. **Consumo de potencia de equipos eléctricos del laboratorio de fábrica**

Cantidad	Descripción equipo	Watts/unidad	Watts totales
1	Horno eléctrico, Blue M. Electric	1560	1560
1	Balanza de humedad, Mettler	430	430
1	Balanza de humedad, Ohaus	480	480
1	Balanza de humedad, Denver Instrument	620	620
2	Agitador magnético, Lab Line	180	360
1	Baño ultrasónico, Lab Line	90	90
2	Bomba de vacío, GAST	480	960
1	Agitador, I.K.A	50	50
1	Baño maría, Blue M. Electric	850	850
1	Desintegrador de muestras, TecnoI	1500	1500
1	Baño ultrasónico, Branson	940	940
1	Agitador, Phipps & Bird	250	250
4	Balanza analítica, Mettler	7.2	28.8
4	Computadora de escritorio, Hp Compaq	300	1200
1	Dispensador de agua, General Electric	540	540
	Watts misceláneos totales		9858.8

Fuente: elaboración propia.

Al obtener la potencia consumida por los equipos eléctricos ésta se multiplica por un factor de uso.

Fórmula a utilizar:

$$\dot{Q}_{equipos} = 3.41 * W * Fu$$

Donde:

W = consumo

Fu= factor de uso

Sustituyendo datos:

$$q_{equipos} = 3.41 * 9858.8W * 1$$

Ganancia de calor debida a los equipos eléctricos:

$$q_{equipos} = 33618.50 \frac{Btu}{hr}$$

2.4.3. Ganancia de calor por infiltración o ventilación

Para calcular correctamente la ganancia de calor debido al flujo de aire que existe en el espacio acondicionado, se debe determinar la necesidad de ventilación de los colaboradores, esta debe de ser siempre menor que la tasa de infiltración que se da a través de la estructura del edificio, asegurándose de este modo el confort de los colaboradores, en este caso la ganancia de calor se calcula con la tasa de infiltración, en caso contrario se calcula la ganancia de calor con las necesidades de ventilación.

2.4.3.1. Cálculo de tasa de infiltración

Fórmula a utilizar

$$\dot{Q} = \frac{(ACH)(V)}{C}$$

Donde:

\dot{Q} = tasa de infiltración, ft³/min

V = volumen total del espacio

C = constante, 60 para unidades inglesas

Sustituyendo datos:

$$\dot{Q} = \frac{(2)(35.42ft * 17.54ft * 8.79ft)}{60}$$

$$\dot{Q} = 182.03ft^3 / min$$

2.4.3.2. Cálculo de necesidad de ventilación

Ft³/min necesarias = 15 f³/min

Número de personas= 7

Cálculo:

$$\dot{Q} = \frac{ft^3 / min}{personas} * (personas)$$

$$\dot{Q} = 15 \frac{ft^3 / min}{personas} * (7 personas)$$

$$\dot{Q} = 105 ft^3 / min$$

Debido a que la tasa de infiltración es mayor que las necesidades de ventilación del espacio acondicionado, el cálculo de la ganancia de calor sensible y latente se realiza con la tasa de infiltración.

2.4.3.3. Cálculo de calor sensible

Fórmula a utilizar

$$q = \frac{\dot{Q}Cp(t_0 - t_i)}{v_o}$$

Donde:

\dot{Q} = tasa de flujo volumétrico, ft³/hr o m³/s

v_o = volumen específico, ft³/lbm o m³/kg

C_p = capacidad térmica específica del aire, Btu/(lbm-F) o J/(Kg-C)

Sustituyendo datos:

$$\dot{q} = \frac{182.03 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{min}}{1 \text{hr}} * 0.245 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm-F}} (91.4\text{F} - 68\text{F})}{13.44 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbma}}}$$

Ganancia de calor sensible al ambiente acondicionado

$$\dot{q} = 4,658.83 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

2.4.3.4. Cálculo de calor latente

Datos

Exterior: T bulbo seco: 91.4 F
Humedad relativa: 70%

Interior o diseño: T bulbo seco = 68 F
Humedad relativa: 50%

Fórmula a utilizar:

$$\dot{q}_l = \frac{\dot{Q}(W_i - W_o) i_{fg}}{v_o}$$

donde:

$W_i - W_o$ = diferencial en la relación de la humedad de diseño, lbmv/lbma

i_{fg} = calor latente de vaporización en condiciones internas, Btu/lbm

\dot{Q} = tasa de flujo volumétrico, ft³/hr o m³/s

v_o = volumen específico, ft³/lbm o m³/kg

Utilizando la carta psicométrica, la fórmula anterior se puede expresar como:

$$q_l = \frac{\dot{Q}(\Delta i)}{v_o}$$

donde:

Δi = cambio de entalpia debido a la remoción de humedad, lbmv/lbma

v_o = volumen específico, ft³/lbm o m³/kg

\dot{Q} = tasa de flujo volumétrico, ft³/hr o m³/s

$$\dot{q} = \frac{182.03 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} (46 - 30) \text{ Btu / lbma}}{13.44 \text{ ft}^3 / \text{lbma}}$$

Ganancia de calor latente al ambiente acondicionado:

$$\dot{q} = 13,002.14 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

2.5. Propuesta de cambio de unidad crítica de aire acondicionado

Las unidades de aire acondicionado deben modificarse o remplazarse con más frecuencia que el resto de los sistemas de los edificios, a medida que se desgastan y se hacen obsoletos y ya no pueden satisfacer los nuevos requerimientos de calidad de aire en interiores, cabe mencionar que en la

mayoría de casos las unidades de aire son instaladas sin antes realizar ningún tipo de estudio de cargas de enfriamiento y mucho menos tomando en cuenta los requerimientos de calidad del aire para un correcto funcionamiento de los equipos que allí operan.

La propuesta de cambio de unidad de aire acondicionado que a continuación se muestra está fundamentada en cálculos de ingeniería, y tomando en cuenta los requerimientos de calidad de aire tanto para la correcta operación de los equipos así como el confort de los ocupantes del espacio acondicionado.

