

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE  
CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A  
BASE DE SOLVENTE QUÍMICO, PARA LA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN BAYER, S.A.,**

**JAVIER FIDELINO GARCÍA TETZAGUIC**

ASESORADO POR INGA. SIGRID CALDERÓN DE DE LEÓN

GUATEMALA, MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO, PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S.A.,**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JAVIER FIDELINO GARCÍA TETZAGUIC**

ASESORADO POR LA INGA. SIGRID CALDERÓN DE DE LEÓN

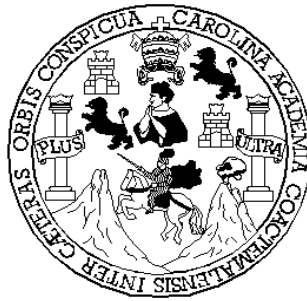
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE LA 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. Luis Pedro Ortíz De León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Ing. Sigrid Calderón De De León
EXAMINADORA	Ing. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO, PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S.A.**

Tema asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 29 de enero del 2007.



Javier Fidelino García Tetzaguic



Guatemala, 28 de octubre de 2010.  
Ref.EPS.DOC.1089.10.10.

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

Estimada Inga. Sarmiento Zeceña.

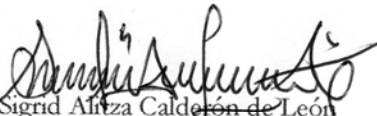
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Industrial, **Javier Fidelino García Tetzaguil**, Carné No. **200312920** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S.A.”**.

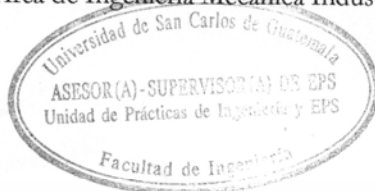
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
Inga. Sigrid Alitza Calderón de León  
**Asesora-Supervisora de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACdL/ra



Guatemala, 28 de octubre de 2010.  
REF.EPS.D.786.10.2010

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S.A.”** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Javier Fidelino García Tetzaguil** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora - Supervisora 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 Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



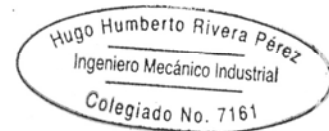
FACULTAD DE INGENIERÍA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Javier Fidelino García Tetzaguic**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Humberto Rivera Pérez', enclosed within a hand-drawn oval.

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2010.

/mgp



REF.DIR.EMI.013.011

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO, PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Javier Fidelino García Tetzaguic**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2011.

/mgp



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

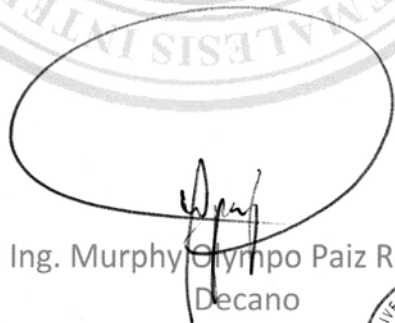


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 070.2011.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PROPUESTA DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO, PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN BAYER, S. A.,** presentado por el estudiante universitario **Javier Fidelino García Tetzaguic,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 8 de marzo de 2011.

/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Inga Sigríd Calderón De León, por su colaboración durante el transcurso de la elaboración del presente trabajo.

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez, por su valiosa revisión y corrección del presente documento.

Ing. Luis Eduardo Castillo, por su asesoría en el desarrollo de la metodología utilizada en el presente trabajo.

Al Departamento de EPS, por el apoyo brindado en el desarrollo del proyecto.

La Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, por haberme brindado los conocimientos y valores necesarios para desarrollarme en el ámbito profesional.

La Facultad de Ingeniería, por permitirme realizar mi formación académica en tan prestigiosa Facultad.

La Universidad de San Carlos, por haberme permitido cumplir el sueño, y tener el honor de sentirme orgulloso de ser un profesional más egresado de tan prestigiosa casa de estudios.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- DIOS** Por ser el principal responsable de esta meta alcanzada ya que sin Él nada de esto fuera posible.
- MI HIJA** Sara Jimena, ya que es el principal motor de mi vida y la razón por la cual despierto cada día con el afán de luchar por lograr algo más.
- MI ESPOSA** Sara Janeth, por su amor, compañía y apoyo para lograr una de las metas que tenemos en nuestras vidas, te amo.
- MI PADRE** Fidelino, por los consejos dados en el transcurso de toda mi vida y por el incondicional apoyo que me ha brindado, te amo papá.
- MI MAMÁ** Felipa, por su amor, comprensión, apoyo, motivación y confianza que depositó en mí desde el momento en que me vió nacer hasta esta fecha. Te amo mamá.
- MIS HERMANOS** Nery, Héctor, Nancy y Claudia, por compartir este éxito en mi vida.

A todos mis familiares y amigos por estar en todos los momentos de mi vida, los importantes y los que no lo son tanto.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XXI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXIII</b>
<b>1. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Reseña histórica	1
1.2. Bayer en Centroamérica y El Caribe	3
1.3. Consumer care	4
1.4. Visión	4
1.5. Misión	5
1.6. Departamento de ingeniería y mantenimiento	5
1.6.1. Estructura organizacional	5
1.6.2. Personal	7
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1. Efectos de la humedad	12
2.2. Definición del proceso de deshumidificación	13
2.3. Aplicaciones para sistemas de deshumidificación	14
2.3.1. Prevención a la corrosión	15
2.3.1.1. Generadores de energía eléctrica	15

2.3.1.2.	Protección de artículos electrónicos	16
2.3.1.3.	Producción de batería de litio	17
2.3.2.	Prevención de la condensación	17
2.3.2.1.	Pistas de patinaje	18
2.3.2.2.	Plantas de tratamiento de agua	19
2.3.3.	Prevención de hongos y bacterias	19
2.3.3.1.	Archivos	20
2.3.3.2.	Almacén de semillas	20
2.3.3.3.	Protección de carga	21
2.3.3.4.	Cervecerías	21
2.3.4.	Prevención de la ganancia de humedad	22
2.3.4.1.	Empacado de confitería	22
2.3.4.2.	Cuartos limpios	23
2.3.4.3.	Fabricación de cristal inastillable	23
2.3.5.	Secado de productos	24
2.3.5.1.	Fundición de piezas metálicas	25
2.3.5.2.	Secado de pescado	25
2.3.6.	Enfriamiento en seco	25
2.3.6.1.	Supermercados	26
2.3.6.2.	Edificios enfermos	26
2.4.	Métodos de deshumidificación	27
2.4.1.	Deshumidificación por refrigeración	28
2.4.2.	Deshumidificación por desecantes	30
2.5.	Definición de cargas térmicas	31
2.5.1.	Concepto de carga sensible	31
2.5.2.	Concepto de carga latente	31
<b>3.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>33</b>
3.1.	Sistema de deshumidificación actual	33
3.2.	Tiempo estimado de trabajo del sistema actual	36

3.3.	Costos de mantenimiento del sistema actual	37
3.4.	Expansión de la planta de producción	39
3.5.	Servicios actuales para generación de aire deshumidificado	41
3.5.1.	Sección generadora de vapor	42
3.5.2.	Sección generadora de agua fría	42
3.5.3.	Esquemas de los equipos a reemplazar	43
<b>4.</b>	<b>DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO</b>	<b>45</b>
4.1.	Introducción a la industria farmacéutica enfocada a la deshumidificación	45
4.1.1.	Definición del equipo de deshumidificación	47
4.1.2.	Proceso de deshumidificación de aire	49
4.2.	Cálculo de cargas de refrigeración	51
4.2.1.	Tipos de cargas dentro del proceso	52
4.2.1.1.	Cálculo de carga sensible	52
4.2.1.1.1.	Cálculo de carga sensible área efervescente	53
4.2.1.1.2.	Cálculo de carga sensible área estándar	53
4.2.1.2.	Cálculo de carga latente	54
4.2.1.2.1.	Cálculo de carga latente área efervescente	55
4.2.1.2.2.	Cálculo de carga latente área estándar	57
4.3.	Cálculo del dimensionamiento las áreas de producción por secciones	59
4.3.1.	Sección de efervescentes	60
4.3.2.	Sección no efervescentes	61
4.4.	Ingeniería de desarrollo de un sistema deshumidificador	62
4.4.1.	Diseño de planos de instalación del sistema deshumidificador	62
4.4.1.1.	Plano del equipo deshumidificador áreas estándar	62
4.4.1.2.	Plano del equipo deshumidificador áreas efervescentes	64
4.4.2.	Diseño y proyección de la línea de agua fría y de vapor	65
4.4.2.1.	Dimensión del sistema de línea de agua fría	66

4.4.2.2.	Dimensión del sistema de línea de vapor	67
4.4.3.	Diseño de planos de ductos de aire	68
4.5.	Instalación de sistema de deshumidificación	69
4.5.1.	Cronograma de instalación	69
4.5.2.	Puntos críticos a revisar	70
4.6.	Elaboración de protocolo de calificación del equipo	70
4.7.	Elaboración del procedimiento de operación del equipo	71
4.8.	Elaboración del análisis de riesgos del sistema de deshumidificación	71
4.8.1.	Lista de sustancias	72
4.8.2.	Parámetros críticos	72
4.8.3.	Parámetros relevantes	72
4.8.4.	Análisis de riesgos del funcionamiento de los sistemas deshumidificadores	74
4.9.	Mantenimiento preventivo sistema deshumidificador	77
4.9.1.	Mantenimiento básico a realizar	77
<b>5.</b>	<b>PROPUESTA DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA DE BULBO SECO Y HUMEDAD RELATIVA EN EL SISTEMA DESHUMIDIFICADOR</b>	<b>79</b>
5.1.	Análisis del problema de condiciones de confort	79
5.1.1.	FODA	79
5.2.	Definiciones	81
5.2.1.	Temperatura de bulbo seco	81
5.2.2.	Humedad relativa	81
5.3.	Propuesta de nuevos valores para condiciones de confort	82
5.3.1.	Temperatura de bulbo Seco	83
5.3.2.	Humedad relativa	83

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>91</b>





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1 Organigrama del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento	7
2 Generadores de energía	16
3 Artículos electrónicos	16
4 Baterías de litio	17
5 Pista de patinaje	18
6 Planta de agua	19
7 Pintura La Última Cena	20
8 Cervezas	21
9 Confitería	22
10 Industria farmacéutica	23
11 Cristal inastillable	24
12 Edificio contaminado de bacterias	27
13 Deshumidificación por enfriamiento	29
14 Deshumidificador por refrigeración mecánica	30
15 Gráfico de las condiciones del material descante durante el ciclo de deshumidificación	35
16 Fotografía de los sistemas de deshumidificación a cambiar en la planta de producción	35
17 Fotografía de sistemas de ductos actuales	36
18 Gráfica de relación costo de mantenimiento en función el tiempo	37
19 Fotografía de nuevas líneas de producción 1	39

20 Fotografía de nuevas líneas de producción 2	40
Figura 21 Fotografía de nuevas líneas de producción 3	40
22 Diagrama Ishikawa sistema de deshumidificación actual	41
23 Sistemas de deshumidificación área efervescente	44
24 Sistemas de deshumidificación área estándar	44
25 Capacidad de remoción de humedad de bajo rango	48
26 Capacidad de remoción de humedad de alto grado	49
27 Esquema de deshumidificador con ciclo de regeneración	51
28 Plano del equipo deshumidificador estándar	63
29 Plano del Equipo deshumidificador Efervescente	64
30 Equipos que componen el área técnica en tres dimensiones	65
31 Plano de distribución de agua fría	66
32 Plano de distribución de vapor	67
33 Plano de ductos de aire tratado	68
34 Cronograma de instalación y calificación	69
35 Diagrama de carta psicométrica	81
36 Esquema de toma de temperatura de bulbo seco	81

## **TABLAS**

I Costos de mantenimiento de los sistemas de deshumidificación antiguos	38
II Cálculo de carga sensible área efervescente	53
III Cálculo de carga sensible área estándar	54
IV Cálculo de carga latente área efervescente, línea 1	55
V Cálculo de carga latente área efervescente, línea 2	56
VI Cálculo de carga latente área efervescente, línea 3	56
VII Resumen cálculo de carga latente área efervescente	57
VIII Cálculo de carga latente área estándar, línea 4	58

IX	Cálculo de carga latente área estándar, línea 5ª	58
X	Resumen cálculo de carga latente área estándar	59
XI	Dimensionamiento sección efervescente	60
XII	Dimensionamiento sección estándar	61
XIII	Especificaciones técnicas del usuario	70
XIV	Función de control del equipo	71
XV	Cuadro de análisis de riesgos 1	74
XVI	Cuadro de análisis de riesgos 2	75
XVII	Cuadro de análisis de riesgos 3	76
XVIII	Rutina básica de mantenimiento	77
XIX	Esquema de análisis FODA	79



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>CFM</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>FDB</b>	Temperatura de bulbo húmedo
<b>FWB</b>	Temperatura de bulbo seco
<b>MPI</b>	Humedad del aire de entrada del proceso, granos / lb
<b>MPO</b>	Humedad del aire salida del proceso, granos / lb
<b>MRI</b>	Humedad del aire de entrada de la reactivación, granos / lb
<b>Q</b>	Caudal del aire en Ft <sup>3</sup> /min
<b>TPI</b>	Temperatura del aire de proceso, °F

<b>TPO</b>	Temperatura del aire de proceso, °F
<b>TRI</b>	Temperatura calentada del aire de entrada de la reactivación, °F
<b>TRO</b>	Temperatura del aire de salida de la reactivación, °F (120°F mínimo)
<b>TRU</b>	Temperatura no calentada del aire de salida de la reactivación, °F
<b>T<sub>n</sub></b>	Temperatura de aire de salida

## GLOSARIO

<b>Agua</b>	Es el compuesto químico más abundante de la superficie terrestre. El agua contiene 11.2% de hidrógeno y 88.8% de oxígeno, en peso. Se le considera como un electrolito débil y se ioniza como $\text{H}_3\text{O}^+$ (ion hidronio) y $\text{OH}^-$ (ion hidroxilo).
<b>Aire</b>	Es una mezcla de gases, cuya composición como aire seco a nivel del mar, es de 78.00% de nitrógeno, 20.95% de oxígeno, por volumen; el 1.05% restante está constituido por los gases nobles, el dióxido de carbono y el vapor de agua.
<b>Aire atmosférico</b>	El aire en la atmósfera está compuesto principalmente por nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y pequeñas cantidades de gases inertes, también puede contener algunos otros gases y contaminantes. El nitrógeno, el oxígeno y los gases inertes normalmente están presentes en la misma proporción. El vapor de agua y los contaminantes varían en sus proporciones. Bajo condiciones naturales el vapor de agua varía entre 0.01 a 2.0% en peso del total de la mezcla. El análisis psicrométrico se realiza considerando al aire como un gas. Compuesto por dos sustancias: aire seco y vapor de agua.
<b>Calidad</b>	Es la conformidad con los requisitos del cliente.



**Calor latente de vaporización**

Es la energía térmica requerida para vaporizar un volumen de líquido dado.

**Condensación**

Los vapores saturados se condensan cuando se ponen en contacto con una superficie a una temperatura inferior a la de su *punto de rocío*. Es la reacción química en la cual dos o más moléculas se combinan, con la separación de agua u otra sustancia simple. Si se forma un polímero, el proceso se denomina poli-condensación. La resina fenol-formaldehído es un ejemplo de un polímero de condensación.

**Deshidratación**

Consiste en la remoción del 95% o más del agua de un material, normalmente de un producto alimenticio, por exposición a alta temperatura. El propósito principal es el de reducir el volumen del producto, el incrementar su vida útil en la estantería y el reducir los costos de su transporte.

**Entalpia**

Esta propiedad termodinámica no es fácil de explicar en términos simples, pero esencialmente es definida como la cantidad de energía contenida por una muestra de aire seco y vapor de agua. Obviamente, la Entalpía se encuentra intrínsecamente relacionada a la temperatura. En el Sistema Inglés se considera que el aire seco a la presión de una atmósfera y 0° F, tiene una Entalpía igual a cero.

Dada una masa de aire y vapor de agua a cierta temperatura, la Entalpía es la energía requerida para llevar la temperatura de esta mezcla, desde 0° F hasta su temperatura actual.

## **Evaporación**

Es la *operación unitaria* que tiene por objeto el concentrar una solución conformada por un *soluto* no volátil y un *solvente* volátil. La evaporación se diferencia del *secado* en que el residuo es un líquido y se diferencia de la *destilación* en que el vapor es un componente simple y aún cuando en el vapor exista una mezcla, en la evaporación el interés no es descomponer este vapor en fracciones.

## **Humedad**

Humedad absoluta (*Humidity Ratio*), también conocida como humedad específica. Esta es la cantidad de agua, en peso, que se encuentra contenida en una cierta masa de aire seco. El aire tiene una gran capacidad de retener humedad, esta capacidad varía directamente con la temperatura del aire, a medida que la temperatura incrementa, también la capacidad del aire para retener humedad se incrementa. Si el aire a cierta temperatura ha absorbido toda la humedad que puede contener, se dice que se encuentra saturado. La humedad relativa es la relación entre la humedad absoluta de una muestra de aire, comparada con la humedad absoluta en condiciones de saturación y a la misma temperatura. La humedad absoluta es el parámetro que más se utiliza para expresar el contenido de humedad en el aire, sin embargo, hay que recordar que para determinar la humedad absoluta, es necesaria además la temperatura a la cual se está presentando la humedad relativa de referencia.

## **Humidificación**

Se denomina a la operación unitaria por medio de la cual se evapora el agua en el seno de una masa de aire para aumentar la humedad de ésta. Por deshumidificación se entiende la *condensación* del vapor de agua del aire, para disminuir su humedad.

**Presión de vapor**

Todas las sustancias en estado gaseoso ejercen una presión sobre su entorno. Si diferentes gases son confinados en un tanque, esta combinación de gases ejercerán una presión específica sobre la pared del tanque. Si pudiéramos medir por separado la presión que cada uno de los gases ejercería sobre las paredes del tanque, encontraríamos que la suma de todas las presiones sería igual a la presión total.

**Psicrométrica**

Es el estudio de la termodinámica del aire y su interacción con el vapor de agua. Las propiedades termodinámicas del aire húmedo son usadas para analizar procesos que requieren el control de la humedad y la temperatura ambiente. Es necesario un entendimiento básico de psicrometría para determinar las necesidades de deshumidificación. También es importante conocer algunos conceptos y definiciones de la termodinámica.

**Punto de rocío**

Si el aire es saturado con vapor de agua a una temperatura dada y posteriormente se disminuye su temperatura, la masa de aire deberá liberar una cantidad determinada de humedad en forma de condensado. La temperatura a la cual la humedad colectada por el aire inicia su saturación, es conocida como temperatura de punto de rocío. La temperatura de punto de rocío y la presión de Vapor están directamente relacionadas y son independientes de la presión total.

**Secado**

Es una sustancia capaz de disolver otra sustancia, denominada *soluto*, para formar una mezcla dispersada uniformemente (solución) a nivel de tamaño molecular o iónico.

**Temperatura**

Las condiciones termodinámicas del aire son determinadas por algunas lecturas. La temperatura de Bulbo Seco es la temperatura del aire que se obtiene por medio de un termómetro común y corriente. La temperatura de bulbo Húmedo es la temperatura registrada por un termómetro común pero que en su extremo sensor tiene envuelta una gasa húmeda. El flujo de aire a través de la gasa húmeda hace que parte del agua se evapore, el agua para el cambio de estado requiere cierta cantidad de energía, esta energía es tomada del termómetro, por lo que se registra en él una temperatura menor a la de bulbo seco, solo cuando el aire se encuentra saturado (100% HR), no se podrá evaporar agua de la gasa por lo tanto las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo son iguales. La relación entre estas dos temperaturas es una medida de la cantidad de vapor de agua que contiene el aire.

**Termodinámica**

Es la parte de la física que estudia el aspecto macroscópico de aquellos fenómenos caracterizados esencialmente por la transformación del calor en trabajo y viceversa.



## RESUMEN

La deshumidificación es quizá uno de los procesos termodinámicos menos conocidos. Frecuentemente, los usuarios potenciales de deshumidificadores no están al tanto de su existencia, ni de la forma en que éstos pueden ayudarle a resolver los problemas de producción relacionados con calidad, sanidad y corrosión entre otros; en la mayoría de los casos el cliente potencial elige vivir con el problema o trata de resolverlo con otros métodos.

En una planta de producción que maneja productos con cualidades higroscópicas, es necesario mantener límites de humedad absoluta, por lo que contar con un sistema de deshumidificación de aire es fundamental.

Para mantener una humedad controlada es necesario contar con un equipo bien dimensionado, tanto en capacidad de captación de humedad, como en volumen de aire, para mantener las condiciones de confort en las áreas productivas.

En este trabajo se define cómo dimensionar un equipo en función de las cargas térmicas y las condiciones de trabajo, incluyendo el proceso de instalación y puesta en marcha.

La necesidad de controlar la humedad del ambiente debe incluir parámetros de temperatura y humedad confortables para realizar procesos productivos, por lo que se incluye este aspecto.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar la implementación de condiciones adecuadas para la producción de productos efervescentes y estándar por medio del diseño, instalación y propuesta de parámetros de calibración de un sistema de deshumidificación a base de solvente químico para la planta de producción “BAYER, S.A.”

### **ESPECÍFICOS**

1. Documentar cálculos y estandarizaciones en los procesos y procedimientos específicos de ejecución de las tareas de instalación en cada área y para cada equipo del sistema de deshumidificación a base de solvente químico, para generación de una lista de datos de información característica acerca del sistema deshumidificador.
2. Implementar los procesos psicométricos dentro del personal técnico para capacitar y así adecuar el sistema a las condiciones deseadas.
3. Calcular las cargas de refrigeración que genera actualmente la planta por línea de producción, para calibrar el equipo de deshumidificación a implementar.
4. Ubicar, por medio de planos en Autocad los equipos de deshumidificación dentro del área técnica 1 para adecuar los sistemas, optimizando el área de montaje.
5. Diseñar y proyectar las líneas de agua fría para la estimación de materiales.



6. Diseñar ductos para aire en proceso para estimación de materiales.
7. Elaborar el protocolo de calificación e instalación del equipo de deshumidificación, para obtención de permiso de montaje y aprobación.
8. Identificar el impacto que generará el sistema de deshumidificación dentro del personal de producción, para investigar la forma de disminuirlo o eliminarlo.
9. Establecer un programa de capacitación continua a mecánicos sobre la maquinaria que se encuentra en las áreas técnicas, para tener una mayor eficiencia técnica.

## INTRODUCCIÓN

La mezcla de gases que componen la atmósfera se conoce como “aire”, y la mayoría de las personas saben que los componentes principales son el nitrógeno y el oxígeno. Solo cuando el clima se torna cálido y pegajoso o húmedo se percata que existe en ésta, otro componente importante: el vapor de agua.

También se conoce que cuando el aire está caliente y húmedo, la humedad puede condensarse en las superficies frías, y que cuando el aire está muy seco el agua de cualquier superficie se evapora más rápidamente. Dependiendo de la cantidad de agua contenida en el aire atmosférico, se puede sentir comodidad o incomodidad, existen varios puntos de aplicación de equipos de deshumidificación estos están indicados en el capítulo dos de este trabajo.

El funcionamiento de un sistema de deshumidificación a base de solvente químico debe ser capaz de extraer de los locales todo el calor que se introduce en los mismos.

En el capítulo dos son definidos los dos tipos de aportaciones de calor: sensibles y latentes, influyendo ambas en la carga térmica total. Los diversos tipos de cargas que intervienen en la carga total son: radiación solar, transmisión a través de los cerramientos, cargas internas, ventilación e infiltraciones.

Para realizar un proyecto de climatización en primer lugar se deben fijar las condiciones iniciales de diseño indicados en el capítulo tres, para lo cual se tomarán los datos climáticos que se requieren y los de cada localidad, esto se logra a través de un diagnóstico que indica cuál es la situación actual de la planta de producción farmacéutica.

La instalación del sistema de deshumidificación se explica en el capítulo cuatro, incluyendo los cálculos de cargas, planos de montaje e instalación y finalmente la calificación del sistema de aire tratado. Dentro del diseño e instalación se mostrará que existen varias formas de calcular las cargas de refrigeración de las cuales se utilizará una de ellas; teniendo una idea más amplia de lo que es la deshumidificación se podrá comprender su utilización dentro de un ambiente cerrado y además se tendrá bajo control las condiciones higroscópicas de las tabletas.

El capítulo cinco se basa en un aspecto muy importante, el enfoque del recurso humano, por lo que los parámetros de trabajo de los equipos deshumidificadores deben ser óptimos para el confort de todo el personal que trabaja dentro de la planta de producción, con este propósito se realiza un análisis FODA para definir cuáles son dichas condiciones de trabajo.

# 1. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

## 1.1. Reseña histórica

En 1863, Bayer inició sus actividades el 7 de agosto de 1863, en una modesta casa, en el valle del río Wupper, donde el comerciante de colorantes Friedrich Bayer y el maestro tintorero Johann Weskott instalaron una pequeña fábrica para producir colorantes artificiales para teñir textiles. 1867 El crecimiento de la empresa fue rápido. En 1867, poseía, además de la fábrica, tres almacenes de venta en Alemania y uno en Suiza. Nueve años después, inició un centro de producción en Moscú, el primero fuera de Alemania.