Tabla VIII. Resumen de carga de calor debido a conducción en laboratorio de fábrica

	Área pies ²	U Btu/hr-ft ² -F	Δt (F)	Q sensible Btu/hr	Q latente Btu/hr
Pared	580,59	0,3095	23,40	4204,81	
Ventanas	290,15	0,4006	23,40	2719,88	
Puerta	60,55	0,4484	23,40	635,32	
Techo	554,38	0,1940	23,40	2516,66	
Tragaluz	67,24	0,4006	23,40	630,31	
Carga de calor total por conducción				10 706,98	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Resumen de carga interna de calor debido a personas en laboratorio de fábrica

	No. personas	Qs/persona Btu/hr/persona	Ql/persona Btu/hr/persona	Q sensible Btu/hr	Q latente Btu/hr
Personas	7	300	150	2 100	1 050
Carga de calor total por cargas internas de personas				2 100	1 050

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resumen de carga interna de calor debido a iluminación y equipos eléctricos de laboratorio de fábrica**

	Potencia	Fs	Fu	Q sensible	Ql atente
	watts			Btu/hr	Btu/hr
Iluminación	2 560	1,2	1	10 475,52	
Misceláneos	9 858,8		1	33 618,51	
Carga de calor total				44 094,03	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resumen de carga de calor debido a infiltración en laboratorio de fábrica**

	Volumen espacio ft ³	Tasa de Infiltración ft ³ /min	Q sensible Btu/hr	Q latente Btu/hr
Infiltración	5 460,93	182,03	4 658,83	13 002,14
Carga de calor total por infiltración			4 658,83	13 002,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resumen de cargas de calor en laboratorio de fábrica**

Carga de calor sensible (Btu/hr)	61 559,84
Carga de calor latente (Btu/hr)	14 052,14
Carga total de calor (Btu/hr)	75 611,98
Factor de seguridad, 20% Carga total de calor (Btu/hr)	15 122,40
Carga total de calor (Btu/hr) más factor de seguridad	90 734,38
Capacidad de equipo a instalar (Toneladas de refrigeración)	7.561198

Fuente: elaboración propia.

Basados en los resultados de los cálculos de ingeniería, la capacidad estimada de la unidad de aire acondicionado debe ser capaz de remover 90 734,37 Btu/hr, por lo que se recomienda la instalación de un equipo de 8 toneladas de refrigeración, ya que con esto se garantizan las condiciones ambientales internas adecuadas tanto para la operación de los equipos de laboratorio, como el confort de los colaboradores.

2.6. Plan de mantenimiento preventivo de unidades de aire acondicionado actualmente operando

El plan de mantenimiento preventivo de las unidades de aire acondicionado, que actualmente operan, estará enfocado a mantener la calidad de servicio que las unidades prestan al proceso de elaboración de azúcar en las diferentes salas de control y operación de la compañía, para lograr este objetivo el plan cuenta de los siguientes pasos:

- a) Identificación de las unidades
- b) Establecimiento de la frecuencia de mantenimiento
- c) Creación de procedimientos de mantenimiento
- d) Lista de repuestos

Estos pasos permitirán llevar el control del mantenimiento preventivo, logrando con ello mantener las unidades operando y prestando el servicio entre los rangos requeridos para cada sala.

2.6.1. Identificación de la unidades de aire acondicionado

Como primer paso, se debe identificar las unidades de aire acondicionado que entraran en el plan de mantenimiento preventivo, para lograr este objetivo

se llevó a cabo un levantamiento en campo de las características básicas de los aires que estarán sujetos al plan de mantenimiento, esta información se puede observar en la figura 9.

Figura 9. Hoja de Inventario de unidades de aire acondicionado

INVENTARIO UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO						
						 Santa Ana Grupo Corporativo
No.	codigo	Descripcion y ubicación	Tipo	Capacidad Btu/hr.	Marca	Clasificacion
1	0931-0246	A/C CALDERA 7	Split	60000	Carrier	No Crítico
2	0931-0248	A/C CCM EVAPORACION Y TACHOS #1	Split	60000	Carrier	No Crítico
3	0931-0163	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 No. 1	Split	60000	Carrier	No Crítico
4	0931-0164	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 No. 2	Split	60000	Carrier	No Crítico
5	0931-0165	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No. 1	Split	60000	Carrier	No Crítico
6	0931-0220	A/C SALA VARIADORES MOLINOS TA #1	Split	60000	Carrier	No Crítico
7	0931-0221	A/C SALA VARIADORES MOLINOS TA# 2	Split	60000	Carrier	No Crítico
8	0931-0228	A/C CUARTO CENTRIFUGA CONTINUA	Split	60000	Carrier	No Crítico
9	0931-0225	A/C LABORATORIO DE CAÑA. NIR SYSTEM	Split	60000	Carrier	No Crítico
10	0931-0226	A/C LABORATORIO DE CAÑA, MICROBIOLOGIA	Split	60000	Carrier	No Crítico
11	0931-0227	A/C SALA PMC TACHO CONTINUO 2	Split	60000	Carrier	No Crítico
12	0931-0229	A/C SALA TABLERO ELECTRICO REFINERIA	Split	60000	Carrier	No Crítico
13	0931-0230	A/C SALA CALDERA 1	Split	60000	Carrier	No Crítico
14	0931-0166	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No.2	Split	60000	Carrier	No Crítico
15	0931-0277	A/C PMC EVAPORACION Y TACHOS #2	Split	60000	Carrier	No Crítico
16	0931-0278	A/C CCM REFINERIA	Split	60000	Carrier	No Crítico
17	0931-0279	A/C CCM EVAPORACION Y TACHOS #2	Split	60000	Carrier	No Crítico
18	0931-0154	A/C SALA DE SERVIDORES No.3	Mini Split	18000	Carrier	No Crítico
19	0931-0156	A/C SALA 1 DE VARIADORES COGENERACION	Mini Split	24000	Rheem	No Crítico
20	0931-0157	A/C CCL AUTOMATIZACION 1	Mini Split	12000	Rheem	No Crítico
21	0931-0017	A/C PLANTA DE AGUA PURA SANTA ANA	Mini Split	24000	Carrier	No Crítico
22	0931-0023	A/C SALA 2 VARIADORES COGENERACION	Mini Split	24000	Carrier	No Crítico
23	0931-0030	A/C LABORATORIO DE CAÑA	Mini Split	24000	Rhould	No Crítico
24	0931-0249	A/C LABORATORIO DE CAÑA. CROMATOGRAFIA	Mini Split	24000	Carrier	No Crítico
25	0931-0032	A/C SALA DE SERVIDORES No.2	Mini Split	24000	Carrier	No Crítico
26	0931-0195	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No.1	Mini Split	24000	Carrier	No Crítico
27	0931-0158	A/C SERVIDORES 1 AUTOMATIZACION	Mini Split	24000	Carrier	No Crítico
28	0931-0159	A/C SERVIDORES 2 AUTOMATIZACION	Mini Split	60000	Carrier	No Crítico
29	0931-0082	A/C SALA MOLINOS	Mini Split	60000	Carrier	No Crítico
30	0931-0210	A/C SALA EVAPORACION	Mini Split	60000	Carrier	No Crítico
31	0931-0211	A/C SALA CCM CALDERA 5	Mini Split	60000	Carrier	No Crítico
32	0931-0212	A/C LABORATORIO DE FABRICA	Mini Split	60000	Rheem	Crítico

Fuente: Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

Luego del levantamiento de información principal, se creará un documento único de identificación que contendrá la información necesaria para la identificación inequívoca de la unidades de aire acondicionado, también permitirá el control de los mantenimientos preventivos, no es necesario que en ellas se escriba el procedimiento del mantenimiento programado ni observaciones detalladas, solo referencias a otros documentos que puedan brindar dicha información. Este documento se puede observar en la figura 10.

Figura 10. **Hoja de control de unidad de aire acondicionado 0931 – 0046**

HOJA DE CONTROL SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO			
			
Código	Ubicación	Capacidad (Btu)	
0931-0046	Laboratorio de Fabrica	60,000	
Marca	CARRIER		
Modelo	38CKB060500		
Serie	1896E18090		
Tipo	SPLIT		
Designación electrica	220V-1PH-60Hz		
Refrigerante	R-410A		
Carga de refrigerante	2.2 Kg.		
Compresor			
No./ Tipo	1/Scroll		
Ventilador Evaporador			
No. Motores/Hp/rpm	1 / 1/3 Hp / 875		
Ventilador Condensador			
No. Motores/Hp/rpm	1 / 1/3 Hp / 1080		
Observaciones			
Tipo de Mantenimiento	Fecha	Responsable de Mantenimiento	No de aviso

Fuente: Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

2.6.2. Frecuencia de mantenimiento


La frecuencia de mantenimiento de las unidades de aire acondicionado depende de varios factores entre ellos se pueden mencionar:

- a) Recomendación del fabricante
- b) Condiciones ambientales de operación
- c) Naturaleza del proceso al cual la unidad está prestando el servicio.

En Corporación Agrícola Industrial Santa Ana, S.A. las condiciones de operación son severas, ya que el aire que circula por los condensadores está saturado de bagacillo, la naturaleza del proceso de producción de azúcar no permite desmontar la unidad para su mantenimiento preventivo durante la zafra la cual comprende de cinco a seis meses del año.

Tomando en cuenta los factores anteriormente mencionados, se llegó a la conclusión que las unidades de aire acondicionado necesitan un mantenimiento preventivo mayor cada año y rutinas de Inspección V.O.S.O. diarias, a continuación se presenta en la fig.11 la frecuencia de actividades de mantenimiento preventivo.

Figura 11. Hoja de frecuencia de actividades de mantenimiento preventivo

FRECUENCIA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UNIDAD CRITICA DE AIRE ACONDICIONADO			
Codigo Equipo			
Descripcion del Equipo			
Ubicacion			
No. de aviso de mantenimiento			
			
Definición de Actividades	Texto extendido	Frecuencia	
		Diario	Anual
1	Medicion inicial de parametros de operacion		X
2	Concentracion de refrigerante en condensador		X
3	Revision de condensador		X
4	Desmontaje y revision de evaporador		X
5	Mantenimiento del motor electrico		X
6	Revision de compresor		X
7	Revision general sistema electrico		X
8	Revision general de la estructura		X
9	Arme y montaje de unidades		X
10	Revision de fugas y carga de refrigerante		X
11	Prueba general del sistema		X
12	Toma de temperatura del ambiente refrigerado	X	
13	Revision de flujo de aire condensador	X	
14	Revision de flujo de aire en evaporador	X	
15	Limpieza de serpentines	X	
16	Revision de estado del cableado electrico	X	
17	Revision de estado de drenajes	X	

Fuente: Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

En la figura 12, se muestra la calendarización de los mantenimientos preventivos para las unidades actualmente operando en la corporación.

Figura 12. Hoja de calendarización de mantenimiento preventivo

CALENDARIZACION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO					Personal		
No.	codigo	Descripcion y ubicación	Tipo Mantenimiento	Fecha de Mantenimiento	Supervisor	Tecnico	ayudante
1	0931-0246	A/C CALDERA 7	Preventivo Mayor	10-mar	1	2	2
2	0931-0248	A/C COM EVAPORACION Y TACHOS #1	Preventivo Mayor	18-mar	1	2	2
3	0931-0163	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 No. 1	Preventivo Mayor	26-mar	1	2	2
4	0931-0164	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 No. 2	Preventivo Mayor	03-abr	1	2	2
5	0931-0165	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No. 1	Preventivo Mayor	11-abr	1	2	2
6	0931-0220	A/C SALA VARIADORES MOLINOS TA#1	Preventivo Mayor	19-abr	1	2	2
7	0931-0221	A/C SALA VARIADORES MOLINOS TA# 2	Preventivo Mayor	27-abr	1	2	2
8	0931-0228	A/C CUARTO CENTRIFUGA CONTINUA	Preventivo Mayor	05-may	1	2	2
9	0931-0225	A/C LABORATORIO DE CAÑA. NIR SISTEM	Preventivo Mayor	13-may	1	2	2
10	0931-0226	A/C LABORATORIO DE CAÑA, MICROBIOLOGIA	Preventivo Mayor	21-may	1	2	2
11	0931-0227	A/C SALA PMC TACHO CONTINUO 2	Preventivo Mayor	29-may	1	2	2
12	0931-0229	A/C SALA TABLERO ELECTRICO REFINERIA	Preventivo Mayor	06-jun	1	2	2
13	0931-0230	A/C SALA CALDERA 1	Preventivo Mayor	14-jun	1	2	2
14	0931-0166	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No.2	Preventivo Mayor	22-jun	1	2	2
15	0931-0277	A/C PMC EVAPORACION Y TACHOS #2	Preventivo Mayor	30-jun	1	2	2
16	0931-0278	A/C COM REFINERIA	Preventivo Mayor	08-jul	1	2	2
17	0931-0279	A/C COM EVAPORACION Y TACHOS #2	Preventivo Mayor	16-jul	1	2	2
18	0931-0154	A/C SALA DE SERVIDORES No.3	Preventivo Mayor	24-jul	1	2	2
19	0931-0156	A/C SALA 1 DE VARIADORES COGENERACION	Preventivo Mayor	01-ago	1	2	2
20	0931-0157	A/C CCL AUTOMATIZACION 1	Preventivo Mayor	09-ago	1	2	2
21	0931-0017	A/C PLANTA DE AGUA PURA SANTA ANA	Preventivo Mayor	17-ago	1	2	2
22	0931-0023	A/C SALA 2 VARIADORES COGENERACION	Preventivo Mayor	25-ago	1	2	2
23	0931-0030	A/C LABORATORIO DE CAÑA	Preventivo Mayor	02-sep	1	2	2
24	0931-0249	A/C LABORATORIO DE CAÑA, CROMATOGRAFIA	Preventivo Mayor	10-sep	1	2	2
25	0931-0032	A/C SALA DE SERVIDORES No.2	Preventivo Mayor	18-sep	1	2	2
26	0931-0195	A/C CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No.1	Preventivo Mayor	26-sep	1	2	2
27	0931-0158	A/C SERVIDORES 1 AUTOMATIZACION	Preventivo Mayor	04-oct	1	2	2
28	0931-0159	A/C SERVIDORES 2 AUTOMATIZACION	Preventivo Mayor	12-oct	1	2	2
29	0931-0082	A/C SALA MOLINOS	Preventivo Mayor	20-oct	1	2	2
30	0931-0210	A/C SALA EVAPORACION	Preventivo Mayor	28-oct	1	2	2
31	0931-0211	A/C SALA COM CALDERA 5	Preventivo Mayor	05-nov	1	2	2
32	0931-0212	A/C LABORATORIO DE FABRICA	Preventivo Mayor	13-nov	1	2	2