En 1881 después del fallecimiento de sus dos fundadores, los responsables de la compañía decidieron ampliar su capital social. Así, en 1881 fue constituida Friedr. Bayer & Co., una empresa en franca expansión, con varias fábricas y 384 colaboradores, incluido un equipo de químicos. 1897 diez años después se crea el departamento farmacéutico de Bayer, donde se consigue en 1897 sintetizar el principio activo ácido acetilsalicílico, gracias a los experimentos de Felix Hoffmann. Dos años más tarde Aspirina® es registrada por Bayer en la Oficina Imperial de Patentes de Berlín.

En 1925 la Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co. queda integrada en la I.G. Farbenindustrie AG y Leverkusen se convierte en la cabecera de la comunidad industrial del Bajo Rin. Después de la Segunda Guerra Mundial la I.G. Farben queda confiscada por orden de los aliados, desmembrándose más adelante.

En 1951, La Farbenfabriken Bayer AG se funda de nuevo, teniendo a partir de 1972 la razón social de Bayer AG, acelerándose el crecimiento de la empresa hasta convertirse en un consorcio químico-farmacéutico internacional. 1999, con motivo del centenario de Aspirina®, el 6 de marzo, el edificio que alberga la sede administrativa de la empresa se empaquetó, transformándose en la mayor caja de Aspirinas del mundo, lo que le valió a Bayer tres menciones en el Libro Guinness de los Records.

En 2001 el grupo Bayer sienta las bases a una nueva orientación. La dirección de la empresa decide la fundación de grupos de negocios independientes, unidos estructuralmente bajo el manto común de un holding estratégico de gestión. La empresa alberga ambiciosos objetivos con esta organización: mayor competitividad, procesos más eficaces gracias a los efectos sinérgicos, reducción de gastos, mayor flexibilidad, rapidez y transparencia, y más oportunidades para la creación de alianzas estratégicas y cooperaciones.

En 2002, las acciones de Bayer cotizan en la Bolsa más famosa del mundo: el Mercado de Valores de Nueva York. Con ello se pretende aumentar el interés de los inversores y fondos estadounidenses en las acciones de Bayer. Entra en operaciones la nueva estructura de The New Bayer, con los grupos de negocios independientes Bayer HealthCare, Bayer CropScience, Bayer Chemicals y Bayer Polymers, y las entidades de servicio Bayer Business Services, Bayer Technology Services y Bayer Industry Services.

## **1.2. Bayer en Centroamérica y El Caribe**

Por más de medio siglo Bayer ha estado presente en la región de Centroamérica y El Caribe, ofreciendo productos y servicios de calidad, que abarcan los campos de la salud, la alimentación, los productos químicos especiales y los plásticos. En sus actividades de base, apuesta por el liderazgo tecnológico. La capacidad técnica y económica de la empresa está ligada a la responsabilidad de trabajar en pro del ser humano y de prestar nuestra contribución a un desarrollo sostenible.

Guatemala es la sede de la Presidencia y Gerencia General para la región de Centroamérica y El Caribe desde 1987. Actualmente, tiene cerca de 500 colaboradores y es además la sede regional de Bayer CropScience, CentraChem y Consumer Care.

En 1915, Kaltwasser & Compañía, Ltda. contaba en Guatemala con la representación de los productos colorantes de Bayer. En 1962, Bayer inicia las gestiones para fundar la empresa propia, la cual se establece en 1963 como Bayer de Guatemala, S. A.. En ese año se adquirió un área en el municipio de Amatitlán en el departamento de Guatemala, para la construcción de la planta formuladora de productos agroquímicos, desde la cual se produce un 70% de los productos comercializados.

Esta Planta es una de las más modernas y automatizadas de América Latina, regida por estándares internacionales de calidad y con capacidad de producción de 10,000 toneladas anuales, abastece a la región de Centro América y República Dominicana.

En 1964, se fundó una segunda empresa: Bayer Farmacéutica Ltda., dedicada a la distribución de la línea de productos éticos.

En 1990 se adquiere el terreno colindante a la Planta de Producción de la División Consumer Care en el Km. 14.5 de la carretera Roosevelt en la ciudad de Guatemala, con un área de 10,365 m., destinado a la construcción de las oficinas administrativas de Bayer, las que se inauguraron en el 2000. La moderna construcción a la que se le destinó una inversión de 3 millones 500 mil dólares, ocupa un área total de 3 mil 500 m<sup>2</sup> y 2 mil 700 m<sup>2</sup> de área para oficinas.

### **1.3. Consumer care**

La División Consumer Care de Bayer, la cual le ofrece una amplia gama de reconocidos productos de automedicación, llamados también de “Venta Libre” y además pone a su disposición una línea de productos para el cuidado y la higiene del hogar. La división se destaca por su constante innovación a través del desarrollo de nuevos productos; innovaciones que satisfacen necesidades del consumidor como resultado de extensos estudios de mercado.

### **1.4. Visión<sup>1</sup>**

**“Nuestra visión es ser el socio preferido por nuestros clientes”**

---

<sup>1</sup> Información de página web <http://www.bayerconosur.com> / [www.bayer-ca.com](http://www.bayer-ca.com)

## **1.5. Misión**

La misión de Consumer Care es: **“Ser la mejor compañía de productos y sistemas para el cuidado de la salud y la protección del hogar”**. Esta misión se cumple trabajando con los estándares internacionales de calidad y producción.

## **1.6. Departamento de ingeniería y mantenimiento**

El departamento de ingeniería y mantenimiento es el encargado del funcionamiento óptimo de todos los equipos de producción de la planta para ello realiza diseños, mejoras y operaciones en sistemas mecánicos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos. Integrando recurso humano, materiales, repuestos, equipos y energía para llevar a cabo esta disciplina aplicando fundamentos del campo farmacéutico.

### **1.6.1. Estructura organizacional**

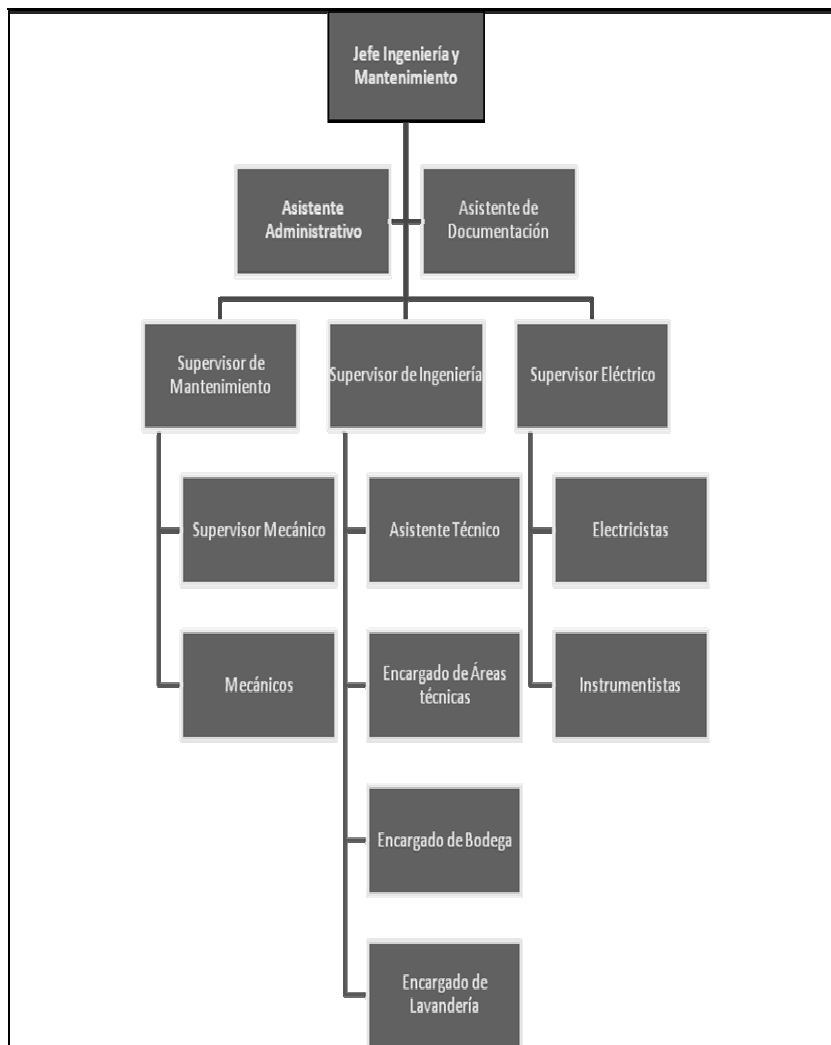
Bayer es una compañía global con competencias especializadas en el cuidado de la salud, nutrición y materiales de alta tecnología. Los productos son utilizados en casi todos los aspectos de la vida. Y apuntan a utilizar el conocimiento y la capacidad innovadora de los colaboradores para dar forma al futuro sobre la base de valores comunes. La nueva estructura organizacional del grupo Bayer provee un óptimo punto de partida para lograr este objetivo. Ver figura 1.

Se cree que el conocimiento técnico y comercial implica la responsabilidad de trabajar para el bien de la humanidad y contribuir a un desarrollo sustancial.



Con sus conocimientos, su creatividad y su facultad de innovación, los colaboradores de Bayer contribuyen activamente al desarrollo de la empresa. Por su parte, la empresa crea un ambiente productivo en el cual sus colaboradores tienen la oportunidad de alcanzar su máximo potencial.

**Figura 1 Organigrama del Departamento de ingeniería y mantenimiento**



### **1.6.2. Personal**

El Departamento de Ingeniería y Mantenimiento tiene un esquema amplio, con el fin de suplir la demanda de la planta de producción día a día, además de desarrollar proyectos nuevos que obligan a actualizarse en diversas áreas industriales de ambiente farmacéutico para contrarrestar los constantes avances tecnológicos y mantener calidad en todos los trabajos desarrollados.

Algunas de las funciones del Departamento de ingeniería y mantenimiento son las siguientes:

a) Objetivos

Dirigir todas las actividades relacionadas con los procesos organizacionales legales, financieros y productivos enfocados al área de Ingeniería y Mantenimiento; dentro de los límites de gastos establecidos en el presupuesto de manufactura.

b) Responsabilidades

- a. Dirigir, organizar y supervisar al personal a su cargo para cumplir con los programas de producción, a través de cumplimiento del plan anual de mantenimiento y ejecución de proyectos, velando por el cumplimiento de las metas económicas.
- b. Proporcionar regularmente información y directrices al personal, dentro del marco de los programas de formación y entrenamiento que estén establecidos. Coordinar esta actividad con el responsable de la función de Adiestramiento y Capacitación. Solicitar el desarrollo de programas de capacitación del personal a su cargo en los temas que determine que son necesarios para aumentar el conocimiento en las actividades que se realizan.
- c. Cumplir y verificar que se cumplan, todos y cada uno de los procedimientos aprobados de operación y mantenimiento en las áreas a su cargo, velando por que estos sean realizados con la mayor exactitud.

- d. Asegurar el correcto y pertinente registro de los datos de mantenibilidad en los documentos oficiales cumpliendo con las buenas prácticas de manufactura, y justificar cualquier desviación que ocurra respecto a los procedimientos y parámetros establecidos.

Verificar que la documentación oficial sea actual y exacta, y que cada documentación relacionada con lotes de fabricación que se hayan concluido sea completa y correcta, tomando en cuenta las normas establecidas por casa matriz y las autoridades de salud de Guatemala.



## 2. MARCO TEÓRICO

El control de la humedad puede lograrse con la remoción o la incorporación de agua al aire. La remoción de agua del aire se conoce como deshumidificación. La tecnología de la deshumidificación tiene sus orígenes en la primera parte del siglo XX, participa en muchos desarrollos tecnológicos y procesos industriales que requerían de un ambiente seco.

Para 1939, la tecnología de la deshumidificación fue tomando su forma definitiva en la protección de la carga de los buques, evitando los daños ocasionados por la humedad durante el transporte y el almacenamiento de las mercancías. Las acciones militares en zonas tropicales, durante la Segunda Guerra Mundial, enfatizaron la necesidad de la deshumidificación para proteger equipo delicado y sensible a la humedad.

Para el final de la guerra, la deshumidificación fue esencial para evitar el deterioro de cientos de embarcaciones. La deshumidificación permitió que las embarcaciones fueran “selladas” y almacenadas en óptimas condiciones, reduciendo considerablemente el tiempo requerido para regresar estos equipos a condiciones de completa operación.

Desde los años cuarentas el espectro de aplicaciones para los equipos deshumidificadores ha sido ampliado. Muchos de los procesos de remoción de humedad en la industria son ahora considerados como estándar, en la industria del plástico, alimentos, farmacéutica, electrónica y en el almacenamiento de

productos higroscópicos parece imprescindible el uso de los equipos de deshumidificación.

La tecnología de la deshumidificación actualmente es reconocida como un componente esencial en incontables procesos para asegurar el ahorro de energía y la productividad.

## **2.1. Efectos de la humedad**

El contacto del aire húmedo con superficies que tengan una temperatura inferior a su punto de rocío, ocasiona condensación. En muchos casos esta condensación es el origen de los daños que sufren los materiales, y pueden presentarse en forma de corrosión, desarrollo de bacterias así como otros procesos destructivos.

El daño debido a un exceso de humedad en el ambiente no es necesariamente producido por la condensación. Muchos productos alimenticios son higroscópicos: ellos colectan y mantienen la humedad. La capacidad higroscópica varía de sustancia a sustancia. Estas sustancias cuando están en contacto con la humedad del aire alcanzan un balance o equilibrio, entre la humedad del aire y la humedad del material.

La humedad colectada por materiales higroscópicos puede causar deterioro, descomposición, formación de hongos y otros procesos destructivos. Si el problema se enfoca a la generación de condensados, basta con mantener la humedad relativa del aire por debajo de la saturación, esto para prevenir la condensación.

Si el problema se enfoca a prevenir que algún material higroscópico colecte humedad del aire, entonces debe determinarse la máxima humedad que se puede tolerar en el material, para posteriormente mantener en el aire la humedad de equilibrio correspondiente.

Muchos son los procesos industriales en los que se utilizan sustancias que sufren deterioro por efecto de la humedad presente en el aire ambiente, por lo tanto, para prevenir la condensación o la recuperación de humedad en estos materiales, es necesario el uso de equipos de deshumidificación.

El uso de equipos deshumidificadores permite efficientar los procesos de manufactura y minimizar los problemas de calidad. El almacenamiento ya sea por períodos cortos o prolongados puede efectuarse sin el temor de que los productos sufran deterioro, por cambios químicos, adhesión, apelmazamiento u otros efectos que pueden arruinar los productos. Ver anexo 4.

## **2.2. Definición del proceso de deshumidificación**

La función del proceso básicamente es eliminar humedad del aire usando un desecante, material que atrae y retiene fácilmente vapor de agua. Los deshumidificadores desecantes son especialmente utilizados en casos de bajo nivel de humedad. Al contrario de los deshumidificadores por enfriamiento no se congelan cuando funcionan a baja temperatura.

En las unidades el desecante está impregnado en una estructura de material cerámico corrugado enrolado hasta formar una rueda. El aire pasa fácilmente a través de los canales entrando así en contacto con el desecante. La rueda gira lentamente (6-12 rpm) entre dos corrientes de aire.



La corriente de aire de proceso que entra a la rueda, deja su humedad al material desecante. Este aire está seco al salir de la rueda. La rueda cargada de humedad rota lentamente a través de una segunda corriente de aire, más pequeña, que ha sido calentada. Esta corriente llamada aire de reactivación, calienta el desecante, nuevamente seco, pasa mediante el continuo movimiento de rotación a la zona de aire de proceso donde vuelve a absorber humedad.

La estructura de soporte del desecante, llamada Rueda *HoneyCombe*, es muy notable: puede absorber mayor cantidad de agua que su propio peso. Las ruedas están constituidas para almacenar y liberar agua rotando 6 veces por hora, 24 horas por día, 7 días por semana, durante 7 años.

### **2.3. Aplicaciones para sistemas de deshumidificación**

Las aplicaciones para los deshumidificadores desecantes son excepcionalmente diversas. Estos equipos tienen un impacto muy positivo en la mayoría de los procesos.

Las botellas de plástico para refrescos pueden ser producidas el doble de rápido cuando se suministra aire seco a las cavidades del molde de inyección, lo que significa que una planta puede fabricar el doble, ahorrando millones de dólares en edificio y equipo.

Los deshumidificadores desecantes han permitido al famoso frasco de Leonardo Da Vinci, La Última Cena, sobrevivir a la contaminación y a inundaciones, preservando esta obra de arte para las futuras generaciones.

Sin la deshumidificación sería prácticamente imposible fabricar las baterías de litio que hacen funcionar los marcapasos, que mantienen con vida a miles de personas.

En este trabajo se busca facilitar las soluciones a problemas que se dan en la industria y que probablemente no se conozca que ya hay mucho camino recorrido.

### **2.3.1. Prevención a la corrosión**

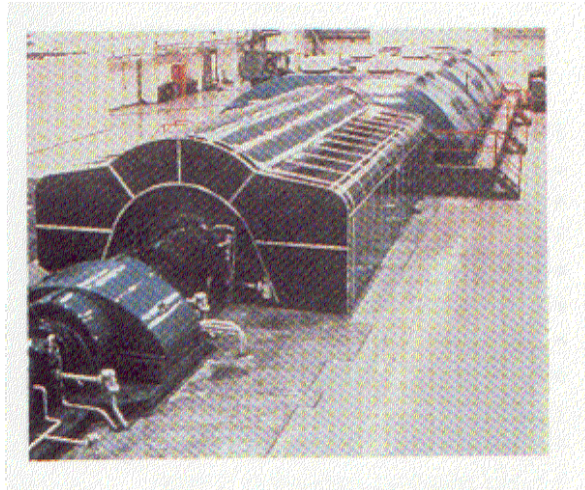
Todos los materiales presentan corrosión, esto significa que todas las sustancias eventualmente cambian de una forma a otra a través de reacciones químicas. Muchas de estas reacciones, especialmente aquellas que dependen del oxígeno, son catalizadas y aceleradas por la humedad.

Metales ferrosos como el fierro y el acero son perfectamente identificables por presentar corrosión en la presencia de humedad. Menos conocido es que el cristal se corroe y fractura a una velocidad que varía con la cantidad de humedad presente en su superficie. En el pasado cientos de deshumidificadores desecantes han sido usados para rodear la maquinaria y equipo con aire seco, evitando la corrosión en sus partes metálicas.

#### **2.3.1.1. Generadores de energía eléctrica**

Cuando las plantas generadoras son sacadas de operación para su mantenimiento o por exceder la oferta de energía, se instalan deshumidificadores para soplar aire al interior de la turbina de vapor y dentro de los devanados del generador.

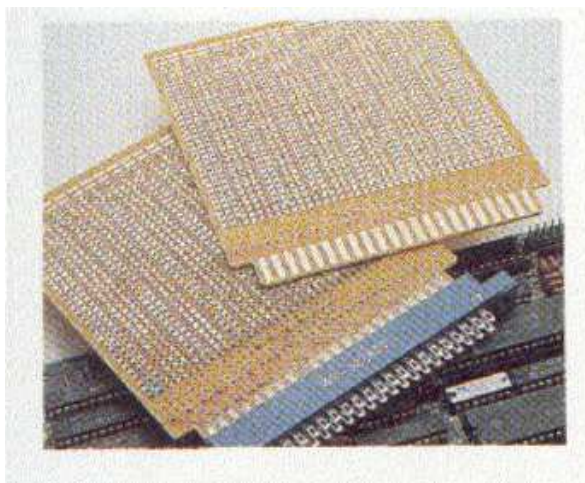
**Figura 2 Generadores de energía**



### **2.3.1.2. Protección de artículos electrónicos**

Las computadoras y otros equipos electrónicos utilizan pequeños voltajes y bajas corrientes para desempeñar sus funciones. Cuando en sus pequeños circuitos se forman depósitos de corrosión, estos incrementan su resistencia eléctrica y disminuyen su capacitancia, esto afecta seriamente su calibración y desempeño.

**Figura 3 Artículos electrónicos**



### **2.3.1.3. Producción de batería de litio**

El Litio, el Plutonio y otros metales de alta energía son peligrosos, porque se inflaman cuando el vapor de agua contenido en la atmósfera les produce corrosión. Los deshumidificadores hacen posible trabajar con estos metales en áreas abiertas y sin riesgo de explosión. Los equipos deshumidificadores secan grandes áreas de producción con docenas de gentes y mantienen los niveles de humedad en 1%. Los equipos deshumidificadores han hecho viable la industria de la fabricación de baterías de litio.

**Figura 4 Baterías de litio**



### **2.3.2. Prevención de la condensación**

Cuando las superficies frías se exponen al aire húmedo, el vapor del agua se condensa en ellas, tal como sucede en la superficie de un refresco expuesto al ambiente de verano. Esto puede ocasionar una gran cantidad de problemas. Por ejemplo, los consumidores en un supermercado podrían no ver los productos en el interior de un exhibidor refrigerado, ocasionando pérdidas en ventas.

Frecuentemente, el control de la condensación crea oportunidades de ahorro y no solo previene de algunos problemas. Por ejemplo, en muchos

procesos de producción se utilizan rodillos enfriados por agua para reducir la temperatura de películas o recubrimientos. Con la deshumidificación del ambiente en el cual operan estos rodillos, se puede reducir mucho más la temperatura de los rodillos sin que se presente condensación, con esto se agilizan los procesos y en algunos casos se evita la instalación de una segunda máquina.

### **2.3.2.1. Pistas de patinaje**

La temperatura del hielo es menor que la temperatura de punto de rocío del aire circundante, por lo que el vapor de agua del aire condensa sobre la superficie de la pista de hielo. El hielo entonces presentará una superficie suave y rugosa, y el sistema de refrigeración trabajará más para mantener el hielo en condiciones adecuadas para el patinaje.

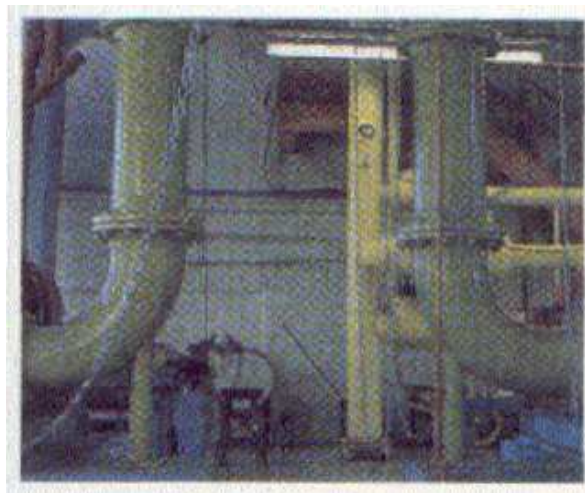
**Figura 5 Pista de patinaje**



### **2.3.2.2. Plantas de tratamiento de agua**

La temperatura en el agua de los mantos, frecuentemente es menor que la temperatura de punto de rocío del ambiente, esto puede ocasionar condensación en la superficie de tubería, válvulas y controles de la planta. Con el suministro de aire seco dentro de la planta puede prevenirse la condensación que origina el desarrollo de bacterias y oxidación de partes metálicas de la tubería y sus accesorios, manteniendo la higiene en las instalaciones ya que el aire seco inhibe el desarrollo de bacterias y hongos.

**Figura 6 Planta de agua**



### **2.3.3. Prevención de hongos y bacterias**

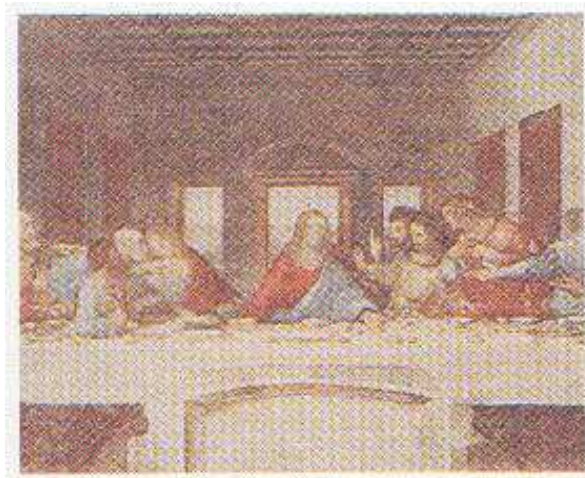
Los hongos y las bacterias están presentes en casi todos los materiales. Estos pueden sobrevivir en ausencia de humedad y permanecer dormidos por décadas, pero cuando la humedad y el alimento se hacen presentes, entonces pueden reproducirse rápidamente. La humedad no tiene que ser necesariamente en forma líquida. Los microorganismos pueden utilizar la

humedad presente en los materiales ya que ellos requieren solamente de pequeñas cantidades.

### **2.3.3.1. Archivos**

Documentos históricos, fotografías y pinturas suelen estar hechos en materiales orgánicos e higroscópicos. Cuando estos absorben humedad, los microorganismos se reproducen y ocasionan daños a estos materiales. Los deshumidificadores han sido utilizados para proporcionar ambientes de baja humedad y evitar el ataque de estos microorganismos

**Figura 7 Pintura La Última Cena**



### **2.3.3.2. Almacén de semillas**

Todos los materiales orgánicos están sujetos al ataque bacteriológico, pero pocos tienen la sensibilidad de las semillas. Las semillas son físicamente resistentes, pero cuando el contenido de humedad de la semilla es alto, los microbios se pueden desarrollar en ellas y destruir los importantes nutrientes que ellas contienen.

### **2.3.3.3. Protección de carga**

Aceites lubricantes, productos de piel, comida enlatada, granos y fertilizantes, están expuestos a la humedad durante el transporte marítimo. Materiales a granel como semillas, harinas y tabaco son especialmente vulnerables ya que pueden atrapar un alto contenido de humedad durante su embarque.

### **2.3.3.4. Cervecerías**

Las Cervecerías requieren de grandes cantidades de calor, agua y granos de malta. Estos son necesarios para la fermentación de la levadura misma que convierte el azúcar en alcohol. La levadura es una bacteria benéfica, pero otras bacterias pueden desarrollarse en este ambiente y desplazarse a otras etapas del proceso. Los deshumidificadores pueden crear ambientes secos en las cervecerías, evitando la contaminación de productos causada por microorganismos destructivos.

**Figura 8 Cervezas**





### **2.3.4. Prevención de la ganancia de humedad**

Virtualmente todas las sustancias tienen alguna afinidad con el agua. Incluso las resinas plásticas como el nylon que puede coleccionar entre un 6 y 10% su propio peso, en vapor de agua. En muchos casos, esto no representa un problema. En otros, la ganancia de humedad puede afectar las dimensiones del producto, o hacer que productos que normalmente fluyen con facilidad se vuelvan pegajosos.

#### **2.3.4.1. Empacado de confitería**

Los caramelos frecuentemente contienen azúcar y sorbitol, ambos son altamente higroscópicos. La humedad relativa es alta, el producto puede absorber humedad y volverse pegajoso. Entonces este se adhiere a la máquina embolsadora y al material de la envoltura, afectando la velocidad de producción y creando problemas sanitarios.

**Figura 9 Confitería**



#### **2.3.4.2. Cuartos limpios**

Cuando se fabrican microcircuitos se utilizan resinas llamadas foto resistente, para trazar las líneas de conducción en la tarjeta impresa. Estos polímeros son higroscópicos. Si estos absorben agua, en el circuito impreso pueden aparecer líneas discontinuas o producirse puentes.

En la industria farmacéutica se utilizan polvos altamente higroscópicos. Cuando la humedad es alta es difícil procesarlo y al mismo tiempo se reduce considerablemente su caducidad. Por estas y otras razones, los cuartos limpios son equipados con deshumidificadores cuando se quiere prevenir la ganancia de humedad, incrementar los ritmos de producción y aumentar la calidad de los productos.

**Figura 10 Industria farmacéutica**



#### **2.3.4.3. Fabricación de cristal inastillable**

La delgada y transparente capa de plástico que funciona como adhesivo entre las dos capas del cristal inastillable, es muy higroscópica. Si se le permite

ganar humedad, se crearán burbujas durante el proceso de horneado y estas quedarán atrapadas dentro de cristal.

**Figura 11 Cristal inastillable**



### **2.3.5. Secado de productos**

Muchos productos frecuentemente son secados por medio de aire caliente, sin embargo, el aire caliente seca muy lentamente o perjudica los productos. Las encimas por ejemplo, son destruidas por el calor, también la levadura si es secada con aire muy caliente podría no funcionar apropiadamente.

Cuando se requiere un secado con temperaturas inferiores a los 120° F, es generalmente necesario utilizar deshumidificadores en lugar de calentar el aire. Entre más frío sea el aire requerido para el secado, mejor se justifica económicamente el uso de deshumidificadores. Por ejemplo en la fabricación de detergentes comerciales se utilizan encimas que son secadas en lechos fluidos.

### **2.3.5.1. Fundición de piezas metálicas**

En este proceso, los moldes de cera son inmersos en un batido de cerámica, repetidas inmersiones van engrosando la pared cerámica hasta formar el molde, que posteriormente es llenado con metal fundido en tanto que la cera es desplazada al exterior.

El uso de aire caliente en el secado del material cerámico presenta el inconveniente de que reviene la cera y la deforma. Con el uso de aire deshumidificado es posible producir con una velocidad consistente durante todo el año no importando el nivel humedad que prevalece en el exterior.

### **2.3.5.2. Secado de pescado**

Algunos alimentos tan delicados como el pescado, son muy sensibles al calor. Idealmente, estos deben ser secados a bajas temperaturas de tal forma que las bacterias no se desarrollen y las proteínas no se descompongan. Estos problemas afectan la textura, el sabor y la sanidad. Los deshumidificadores desecantes son utilizados junto con sistemas de enfriamiento para secar pescado eficientemente a bajas temperaturas.

### **2.3.6. Enfriamiento en seco**

Los sistemas de aire acondicionado generalmente usan serpentines de enfriamiento para controlar, tanto la temperatura como la humedad. En la mayoría de las aplicaciones de aire acondicionado para confort, resulta muy eficiente controlar la humedad por este medio.

Sin embargo, en algunas circunstancias, resulta benéfico incorporar un deshumidificador al sistema de aire acondicionado para controlar la humedad por separado. Los beneficios son considerables cuando la carga de humedad es mayor a la carga de calor, o cuando los picos se presentan en momentos diferentes.

#### **2.3.6.1. Supermercados**

Cuando los exhibidores funcionan estos enfrían también el aire circundante, en los difusores del mismo se condensan grandes cantidades de agua, que en ocasiones llegan a formar escarcha. Un deshumidificador desecante remueve el vapor de agua del aire, en forma más eficiente y económica que el equipo de refrigeración en el exhibidor. Cuando el aire circundante es más seco los exhibidores trabajan más eficientemente.

Los ahorros de energía pueden representar la venta de cientos de dólares en mercancías. Adicionalmente, si el entorno del exhibidor está seco, no se formará escarcha en los productos, lo que hace que estos productos sean más atractivos para los clientes.

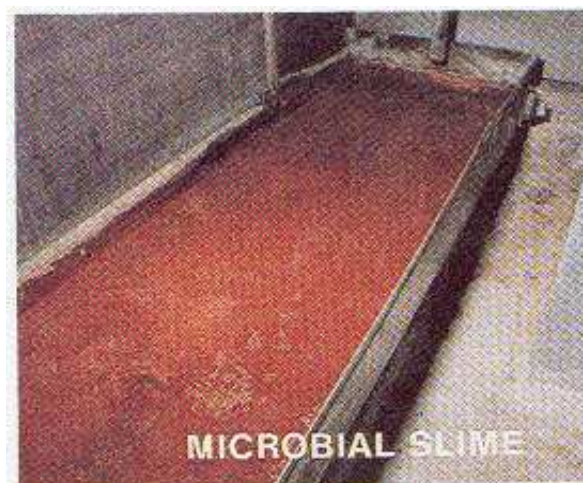
#### **2.3.6.2. Edificios enfermos**

Cuando el aire es enfriado por sistemas de expansión directa, el aire sale del serpentín básicamente saturado de humedad. En algunos casos, los ductos de distribución y la charola colectora de condensados ofrecen el lugar ideal para el desarrollo de hongos y bacterias.

La calidad del aire en el interior de los edificios es muy pobre y origina malos olores. Con el secado del aire, antes de que este pase por el serpentín

de enfriamiento, se elimina este problema. En instalaciones como quirófanos, el secado del aire puede ser de gran ayuda para abatir malos olores y evitar el desarrollo de bacterias.

**Figura 12 Edificio contaminado de bacterias**



## **2.4. Métodos de deshumidificación**

Existen básicamente dos formas de efectuar la deshumidificación del aire atmosférico. Una es por medio del enfriamiento del aire por debajo de su temperatura de punto de rocío, esto ocasiona que la humedad se condense en las superficies frías.

La otra consiste en hacer pasar el aire por sustancias que tienen una gran afinidad por la humedad. Estas sustancias son conocidas como desecantes y son capaces de extraer la humedad directamente del aire ambiente.

### **2.4.1. Deshumidificación por refrigeración**

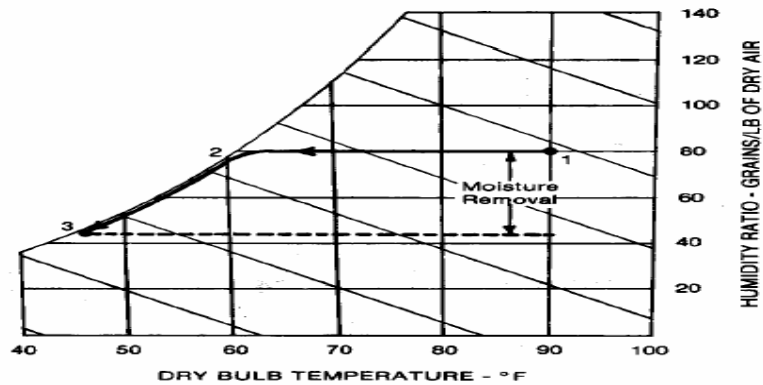
El uso de la refrigeración para remover humedad del aire ambiente es un método común para la deshumidificación del aire. En la carta simplificada de la figura 13, se muestra lo que ocurre durante este proceso.

El aire con las condiciones iniciales de temperatura y humedad (punto 1 en la gráfica), es enfriado por refrigeración (descrito por la línea entre los puntos 1 y 3). Cuando el aire ha sido enfriado lo suficiente como para traer las condiciones hasta la línea de saturación (punto 2), su temperatura ha sido disminuida y ahora se encuentra saturado de humedad.

El enfriamiento adicional provocará que la humedad se condense. En un equipo de aire acondicionado típico esta condensación se presenta directamente en las aletas del serpentín de enfriamiento y es colectada en una charola y arrojada al drenaje.

Al final del proceso de enfriamiento (punto 3), el aire está muy frío y contiene menos humedad pero aun se encuentra muy próximo a la saturación (100% HR). Básicamente todos los sistemas de aire acondicionado se comportan de la forma descrita anteriormente. Usualmente lo que se busca es enfriar el aire. Sin embargo, aun cuando la Deshumidificación es incidental esta debe ser considerada y proporciona los medios necesarios para colectar y remover el agua condensada por el equipo de aire acondicionado.

Figura 13 Deshumidificación por enfriamiento



El proceso de refrigeración mecánica ocurre en un circuito cerrado y presurizado, en el cual un refrigerante tal como el Freón es recirculado a través de compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. Un diagrama de este circuito es mostrado en la figura 14.

El refrigerante en forma de gas es comprimido, condensado y posteriormente expandido para enfriar el refrigerante líquido. Finalmente el refrigerante es evaporado por medio del calor que se extrae del aire que se hace circular por el serpentín evaporador.

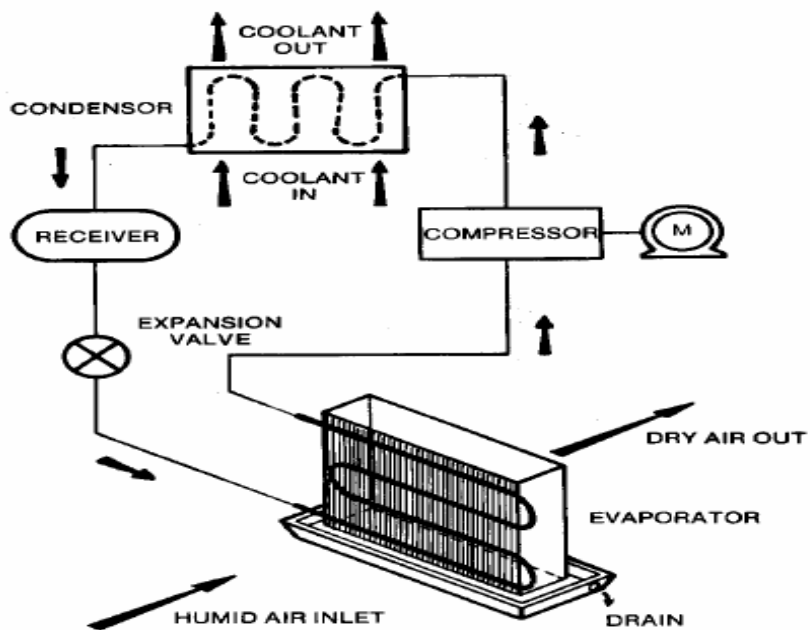
El aire descargado por un equipo de aire acondicionado está muy próximo a la saturación. Sin embargo si el aire saturado es calentado, este mismo aire puede llegar a ser considerado como aire seco en términos de humedad relativa.

Durante el proceso de enfriamiento, la saturación es regularmente alcanzada solo en el entorno próximo del serpentín de enfriamiento y solo cuando la temperatura de la superficie del serpentín es inferior a la temperatura de punto de rocío del aire. La deshumidificación por refrigeración normalmente



es muy eficiente. La cantidad de energía removida puede ser varias veces mayor a la energía aplicada para operar el sistema de aire acondicionado.

Figura 14 Deshumidificador por refrigeración mecánica<sup>2</sup>



#### 2.4.2. Deshumidificación por desecantes

Los desecantes son sustancias que tienen una gran afinidad por el agua; tan alta, que de hecho, pueden atrapar humedad directamente del aire circundante. La mayoría de los desecantes son sólidos en su estado normal; otra minoría son líquidos.

---

<sup>2</sup> *The Dehumidification Handbook*. 2nd Edition

En términos funcionales existen dos clases de desecantes: absorbentes y adsorbentes. Los absorbentes producen cambios físicos o químicos cuando colectan la humedad. El cloruro de litio, por ejemplo, es un desecante absorbente. Su fuerte afinidad por la humedad ocasiona que cambie de un anhidro (Sales de litio) a un estado hidratado.

## **2.5. Definición de cargas térmicas**

También nombrada como carga de enfriamiento, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (Ej. Confort humano). Es la cantidad de calor que se retira de un espacio definido, se expresa en BTU, la unidad utilizada comercialmente relaciona unidad de tiempo, Btu/hr.

### **2.5.1. Concepto de carga sensible<sup>3</sup>**

Se denomina carga sensible al que aplicado a una sustancia hace subir su temperatura. Es el calor que aportamos para incrementar la temperatura de un cuerpo.

### **2.5.2. Concepto de carga latente<sup>2</sup>**

Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo al cambiar de estado. Es el calor que aportamos para cambios de estado, no varía la temperatura. Ver anexo 5.

---

<sup>3</sup> Termodinámica de Yunus A. Cengel. Michael A. Boles



### **3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Los equipos que deshumidifican el aire en la planta de producción están compuestos por varios servicios (vapor, agua fría y aire), a continuación muestra cómo funciona el proceso actualmente.

#### **3.1. Sistema de deshumidificación actual**

Los equipos utilizados en la planta de producción son equipos marca Cargo Caire de la fábrica Munters, el sistema se basa en captación de humedad a través de una rueda de cloruro de litio, la cual elimina un porcentaje de humedad del aire que ingresa a las áreas de producción.

Estos equipos Cargo Caire están acoplados a unas manejadores de aire que reducen el porcentaje de humedad a través de proceso de refrigeración.

Una de las mayores deficiencias del sistema actual es que al tiempo que el Cloruro de litio atrapa la humedad, su estructura molecular por ser absorbente ocasiona que cambie de un anhidro a un estado hidratado. Si se dispone de suficiente humedad, esta se convierte en agua y el cloruro de litio acabará por diluirse en ella. Un absorbente líquido, que se incorpora a soluciones de cloruro de litio para contrarrestar, es el Glicol Trietileno.

La deshumidificación por desecantes instalada actualmente se basa en la exposición del desecante a un flujo de aire húmedo. La humedad es extraída

del aire y colectada por él desecante. Después el desecante es calentado, liberando así la humedad colectada y siendo esta arrastrada por un flujo de aire forzado a través de él. El desecante regenerado ahora puede ser utilizado de nuevo.

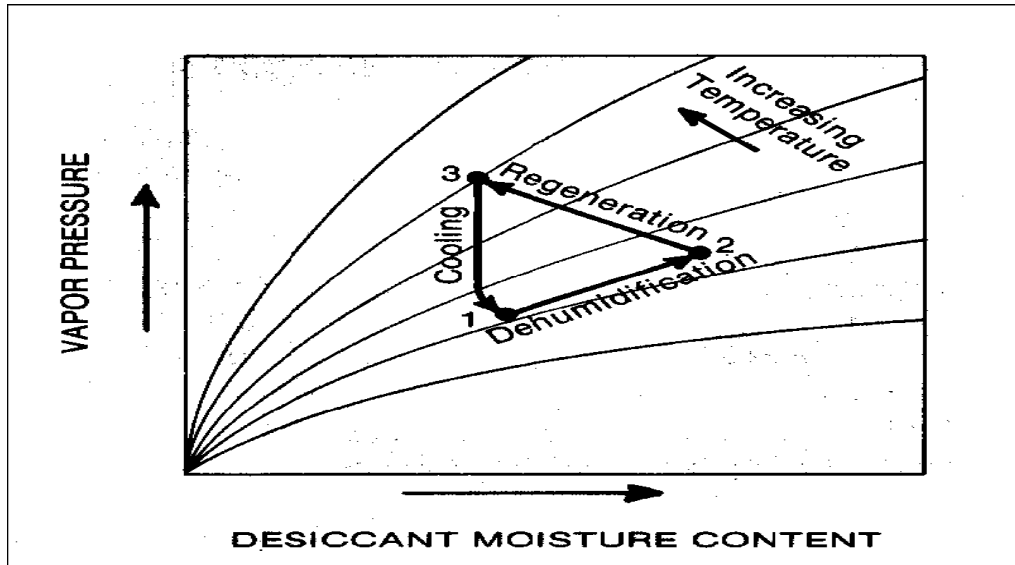
El principio de funcionamiento se basa similar a cómo el agua en el aire tiene cierta presión de vapor, así el agua contenida en el desecante tiene también una presión de vapor. En el trabajo normal del sistema actual existe una tendencia natural a que estas dos presiones de vapor busquen su equilibrio esta condición se logra y es cuando el desecante se satura. En tanto que la presión de vapor del aire circundante es mayor que la del desecante, este continuara colectando humedad.

El uso de este desecante con regeneración continua constituye un proceso reversible. La figura 15, muestra la naturaleza del proceso actual, superpuesto en una carta de equilibrio simplificada, para las dos presiones de vapor presentes. La posición 1 representa el desecante en su estado inicial cuando entra en contacto con el aire húmedo. En tanto el desecante se carga con la humedad colectada su condición se desplaza hacia el punto 2, mismo que se encuentra cerca de la saturación.

El recorrido entre los puntos 2 y 3 representa el proceso de regeneración donde el calor es aplicado al desecante para que libere la humedad acumulada. En el punto 3 la regeneración se ha completado. Sin embargo el desecante debe de enfriarse antes de que inicie un nuevo ciclo.

La trayectoria entre los puntos 3 y 1 representa este enfriamiento. La humedad es atrapada por el desecante entre los puntos 1 y 2 y liberada por éste entre los puntos 2 y 3.

Figura 15 Gráfico de las condiciones del material descante durante el ciclo de deshumidificación<sup>4</sup>



A continuación se observa el sistema de deshumidificación instalado en la planta de producción, este se muestra en la figura 16. Se puede observar que los equipos que conforman el sistema no son de la misma marca, y se ven deteriorados por sus años de funcionamiento (24 horas diarias).

Figura 16 Fotografía de los sistemas de deshumidificación a cambiar en la planta de producción



<sup>4</sup> *The Dehumidification Handbook*. 2nd Edition

### 3.2. Tiempo estimado de trabajo del sistema actual

Cada equipo ha trabajado aproximadamente desde el año 1990, en promedio de 24 horas por días, seis días a la semana da un total de 119,800 horas aproximadas de trabajo.

Se puede ver en la figura 17, las instalaciones del sistema y ver que tienen un amplio factor de pérdidas de volumen de aire por acoples entre ductos. No obstante el equipo mantuvo el aire dentro de los límites de trabajo requeridos para los distintos productos que se fabrican en la planta.

**Figura 17 Fotografía de sistemas de ductos actuales.**



La configuración actual de los sistemas de deshumidificación para las áreas de producción efervescentes y estándar fueron diseñados utilizando equipos de diferentes marcas y capacidad, acopladas a través de sistemas de ductos este tipo de diseño ocasiona muchas pérdidas de energía y ganancia de humedad en el proceso de deshumidificación debido a los acoplamientos que disminuyen su eficiencia. Adicionalmente el sistema de deshumidificación para

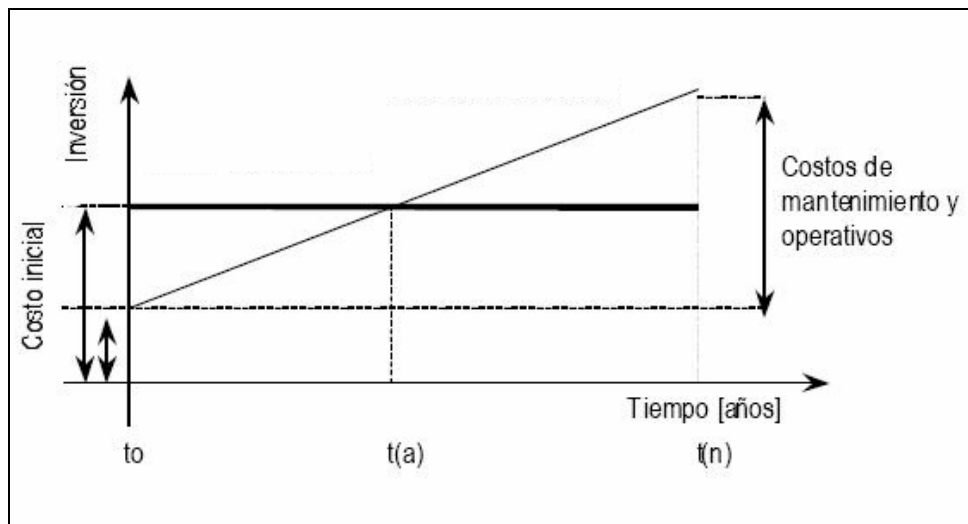
el área de tabletas efervescentes ha producido un deterioro acelerado, lo cual hace difícil su mantenimiento.

La expansión para las nuevas áreas de producción, hacen necesario el incremento de la capacidad del sistema de deshumidificación del área de tabletas estándar.

### 3.3. Costos de mantenimiento del sistema actual

Los costos de mantenimiento del sistema se han incrementado en función del tiempo de trabajo, esto por trabajos en sistema de ductos, cambio de chumaceras, cambio de ruedas secantes y regeneración de ruedas secantes. En la figura 18 se puede observar como el costo aumenta en función del tiempo, lo que hace al sistema actual ya no ser rentable económicamente.

Figura 18 Gráfica de relación costo de mantenimiento en función el tiempo





Gastos del último año de utilización del sistema antiguo de deshumidificación.

**Tabla I Costos de mantenimiento de los sistemas de deshumidificación antiguos**

Registro	Concepto	Comentario	Unidad Monetaria	Costo
132	Fabricación de ejes para Cargo Caire de producción, en material de acero 705 de 20 mm de diametro X 172 de largo.	Según Cotización No. 5669	Q	476.00
133	Fabricación de 2 ejes para uso en Cargo Caire de Producción, en acero inoxidable de 5/8" diametro X 12 1/2" de largo con parches en los extremos.	Según Cotización No. 5668.	Q	533.12
2153	3 Uniones de 1 1/2" en HN 9 niples de 1 1/2" x 3" en HN 3 Niples de 1 1/2" x 2 1/2" en HN 3 válvulas de compuerta de 1 1/2" para vapor Materiales en HN para reparación de línea de vapor de serpentín de cargo caire de tabletas Standard		Q	795.95
1990	1 valv. Cheque horizontal de 3/4" 1 trampa termodinámica de 3/4" expiras Sarco 1 válvula de bola de 3/4" para vapor 1 Niple HN de 3/4" x 5 1/2" 1 Niple HN de 3/4" x 5 5/8" Para reparación de tubería de condensado de serpentín de cargo caire de no eferv.		Q	1,710.85
2026	1 Trampa termodinámica de 3/4". 1 Cheque horizontal de 3/4". 3 Rollos de teflon de 1". 2 Rollos de teflon de 1/2". 2 Rollos de cinta de aluminio p/alta temperatura. 1 Rollo de cinta gris p/tubo ducto. Materiales para reparación de tubería de cargo caire área t		Q	1,173.22
2276	Inst. de válvulas de vapor para los serpentines del Cargo Caire	cot.154	Q	1,890.00
2528	Repuestos para Cargo Caire de tableadora estándar y efervescente de prod.	Pago anticipado 010028	Q	84,160.00
5189	4 uniones universales de 1 1/4" de HN 2 filtros de 3/4" en HN Rep. De línea de vapor de cargo caire de área técnica # 1 e Inst. de 2 Válvulas reguladoras en línea de vapor de áreas técnicas de prod.		Q	311.00
3629	2 valv. Cheque yee 1/2" 2 valv. Cheque de 3/4" 2 trampa 1/2" 2 trampa 3/4" 2 cañuela de fibra de vidrio 2" x 1" x 3 Reparación de tubería de vpaor Cargo Caire área técnica No.1		Q	3,898.50
3630	Cambio de serpentín del cargo caire efervescente	cot.18	Q	1,590.00
3863	Reparación fuga de vapor en el sisitema de dehumidificación cargo Caire Standard	cot.080-06	Q	890.00
4113	Reparación de serpentín manejadora Cargo Caire eferv.	cot.146-06	Q	2,285.00
4439	2 union universal 3/4" 1 rollo teflon 3/4" 1 valv. Bola 3/4" Repuestos de tub. Condensado de unidad cargo caire		Q	156.30
4520	Banda para rueda para equipo deshumidificador de Munters Cargocaire	ANTICIPO LIQUIDADO OP14678	Q	1,280.00
5046	Reparación de tubería de condensado de cargocaire efervescentes de producción		Q	3,325.25
5648	Cambio de válvulas termodinámicas en cargo caire área estándar Reparaciones TAC	cot.495	Q	1,300.00
7569	Cambio de serpentín a manejadora de aire cargo caire	ref.490-07	Q	2,450.00
7934	Cambio de serpentín a llenadora de cargo caire estándar	cot.663-07	Q	3,500.00
		<b>Total año 2004</b>	Q	111,725.19

### 3.4. Expansión de la planta de producción

En la planta de producción se tiene planificada la expansión de las áreas de producción, por lo que el sistema requiere tener un mayor caudal de aire para mantener en equilibrio las humedades en los gabinetes, además de mantener confort.