Fuente: Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

2.6.3. Procedimiento de mantenimiento

Un procedimiento de mantenimiento es una lista de pasos necesarios que se deben de seguir para la realización del mantenimientos del equipo; estos pasos deben de ser elaborados por las indicaciones que el fabricante señala en el manual de mantenimiento, y por las condiciones de operación del equipo.

El procedimiento que se utilizara para la realización del mantenimiento preventivo mayor de las unidades de aire acondicionado se describe a continuación y se puede ver en la figura 13.

2.6.3.1. Medición inicial de parámetros de operación

Este es el comienzo del mantenimiento preventivo programado de toda unidad de aire acondicionado, en este paso se puede detectar cualquier problema, gracias a la toma de presiones y amperajes, la presión y amperajes será un indicativo del funcionamiento de la unidad.

2.6.3.1.1. Manómetros

Son usados para determinar las condiciones de presión y temperatura dentro de un sistema de refrigeración, existen dos tipos de manómetros en la industria de la refrigeración siendo estos:

a) Manómetros compuestos

Son de color azul, se utilizan para medir presiones y temperaturas en el lado de baja presión del sistema, poseen una escala que va desde 0 a 250 psi;

además, están compuestos por la escala de vacío que mide presiones por debajo de la presión atmosférica desde 0 a 30 pulgadas de mercurio.

b) Manómetros de alta

Son de color rojo, se utilizan para medir presiones y temperatura en el lado de alta presión del sistema, poseen una escala que va desde las 0 y 500 psi.

2.6.3.2. Concentración de refrigerante en condensador

Este paso consiste en la concentración de refrigerante en el condensador y el compresor, esto permite el desmontaje de de los equipos que conforman la unidad de aire acondicionado, evitando fugas de refrigerante, para llevar a cabo este paso se pone en funcionamiento la unidad de aire acondicionado seguidamente se cierra la válvula de descarga del condensador, se observa que la presión en la succión del compresor llegue a valores de vacío asegurándose que no quede refrigerante en la unidad evaporadora, por último se cierra la válvula de succión del compresor quedando así el refrigerante concentrado en el compresor y la unidad de condensación.

2.6.3.3. Revisión de condensador

Este paso tiene como objetivo darle mantenimiento preventivo al condensador, se lavan y peinan los serpentines, esto para mejorar el flujo de aire entre ellos y así hacer más eficiente la transferencia de calor del refrigerante al ambiente, se revisa el filtro deshidratador si este presenta deterioro se procede a cambiar, ya que estos son desechables, se cambia también el visor de líquido, el cual permite detectar humedad en el sistema.

2.6.3.3.1. Condensador

La operación de un condensador es justamente contraria a la de un evaporador. El gas refrigerante, caliente y a alta presión cede calor a los alrededores, sea agua o aire, condensándose y almacenándose hasta que se necesite en el evaporador.

Los condensadores frecuentemente son suministrados en combinación con un compresor; cuando se suministran como un componente unitario se les llama unidad de alta o unidad de condensación.

El condensador debe de ser del tamaño adecuado para eliminar todo el calor añadido al refrigerante. Esto supone un gran trabajo; pues no solo incluye la eliminación del calor absorbido en el evaporador, sino también el calor producido durante la compresión.

Existen varios tipos de condensadores, los enfriados por aire estos poseen aletas, un ventilador para mejorar el flujo de calor y pueden ser de circuitos múltiples. Deben conservarse muy limpios para obtener una mayor eficiencia cualquier señal de basura o grasa en los tubos disminuye la transferencia de calor.

Los condensadores enfriados por agua son utilizados para eliminar el problema de fluctuación de temperatura del aire, por lo cual se utiliza agua como medio de enfriamiento lo que permite mantener baja la presión de condensación, ya que el agua tiende a permanecer fría y estable aun en climas calientes, este tipo de condensadores puede manejar grandes cargas y pueden hacerse más compactos ya que el agua absorbe más Btu que el aire.

Los condensadores evaporativos, estos economizan el consumo de agua, con una combinación del condensador y torre de agua. El refrigerante es recirculado a través del serpentín y el agua es constantemente bombeada de la parte inferior de la torre a la superior donde cae sobre los serpentines del refrigerante. Parte del agua se evapora enfriando el resto, que a su vez enfría el refrigerante.

2.6.3.4. Desmontaje y revisión de evaporador

El desmontaje de la unidad después de la medición de parámetros de operación y concentración de refrigerante en la unidad de condensación, permite trasladar la unidad hacia un taller con las herramientas necesarias para dar comienzo a su mantenimiento preventivo, se revisa físicamente la turbina se protege de la corrosión con una pintura anticorrosiva, se peina y limpia el serpentín, esto también permite determinar si es necesario o no el cambio de partes importantes que tal vez todavía no están afectando los parámetros de operación pero en un futuro no muy lejano podría comprometerlos. Para llevar a cabo el desmontaje de la unidad el técnico debe tener el conocimiento del funcionamiento básico de la unidad así como conocer las partes que la componen.

2.6.3.4.1. Evaporador

La primera etapa en la operación de un evaporador es el flujo de refrigerante líquido dentro del tubo, este flujo puede ser hacia arriba o hacia abajo.

La segunda etapa es el intercambio de calor del aire al refrigerante produciendo como resultado que el aire pierda calor y se baje su temperatura y la evaporación del refrigerante al absorber dicho calor.

La tercera etapa es en la cual se extrae por medio del compresor el refrigerante gaseoso del evaporador, lo que deja espacio libre para permitir la entrada de más refrigerante líquido y mantiene una baja presión en el refrigerante líquido remanente que permite que se evapore a una temperatura baja.

Existen varios tipos de evaporador, los evaporadores de expansión seca: con aquellos en los cuales el refrigerante se evapora completamente de tal forma que solo sale gas del evaporador. Los evaporadores sumergidos están diseñados de tal modo que a la salida del evaporador pase una pequeña porción de refrigerante líquido, con la finalidad de aumentar el mojado de la superficie para mejorar la transferencia de calor.