Se tiene estimado instalar una línea nueva, para el llenado de botellas, la cual incrementará el volumen requerido en un 25% del volumen actual, no teniendo la capacidad los equipos actuales. En las figuras 19, 20, y 21 se observan los equipos que conformarán la nueva área de fabricación.

Contadora de tabletas a instalarse en la planta de producción Figura 19.

**Figura 19 Fotografía de nuevas líneas de producción 1**



Nueva selladora de inducción y nueva retorqueadora de botellas a instalarse en la planta de producción ver figura 20

**Figura 20 Fotografía de nuevas líneas de producción 2**



Nueva taponadora de botellas a instalarse en la planta de producción ver figura 21.

**Figura 21 Fotografía de nuevas líneas de producción 3**

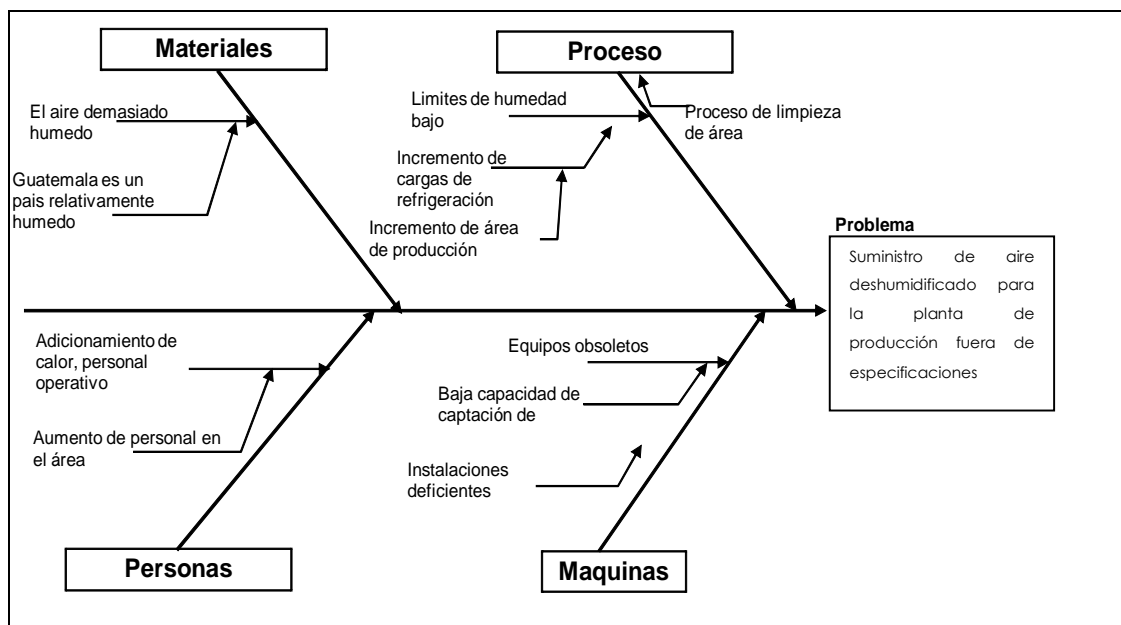


Las dimensiones requeridas para la instalación de estos equipos son distintas a las actuales lo cual requiere de un nuevo diseño de tubería de agua

fría, tubería de Vapor, ductos de alimentación, de retorno y equipos deshumidificadores.

Los problemas que enfrenta la planta de producción con respecto al suministro de aire deshumidificado se representa en el diagrama de la figura 22.

**Figura 22 Diagrama Ishikawa sistema de deshumidificación actual**



### 3.5. Servicios actuales para generación de aire deshumidificado

Los servicios son básicos para el funcionamiento de los equipos que mantienen las condiciones aptas para la producción de productos higroscópicos, en la planta debido a que se necesita pasar el aire por varios procesos termodinámicos que interactúan con el aire se tienen varios sistemas de generación los que definimos en los siguientes incisos.

### **3.5.1. Sección generadora de vapor**

La generación del vapor de la planta de producción, se realiza a través de dos Calderas York Shipley de 150 HP, y estas se encargan de mantener vapor con una adecuada calidad, para el buen funcionamiento de diversos equipos de producción. La temperatura en este caso, se logra mediante una adecuada generación de vapor.

### **3.5.2. Sección generadora de agua fría**

Este sistema es conocido en la planta como sistema de agua helada, y consiste en una unidad central que genera agua a temperaturas de aproximadamente 4 °C, la cual es distribuida por medio de tubería a los equipos y áreas Técnicas de la Planta.

La unidad enfriadora de agua opera mediante el ciclo de refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado. Para ello cuenta con cuatro (4) componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.

En el evaporador se absorbe el calor para nuestro caso; se absorbe calor del agua y al hacer esto la misma baja su temperatura. Al desarrollar este proceso, el fluido que circula (el refrigerante) se evapora y lo toma el Compresor donde se le eleva la presión y la temperatura, para luego rechazar en el Condensador el calor absorbido a un medio seleccionado, en nuestro caso agua.

Al rechazar el calor, el refrigerante se condensa y pasa al dispositivo de control donde se le baja la presión y la temperatura y está listo para absorber calor nuevamente en el evaporador.

En la parte exterior del área técnica se encuentra un equipo que se le conoce con el nombre de Torre de Enfriamiento. La misma es necesaria ya que como hemos indicado anteriormente, el calor que se rechaza en el enfriador lo rechazamos al agua (Ciclo de Condensación).

En el ciclo de condensación, el calor que rechaza la unidad enfriadora de agua lo toma el otro ciclo independiente de agua y lo lleva a la torre de enfriamiento, utilizando la bomba de agua de condensación, donde el aire que allí circula se encarga de extraerle el calor y rechazarlo al ambiente exterior.

Es importante hacer notar que para que existan todos los procesos de intercambio deben existir los flujos ya sea de agua o de aire según sea el caso.

### **3.5.3. Esquemas de los equipos a reemplazar**

Para cada área de fabricación existe un sistema de deshumidificación con distintos parámetros de operación. Actualmente no existen planos exactos de cómo están distribuidos los equipos en cada área técnica, sistemas de vapor, agua fría, ductos de alimentación y retorno. Lo que hace necesario generar este tipo de esquemas que puedan facilitar futuros trabajos en dichas áreas y eficientar el tiempo de estudio de espacios.

Los esquemas utilizados a la fecha se observan en la figura 23, correspondiente para el área efervescente y la figura 24, que corresponde al área de productos estándares.

Figura 23 Sistemas de deshumidificación área efervescente

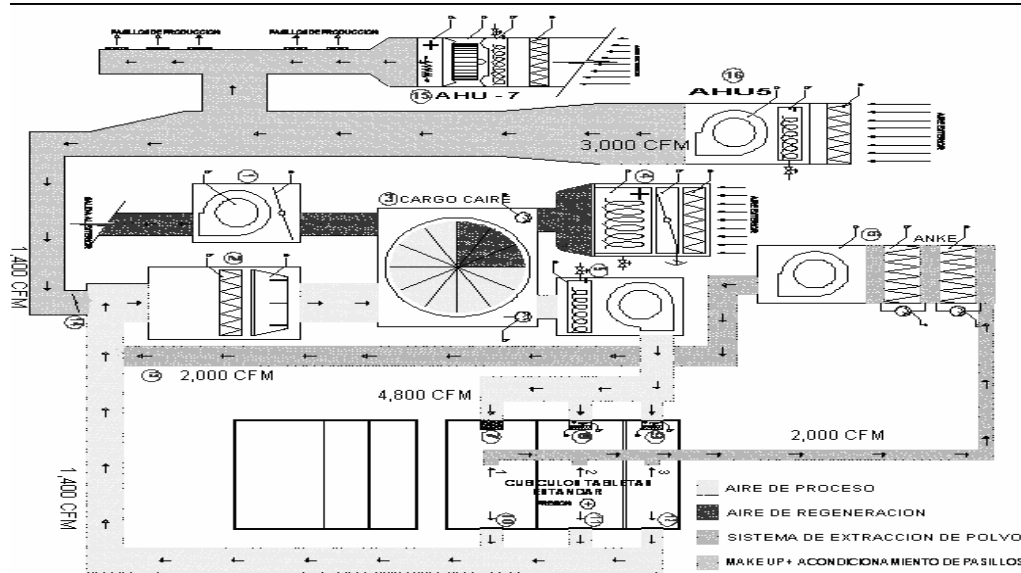
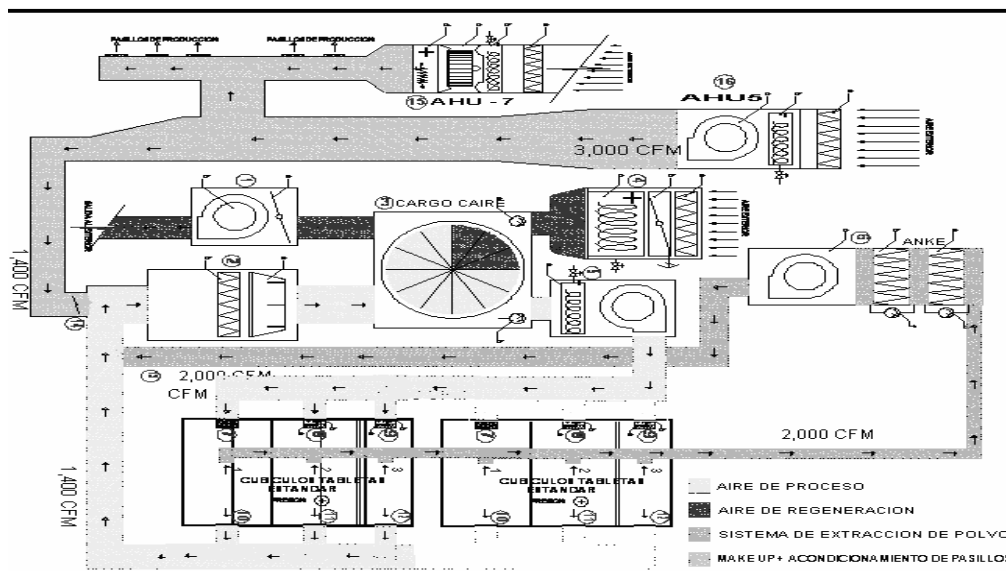


Figura 24 Sistemas de deshumidificación área estándar



## **4. DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN A BASE DE SOLVENTE QUÍMICO**

### **4.1. Introducción a la industria farmacéutica enfocada a la deshumidificación**

Los productos fabricados en la Bayer son productos manufacturados bajo políticas y directivas regidas desde casa matriz, estas normas dictan todos los aspectos que se deben de cumplir para la calificación de las áreas de producción.

Entre los aspectos más importantes están las clases de limpieza que se deben de mantener para calificar un área. Dentro de estas especificaciones se encuentran los límites de humedad para productos efervescentes y estándares lo que implica tener un sistema sostenible y autónomo para cumplir con dichas especificaciones.

Otro aspecto importante es que el aire que se encuentra dentro de los gabinetes de fabricación se considera crítico porque está en contacto directo con el producto, lo que hace necesario mantener una eficiencia de filtrado para evitar que partículas ajenas a las área ingresen y contaminen el producto.

Dentro de los equipos deshumidificadores se encuentran los adsorbentes que no producen cambios físicos o químicos cuando colectan el agua. Más bien, estos materiales son capaces de contener grandes cantidades de humedad en la superficie de sus partículas. Esta cualidad nos indica que



tipo de equipo debemos elegir basados en que no se tiene contaminación del aire utilizado en la planta de producción.

La sílica gel es un adsorbente de uso muy común en la industria farmacéutica. Una de las características de la deshumidificación por medios desecantes, es que el descante puede ser retornado una y otra vez a su estado seco sin perder sus propiedades.

El uso de equipos deshumidificadores a base de sílica gel permite eficientar los procesos de manufactura y minimizar los problemas de calidad. El almacenamiento ya sea por periodos cortos o prolongados puede efectuarse sin el temor de que los productos sufran deterioro, por cambios químicos, adhesión, apelmazamiento u otros efectos que pueden arruinar los productos.

Entre las ventajas de mantener condiciones de humedades controladas, a través de un sistema de deshumidificación a base de sílica gel son las siguientes:

- **Proceso de tableteado**
  - Elimina la ganancia de humedad
  - Incrementar la velocidad de prensado
  - Velocidad de producción constante
  
- **Confitado de tabletas**
  - Reduce el uso de solventes
  - Mejora el manejo de los productos en cualquier clima

- **Mezcla de polvos**
  - Elimina la ganancia de humedad
  - Simplifica el manejo
  - Mejoras sanitarias
  
- **Secado por esperado**
  - Mantiene una producción consistente
  - Reduce el tamaño del lecho fluido
  - Permite el secado a baja temperatura
  
- **Almacenamiento**
  - Extiende la vida en almacén
  - Posibilita el almacenamiento en frío - seco.

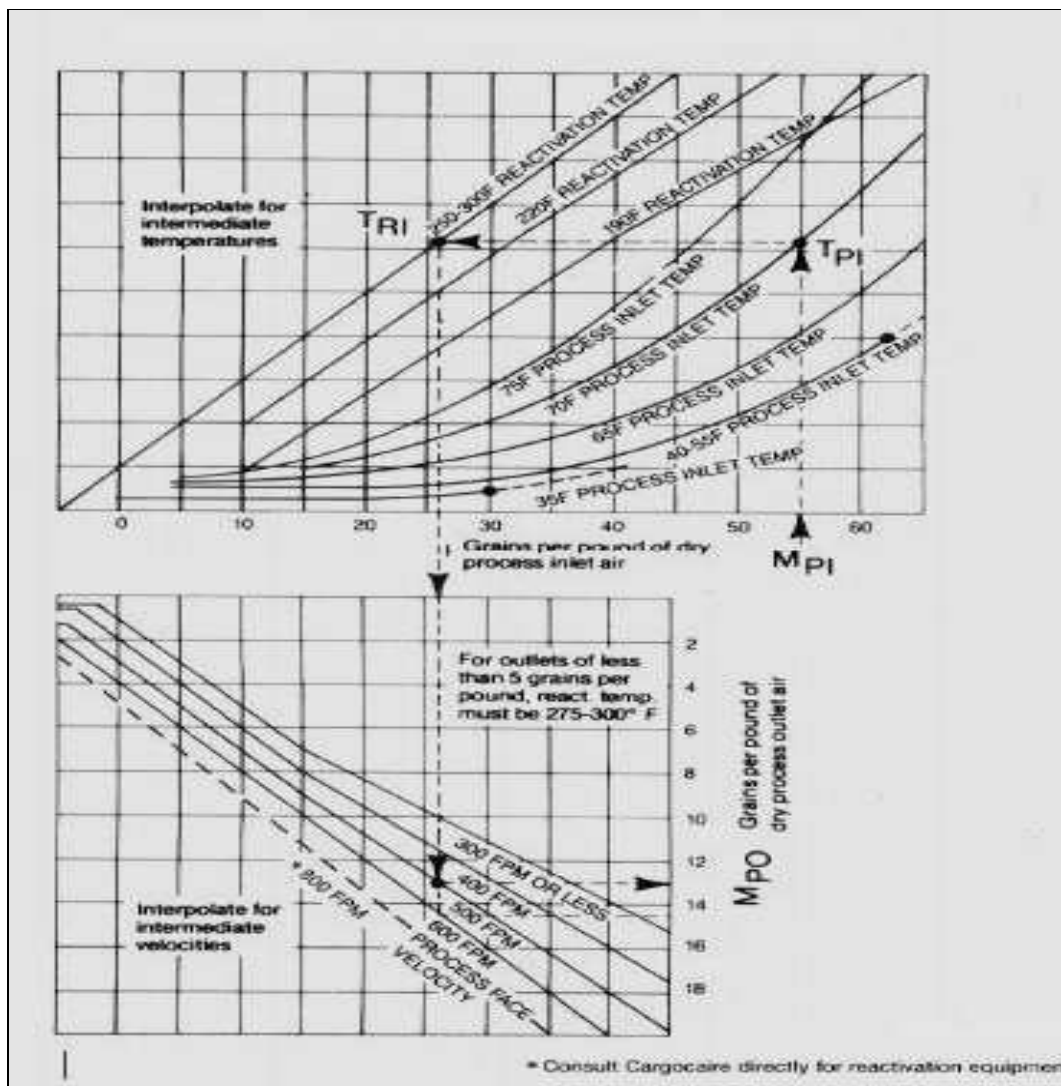
#### **4.1.1. Definición del equipo de deshumidificación**

Para seleccionar un equipo deshumidificador es necesario conocer las condiciones de temperatura y humedad que se desea mantener, así como la carga de humedad que necesita remover el equipo.

Dentro de una planta de producción existen varios factores a tomar en cuenta para seleccionar un equipo adecuado entre ellos están, la cantidad de equipos (motores, resistencias etc.) dentro de áreas determinadas, cantidad de ventanas, tipo de superficie utilizada en las paredes y techo, tipo de iluminación, cantidad de personas que trabajan dentro del área, número promedio de aperturas de puertas, cantidad de agujeros para transportadores de producto de un área a otra.

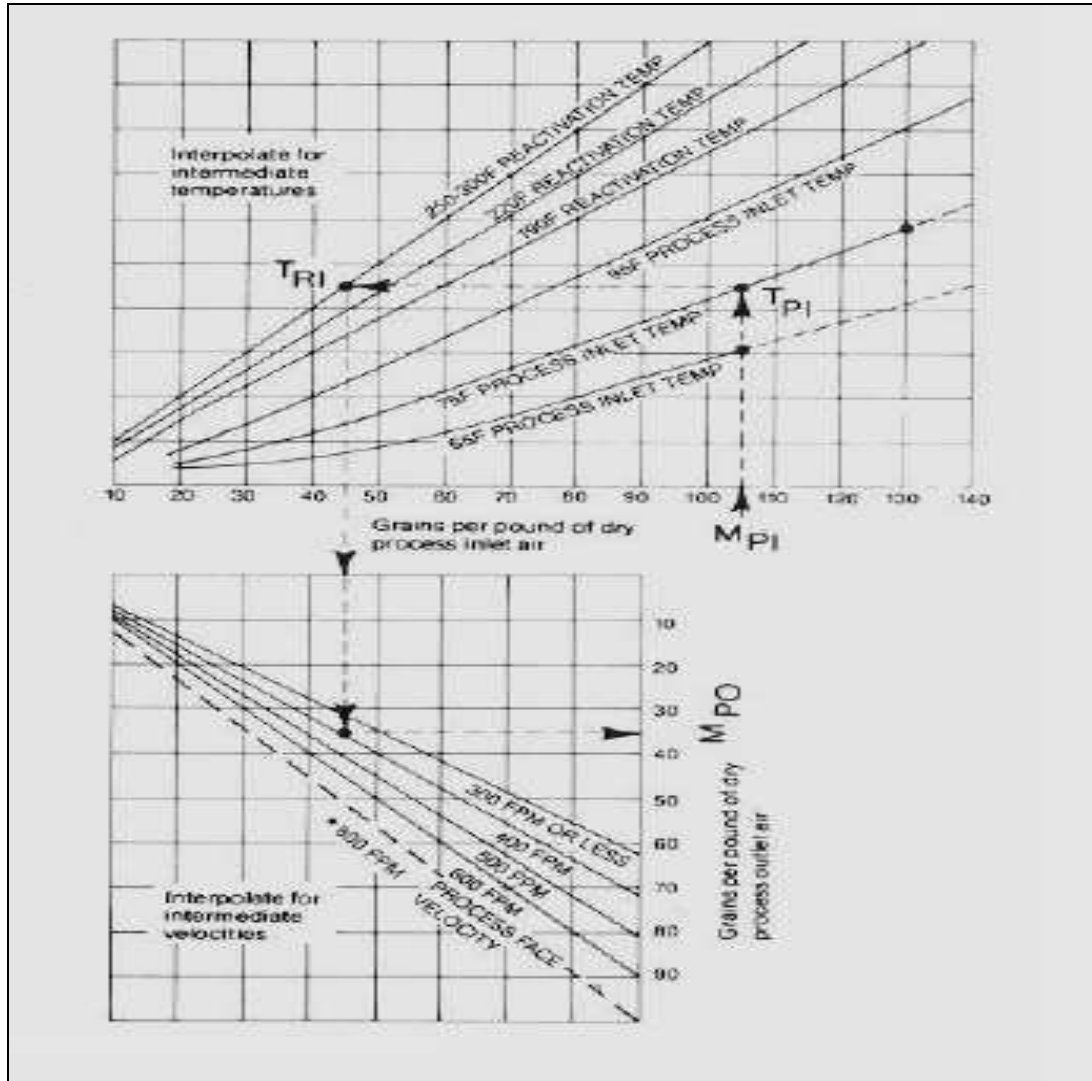
La selección del proceso de deshumidificación a utilizar se puede hacer basándose en la capacidad para remoción de humedad a distintos rangos. Como se ve en la figura 25 y 26.

Figura 25 Capacidad de remoción de humedad de bajo rango<sup>5</sup>



<sup>5</sup> Manual de deshumidificación Munters México, S.A. de C.V.

Figura 26 Capacidad de remoción de humedad de alto grado<sup>6</sup>



#### 4.1.2. Proceso de deshumidificación de Aire

El deshumidificador con rueda HoneyCombe, que es el elegido para sustituir los equipos viejos instalados en planta, funciona de la misma forma que el deshumidificador de camas rotatorias, excepto que en este caso el

<sup>6</sup> Manual de deshumidificación Munters Mexico S.A. de C.V.

material desecante (normalmente Sílica Gel) se encuentra en el substrato base de una estructura corrugada y empacada dentro de cilindro.

La rueda gira lentamente entre los flujos de aire de proceso y reactivación. El aire de proceso fluye a través de los conductos formados por el corrugado, y el material desecante de la rueda atrapa el vapor de agua contenido en el aire. En la medida en que el material desecante atrapa la humedad este se va saturando, antes de que esto suceda, el desecante ingresa a la cámara de reactivación en donde un flujo de aire caliente incrementa la presión de vapor en la superficie del material, permitiendo al desecante liberar la humedad que es arrastrada por el flujo de aire de reactivación. Posteriormente, el desecante reactivado regresa a la cámara de proceso para iniciar un nuevo ciclo “proceso - reactivación”.

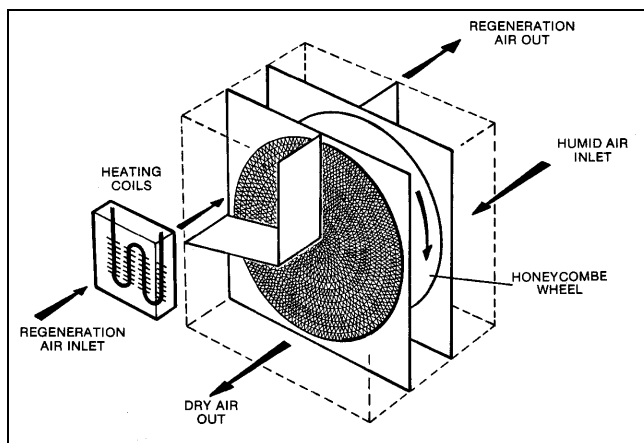
Las cámaras de secado y regeneración se encuentran separadas por sellos flexibles, y los flujos de aire viajan en sentidos opuestos o a contra flujo. Los deshumidificadores de flujos opuestos son normalmente más eficientes que los de flujos paralelos.

Las ruedas desecantes mantienen su integridad por un período de tiempo mayor que los gránulos de Sílica usados en los deshumidificadores de camas rotatorias. Ver anexo 8.

Ya elegido, el modelo figura 27, se requiere conocer cuál es el tamaño adecuado del equipo para esto es necesario el cálculo de las cargas de refrigeración ver tabla I y II.

Un aspecto extra para elegir el sistema de deshumidificación es su factibilidad en costos ver anexo 9.

Figura 27 Esquema de deshumidificador con ciclo de regeneración<sup>7</sup>



## 4.2. Cálculo de cargas de refrigeración

Dentro de la planta de producción se manejan dos áreas de fabricación, conocidas como área de productos estándares y área de productos efervescentes, para estas áreas mencionadas se realizarán los cálculos del presente informe.

Una selección completa de un deshumidificador involucra ciertos cálculos para determinar

- El volumen de aire.
- Los requerimientos de energía de reactivación.
- Las condiciones de entrada y de salida de proceso y de reactivación.
- La selección del ventilador.

Los cálculos iniciales del desempeño de un deshumidificador se basan en una temperatura estimada a la entrada de la reactivación. La selección

---

<sup>7</sup> Manual de deshumidificación Munters Mexico S.A. de C.V.

específica del tamaño de un calentador de reactivación a vapor o eléctrico puede hacer necesario el recálculo del volumen del aire de reactivación y de las temperaturas de una forma iterativa.

Puede ser que se requiera más de una iteración, particularmente si se considera la recuperación del calor de la reactivación. Después de determinar correctamente la temperatura y el volumen de aire requerido en la reactivación, se puede calcular el incremento en la temperatura del aire de proceso y la temperatura de la salida del aire de reactivación. Posteriormente será posible seleccionar los ventiladores de proceso y de reactivación.

#### **4.2.1. Tipos de cargas dentro del proceso**

Como se mencionó en la sección 2.3 del presente escrito, se requieren definir las cargas de enfriamiento que existen en la planta de producción, para estos cálculos se utilizarán métodos recomendados por fabricantes de equipos deshumidificadores a nivel mundial.

##### **4.2.1.1. Cálculo de carga sensible**

Para el cálculo de carga sensible se utilizó fórmula recomendada por *HVAC Heating and Ventilating Formulas* (fórmulas básicas de calefacción y ventilación)

$$\text{Btu/Hr.} = 1.085 * Q * \Delta T^8$$

Donde:

Q : Caudal del aire en Ft<sup>3</sup>/min

$\Delta T$ : Temperatura de aire de salida - Temperatura de aire de entrada

---

<sup>8</sup> Termodinámica de Yunus A. Cengel. Michael A. Boles

#### 4.2.1.1.1. Cálculo de carga sensible área efervescente

Para el cálculo de carga sensible dentro del área efervescente es necesario determinar la temperatura de inyección de aire, temperatura de salida, área de entrada, velocidad del aire, caudal de aire. Todas estas variables son tomadas del sistema montado actualmente para área efervescente.

En la tabla I, se puede ver el cálculo para los cubículos de producción de efervescentes.

**Tabla II Cálculo de carga sensible área efervescente**

	TEMPERATURA DE INYECCION DE AIRE EN °F	TEMPERATURA DE SALIDA °F	AREA DE ENTRADA FT <sup>2</sup>	VELOCIDAD DE ENTRADA FT/MIN	CAUDAL DE AIRE EN CFM	BTU/HR
L 1	63.68	68.18	2.40235072	713.64	1714.413568	8332.0499
L 2	63.86	69.62	2.15275584	871	1875.050337	11664.3131
L 3	64.04	71.06	2.15275584	616.6	1327.389251	10063.7343
PASILLO *						40356.14
					Total de CFM	Total de
					4917	Btus / hr
						70417

#### 4.2.1.1.2. Cálculo de carga sensible área estándar

Para el cálculo de carga sensible dentro del área estándar es necesario determinar la temperatura de inyección de aire, temperatura de salida, área de entrada, velocidad del aire, caudal de aire. Todas estas variables son tomadas



del sistema montado actualmente para área estándar, como se observa en la tabla II, la cantidad de área es mayor que la del área efervescente, por ende la carga sensible es mayor.

**Tabla III Cálculo de carga sensible área estándar**

	TEMPERATURA DE INYECCION DE AIRE EN	TEMPERATURA DE SALIDA °F	AREA DE ENTRADA	VELOCIDAD DE ENTRADA	CAUDAL DE AIRE EN CFM	BTU/HR
	°F		FT²	FT/MIN		
L 4	58.82	72.5	3.75743575	536.2	2014.737049	29766.5311
L 5ª	61.28	71.96	1.8787	393	738.3291	8516.1832
L 5B	61.88	70.88	3.718963712	250	929.740928	9037.0818
L 6ª	61.28	72	1.8787	420	789.054	9135.3516
L 6B	63.14	72.5	2.27647744	895	2037.447309	20596.1474
PASILLO *						28236.41
					Total de CFM	Total de BTU/HR
					6510	105288

\* Calculo De Carga Sensible

#### 4.2.1.2. Cálculo de carga latente

Para el cálculo de carga latente, se utilizó el manual de cálculo del centro técnico de recurso de Bry-Air<sup>9</sup>, este procedimiento se basa en tablas estándares que podemos ver en los anexos 1, 2, 3 y 6. Para expresar los cálculos se presentan en tablas tomando en cuenta los factores necesarios.

Existen otros procedimientos de cálculo ver Anexo 10.

---

<sup>9</sup> Bry-Aire fue fundado en 1964 y ha sido un líder en el campo de la deshumidificación desecante por más de 40 años. [www.bry-air.com](http://www.bry-air.com)

#### 4.2.1.2.1. Cálculo de carga latente área efervescente

Para el cálculo de carga latente en las áreas de productos efervescente, se toman los siguientes datos, temperatura ambiente (temperatura de bulbo seco), el área de cada cubículo para determinar el volumen base, en base a la superficie de las paredes se determina la permeabilidad del cubículo, también se toma en cuenta la cantidad de aperturas de puertas (para efectos de la planta se toma 12 aperturas por hora), carga definida por agujeros en paredes constantemente abiertos (salida de producto) y finalmente la cantidad de personas que trabajan constantemente en el área. Los valores varían dependiendo del tipo de industria y el país donde se encuentra ver anexo 7.

El cálculo para las áreas de productos efervescentes se puede ver en las tablas III, IV, y V.

**Tabla IV Cálculo de carga latente área efervescente, línea 1**

Condiciones					Tamaño del Cubículo en metros										
Reales	72 FDB	- FWB	58 gr/lb		6.1L	12.07 W	4.4 H	323.96							
								-14.03							
Diseño	72 FDB	- FWB	20.97gr	20 RH											
	1 Δ T		37.03 Δ gr					= 309.93 m <sup>3</sup>							
Carga por Permeabilidad								<GR/HR							
	10.936.67 FT <sup>3</sup>		37	1.05	0.63	1	0.75								
Volumen	14	x	(Δ gr)	x	(F <sub>1</sub> )	x	(F <sub>2</sub> )	x	(F <sub>3</sub> )	x	(F <sub>4</sub> )	14351.6			
Carga por puertas Abiertas															
Aberturas/hr	12	x	Area	64.55 FT <sup>2</sup>	7	x	37.03	(Δ gr)	x	1.05	(F <sub>1</sub> )	4302.53			
Carga por agujeros abiertos permanentemente															
			6.54	(area)	x	300	14	(dep)	x	37.03	(Δ gr)	x	1.05	(F <sub>1</sub> )	8256
Carga por personas															
			3	(#personas)	x	2540	(F <sub>5</sub> )								7620
TOTAL CARGA LATENTE EN GR/HR												34530.13			
TOTAL CARGA DEL CUBICULO lb/hr												4.9328			
CFM Requeridos															
14	x	34530.13	60	÷	20.97 - 4.8							= 498.27CFM			

**Tabla V Cálculo de carga latente área efervescente, línea 2**

Condiciones				Tamaño del Cubiculo en metros							
Reales	72 FDB	- FWB	58 gr/lb	3.05 L	12.07 W	4.4 H	161.97				
							-7.015				
Diseño	72 FDB	- FWB	20.97gr	20 RH							
	1 Δ T		37.03 Δ gr				= 154.98m <sup>3</sup>				
Carga por Permeabilidad							GR/HR				
	5468.31 FT <sup>3</sup>		#	1.05	0.63	1	0.75				
			(Δ gr)								
Volumen	14	x		(F <sub>1</sub> )	x	(F <sub>2</sub> )	x	(F <sub>3</sub> )	x	(F <sub>4</sub> )	7175.78
Carga por puertas Abiertas											
Aberturas/hr	12	x Area	64.55 FT <sup>2</sup>	37.03	1.05			4302.53			
			7	(Δ gr)	(F <sub>1</sub> )						
Carga por agujeros abiertos permanentemente											
			4.62	300	1.58	37.03	1.05				
			(area)	x 14	x (dep)	x (Δ gr)	x (F <sub>1</sub> )	5832.23			
Carga por personas											
	3		2540					7620			
	(#personas)	x	(F <sub>5</sub> )								
TOTAL CARGA LATENTE EN GR/HR							25311.54				
TOTAL DE CARGA DEL CUBICULO lb/hr							3.616				
CFM Requeridos	14	x	25311.54	÷	20.97 - 4.8			= 365.24 CFM			
			60								

**Tabla VI cálculo de carga latente área efervescente, línea 3**

Condiciones				Tamaño del Cubiculo en metros							
Reales	72 FDB	- FWB	58 gr/lb	3.05 L	12.07 W	4.4 H	161.97				
							-7.015				
Diseño	72 FDB	- FWB	20.97gr	20 RH							
	1 Δ T		37.03 Δ gr				= 154.98m <sup>3</sup>				
Carga por Permeabilidad							GR/HR				
	5468.31 FT <sup>3</sup>		37	1.05	0.6	1	0.75				
			(Δ gr)								
Volumen	14	x		(F <sub>1</sub> )	x	(F <sub>2</sub> )	x	(F <sub>3</sub> )	x	(F <sub>4</sub> )	7175.78
Carga por puertas abiertas											
Aberturas/hr	12	x Area	64.55 FT <sup>2</sup>	37	1.05			4302.54			
			7	(Δ gr)	(F <sub>1</sub> )						
Carga por agujeros abiertos permanentemente											
			4.6	300	1.58	37.03	1.05				
			(area)	x 14	x (dep)	x (Δ gr)	x (F <sub>1</sub> )	5806.97			
Carga por personas											
	3		2540					7620			
	(# personas)	x	(F <sub>5</sub> )								
TOTAL CARGA LATENTE EN GR/HR							25286.3				
TOTAL DE CARGA DEL CUBICULO lb/hr							3.612				
CFM Requeridos	14	x	25286.3	÷	20.97 - 4.8			= 364.88 CFM			
			60								

El aire en CFM necesario para compensar la carga latente del área que está expresado en la tabla VI.

**Tabla VII Resumen cálculo de carga latente área efervescente**

CARGA TOTAL DE AREA EFERVECENTES				
CFM Requeridos				
		85128		
14	x	60	÷	20.97 – 4.8
				= 1228.40 CFM
Make-Up Air (Cantidad de aire de compensación)				
		500		37.03
		14	x	(Δ gr)
			x	60

#### 4.2.1.2.2. Cálculo de carga latente área estándar

Para el cálculo de carga latente en las áreas de productos estándar, se toman los siguientes datos, temperatura ambiente (temperatura de bulbo seco), el área de cada cubículo para determinar el volumen base, con base a la superficie de las paredes se determina la permeabilidad del cubículo, también se toma en cuenta la cantidad de aperturas de puertas (para efectos de la planta se toma 12 aperturas por hora), carga definida por agujeros en paredes constantemente abiertos (salida de producto) y finalmente la cantidad de personas que trabajan constantemente en el área.

El cálculo para las áreas de productos efervescentes se puede ver en las tablas VII, VIII. Para los demás gabinetes se utiliza la misma configuración de cálculo.

**Tabla VIII Cálculo de carga latente área estándar, línea 4**

Condiciones				Tamaño del cubículo en metros								
Reales	72 FDB	- FWB	58gr		6.1 L	12.07 W	4.4 H	323.96				
								-7.015				
Diseño	71 FDB	- FWB	45.45gr	20 RH								
	1 Δ T		12.55 Δ gr					= 309.96m³				
Carga de Permeabilidad								GR/HR				
	10936.63 FT <sup>3</sup>		13 (Δ gr)	1	0.63	1	0.75					
Volumen	14	x	(F <sub>1</sub> )	x	(F <sub>2</sub> )	x	(F <sub>3</sub> )	x	(F <sub>4</sub> )	4632.36		
Carga por puertas abiertas												
Aberturas/hr	12	x Area	64.55 FT <sup>2</sup> 7	x	12.55 (Δ gr)	x	1 (F <sub>1</sub> )			1388.75		
Carga por agujeros abiertos permanentemente												
			0.9682 (area)	x	300	x	1.58 (dep)	x	12.55 (Δ gr)	x	1 (F <sub>1</sub> )	3132.68
Carga por personas												
			3 (#personas)	x	2540 (F <sub>s</sub> )						7620	
TOTAL CARGA LATENTE EN GR/HR								16773.79				
TOTAL DE CARGA DEL CUBICULO lb/hr								2.396				
CFM Requeridos												
14	x	16773.79	60	÷	45.45 - 13					= 120.66 CFM		

**Tabla IX Cálculo de carga latente área estándar, línea 5ª**

Condiciones				Tamaño del cubículo en metros								
Reales	72 FDB	- FWB	58gr		6.1 L	W	4.4 H	323.96				
								-7.015				
Diseño	71 FDB	- FWB	45.45gr	20 RH								
	1 Δ T		12.55 Δ gr					= 309.96m³				
Carga de Permeabilidad								GR/HR				
	2849.45 FT <sup>3</sup>		#	2.05	0.63	1	0.75					
			(Δ gr)									
Volumen	14	x	(F <sub>1</sub> )	x	(F <sub>2</sub> )	x	(F <sub>3</sub> )	x	(F <sub>4</sub> )	1206.92		
Carga por puertas abiertas												
Aberturas/hr	12	x Area	64.55 FT <sup>2</sup> 7	x	79.55 (Δ gr)	x	2.05 (F <sub>1</sub> )			1388.75		
Carga por agujeros abiertos permanentemente												
			0 (area)	x	300	x	1.58 (dep)	x	12.55 (Δ gr)	x	1 (F <sub>1</sub> )	0
Carga por personas												
			3 (# personas)	x	2540 (F <sub>s</sub> )					7620		
TOTAL CARGA LATENTE EN GR/HR								10215.67				
TOTAL DE CARGA DEL CUBICULO lb/hr								1.459				
CFM Requeridos												
14	x	10215.67	60	÷	45.45 - 13					= 73.46 CFM		

El aire en CFM necesario para compensar la carga latente del área está expresado en la tabla IX.

**Tabla X Resumen cálculo de carga latente área estándar**

CARGA TOTAL DE AREA ESTANDAR					83298.52
CFM Required					
14	x	83298.52	÷	45.45 – 13	= 598.96 CFM
		60			
Make-Up Air					
		1080	x	37.03	
		14	x	(Δ gr)	60
					171396

### 4.3. Cálculo del dimensionamiento las áreas de producción por secciones

La carga latente de cada área está expresado en las tabla X y XI, acá de incluye el cálculo de aire perdido por succión de polvo, apertura de puertas y se proporciona en función de los equipos seleccionados.

### 4.3.1. Sección de efervescentes

Los datos de la tabla siguiente indican los valores promedios para el área de productos efervescente, tomando en cuenta las tres líneas de producción.

Tabla XI Dimensionamiento sección efervescente

AREA EFERVESCENTES													
PUNTO					A			B			C		
	CARGA LATENTE GR/HR	CARGA LATENTE LB/HR	%	CANTIDAD CONFORME A LOS 7800 CFM	MAKE-UP CFM	GR/LB EN MAKE - UP	TEMP. DE MAKE-UP EN °F	RETORNO DE CUBICULOS EN CFM	RETORNO DE AIRE DE CUBICULOS EN GR/LB	TEMPERATURA DE RETORNO DE LOS CUBICULOS °F	ANKE EN CFM	GR/LR EN ANKE	TEMP. DE ANKE EN °F
LINEA 1	41,436,156	5,92	40,56%	2109,26	405,63	58,00	72,00	902,07	21,00	72,00	801,56	35,96	91,00
LINEA 2	30,373,848	4,34	29,73%	1546,14	297,34	58,00	72,00	661,24	21,00	72,00	587,56	35,96	91,00
LINEA 3	30343,56	4,33	29,70%	1544,60	297,04	58,00	72,00	660,58	21,00	72,00	586,98	35,96	91,00
total	102,153,564	14,59	100,00%	5200,00	1000,00			2223,90			1976,10		

PUNTO	A	B	C	TOTAL
CAJA DE MEZCLA				
CFM	1000,00	2223,90	1976,10	5200,00
GR/LB	58,00	21,00	35,96	114,96
TEMP °F	72,00	72,00	91,00	235,00

PUNTO	D			W	
	MEZCLA FINAL D	ENTRADA AL EQUIPO DE 4200 CFM	ENTRADA BY-PASS EN CFM	CAPACIDAD DE SECADO EN LB/HR DE EQUIPO	% DE TRAB EQUIPO/MAX.70 LB/HR
CFM	5200,00	4200,00	1000,00		
GR/LB	33,80	33,80	33,80		
TEMP °F	79,22	79,22	79,22	45,90	66,52%

CONDICIONES DE EQUIPO Y LINEA FINAL									
VOLUMEN DE PROCESO CFM	E		F		G	X		R	
	GR/LB SALIDA DE EQUIPO F CON 4200CFM	TEMP. DE SALIDA DE EQUIPO °F EN PUNTO F	MEZCLA E Y C GR/LB	TEMP. FINAL EN PUNTO F EN °F	GR/LB RENDIDOS BAJO CONDICIONES ANTERIORES EN DISEÑO	GR/LB REQUERIDOS CUBICULOS	TEMP. REQUERIDA CUBICULOS	VOLUMEN DE REACTIVACION EN CFM	TEMP. DE REACTIVACION EN °F
4200,00	12,55	112,70	16,64	97,95	21,00	21,00	72,00	840,00	101,48

### 4.3.2. Sección no efervescentes

Los datos de la tabla siguiente indican los valores promedios para el área de productos efervescentes, tomando en cuenta las 7 líneas de producción.

Tabla XII Dimensionamiento sección estándar

AREA ESTANDAR													
PUNTO	CARGA LATENTE GR/HR	CARGA LATENTE LB/HR	%	CANTIDAD CONFORME A LOS 7800 CFM	MAKE-UP CFM	A		B			C		
						GR/LB EN MAKE - UP	TEMP. DE MAKE-UP EN °F	RETORNO DE AIRE DE CUBICULOS EN GR/LB	TEMPERATURA DE RETORNO DE LOS CUBICULOS °F	RETORNO DE CUBICULOS EN CFM	ANKE EN CFM	GR/LR EN ANKE	TEMP. DE ANKE EN °F
LINEA 4	20,128,548	2,88	20,15%	1571,70	161,20	58,00	72,00	1097,64	46,00	72,00	312,86	35,96	91,00
LINEA 5ª	12,258,804	1,75	12,26%	956,28	98,08	58,00	72,00	667,85	46,00	72,00	190,35	35,96	91,00
LINEA 5B	15,867,828	2,27	15,87%	1237,86	126,96	58,00	72,00	864,49	46,00	72,00	246,41	35,96	91,00
LINEA 6ª	12,192,108	1,74	12,17%	949,26	97,36	58,00	72,00	662,94	46,00	72,00	188,96	35,96	91,00
LINEA FRASCOS	14,223,996	2,03	14,19%	1106,82	113,52	58,00	72,00	772,98	46,00	72,00	220,32	35,96	91,00
E8	12,392,628	1,77	12,43%	969,54	99,44	58,00	72,00	677,11	46,00	72,00	192,99	35,96	91,00
E9	12,894,312	1,84	12,93%	1008,54	103,44	58,00	72,00	704,34	46,00	72,00	200,76	35,96	91,00
total	99,958,224	14,28	100,00%	7800,00	800,00			5447,35			1552,65		

PUNTO				TOTAL	PUNTO	D			W	
CAJA DE MEZCLA	A	B	C			MEZCLA FINAL D	ENTRADA AL EQUIPO DE 4200 CFM	ENTRADA BY-PASS EN CFM	CAPACIDAD DE SECADO EN LB/HR DE EQUIPO	% DE TRABAJO DE EQUIPO CON MAX.70 LB/HR
CFM	800,00	5447,35	1552,65	7800,00	CFM	7800,00	2200,00	5600,00		
GR/LB	58,00	46,00	35,96	139,96	GR/LB	45,23	45,23	45,23		
TEMP °F	72,00	72,00	91,00	235,00	TEMP °F	75,78	75,78	75,78	11,40	16,52%

CONDICIONES DE EQUIPO Y LINEA FINAL									
	E		F		G	X		R	
VOLUMEN DE PROCESO CFM	GR/LB SALIDA DE EQUIPO F CON 4200CFM	TEMP. DE SALIDA DE EQUIPO °F EN PUNTO F	MEZCLA E Y C GR/LB	TEMP. FINAL EN PUNTO F EN °F	GR/LB RENDIDOS BAJO CONDICIONES ANTERIORES EN DISEÑO	GR/LB REQUERIDOS CUBICULOS	TEMP. REQUERIDA CUBICULOS	VOLUMEN DE REACTIVACION EN CFM	TEMP. DE REACTIVACION EN °F
2200,00	35,16	113,15	42,39	83,61	46,00	46,00	72,00	440,00	77,27



## **4.4. Ingeniería de desarrollo de un sistema deshumidificador**

Con base en las magnitudes de las cargas de refrigeración, se dimensionaron dos equipos de deshumidificación cada uno con capacidades diferentes de absorción de humedad para las áreas estándar y efervescentes.

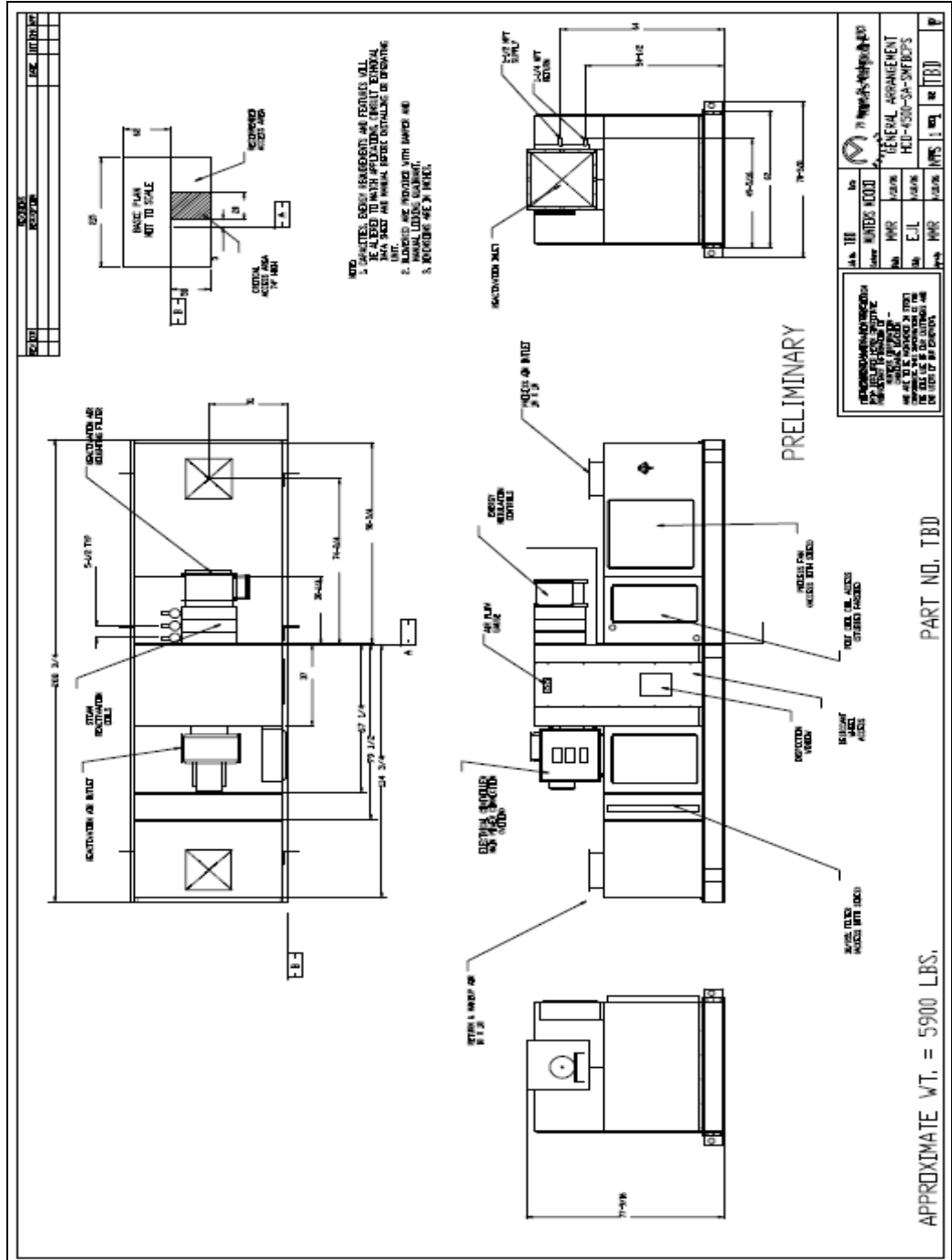
### **4.4.1. Diseño de planos de instalación del sistema deshumidificador**

El diseño es fundamental para la instalación, puesto que provee de muchos datos importantes tales como: Acondicionamiento en las áreas técnicas, estimación de costo de montaje y posibles problemas que pueden presentarse, a continuación se presentan el plano de los dos equipo a instalar, para poder dimensionar los todos los servicios necesarios.

#### **4.4.1.1. Plano del equipo deshumidificador áreas estándar**

En el plano de la figura 28 se puede observar las dimensiones del equipo deshumidificador en planta, elevación y perfil, mostrando su proceso de trabajo.