2.6.3.5. Mantenimiento de motores eléctricos

El mantenimiento del motor eléctrico tiene como principal objetivo la revisión del embobinado y cojinetes del motor.

a) Limpieza

Es indispensable, ya que es necesario que los motores eléctricos se encuentren libres de polvo y suciedad, ya que este factor incide directamente en el funcionamiento de los mismos. Un motor cubierto de polvo, no es capaz de disipar correctamente la temperatura de trabajo, pudiendo llegar a un punto extremo de deteriorarse el aislamiento del motor.

b) Lubricación

Los motores eléctricos son máquinas rotativas, cuyo giro se produce alrededor de un eje apoyado en bujes o en el cojinete de bolillas o de rodillo. El perfecto estado de los cojines es primordial para el buen desempeño de la máquina. Si estos están en buenas condiciones, la máquina funcionará suavemente sin ruidos, sin atascarse. En cambio, cuando les falta lubricación o están desgastadas, el funcionamiento se produce con ruidos, calentamientos y aún, se llega al caso extremo en que deja de funcionar definitivamente.

El lubricante que se emplea para un determinado tipo de cojinete, así como la forma en que se efectúan la lubricación, no puede quedar libre a la improvisación.

La lubricación de los rodamientos del motor eléctrico se realizará con base a las especificaciones del manual de fabricante.

c) Pruebas de funcionamiento

Existen algunas pruebas que sirven para verificar el funcionamiento del motor, de las cuales unas de las más importantes es la medición de corrientes consumidas por la fase o de las fases (dependiendo del tipo de motores) con carga y sin carga. Es decir, que se debe medir corriente consumida de cada fase cuando se tiene el motor conectado a plena carga y en vacío, con el objeto de comparar la corriente real con la corriente que indica el motor en la placa de características. De la misma manera, se puede medir el número de revolución por minuto con que trabaja el motor (esto si se cuenta con un tacómetro y compararlo con la placa).

Otra prueba que es absolutamente necesaria realizar, es el chequeo del estado de los cojinetes o del *bushing*, según el caso, controlando si existe mucho juego entre el eje y el cojinete, o sea observar que tan flojo queda el eje dentro del dispositivo de rodamiento. El tiempo de vida de los cojinetes o *bushing* depende de la continuidad de uso del motor.

2.6.3.6. Revisión del compresor

Este paso tiene como objetivo la revisión de funcionamiento y niveles de aceite, este procedimiento está en función del tipo de compresor que posee la unidad, en el caso que sea un compresor sellado solo se le realizará la prueba a tierra, en cambio para un compresor semi hermético además de la prueba a tierra será necesario checar los niveles y esto de aceite, así como el estado del relé y el protector térmico.

2.6.3.6.1. Compresor

El compresor es el corazón del sistema de refrigeración. El compresor es un componente que es impulsado por un motor que mueve el vapor caliente proveniente del evaporador, lo comprime elevándole su temperatura y lo traslada al condensador.

Dentro de la clasificación de los compresores tenemos: herméticos, semi-herméticos y los abiertos o de impulsión externa.

Existen diversos tipos de compresores empleados en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado entre ellos: reciprocantes, centrífugos, rotativos, etc.

Dentro de las aplicaciones generales de los compresores tenemos: el hermético se emplea en unidades de refrigeración de uso doméstico, el semi-hermético se emplea en cámaras refrigeradas y el tipo abierto en unidades de refrigeración industrial en el que el compresor debe funcionar a una velocidad menor que la del motor.

Los factores que determinan el tipo de compresor que ha de emplearse son: tipo de refrigerante, el tamaño y ubicación de la zona de refrigeración.

El compresor puede considerarse como una bomba de vapor, reduce la presión en el lado de baja presión del sistema, que incluye el evaporador, y aumenta la presión en el lado de alta presión del sistema; todos los compresores de los sistemas de refrigeración cumplen con la función de comprimir el refrigerante evaporado.

2.6.3.7. Revisión general del sistema eléctrico

Este paso tiene como objetivo la revisión de cableado, capacitores y conectores, asegurándose así de no poner en riesgo la operación de la unidad por un corto circuito o por la misma interrupción de energía al sistema.

2.6.3.8. Revisión general de la estructura

Este paso del mantenimiento preventivo programado tiene como objetivo la revisión de la estructura en la cual la unidad fue instalada y la pintura de las diferentes partes de la unidad.

2.6.3.9. Arme y montaje de unidades

En este paso se lleva a cabo el traslado del taller hacia su lugar de operación, así como el montaje y conexión de tubería y sistema eléctrico del evaporador, por aparte en el condensador se monta el motor eléctrico y se instala nuevamente el cajón.

2.6.3.10. Revisión de fugas y carga de refrigerante

En este paso se inyecta nitrógeno a la parte del sistema que no contiene refrigerante, se detectan las fugas a base de observación y de aplicación de una solución de agua y jabón o detergente, el cual burbujea y con eso indica una posible fuga; al detectarse una fuga se procede a aplicarse soldadura, después de contener la fuga con la soldadura se procede a hacer vacío, en el cual se evacuan todos los gases no condensables del sistema, se procede a liberar el gas del condensador, por último se pone a funcionar la unidad, y las mediciones de los manómetros indicaran la falta de refrigerante, cabe mencionar que en refrigerante R-22 la presión baja debería estar en los 60 psi y la de alta en 240 a 260 psi, si las presiones se encuentran debajo de los valores anteriormente mencionados se concluye que hace falta refrigerante y se completa la carga del mismo manómetro.


2.6.3.11. Prueba general del sistema

Después de llevar a cabo el mantenimiento preventivo programado, se monitorean los parámetros de operación, así como el desempeño de la unidad.

2.6.4. Lista de repuestos

Para tener un plan de mantenimiento preventivo exitoso, es necesario mantener cierto stock de repuestos en la bodega de la corporación. En la bodega debe de haber repuestos para la parte mecánica, como la transmisión y rodamientos, para la parte eléctrica como contactores, conectores, cable, para la parte de transferencia de calor como cilindros de refrigerante, filtros deshidratadores, tubos de cobre, conexiones de cobre, agente de limpieza y repuestos varios como tornillería, cinta adhesiva.

Figura 13. Hoja mantenimiento preventivo de unidad de aire acondicionado

TAREAS MANTENIMIENTO PROGRAMADO						
Codigo Equipo						
Descripcion del Equipo						
Ubicación						
No. de aviso de mantenimiento						
						
Breve Descripción de la tarea.						
Mantenimiento Preventivo Mayor Programado de Unidad de Aire Acondicionado						
Definición de Actividades		Texto Extendido				
1	Medición inicial de parametros de operación	1	Presion y amperajes			
2	Concentracion de refrigerante en condensador	2				
3	Revison de condensador	3	Serpentines, filtro deshidratador, visor de liquido			
4	Desmontaje y revison de evaporador	4	Traslado a taller, revision turbina y serpentines			
5	Mantenimiento del motor electrico	5	Limpieza de embobinado y revision de cojinetes y bushing			
6	Revison de compresor	6	Funcionamiento, nivel de aceite			
7	Revison general sisitema electrico	7	Conectores, capacitores y cablado			
8	Revison general de la estructura	8	Estructura, pintura			
9	Arme y montaje de unidades	9	Traslado, condensador y evaporador			
10	Revison de fugas y carga de refrigerante	10	Tuberias del sistema			
11	Prueba general del sistema	11	Presion, Amperaje y temperatura			
Materiales						
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	cod. Almacen		
1	Cilindro de gas refreigerante Freon 22	Cilindro				
2	Cilindro Refrigerante 141-B (limpieza sistema)	Cilindro				
3	Compresor para aire acondicionado trifasico	Unidad				
4	Filtro deshidratador	unidad				
5	Varilla de acero plata	Libra				
6	Tubo cobre rigido o flexible	Pie				
7	Codos 90 grados soldable	Unidad				
8	Copla de cobre soldable	Unidad				
9	Aislante para tuberia ARMAFLEX	Pie				
10	Tubo PVC	Pie				
11	Pegamento Tuberia PVC	Unidad				
12	Silicon Transparente	Unidad				
Mano de Obra						
Codigo	Puesto del Colaborador	Fecha inicio	Hora Inicio	Hora finalizacion	Fecha Finalizacion	Total horas hombre
	Supervisor de aire acondicionado					
	Tecnico de aire acondicionado					
	Ayudante					
	Ayudante					

Fuente: Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

El tamaño del inventario de repuestos dependerá del número, tipo, y capacidad de las unidades de aire acondicionado, de la frecuencia y procedimiento del mantenimiento preventivo, del servicio o acuerdos que existan entre la corporación y sus proveedores.

2.6.5. Rutinas de inspección

Para realizar las rutinas de inspección se empleará el sistema de análisis VOSO, el cual se describe a continuación. Este es de suma importancia, ya que ocupa nuestros sentidos y pequeñas rutas de inspección periódicas para monitorear los equipos.

2.6.5.1. Análisis VOSO

El análisis VOSO es sin duda el tipo de mantenimiento más económico y fácil de realizar, debido a que no se tiene que invertir en dicho mantenimiento. El VOSO no es más que ver, oír, sentir y oler. Dicho mantenimiento se puede realizar con una frecuencia diaria, ya que si la industria es muy grande puede programar rutinas de control de diferentes áreas, para uno de los técnicos del grupo de mantenimiento con el fin de que reporte cualquier cambio en el funcionamiento de los equipos. Para esto, se utiliza una hoja de ruta de medición de parámetros y análisis VOSO, como se muestra en la figura 14.

2.6.5.1.1. Ver

Consiste en observar detenidamente las unidades de aire acondicionado en búsqueda de indicios de un mal funcionamiento o daños en la estructura, por ejemplo, con el simple hecho de observar los evaporadores si tienen escarcha o el observar los drenajes de la unidad.

2.6.5.1.2. Oír

Consiste en detectar con el sentido del oído cualquier ruido extraño, esto nos puede ayudar a detectar fallas en la unidad, un claro ejemplo de esto puede ser, el ruido de un ventilador rozando en la carcasa, o una fuga en la tubería de cobre.

2.6.5.1.3. Sentir

En este paso podemos utilizar nuestro cuerpo como un sensor de temperatura, esto se logra solo con el simple hecho de ingresar a un área, podemos percibir si la unidad está logrando remover los Btu necesarios para mantener la temperatura del espacio refrigerado.

Palpar diferentes partes de la unidad de aire acondicionado siempre tomando las medidas de seguridad necesarias, para poder percibir vibraciones

2.6.5.1.4. Oler

Se trata de percibir cualquier olor que dé indicios que algo anda mal con el equipo, dichos olores pueden ser provocados, por ejemplo, por la falta de lubricación de los cojinetes o por fallos del aislamiento de algún motor eléctrico.

En la figura 14 se muestra la ruta de inspección en la cual se emplea el análisis VOSO en un esfuerzo de prevenir fallas y detectar cualquier anomalía con los sistemas.

Figura 14. Hoja ruta de inspección análisis VOSO

RUTAS DE INSPECCION PROGRAMADAS						
Codigo de la ruta			Frecuencia Diario			
Nombre de la ruta						
Fecha						
Breve Descripción de la Tarea						
Análisis VOSO de Unidades de Aire Acondicionado						
No.	codigo	Ubicación	temperatura del ambiente refrigerado	Flujo de aire		Estado de cableado eléctrico
				Condensador	Evaporador	Limpieza serpentines
1	0931-0246	AC CALDERA 7				
2	0931-0248	AC CCM EVAPORACION Y TACHOS #1				
3	0931-0163	AC CUARTO CENTRIFUGAS G-16 No. 1				
4	0931-0164	AC CUARTO CENTRIFUGAS G-16 No. 2				
5	0931-0165	AC CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No. 1				
6	0931-0220	AC SALA VARIADORES MOLINDOS TA#1				
7	0931-0221	AC SALA VARIADORES MOLINDOS TA#2				
8	0931-0228	AC CUARTO CENTRIFUGA CONTINUA				
9	0931-0225	AC LABORATORIO DE CAÑA, NIR SISTEM				
10	0931-0226	AC LABORATORIO DE CAÑA, MICROBIOLOGIA				
11	0931-0227	AC SALA PMC TACHO CONTINUO 2				
12	0931-0229	AC SALA TABLERO ELECTRICO REFINERIA				
13	0931-0230	AC SALA CALDERA 1				
14	0931-0166	AC CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No.2				
15	0931-0277	AC PMC EVAPORACION Y TACHOS #2				
16	0931-0278	AC CCM REFINERIA				
17	0931-0279	AC CCM EVAPORACION Y TACHOS #2				
18	0931-0154	AC SALA DE SERVIDORES No.3				
19	0931-0156	AC SALA 1 DE VARIADORES COGENERACION				
20	0931-0157	AC CCL AUTOMATIZACION 1				
21	0931-0017	AC PLANTA DE AGUA PURA SANTA ANA				
22	0931-0023	AC SALA 2 VARIADORES COGENERACION				
23	0931-0030	AC LABORATORIO DE CAÑA				
24	0931-0249	AC LABORATORIO DE CAÑA, CROMATOGRAFIA				
25	0931-0032	AC SALA DE SERVIDORES No.2				
26	0931-0195	AC CUARTO CENTRIFUGAS G-16 TITAN No.1				
27	0931-0158	AC SERVIDORES 1 AUTOMATIZACION				
28	0931-0159	AC SERVIDORES 2 AUTOMATIZACION				
29	0931-0082	AC SALA MOLINDOS				
30	0931-0210	AC SALA EVAPORACION				
31	0931-0211	AC SALA CCM CALDERA 5				
32	0931-0212	AC LABORATORIO DE FABRICA				
Mano de Obra						
Codigo	Nombre	Fecha inicio	Hora inicio	fecha finalizacion	hora finalizacion	
				Acceptable	No Acceptable	
				✓	X	

Fuente: Ingenio Agrícola Santa Ana, S.A.