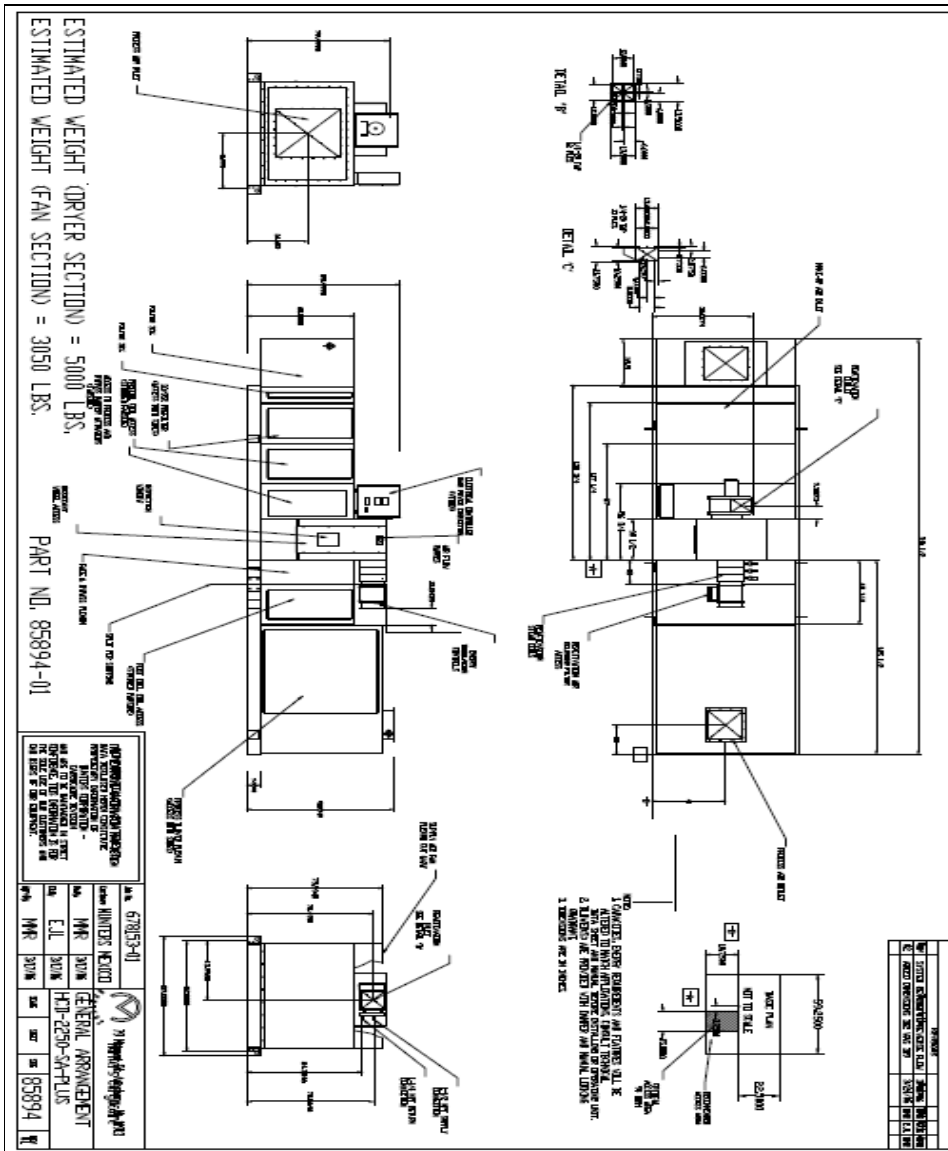
Figura 28 Plano del equipo deshumidificador estándar



#### 4.4.1.2. Plano del equipo deshumidificador áreas efervescentes

En el plano de la figura 29 se puede observar las dimensiones del equipo deshumidificador en planta, elevación y perfil, mostrando su proceso de trabajo.

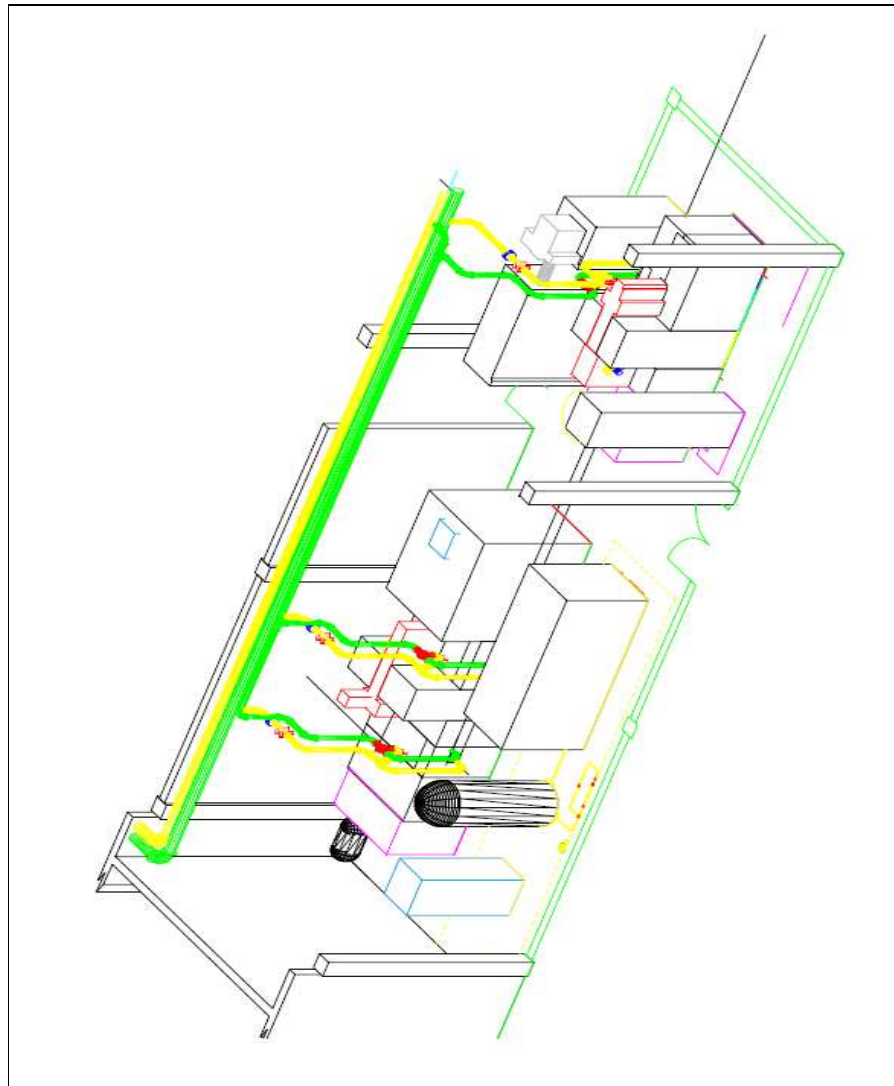
Figura 29 Plano del Equipo deshumidificador Efervescente



#### 4.4.2. Diseño y proyección de la línea de agua fría y de vapor

Es necesario dimensionar la cantidad de materiales y accesorios que se requerirán para la instalación, así como la ubicación de los equipos tomando en cuenta el espacio que ocupan otros equipos auxiliares ubicados en el área técnica, por lo que se desarrolla plano en tres dimensiones. Ver figura 30.

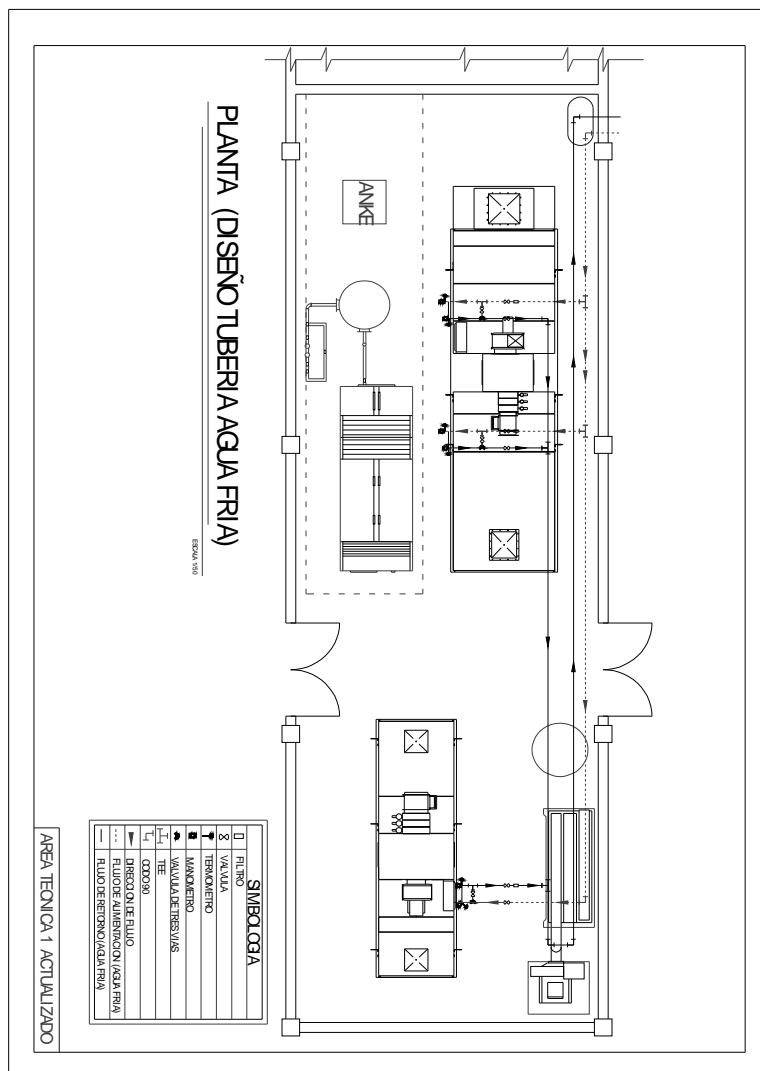
**Figura 30 Equipos que componen el área técnica en tres dimensiones**



#### 4.4.2.1. Dimensión del sistema de línea de agua fría

El plano de distribución de agua fría para los serpentines de cada equipo deshumidificador se puede observar en la figura 31.

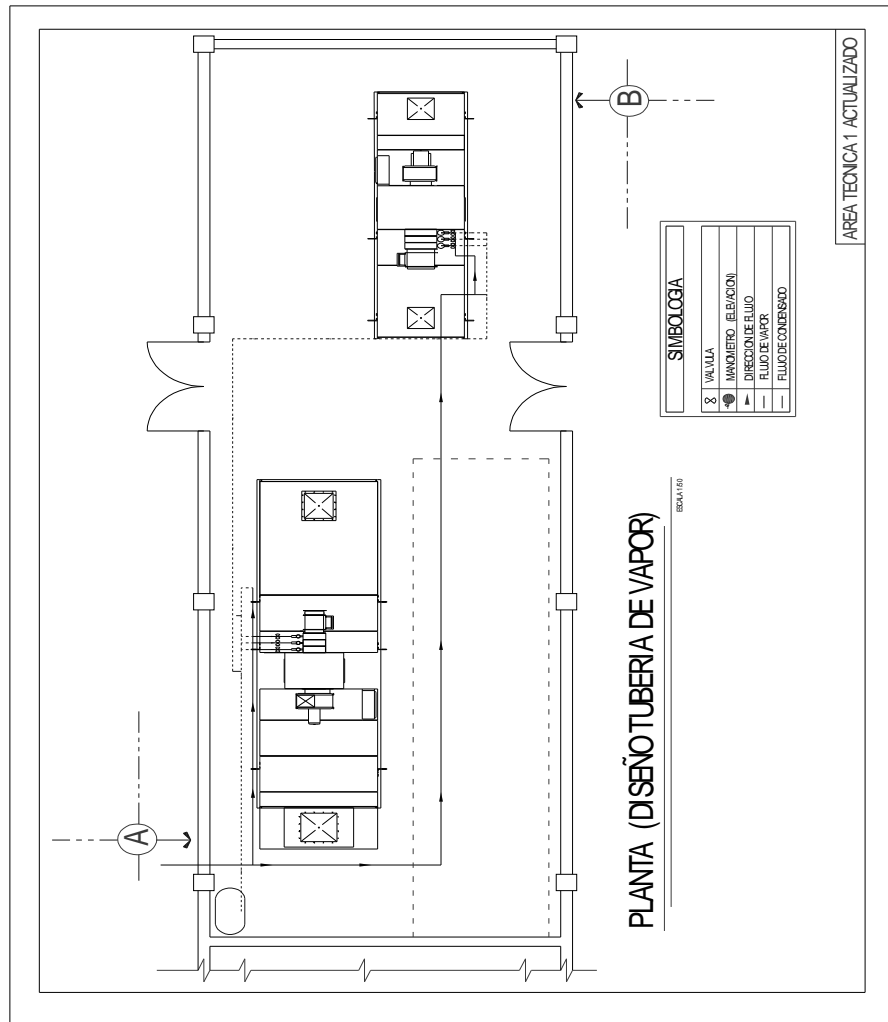
Figura 31 Plano de distribución de agua fría



#### 4.4.2.2. Dimensión del sistema de línea de vapor

El plano de distribución de las líneas de vapor y condensado para los serpentines de cada equipo deshumidificador se puede observar en la figura 32.

Figura 32 Plano de distribución de vapor



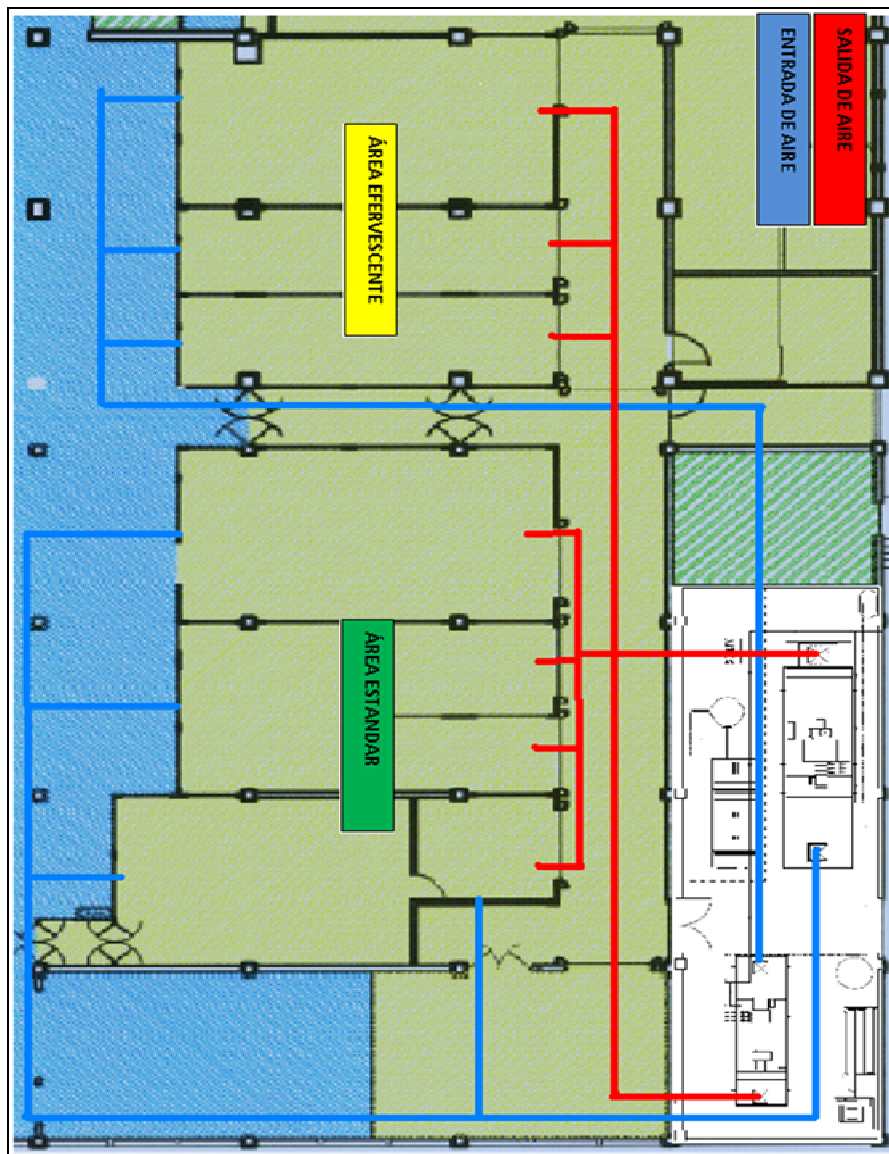
#### 4.4.3. Diseño de planos de ductos de aire

El plano de distribución de ductos de inyección de aire y retorno de aire para las áreas efervescente y estándar se pueden observar en la figura 33.

##### 4.4.3.1. Plano de ductos entrada y retorno

Se indican los puntos de distribución de aire de inyección y retorno de aire deshumidificado.

Figura 33 Plano de ductos de aire tratado



## 4.5. Instalación de sistema de deshumidificación

Se describe a las tareas con duración necesarias para la instalación y puesta en marcha de los equipo de deshumidificación.

### 4.5.1. Cronograma de instalación

Figura 34 Cronograma de instalación y calificación

SISTEMAS DE DEHUMIDIFICACIÓN ÁREAS EFERVESCENTE Y TABLETAS ESTÁNDAR		50 días
Id	Tarea	Duración
1	Trabajos preliminares	37 días
2	Elaboración de esquema ( Agua fría, vapor, condensado, ductería)	7 días
3	Descoplar los módulos del sistema de deshumidificación Efervescente	4 días
4	Descoplar los módulos del sistema de deshumidificación estándar	4 días
5	Modificar guías de las bases del sistema de deshumidificación efervescente	4 días
6	Modificar guías de las bases del sistema de deshumidificación estándar	4 días
7	Compra de damper de Regulación de flujo	30 días
8	Compra de válvulas de tres vías para entrada de agua fría	30 días
9	Compra de Accesorios para la línea de vapor	15 días
10	Compra de tubería y accesorios para la acometida de la línea de agua fría.	15 días
11	Compra de instalación de los Sistemas de deshumidificación	7 días
12	Compra de instalación de agua fría	7 días
13	Compra de instalación de vapor y condensado	7 días
14	Compra de instalación de los ductos de aire ( Inyección y Extracción )	7 días
15	Elaboración del certificado de seguridad B3	7 días
16	Elaboración de control de cambios para la instalación de los sistemas de deshumidificación	7 días
17	Elaboración de control de cambio para el traslado del compresor Atlas Copco	7 días
18	Elaboración del protocolo de calificación de instalación y operación de los sistemas de deshumidificación	15 días
19	Elaboración del protocolo de calificación de instalación y operación del traslado del compresor Atlas Copco	15 días
20	Instalación de equipos	16 días
21	Ultimo día de producción	1 día
22	Desmontar puerta de Ingreso	1 día
23	Desacoplar servicios ( agua fría, vapor, condensado, ductos de aire)	1 día
24	Desinstalación eléctrica de los equipos ( Compresor, Ankes, sistemas de deshumidificación)	1 día
25	Desmontar sistema antiguo de deshumidificación del área efervescentes	3 días
26	Resanar piso de concreto	4 días
27	Trasladar el compresor y equipos auxiliares	2 días
28	Trasladar sistema de recolección de polvo Anke efervescente	1 día
29	Montaje del nuevo sistema de dehumidificación del área efervescente	4 días
30	Desmontar sistema de recolección de polvo Anke estándar	1 día
31	Desmontar sistema antiguo de deshumidificación del área estándar	3 días
32	Montar sistema nuevo de deshumidificación de tabletas estándar	4 días
33	Instalar Sistema de recolección de polvo anke estándar	2 días
34	Instalaciones de Servicios	10 días
35	Acoplamiento del sistema de agua fría a los sistemas de deshumidificación	5 días
36	Acoplamiento del sistema de vapor y condensado de los sistemas de deshumidificación	5 días
37	Acoplamiento del sistema de ductos de inyección de aire	3 días
38	Acoplamiento del sistema de ductos de extracción de aire	3 días
39	Acoplamiento del sistema de ductos de retorno de polvo	2 días
40	Acoplamiento del sistema de ductos Make up de aire	2 días
41	Instalación de mandos para los serpentines de agua	3 días
42	Instalación de potencia eléctrica de los sistema de deshumidificación	5 días
43	Pruebas y ajustes de operación	4 días
44	Arranque y medición de parámetros preliminares	2 días
45	Ajustes del equipo	2 días
46	Calificación de instalación y operación de equipos	2 días
47	Pruebas y elaboración del reporte de calificación sistemas de dehumidificación	2 días
48	Pruebas y elaboración del reporte de calificación compresor Atlas Copco	2 días
49	Equipos operando	1 día
50	Equipo operando	1 día



#### 4.5.2. Puntos críticos a revisar

Los puntos se basan en los cubículos de producción donde son instalados dispositivos de medición de humedad relativa y temperatura, con la que a través de una carta psicrométrica se compara el valor de humedad absoluta real con la especificación de la planta requerida para producir.

#### 4.6. Elaboración de protocolo de calificación del equipo

El protocolo de aprobación básicamente es en comparativo inicial de los valores reales obtenidos en una medición de campo inmediatamente luego de la finalización del montaje e instalación de servicios con los valores solicitados por el procedimiento de habilitación de condiciones para manufactura de productos farmacéuticos en la planta.

Para esto se realiza una tabla de calificación de las especificaciones técnicas del usuario requeridas dentro de las áreas de producción.

**Tabla XIII Especificaciones técnicas del usuario**

Especificaciones Técnicas	Valor
<b>Área Efervescentes</b>	
Humedad Relativa	Menor o Igual al xx%
Humedad Absoluta	0.00xx Kg H <sub>2</sub> O / Kg Aire Seco
Temperatura	27°C
Presión Diferencia	Positiva
<b>Área Standard</b>	
Humedad Relativa	Menor o igual al 30%
Humedad Absoluta	0.00xx Kg H <sub>2</sub> O / Kg Aire Seco
Temperatura	27°C
Presión Diferencial	Positiva
Realizado Por:	Fecha:
Verificado Por:	Fecha:

#### 4.7. Elaboración del procedimiento de operación del equipo

La calificación de la operación deberá establecer que el equipo puede operar dentro de tolerancias y límites establecidos. Los rangos mecánicos del equipo deben llegar a los límites extremos de operación normal. El equipo debe ser validado en su capacidad o habilidad de operación. La información requerida debe estar como se define en la tabla XIV.

**Tabla XIV Función de control del equipo**

Ensayo	Resultado Esperado	Acceptable (SI / NO)
<b>Sistema de Aire Tratado Área Efervescente</b>		
Active el Botón de encendido de la Manejadora de Aire.	Al activar el botón de encendido arranca el ventilador de la Manejadora de aire.	
Active el Botón de apagado de la Manejadora de Aire.	Verifique que la válvula de tres vías instalada en la tubería de alimentación de agua fría este modulando.	
Termostatos de Áreas	Cuando se programa algún valor, modula la entrada de agua fría	
Mida la Presión Diferencial de las áreas.	El manómetro debe de indicar una Presión Diferencial Positiva	
<b>Sistema de Aire Tratado Área Efervescente</b>		
Active el Botón de encendido de la Manejadora de Aire.	Al activar el botón de encendido arranca el ventilador de la Manejadora de aire.	
Active el Botón de apagado de la Manejadora de Aire.	Verifique que la válvula de tres vías instalada en la tubería de alimentación de agua fría este modulando.	
Termostatos de Áreas	Cuando se programa algún valor, modula la entrada de agua fría	
Mida la Presión Diferencial de las áreas.	El manómetro debe de indicar una Presión Diferencial Positiva	
Realizado Por:		Fecha:
Verificado Por:		Fecha:

#### 4.8. Elaboración del análisis de riesgos del sistema de deshumidificación

El análisis de riesgos debe asegurar que los aspectos requeridos por las Buenas Prácticas de Manufactura estén considerados durante el planteamiento y desarrollo constructivo del sistema de aire tratado, y que se cumpla con ellos antes de iniciar la producción.

#### **4.8.1. Lista de sustancias**

Aire Atmosférico: mezcla de gases que conforman la atmósfera de la tierra compuesto mayoritariamente por nitrógeno (N<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>). El vapor de agua (H<sub>2</sub>O) es uno de los principales componentes del aire.

#### **4.8.2. Parámetros críticos**

Se considera parámetros críticos aquellos que tienen influencia significativa en la calidad del aire tratado, producido para uso en los procesos de producción para mantener condiciones según requerimiento.

- Cambios de la temperatura de reactivación en la entrada.
- Cambios en el flujo de reactivación.
- Cambios en la carga de humedad de la corriente de aire de proceso.
- Cambios en el flujo de agua fría.
- Cambios en la temperatura de la corriente de aire de proceso.
- Cambios de en la corriente de que pasa por el *by-pass*.

#### **4.8.3. Parámetros relevantes**

Se considera parámetros relevantes aquellos que no tienen incidencia directa en la calidad del aire tratado producido, pero sirven para mantener un control sobre el equipo en los puntos intermedios del proceso o que puedan afectar el funcionamiento de los equipos de deshumidificación final, y además pueden tener efecto económico como en el caso de los rendimientos.

- Temperatura de reactivación en la salida.

- Caídas de presión.
- Cambios de corriente en el *by-pass* por movimientos en damper.
- Sensores de temperatura y humedad.
- Flujo de agua fría.

#### 4.8.4. Análisis de riesgos de funcionamiento de los sistemas deshumidificadores

El análisis de riesgos que se muestra es basado en los posibles puntos de falla en operación y se clasifica en función de su medición de riesgo.

Tabla XV Cuadro de análisis de riesgos 1

Falla	Posible Causa	Posible Impacto	Detección	Probabilidad	Evaluación de Riesgo		Mediciones
					Riesgo en los Negocios.	Riesgo de Seguridad	
Temperatura alta o baja en la salida de la reactivación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Cambios en la temperatura de entrada a la reactivación.</li> <li>Cambios en el flujo de reactivación.</li> <li>Cambios en la humedad de las corriente de aire de proceso</li> <li>Cambios en la energía de reactivación</li> </ol>	Concentración de partículas de humedad en la rueda secante de silica gel.	Lenta	baja	Riesgo en los Negocios.	<p>No</p> <p>Alto</p> <p>No</p>	<p>Si la temperatura a la salida de la reactivación es grande como de 120°F no es necesario indicar el problema. Si la temperatura es inferior a los 120°F, es necesario revisar las posibles causas; Gotas Saturadas en la temperatura a la entrada de la reactivación. Gotas saturadas en el flujo de aire de reactivación. Incremento de Humedad en el aire de la corriente de reactivación. Reducir la Salida del Heater.</p> <p>Si la temperatura de salida de reactivación sobrepasa los 325°F puede dañar la rueda secante.</p>
Subida de humedad y temperatura de reactivación cerca de lo normal.	<ol style="list-style-type: none"> <li>El volumen de aire de proceso puede no ser el adecuado.</li> <li>El volumen de aire de reactivación puede no ser el adecuado.</li> <li>la rotación de la rueda no es la correcta.</li> <li>Las condiciones de humedad y/o temperatura puede que excedan los datos técnicos de diseño.</li> </ol>	Humedad fuera de límites de alerta ó Paro. Esto indica suspensión de producción.	Inmediata	baja	Riesgo en los Negocios.	<p>Alto</p> <p>Alto</p> <p>No</p>	<p>Chequear la revoluciones de la rueda secante (6-12 rph)</p> <p>Chequear la Rueda Secante, para aplicarle mantenimiento.</p> <p>Revisar el motor de la rueda secante y la faja dentada.</p> <p>Reducir la carga de humedad y temperatura en la entrada.</p>
El equipo con bajo rendimiento de secado	<ol style="list-style-type: none"> <li>Rueda muy húmeda.</li> <li>Puede que el blower este atascado.</li> <li>Energía de reactivación muy baja.</li> </ol>	Humedad fuera de parámetros de calificación para producción.	Inmediata	baja	Riesgo en los Negocios.	<p>Alto</p> <p>Alto</p> <p>No</p>	<p>Revisar tres veces las luces de emergencia.</p> <p>Utilizar el procedimiento para secado de ruedas secante.</p> <p>Vaciar el ventilador y limpiarlo revisando que este creando la cantidad de cfm de diseño.</p>

Falla	Posible Causa	Posible Impacto	Detección	Probabilidad	Evaluación de Riesgo Mediciones	Mediciones
Problemas con el caudal de aire.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mal funcionamiento de la manejadora AHU-5, AHU-7.</li> <li>Fugas en ductería de aire en la etapa de la manejadora a la caja de mezcla.</li> <li>Anke posiblemente apagados o con filtros saturados.</li> <li>Blower con baja eficiencia y/o atascado.</li> </ol>	No cumplir con la cantidad de aire del Área de producción, y no existiría confort para los operarios.	Lenta	baja	<i>Riesgo en los Negocios.</i> No  Riesgo en la calificación  <i>Riesgo de Seguridad</i> Alto  No	Realizar medidas de la velocidad de aire en puntos críticos tales como salida de las manejadoras que proporcionan el Make-up de aire, Salida del Anke, Ductería de Retorno de aire tratado de Producción, y en el Cajón de Mezcla.  Revisar que el Blower trabaje a Rpm: 2100  Scfm: 6586 para la HCD-2250 y , Rpm: 3450  Scfm: 886 Para la HCD-4500.  Revisar que los filtros tengan el mantenimiento adecuado o el respectivo cambio de los mismos.
Variación en la Caída de Presión y/o problemas de retención de partículas en la etapa de Filtración.	<ol style="list-style-type: none"> <li>El volumen de aire de proceso puede ser demasiado alto no el adecuado.</li> <li>Necesidad de Cambio de los filtros de 30% y 95% de eficiencia.</li> <li>Filtración de partículas externas al proceso durante el trayecto del aire en la ductería.</li> </ol>	Afectar físicamente a los equipos del sistema de Deshumidificación, además del incumplimiento de las normas de calificación en la etapa de filtración.	Inmediata	baja	<i>Riesgo en los Negocios.</i> Alto  Riesgo en la calificación  <i>Riesgo de Seguridad</i> Alto  No	Revisar que el Blower trabaje a Rpm: 2100  Scfm: 6586 para la HCD-2250 y , Rpm: 3450  Scfm: 886 Para la HCD-4500.  Cambiar los filtros si están deteriorados físicamente realizando previa inspección visual. Revisar que la ΔP sea de 0.98 WC y 0.24 WC para filtros de 95% y 30% de eficiencia respectivamente para la HCD-2250. Revisar que la ΔP sea de 0.30 WC y 1.0 WC para filtros de 95% y 30% de eficiencia respectivamente para la HCD-2250
Temperatura muy alta del aire que ingresa a la rueda secante.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Serpentín no funcionando.</li> <li>Temperatura de aire de proceso con una temperatura excedente</li> <li>Falta de Suministro de Agua fría del Chiller.</li> </ol> Nota esto se Aplica solo a la HCD-2250	Deterioro progresivo sobre la rueda secante tras la saturación de la misma.	Inmediata	baja	<i>Riesgo en los Negocios.</i> Alto  Riesgo en la calificación  <i>Riesgo de Seguridad</i> Alto  No	Revisar en el panel de control que el serpentín se encuentre trabajando.  Revisar que la temperatura antes del ingreso al serpentín sea alrededor de 76°F. Revisar el caudal de agua fría donde debe de estar trabajando con un flujo de 30 GPM. Verificar que la ΔP sea de 0.15 WC.  La ΔT debe de ser de 16°F en el serpentín.

Tabla XVI Cuadro de análisis de riesgos 2

Falla	Posible Causa	Posible Impacto	Detección	Probabilidad	Evaluación de Riesgo	Mediciones
Temperatura muy alta del aire que ingresa a producción.	1. Serpentin no funcionando.	No cumplir con la temperatura del aire que ingresa al Área de producción provocando carencia de confort para los operarios.	Lenta	baja	<i>Riesgo en los Negocios.</i> <b>No</b>	Revisar en el panel de control que el serpentín se encuentre trabajando.
	2. Temperatura de aire de proceso con una temperatura excedente				Riesgo en la calificación	Revisar que la temperatura antes del ingreso al serpentín sea alrededor de 108°F para HCD-4500 t de 73°F para la HCD-2250..
	3. Falta de Suministro de Agua fría del Chiller.				<i>Riesgo de Seguridad</i> <b>Alto</b>	Revisar el caudal de agua fría, donde debe de estar trabajando con un flujo de 50 GPM para la HCD-4500 y de 20GPM para la HCD-2250.  Verificar que la ΔP sea de 0.15 WC.  La ΔT debe de ser de 52°F en el serpentín. De la HCD-4500 y de 20°F para la HCD-2250.
					<b>No</b>	

Tabla XVII Cuadro de análisis de riesgos 3

## 4.9. Mantenimiento preventivo sistema deshumidificador

Se indican las actividades vitales para el funcionamiento correcto de los sistemas deshumidificadores.

### 4.9.1. Mantenimiento básico a realizar

Se consideran los siguientes puntos como parte fundamental para el buen funcionamiento del equipo ver tabla XVII.

**Tabla XVIII Rutina básica de mantenimiento**

Frecuencia	Componente	Procedimiento
<b>30 días</b>	Filtros	Inspeccionar si es necesario los filtros desechables de 30% de eficiencia.
	Bandas	Inspeccionar la apropiada tensión de la banda y la integridad de la banda.
	Deshumidificador	Consulte el diagrama de alambrado suministrado por el fabricante
	Ventiladores	Revisar por excesiva vibración y desprendimiento de partes
	Trampas de condensados	Revisar las trampas instaladas en las charolas colectoras de condensados.
<b>60 días</b>	Rodamientos	Lubrique los rodamientos con grasa de alta calidad a base de litio
	Sellos de la rueda	Revise para detectar signos de desgaste. Los sellos dañados pueden ser reparados temporalmente por silicón RTV.
	Sección de la condensadora	Revise que se mantengan las presiones correctas Y el nivel de aceite del compresor.
<b>6 Meses</b>	Motor reductor	Revise el nivel de aceite en los modelos S-30 Únicamente. Rellene con aceite de buena calidad
	Rueda Honey Combe	Inspeccione la rueda, verifique los asientos en el Bastidor del equipo.

Otras revisiones aplicables al sistema se detallan en el anexo 11.





## 5. PROPUESTA DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA DE BULBO SECO Y HUMEDAD RELATIVA EN EL SISTEMA DESHUMIDIFICADOR

### 5.1. Análisis del problema de condiciones de confort

Se utilizó una herramienta administrativa llamada análisis FODA, que analiza las oportunidades, amenazas, fortaleza y debilidades tanto externas como internas.

#### 5.1.1. FODA

El análisis se basa en las variables que afectan las condiciones de humedad absoluta requerida y condiciones de confort. Por lo que se trabajará tomando el siguiente esquema:

**Tabla XIX Esquema de análisis FODA**

	Positivas	Negativas
Externas	<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen normas nacionales que regulen los límites en productos que tengan propiedades higroscópicas. Por lo se puede exigir menos al equipo de deshumidificación.</li> <li>• Optimizar el tiempo de vida a través de realizar estudios de regeneración de ruedas secantes.</li> <li>• Crecimiento del personal a nivel de</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El clima de nuestra región es relativamente húmedo y en días después de lluvia la humedad relativa alcanza valores entre 90 y 99%.</li> <li>• El valor del Diesel como derivado del petróleo, tiene tendencia a incrementar.</li> <li>• Competidores</li> </ul>

	<p>conocimientos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de defectos, costos y paros de producción.</li> <li>• Aumento de competitividad.</li> <li>• Posicionamiento en los estándares de industrias tipo farmacéuticas.</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otros sistemas más eficientes en la eliminación de humedad en el aire.</li> </ul>
Internas	<p style="text-align: center;"><b>Fortalezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo tiene la opción de que poder cambiar en determinado momento la calefacción a través de resistencias eléctricas dejando de utilizar vapor como fuente energética.</li> <li>• Los procedimientos internos tienen la opción de poder modificar los límites de humedad absoluta para algunas áreas.</li> <li>• El sistema cuenta con actuadores capaces de graduar la cantidad de aire que pasa por la Rueda Secante a razón de prolongar su tiempo de vida.</li> <li>• El equipo es capaz de remover hasta un 30% más de la capacidad de trabajo actual.</li> <li>• Las condiciones son fáciles de setear según sea la necesidad a través de un control sin necesidad de realizar ajuste mecánicos como se realizaba en otros equipos.</li> <li>• Poder modificar la eficiencia a través de cambiar las especificaciones de filtros en la descarga de aire.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Debilidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las áreas no cuentan con puertas de acceso peatonales donde se pueda disminuir la pérdida de condiciones por apertura de puertas.</li> <li>• El sistema de inyección de aire en reposición del aire perdido por pérdidas herméticas es tomado directamente desde el ambiente externo.</li> <li>• Los procesos de limpieza deben ser medidos en tal manera que no se aumente la humedad de los cubículos del área de producción.</li> <li>• No existe un dato exacto de la carga sensible provocada por motores eléctricos.</li> <li>• Actualmente se tiene aberturas en las paredes que rompen con la hermeticidad del cubículo de producción aumentando la demanda de aire tratado.</li> <li>• El no realizar los procedimientos de traslado de la rueda secante puede ocasionar daños graves al equipo.</li> <li>• Principios teóricos de funcionamiento del sistema difícil de entender a nivel operativo.</li> </ul>

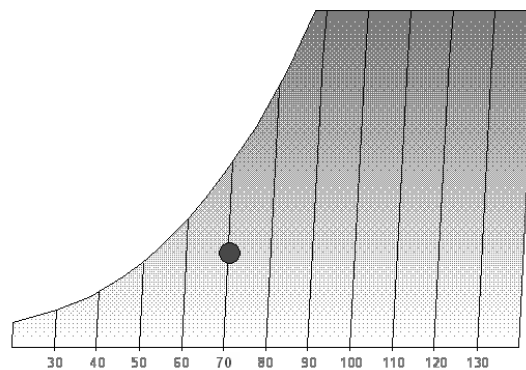
## 5.2. Definiciones

Para una mejor comprensión de los parámetros perceptibles para el cuerpo humano se detallan en los siguientes numerales.

### 5.2.1. Temperatura de bulbo seco

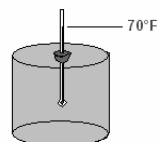
La temperatura ordinaria del aire atmosférico se conoce como temperatura de bulbo seco ver figura 34.

Figura 35 Diagrama de carta psicométrica <sup>10</sup>



Básicamente colocar un dispositivo de medición de temperatura (termómetro) en el área donde necesitamos obtener dicho valor. El valor de temperatura ambiente es la de bulbo seco ver figura 35.

Figura 36 Esquema de toma de temperatura de bulbo seco



### 5.2.2. Humedad relativa

<sup>10</sup> *The Dehumidification Handbook*. 2nd Edition

Es la relación de la cantidad real de humedad en el aire a una temperatura dada con respecto a la cantidad máxima que el aire es capaz de retener a esa temperatura se le llama humedad relativa.

La humedad relativa varía de 0 para aire seco a 1 para aire saturado, se advierte que la cantidad de humedad que el aire puede contener depende de su temperatura.

El rango deseable de humedad relativa para la comodidad térmica es de 40 a 60%.

### **5.3. Propuesta de nuevos valores para condiciones de confort**

Anteriormente el sistema de aire deshumidificado en la planta de producción, mantenía los valores dentro de los límites establecidos en los protocolos de producción. El cambio de los escenarios en términos de áreas de producción requieren mayor cantidad de volumen de aire tratado (CFM), esto hace necesario compensar esta cantidad de cargas de refrigeración por medio de un balance termodinámico.

Después de realizar un trabajo de instalación y calificación se realizan las mediciones necesarias en las condiciones de trabajo normal, tomando en cuenta todas las cargas sensibles y latentes. Este proceso nos indica los puntos a los que es necesario setear los equipos de deshumidificación para mantener los valores de confort en las áreas productivas.

### **5.3.1. Temperatura de bulbo Seco**

El rango deseable de temperatura en condiciones atmosféricas debe estar dentro de 20 a 23 °C.

Diversos estudios realizados en oficinas han puesto de manifiesto que a partir de una temperatura interior de 22 °C comienza a registrarse un descenso de la producción de un 5% por cada grado de temperatura adicional. Por eso, y especialmente en oficinas, merece la pena invertir en una instalación de climatización.

Los deshumidificadores tienen la capacidad de secado para llegar a mantener dentro de los valores mencionados en el párrafo anterior, por lo que en términos de temperatura el equipo cumple con las necesidades del usuario final.

### **5.3.2. Humedad relativa**

El rango deseable de humedad relativa para la comodidad térmica es de 40 a 60%. Estos equipos tienen la capacidad para secar hasta en 10% de humedad relativa en la inyección, por lo que cuando el aire llega a las áreas productivas mantenemos valores que cumplen con las especificaciones de los protocolos de producción para productos farmacéuticos y también consideran un buen valor para el confort humano.



## CONCLUSIONES

1. La mejora en la capacitación del personal técnico que opera y da mantenimiento a los equipos de áreas técnicas en proceso psicométricos ayuda a minimizar fallas operacionales.
2. El cálculo de cargas de refrigeración tanto latentes y sensibles por cubículo de producción y áreas permite la administración de estos datos, eliminando las oportunidades de cometer errores en los parámetros establecidos en los equipos.
3. La adaptación de los equipos de deshumidificación fue realizada en el área técnica, optimizando el área y respetando los espacios necesarios para limpieza y mantenimiento.
4. A través de la implementación del proyecto se realiza una proyección para la estimación de todos los materiales y accesorios requeridos.
5. El equipo fue calificado a través de límites establecidos por el usuario final, basado en políticas, directivas y según especificaciones de fabricación de los productos.
6. La calificación fue realizada tomando datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa en puntos claves para conocer la eficiencia del equipo.



7. Las condiciones óptimas de trabajo son, según la presente investigación, 22 °C para la temperatura de bulbo seco y para la humedad relativa de 40-60% HR.
  
8. Los factores que afectan la eficiencia y desempeño de las líneas de producción de una industria farmacéutica, son los tiempos improductivos, entre ellos está la pérdida de condiciones ambientales.

## RECOMENDACIONES

*Al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento*

1. Es importante cuidar el corazón del equipo, el cual es la rueda secante por lo que cuando se tengan paros prolongados se debe almacenar la misma en una bolsa herméticamente sellada, evitando la saturación de humedad.
2. Mantener un control constante en la temperatura y flujo de reactivación, puesto que un incremento en alguna de estas variables puede ocasionar daños severos a la rueda secante.
3. Mantener todo tipo de entradas al cuerpo del equipo deshumidificador cerrado para que no ingrese alguna partícula que ocasione daños en filtros y rueda secante.
4. Se debe llevar un control continuo referente a las caídas de presión que se marcan antes y después de los filtros para no tener pérdida de volumen de aire tratado.
5. Es importante conocer el costo por servicio de reactivación debido a que el equipo tiene la capacidad de sustituir el vapor por resistencias eléctricas, al presentarse un incremento en el costo del combustible utilizado en las calderas de vapor.

6. Es muy importante revisar la rueda secante cada 6 meses para determinar su estado de funcionamiento.
7. En costos se tiene la opción de trabajar en determinado momento sin recuperar el aire que ingresa a los ductos de succión de polvo, evitando gastos en filtros, electricidad, mantenimiento y limpieza de los extractores de polvo.
8. Mantener una capacitación constante puesto que esta tecnología normalmente realiza cambios ó mejoras que deben tomarse en cuenta.
9. A pesar de que el equipo cuenta con actuadores automáticos que funcionan por señales enviadas por sensores ubicados en los ductos, se deben realizar pruebas constantes para verificar la funcionalidad del equipo.
10. Revisar los ductos de aire de entrada y salida puesto que la mayoría de tramos se encuentran dañados y obstruidos.

*Al Departamento de Producción*

1. Evaluar los límites de humedad y temperatura para reducir el costo de mantener el aire a determinadas condiciones.
2. Instalación de puertas peatonales que disminuya la pérdida de aire tratado en los cubículos.
3. Evitar realizar limpieza de áreas con exceso de agua, puesto que aumenta la demanda de secado al equipo reduciendo su tiempo de vida.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASHRAE. Chapter 22: *Desiccant dehumidification and pressure drying equipment*. ASHRAE. Handbook, 1996.
2. BURNS P. R., J. W. MITCHELL Y W. A. BECKMAN. *Hybrid desiccant cooling systems in supermarket applications*. ASHRAE Transactions, 91(1B): 1985. 457-468.
3. CARBONELL T. Y G. QUESADA. Posibilidad de aplicación del deshumidificador de rueda desecante en diversas aplicaciones industriales en Cuba. IX Congreso Latinoamericano de Calor y de Masa, 2002.
4. *Dehumidification for all requirements*. Consultado en <http://www.muntersamerica.com>; 2002.
5. ENERGY USER NEWS (EUN). *Energy User News Matrix of Commercial and Industrial Utility Incentive Program*. Energy User News, July, 1996. pp. 50-52.
6. GIL G. Y L. LÓPEZ. Cálculo y selección de un sistema de deshumidificación rotatorio para aplicaciones de climatización. Tesis de grado. Ciudad de La Habana: ISPJAE, 2003.
7. HARRIMAN, III, L. G. Editor. *The Dehumidification Handbook*. 2nd Edition, published by Munters Cargocaire, Amesbury, Massachusetts, 1990.
8. HARRIMAN, L. *Applications Engineering Manual for Desiccant Systems*. American Gas Cooling Center, Arlington, Virginia, 1996.
9. MECKLER, M., R. HEIMANN, J. FISCHER AND K. MCGAHEY. *Desiccant Technology Transfer Workshop Manual*. American Gas Cooling Center, Arlington, Virginia, 1995.

TORRES Y. Estudio del empleo de un deshumidificador entálpico rotatorio en locales con 100 % de aire exterior. Tesis de grado. Ciudad de La Habana: ISPJAE, 2002.

# ANEXOS

## Anexo 1 Lista de factores de permeabilidad<sup>11</sup>

**Table 5-1\***

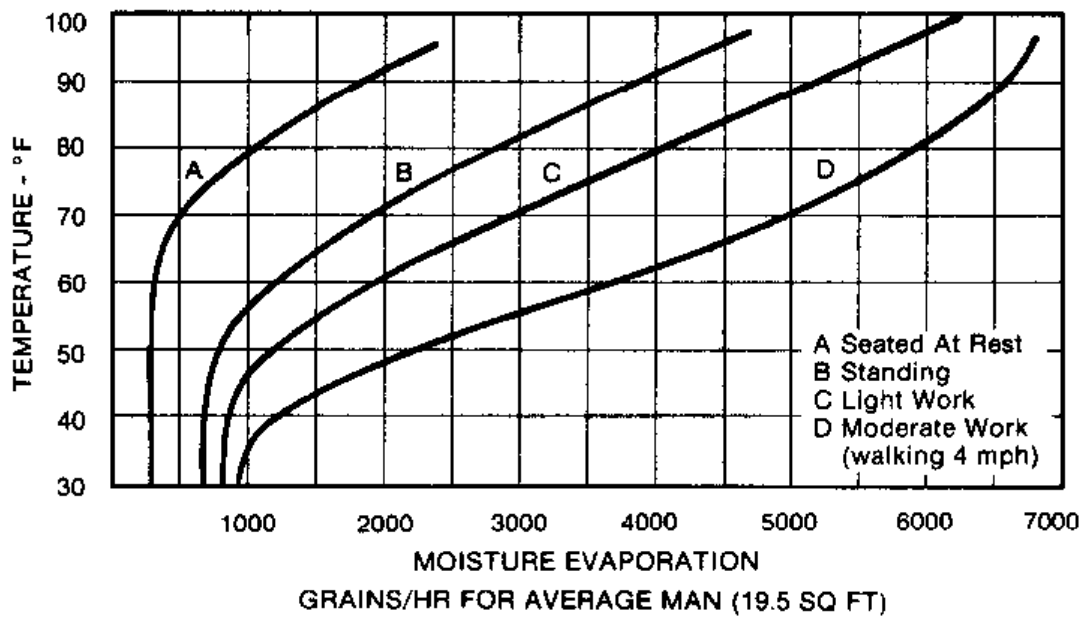
List of Permeance Factors

<b>BUILDING MATERIAL PERMEANCE FACTORS'</b> grains/hr/sq ft/in HgΔV.P.		
DESCRIPTION OF MATERIAL OR CONSTRUCTION	<b>PERMEANCE</b>	
	No Vapor Seal	With Vapor Retarder Paint (perm = .45)
<b>MATERIALS USED IN CONSTRUCTION</b>		
Brick, 4 inch Masonry	0.8	0.29
Brick, 8.5 inch Masonry	0.38	0.21
Concrete, 1:2:4 mix, 8 inch	0.40	0.21
Concrete, 1:2:4 mix, 1 inch <sup>2</sup>	3.20	—
Concrete Block, 8 inch	2.40	0.38
Plaster on Metal Lath, ¾ inch	15	0.44
Plaster on Gypsum Lath (with studs)	20	0.44
Gypsum Wall Board, Plain ¾ inch	50	0.45
Insulating Board, Sheathing, 1 inch <sup>2</sup>	50	—
Hardboard (standard), ½ inch	11	0.43
Plywood, Exterior Glue, ½ inch	0.35	0.20
Plywood, Interior Glue, ½ inch	0.94	0.30
Wood, Sugar Pine, 1 inch <sup>2</sup>	5.3	—
<b>INSULATION MATERIALS</b>		
Air (still), 1 inch <sup>2</sup>	120	
Corkboard, 1 inch <sup>2</sup>	9.1	
Fibrous Insulation (unprotected), 1 inch <sup>2</sup>	116	
Expanded Polyurethane Board, 1 inch <sup>2</sup>	1.6	
Expanded Polyurethane (extruded), 1 inch <sup>2</sup>	1.2	
<b>VAPOR BARRIER MATERIALS</b>		
Aluminum foil, .002 inches	.025 <sup>3</sup>	
Polyethylene, .002 inches	.16	
Polyethylene, .006 inches	.06	
Metal Deck, Built-up Roofs	0.0	
<b>PAPER, FELTS</b>		
Saturated and Coated Roll Roofing, 65 lb/100 sq ft	0.24	
Insulation Back-up Paper, Asphalt Coated	4.2	
Asphalt Coated Vapor Retarder Paper	0.6	
15 lb Asphalt Felt	5.6	
18 lb Tar Felt	18.2	
Single-Kraft, Double Layer	42	
<b>PAINTS AND COATINGS</b>		
Latex Vapor Retarder Paint, .003 inch	.45	
Commercial Latex Sealer, .0012 inch	6.28	
Various Primers plus 1 Coat Flat Oil Paint On Plaster	3.0	
2 Coats Aluminum Paint, Estimated	0.8	
2 Coats Asphalt Paint, Estimated	0.4	
2 Coats Flat Paint of Interior Insulation Board	4	
<b>NOTES:</b>		
1. Values shown above are estimates <b>only</b> based on a variety of test methods. When a range or more than one value is available, the higher value is shown. Contact manufacturer of materials being considered for exact values.		
2. Permeance at a different thickness t, in inches, may be determined from the permeance value for 1 inch thickness by multiplying by the factor 1/t.		
3. Permeance value shown is based on damage (pinholes) which may occur in handling.		