3. CAPACITACIÓN

La capacitación se refiere a los métodos que se usan para proporcionar a las personas dentro de la empresa las habilidades que necesitan para realizar su trabajo, ésta abarca desde pequeños cursos sobre terminología hasta cursos que le permitan al usuario entender el funcionamiento del sistema nuevo, ya sea teórico o a base de prácticas o mejor aún, combinando los dos.

3.1. Análisis de necesidad de capacitación

Debido a que la determinación de las necesidades de capacitación es una responsabilidad de línea y una función de *staff*, el Ingeniero Gustavo Pérez Solares, responsable del departamento de aires acondicionados, empleó como medio para la determinación de las necesidades de capacitación, la observación y entrevistas con los técnicos de su área.

Atendiendo también a indicadores a priori de capacitación como la admisión de nuevos empleados, se llegó a la conclusión que los colaboradores de esta área necesitan capacitación en los temas de:

- a) Principios básicos de refrigeración y aire acondicionado
- b) Mantenimiento preventivo y sus ventajas

Habiendo detectado la necesidad del personal del departamento de aire acondicionado de capacitación, se tomó la decisión de impartir capacitaciones que cubrieran dicha necesidad.

3.2. Capacitación principios básicos de refrigeración y aire acondicionado

El objetivo de esta capacitación es que el colaborador aclare sus dudas sobre los principios de refrigeración y el acondicionamiento del aire, esto para crear en él un criterio teóricamente fundamentado que le ayude a una mejor toma de decisiones.

Para alcanzar dicho objetivo, se discutirán los conceptos que a continuación se presentan:

- a) Conceptos básicos de refrigeración y aire acondicionado
- b) Funcionamiento de una unidad de aire acondicionado
- c) Partes de una unidad de aire acondicionado

Estos temas serán impartidos por el Ingeniero Gustavo Pérez y mi persona en el Auditorio de la compañía en 2 cursos, estos cursos tendrán una duración de 4 horas cada uno.

La evaluación es la etapa final de la capacitación, esta debe evaluarse para determinar su efectividad, para esto se les entregó a los asistentes un examen el cual contenía preguntas sobre los temas tratados en las conferencias, este tiene como único objetivo dejar en descubierto que tanto lograron los colaboradores aprender y si fuera necesario en que área se les tiene que reforzar.

Figura 15. **Hoja evaluación: capacitación principios básicos de refrigeración y aire acondicionado**

Evaluación

Capacitación Principios Básicos de Refrigeración y Aire Acondicionado

Nombre: _____ código: _____

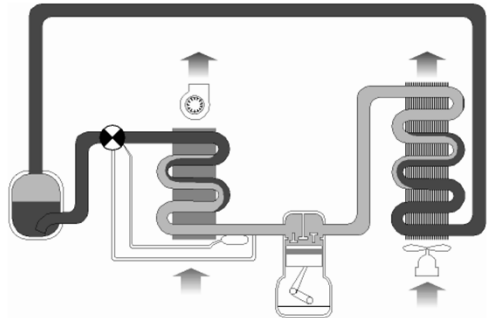
Instrucciones: conteste las preguntas que a continuación se presentan

- 1) Explique el funcionamiento de una unidad de aire acondicionado

- 2) Que es refrigeración

- 3) Que es calor

- 4) Identifique las partes de una unidad de aire acondicionado



El diagrama ilustra un ciclo de refrigeración típico. A la izquierda, un compresor (representado por un círculo con un triángulo) impulsa el refrigerante a través de una tubería hacia un condensador (una bobina de serpentín) en la parte superior. Desde el condensador, el refrigerante fluye hacia un dispositivo de expansión (una válvula de estrangulamiento) en la parte inferior. Después de la expansión, el refrigerante pasa por un evaporador (otro serpentín) en la parte inferior, que está conectado a un ventilador. Finalmente, el refrigerante regresa al compresor a través de una tubería superior. Flechas indican la dirección del flujo del refrigerante en sentido horario.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Capacitación mantenimiento preventivo y sus ventajas

El objetivo de esta capacitación es brindarle al colaborador una pequeña introducción al vasto mundo del mantenimiento preventivo, así como darle a conocer las bondades del mismo.

Es de suma importancia enseñar al colaborador que con un mantenimiento preventivo debidamente aplicado, lograremos tener equipos en perfectas condiciones operando las 24 hrs. del día durante todo el período productivo.

Para lograr alcanzar dicho objetivo, se discutirán los conceptos que a continuación se presentan:

- a) Mantenimiento preventivo
- b) Frecuencia de mantenimiento preventivo
- c) Ventajas del mantenimiento preventivo

Estos temas serán impartidos por el Ingeniero Gustavo Pérez y mi persona en el Auditorio de la compañía en 2 cursos, estos cursos tendrán una duración de 4 horas cada uno.

La evaluación es la etapa final de la capacitación, esta debe evaluarse para determinar su efectividad, para esto se les entregó a los asistentes un examen el cual contenía preguntas sobre los temas tratados en las conferencias, este tiene como único objetivo dejar en descubierto que tanto lograron los colaboradores aprender y si fuera necesario en que área se les tiene que reforzar.

Figura 16. Hoja evaluación capacitación mantenimiento preventivo y sus ventajas

Evaluación
Capacitación Mantenimiento preventivo y sus ventajas
Nombre: _____ código: _____
Instrucciones: conteste las preguntas que a continuación se presentan
1) ¿Qué es mantenimiento preventivo?
2) Explique con sus palabras la diferencia entre mantenimiento preventivo y correctivo
3) ¿Cuál es la importancia de aplicar el mantenimiento preventivo?
4) Enumere tres ventajas del mantenimiento preventivo

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La implementación rigurosa e inmediata del programa de mantenimiento preventivo que fue creado en este documento es necesaria para la operación continua de las unidades de aire acondicionado de la Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.
2. La unidad de aire acondicionado que actualmente opera en el laboratorio de fábrica tiene una capacidad de 60 000 Btu/hr, la cual es insuficiente para eliminar las 90 734,38 Btu/hr, por lo cual se propone cambiar dicha unidad por una con capacidad de 9 toneladas de refrigeración.
3. Las cargas térmicas que afectan el ambiente interior del laboratorio de fábrica son las siguientes: carga de calor sensible 61 559,84 Btu/hr, carga de calor latente 14 052,14 Btu/hr, estas cargas corresponden a transferencias de calor hacia el espacio por infiltración, conducción y cargas de calor internas generadas por el personal y los aparatos que necesitan de energía eléctrica para su operación.
4. La frecuencia de mantenimiento preventivo que permita una operación óptima de las unidades de aire acondicionado, que actualmente está operando y se ajuste a la realidad del proceso de elaboración de azúcar es anual y se complementará en el plan de mantenimiento preventivo con rutinas de inspección VOSO diarias.

RECOMENDACIONES

1. Instalación inmediata de una unidad de aire acondicionado con una capacidad de ocho toneladas de refrigeración, para el área del laboratorio de fábrica.
2. Implementación del programa de mantenimiento preventivo creado para las unidades de aire acondicionado de Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S.A.
3. Instalación de una unidad de apoyo de aire acondicionado con capacidad de ocho toneladas de refrigeración, la cual entraría en operación cada vez que la unidad principal necesite mantenimiento preventivo o correctivo.
4. Creación de un ambiente adecuado para la instalación de la unidad de condensación donde se lleva a cabo la transferencia de calor, dicho ambiente debe estar protegido del ambiente saturado de bagacillo y alejado o aislado de fuentes de calor externas.
5. Evitar que la capacidad de extracción de calor de la unidad de aire acondicionado se vea excedida por las cargas de calor, lo cual se puede lograr monitoreando continuamente las cargas de calor que afecta el ambiente interior del laboratorio de fábrica, ya que estas pueden aumentar, debido a un aumento de personal, ampliación del laboratorio, instalación equipos analíticos, etc., si se diera el caso de un aumento de las cargas de calor, se debe re-calcular por completo la capacidad de la unidad de aire acondicionado.

BIBLIOGRAFÍA

1. DÍAZ TAPIA, Nelson. *Transferencia de calor*. [en línea] Noviembre 2008. Disponible en Web: <http://www.monografias.com/trabajo15/transf-calor/transf-calor.shtml>. [Consulta: 15 de octubre de 2010]
2. FAYE, Mac Quiston. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado: Análisis y diseño*. México: Limusa Wiley; 2003. p. 125 – 127, 134, 148.
3. HUGOT, E. *Manual para ingenieros azucareros*. México: Compañía Editorial Continental, 1984. p. 307 – 317.
4. *Manual de laboratorio de aire acondicionado*, Cátedra de Refrigeración, 2do. Semestre. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. p. 35.
5. MARKS. *Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 11a ed. New York, Estados Unidos: McGraw – Hill, 2006. p. 63 – 89.
6. VERLAG, Albert Bartens. *ICUMSA Libro de Métodos*. Berlín, Alemania: Luckhoffstr, 2007. ISBN: 978-3-87040-573-1.
7. WARK, Kenneth; RICHARDS, Donald. *Termodinámica*. 6ª ed. España: McGraw – Hill, 2001. p. 282 – 290.

APÉNDICE

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR

CULTIVO Y TRANSPORTE

El azúcar se produce en el campo y se extrae en la fábrica. La sacarosa se forma en los tallos de la caña de azúcar. Esta es una gramínea tropical gigante que madura alrededor de 12 meses. Al recibir la caña en el central se toma una muestra para analizar y determinar su contenido de azúcar y calcular su valor. Luego la caña es pesada y descargada en el patio de caña para molerla.

MOLIENDA

La caña es desmenuzada con cuchillas rotatorias y una desfibadora antes de molerla para facilitar la extracción del jugo que se hace pasándola en serie, entre los filtros, o mazas de seis molinos. Se utiliza agua en contracorriente para ayudar a la extracción que llega a 94 o 95% del azúcar contenida en la caña. El remanente queda en el bagazo residual que es utilizado como combustible en las calderas, así como materia prima para la fabricación de tableros de bagazo.

CLARIFICACIÓN

La clarificación consiste en calentar el jugo y decantarlo. La decantación se lleva a cabo en dos grandes clarificadores en los cuales las impurezas, en forma de barro, van al fondo y el jugo clarificado se extrae por la parte superior.

El barro o cachaza, contiene todavía azúcar y requiere ser pasada por filtros rotativos al vacío, de los cuales se recupera una cantidad de jugo, que retorna al proceso y se retira una torta de cachaza que es devuelta al campo.

EVAPORADORES

El jugo claro, pasa a los evaporadores en los cuales se elimina alrededor del 80% del agua contenida en el jugo, que con esta operación se convierte en madadura. Los evaporadores trabajan en múltiples efectos, que el vapor producido por la evaporación de agua en el primer efecto es utilizado para calentar el segundo y así, sucesivamente, hasta llegar al quinto efecto que entrega sus vapores al condensador. El condensador es enfriado por agua en recirculación desde el estanque de enfriamiento.

CRISTALIZACIÓN

La meladura pasa a los tachos donde continúa la evaporación de agua, lo que ocasiona la cristalización del azúcar. Es decir que, al seguir eliminando agua, llega un momento en el cual la azúcar disuelta en la meladura se deposita en forma de cristales de sacarosa. Los tachos trabajan con vacío para efectuar la evaporación a baja temperatura y evitar así la caramelización del azúcar.

SEPARACIÓN

En los tachos se obtiene una masa, denominada masa cocida, que es mezcla de cristales de azúcar y miel. La separación se hace por centrifugación en las maquinas destinadas a esa labor. De las centrifugas sale azúcar cruda y miel. La miel se retorna a los tachos para dos etapas adicionales de cristalización que termina con los conocimientos, o melaza. El azúcar de tercera se utiliza como pie para la cristalización del segundo conocimiento y el azúcar de segunda para el conocimiento de primera.

REFINACIÓN

El azúcar de primera es refundida o re disuelta con agua; luego es aireado en un recipiente a presión y pasa a las clarificadoras donde las impurezas flotan y el licor clarificado es extraído por la parte inferior.

El licor clarificado es pasado por los filtros de lecho profundo donde se eliminan el resto de las impurezas, y de allí el filtrado es entregado a los tachos de refino. Igual que en los tachos de crudo en estos tachos se elimina agua y se obtiene azúcar refinada cristalizada. La miel es retornada al conocimiento de crudo para mezclarse con la meladura y la azúcar húmeda de las centrifugas pasa a los secadores y de allí al envase.