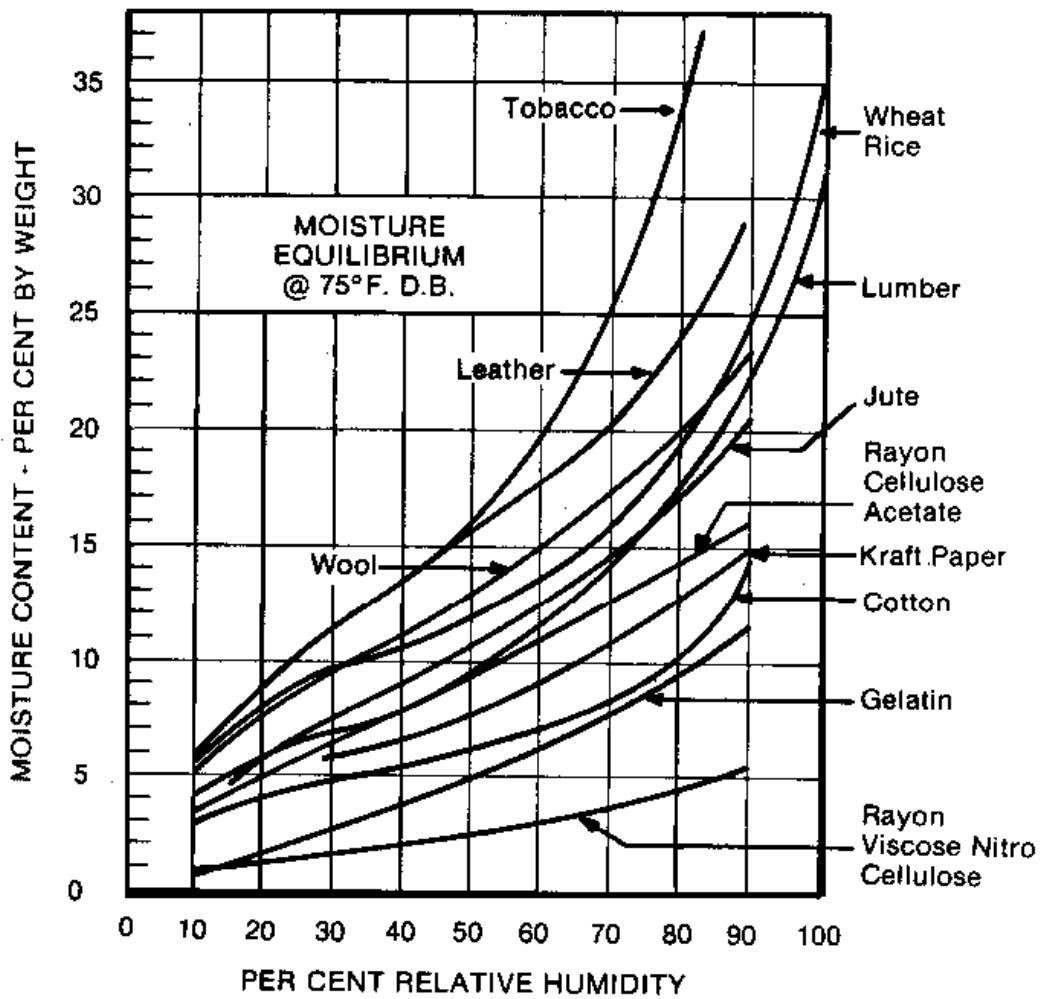
\*Cargocaire Table, primarily adapted from ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1981, Chapter 21

<sup>11</sup> The Dehumidification Handbook. 2nd Edition

Anexo 2 Tabla de humedad en humanos a diferentes niveles de actividad

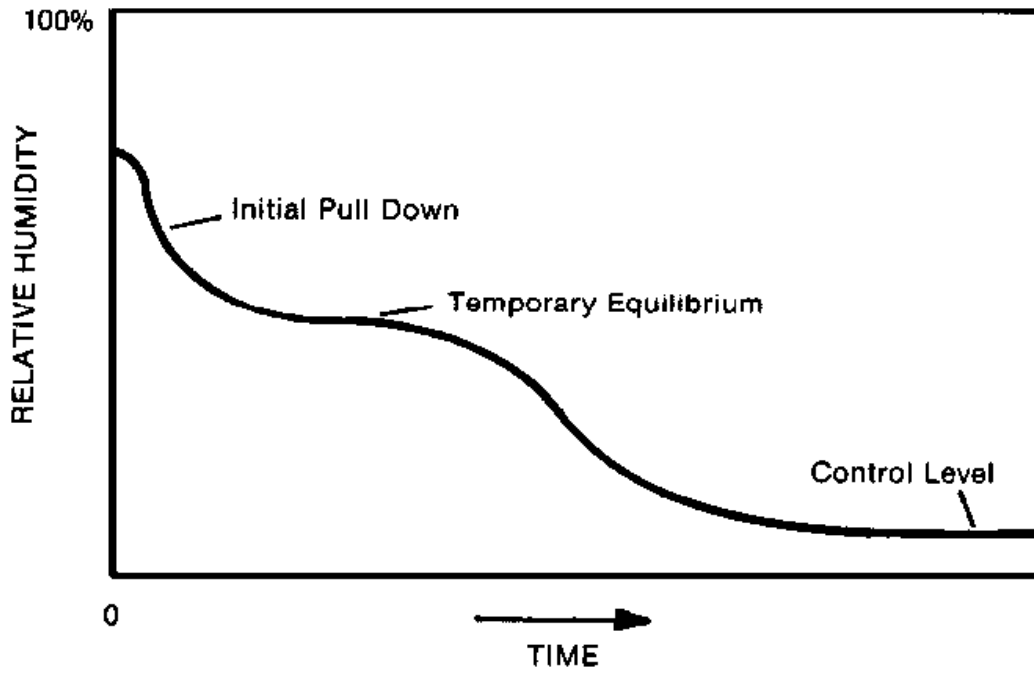


Anexo 3 Contenido de humedad en diferentes materiales en equilibrio con el aire a diferente humedad relativa

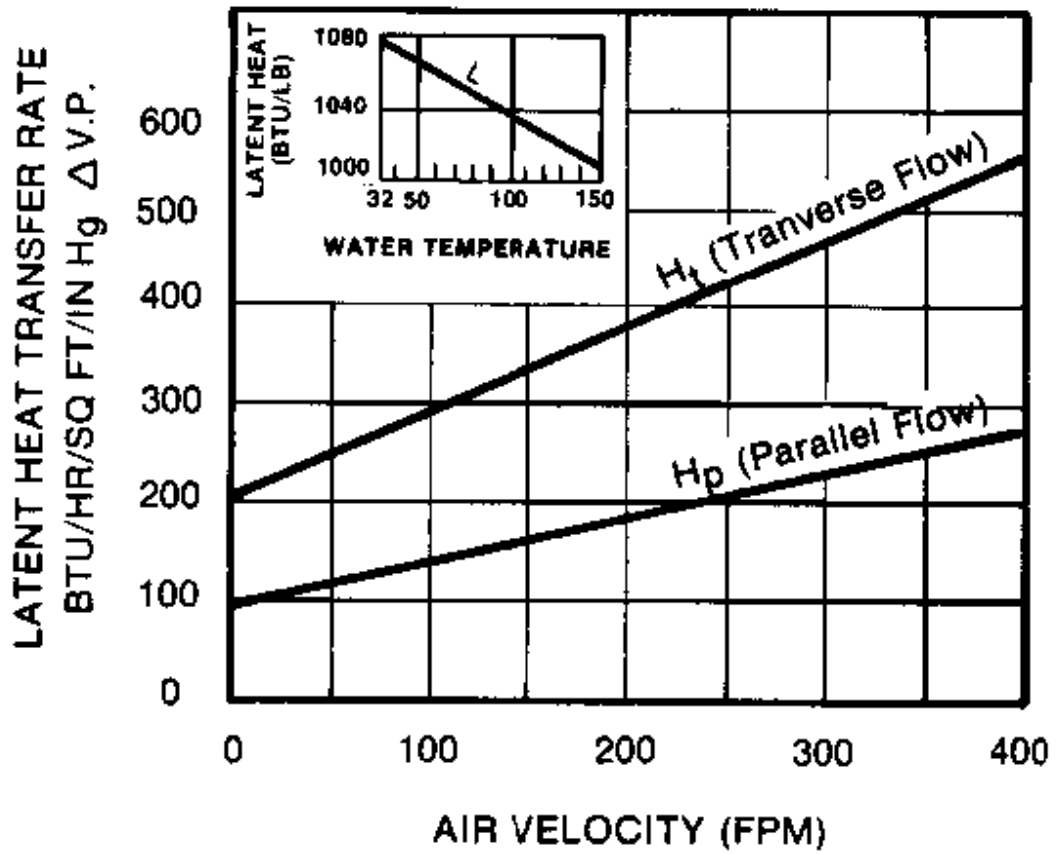




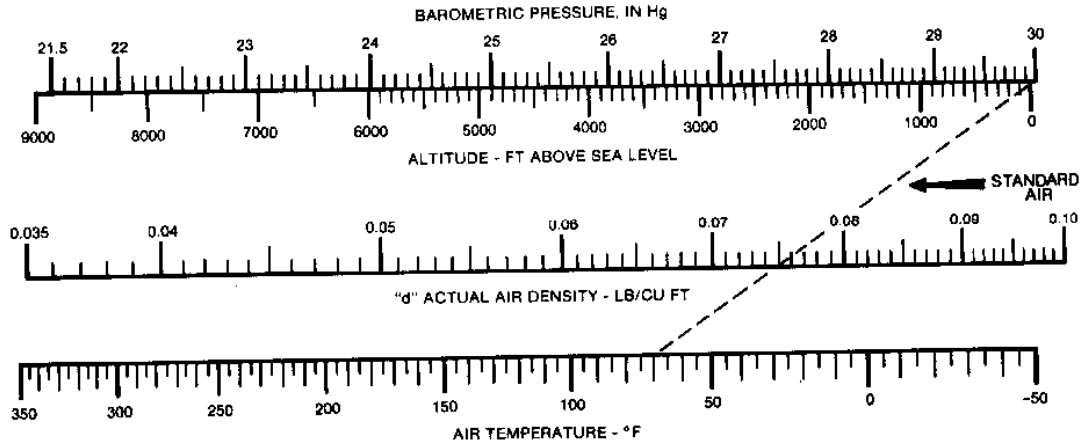
Anexo 4 Pull down característico de un espacio



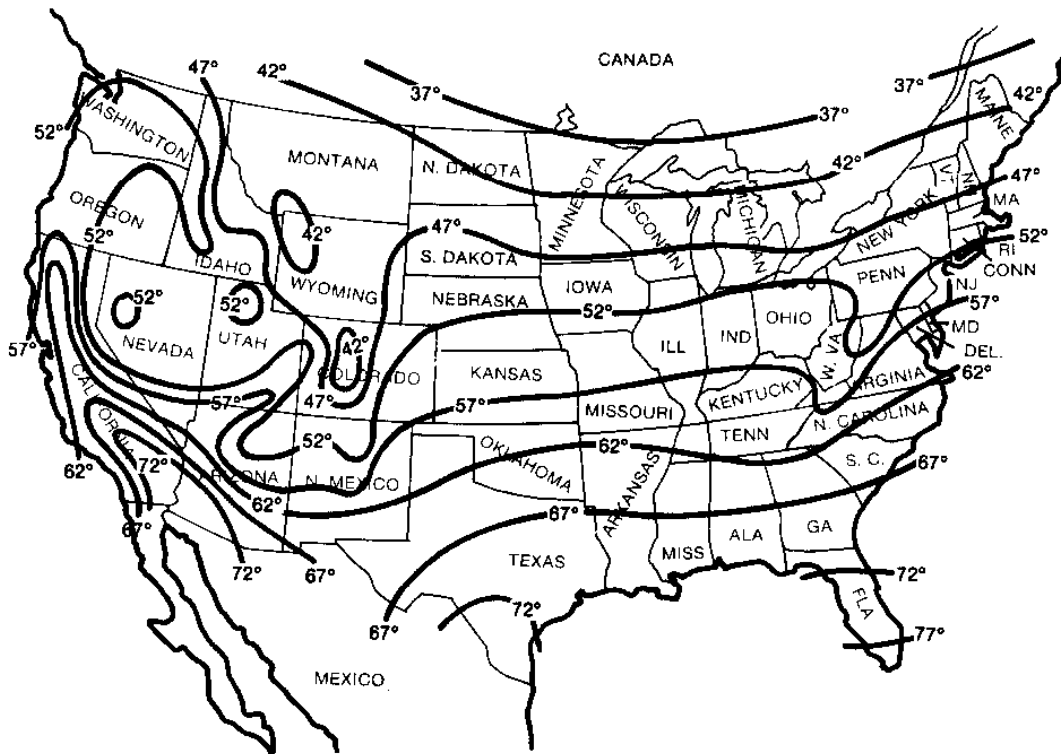
Anexo 5 Tabla humedad evaporada de la superficie húmeda



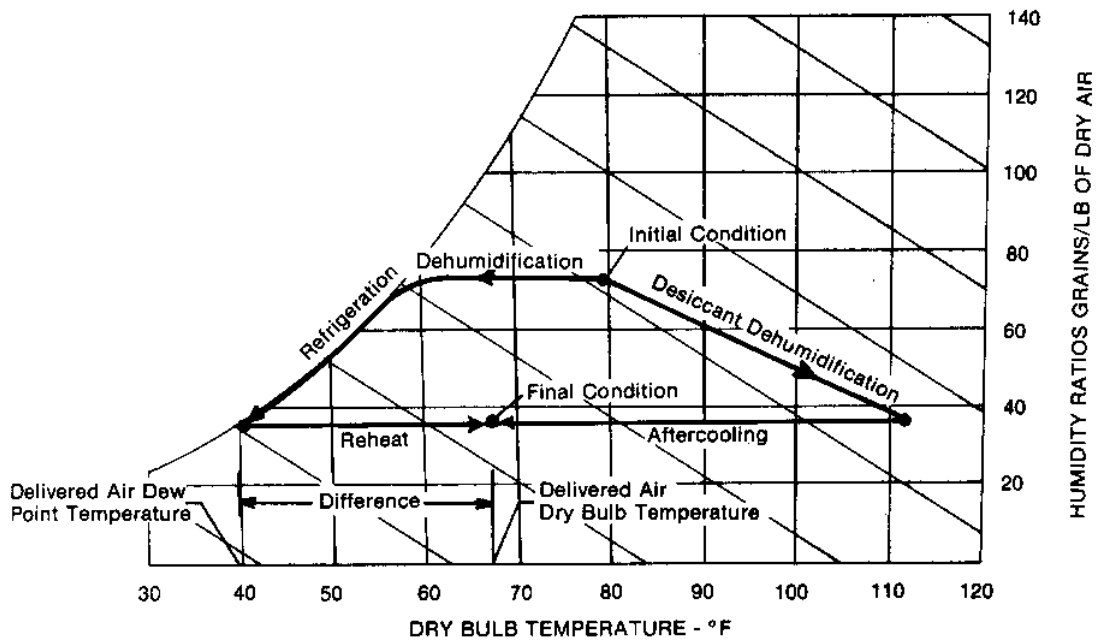
Anexo 6 Tabla para el cálculo de la densidad del aire



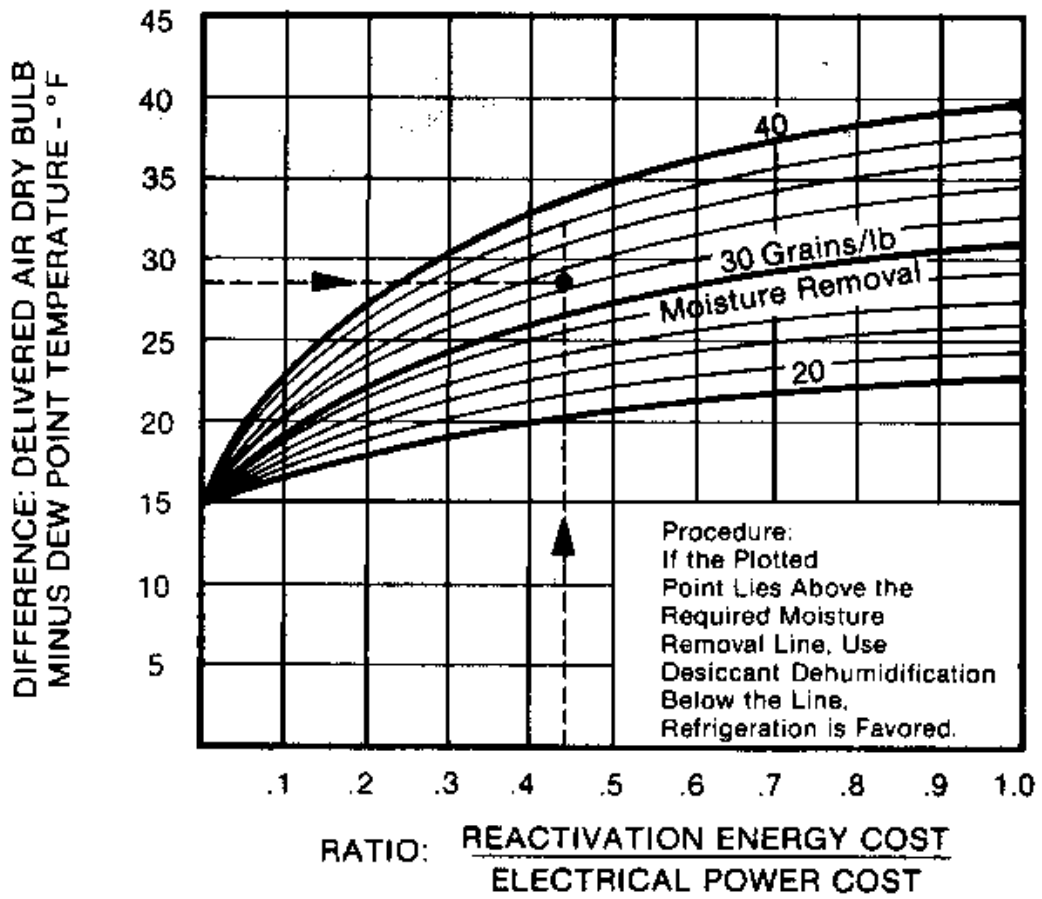
Anexo 7 Promedio de humedad en EEUU a un nivel de 30 a 60 pies



**Anexo 8 Comparativo de un proceso psicrométrico aplicado por un deshumidificador refrigerativo contra el aplicado por un sistema desecante**



Anexo 9 Comparativo en costos de un sistema de refrigeración contra un desecante



## Anexo 10 Hoja de cálculo de humedad

DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN \_\_\_\_\_

UBICACIÓN \_\_\_\_\_

CONDICIONES DE DISEÑO EXTERNAS E INTERNAS DEL EDIFICIO

CONDICION	CONDICIONES @ _____ in de Hg barométricas			
	TEMPERATURA (DB) °F	CONTENIDO DE HUMEDAD gramos/lb	PRESION DE VAPOR en HG	DE OTROS
Exterior-----Verano				
Exterior----- Invierno				
Interior-----Espacio de Alrededor a ser Tratado				
Temperatura del Suelo o del Agua				

OTROS FACTORES Y OBSERVACIONES IMPORTANTES

**TRANSMISIÓN DE VAPOR HACIA EL ESPACIO DESHUMIDIFICADO**  
(Seleccione los FACTORES DE PERMEABILIDAD de la TABLA 5-1)

	MATERIAL	FACTOR DE PERMEANCLIA	AREA ft²	° V.P. En Hg*	Granos/hr
'ared 1			x	x	=
'ared 2			x	x	=
'ared 3			x	x	=
'ared 4			x	x	=
'echo			x	x	=
'iso			x	x	=

Wp=

**CARGA POR PERSONAS**

(Seleccione el FACTOR DE CARGA POR PERSONAS de la FIGURA 5-1)

Wn = \_\_\_\_\_ No. De Personas x \_\_\_\_\_ FACTOR de granos/hr/persona =  granos/hr

**CARGA POR PRODUCTO, INCLUYENDO MATERIAL DE EMPAQUE**

Carga, en granos/hr, deberá ser especificada. Para guiarse, ver FIGURA 5-2.

Carga por Producto y Material de Empaque = Velocidad con la que ingresa el producto o material x (Contenido de humedad del material que entra al espacio tratado – Contenido de humedad del material removido del espacio tratado)

Wpp =  granos/hr

**CARGA DE HUMEDAD POR COMBUSTIÓN (FLAMA DE GAS EXPUESTA)**

Wg = \_\_\_\_\_ ft³/hr x 650 granos/ft³ =  granos/hr

**EVAPORACIÓN DE SUPERFICIE HUMEDA (UTILICE LOS INDICES DE EVAPORACION de la FIG. 5-4)**

We = [ \_\_\_\_\_ ft²/hr ] [ \_\_\_\_\_ Ht o Hp ] [ \_\_\_\_\_ ° V.P. en Hg ] [ 7000 ] =  granos/hr  
[ \_\_\_\_\_ Hi ]

\*? V.P. en Hg = V.P. en la superficie expuesta de la Pared – V.P. Del espacio tratado:

**HOJA DE CALCULO PARA LA CARGA DE HUMEDAD (Continuación)**

**CARGAS DE INFILTRACIÓN (Determine "d" -densidad de la FIGURA 5-5)  
TRANSPORTADORES (Basado en operación continua)**

\_\_\_\_\_ fpm Velocidad del Transportador x \_\_\_\_\_ ft<sup>2</sup> Area Neta Abierta = \_\_\_\_\_ cfm  
\_\_\_\_\_ cfm x \_\_\_\_\_ "d" x 60 x \_\_\_\_\_ ? granos/lb\*\* =  1  
granos/hr

**PUERTAS (Use los FACTORES DE VELOCIDAD de la TABLA 5-2)**  
\_\_\_\_\_ fpm velocidad x \_\_\_\_\_ ft<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ cfm  
\_\_\_\_\_ cfm x \_\_\_\_\_ "d" x \_\_\_\_\_ minutos abierto/hr x \_\_\_\_\_ =  ? granos/lb\*\* 2  
granos/hr

**EXCLUSA O VESTÍBULO**  
\_\_\_\_\_ ft<sup>2</sup> x \_\_\_\_\_ "d" x \_\_\_\_\_ aperturas/hr x \_\_\_\_\_ =  ? granos/lb\*\* 3  
granos/hr

**CUARTEADURAS O RANURAS (Puertas y Ventanas- Use TABLA 5-3)**  
\_\_\_\_\_ ft<sup>2</sup>/hr/ft x \_\_\_\_\_ ft de Cuartadura x \_\_\_\_\_ "d" x \_\_\_\_\_ ? granos/lb\*\*  
=  4  
granos/hr

**PAREDES (Use la TABLA 5-4)**  
\_\_\_\_\_ ft<sup>2</sup>/hr/ft x \_\_\_\_\_ ft<sup>2</sup> de las Paredes x \_\_\_\_\_ "d" x \_\_\_\_\_ ? granos/lb\*\*  
=  5  
granos/hr

**PRECAUCION:** El ducto tiene que ser hermético, si no habrá que determinar la infiltración.  
=  6  
granos/hr

**CARGA TOTAL POR INFILTRACIÓN**  
W<sub>i</sub> = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 =   
granos/hr

**CARGA INTERNA DE HUMEDAD**  
W<sub>int</sub> = W<sub>p</sub> + W<sub>n</sub> + W<sub>pp</sub> + W<sub>e</sub> + W<sub>g</sub> + W<sub>i</sub> = TOTAL   
granos/hr

**CARGA DE AIRE DE REPOSICIÓN (EXTERNA)**

Para guiarse, vea la TABLA 5-5, el aire de reposición será el adecuado para cubrir con los requisitos del (1) Extractor o (2) del Personal y del Aire de Proceso cualquiera que sea mayor.

W<sub>m</sub> = \_\_\_\_\_ cfm x \_\_\_\_\_ "d" x 60 x \_\_\_\_\_ ? granos/lb\*\* =   
granos/hr

**CARGA TOTAL DE HUMEDAD**  
W<sub>tot</sub> = W<sub>int</sub> + W<sub>m</sub> = TOTAL   
granos/hr

(Para convertir granos/hr a libras/hr, divídalas entre 7,000)

---



---



---



---

## Anexo 11 Pasos de una inspección de un sistema de deshumidificación por desecante

- 1.- Apague el equipo y asegúrese de desenergizarlo.
- 2.- Desmonte la cubierta del compartimento de la rueda
- 3.- El primer paso es revisar el perímetro de la rueda con un calibrador, tal y como fue descrito anteriormente. Una vez desmontada la rueda se revisa la superficie, una suavidad excesiva de la superficie de la rueda es indicativo de que la rueda ha estado saturada de humedad por un periodo largo de tiempo. Esto puede ocurrir cuando se ha permitido el paso de aire por la cámara de proceso sin operar la reactivación. Si se presentara esta situación proceda al secado de la rueda tal y como se describe en esta sección.
  - a.- Revisión por suavidad de la rueda: Coloque la palma de la mano sobre la superficie de la rueda y aplique una presión moderada. Desplace la mano por sobre toda la superficie de la rueda en ambas caras. Si la superficie no se deforma, entonces la estructura de la rueda esta en buenas condiciones. Si los conductos de la rueda presentan deformación al contacto con la mano, intente la rutina de secado de la rueda. Si después del secado la deformación persiste, consulte a nuestro departamento de servicio de Munters de México.  
Tel: (722) 270 40 30
  - b.- Daños o deformación de los conductos de la rueda pudieran indicar un problema con el alineamiento de la rueda, muy probablemente debido al desgaste o desajuste de los bujes prelubricados, que sostienen la flecha de las rodajas. Si una gran área de conductos se ha dañado, revise los soportes de la rueda. En ocasiones la rueda muestra daños en áreas aisladas de su superficie, debido al mal manejo de la misma. Si el total del área dañada es inferior al 10 % de la superficie de la rueda, no se requiere ninguna acción correctiva. En ocasiones el daño no representa más del 10% de la superficie de la rueda, pero si el daño es muy profundo provoca fuga de aire de una cámara a otra, cuando la sección pasa por los sellos de la cámara. En este caso es suficiente con rellenar profundamente el área dañada con plastilina epóxica de alta temperatura.