



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

---

---

## **INFORME DE PROYECTO**

**APLICACION DE LA NOM-020-2002  
EN EQUIPOS SUJETOS A PRESION  
EN LA CÍA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V.**

Que para acreditar su:

## **RESIDENCIA PROFESIONAL**

Presenta:

**PEDRO RAMÍREZ VÁZQUEZ**

No. Control: 07270154

**INGENIERIA MECÁNICA**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Junio, 2011

## INDICE

### **CAPITULO I. GENERALIDADES.**

1.1 Antecedentes de la empresa.	10
1.1.1 Nombre de la empresa.	10
1.1.2 Dirección.	11
1.1.3 Ubicación, Climatología y Localización.	11
1.1.4 Política y normas.	12
1.1.5 Organigramas de la compañía.	12
1.1.5.1 Organigrama la fe departamentos actual	12
1.1.5.2 Organigrama la fe área de campo	13
1.1.5.3 Organigrama la fe área de fabrica	14
1.1.5.4 Organigrama la fe contabilidad y mercadotecnia	15
1.1.5.5 Organigrama la fe capital humano	16
1.1.5.6 Organigrama la fe laboratorio de fabrica	16
1.1.5.7 Organigrama la fe fabrica de alcohol	17
1.1.5.8 Organigrama la fe proyectos	17
1.1.5.9 Organigrama la fe envasados especiales	18
1.2 Objetivos y Servicios que presta.	20
1.3 Misión de la empresa.	21
1.4 Visión de la empresa.	21
1.5 Valores de la empresa.	21
1.6 Descripción del proceso	23
1.6.1 Labores de campo y cosecha.	23
1.6.2 Patios de caña.	24
1.6.3 Mesas de lavado de caña	25
1.6.4 Conductor de caña y cuchillas	26
1.6.5 Molienda.	27
1.6.6 Pesado de jugos	29
1.6.7 Clarificación.	30
1.6.8 Filtración	31
1.6.9 Evaporación.	32
1.6.10 Cristalización.	34

1.6.11 Centrifugación.	34
1.6.12 Secado.	35
1.6.13 Envase.	36
1.6.14 Tipos de azúcar.	37
1.7 Diagrama de Flujo de la Empresa	38
1.8 información General de la Compañía Azucarera “la fe”	39

## **CAPITULO II. PROBLEMÁTICA DEL DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

2.1 Problemática.	63
2.2 Objetivos Generales	63
2.3 Objetivos Específicos	63
2.4 Justificación.	64
2.5 Alcances.	64
2.6 Limitaciones.	64

## **CAPITULO III. MARCO TEORICO**

3.1 Cristalización en tachos	57
3.1.2 Tipos de Tachos.	57
3.1.2.1 Tachos de serpentín.	57
3.1.2.2 Tachos de calandria.	58
3.1.3 Accesorios para tachos, Tanto de Calandria como de Serpentín.	59
3.1.4 Materiales de construcción de los tachos.	59
3.1.5 Términos utilizados en el área de tachos.	60
3.1.6 Principio básicos del Tacho.	61
3.1.7 Fabricación de granos por el método antiguo.	62
3.1.8 El semillamiento (cebado) por choque.	62
3.1.9 El semillamiento de tachos.	64
3.1.10 El falso grano y los conglomerados.	64
3.1.11 Hacer que se junte la masa.	65
3.1.12 La concentración final.	65
3.1.13 Limpieza del tacho con vapor	

y con agua “barridos” y “enjuagues”.	66
3.1.14 La temperatura durante la cocción.	66
3.1.14.1 Brix.	67
3.2 Evaporación y evaporadores de múltiple efecto	69
3.2.1 Métodos de alimentación para un evaporador de múltiple efecto.	70
3.2.1.1 Alimentación directa.	70
3.2.1.2 Alimentación inversa.	71
3.2.1.2 Alimentación mixta	71
3.2.1.4 Alimentación paralela.	72
3.2.1.5 Alimentación en contracorriente.	72
3.2.2 Evaporación química.	73
3.2.3 Diferencias entre evaporación química y evaporación de plantas de fuerza.	73
3.2.3.1 Alimentación en paralelo	73
3.2.3.2 Alimentación en contracorriente	74
3.2.3.3 Alimentación en paralelo (balance de materiales)	74
3.2.4 Evaporadores químicos	76
3.2.4.1 Evaporadores de circulación natural	77
3.2.4.1.1 Evaporadores de tubos horizontales.	77
3.2.4.1.2 Evaporadores de calandria.	78
3.2.4.1.3 Evaporadores de canasta.	79
3.2.4.1.4 Evaporadores de tubos verticales largos.	80
3.2.4.2 Evaporadores de circulación forzada.	80
3.2.5 Evaporación química en múltiple efecto	81
3.2.6 Calculo de evaporadores químicos	83
3.2.7 Capacidad y economía de evaporadores de múltiple efecto	86
3.2.8 Calculo de un caso múltiple efecto	88
3.3 Pre-evaporadores	89
3.4 Criterios utilizados en el cálculo de recipientes sujetos a presión.	90
3.4.1 Definición de conceptos.	90
3.4.1.1 Recipientes a presión	90
3.4.1.2 Presión de operación	90
3.4.1.3 Presión de diseño	90
3.4.1.4 Presión de prueba	90

3.4.1.5 Presión de trabajo máxima permisible	91
3.4.1.6 Esfuerzo de diseño a la tensión	91
3.4.1.7 Eficiencia de las soldaduras.	91
3.4.2 Tipos de recipientes.	94
3.4.2.1 Por su uso	94
3.4.2.2 Por su forma.	94
3.4.3 Materiales usados en recipientes a presión.	95
3.4.3.1 Materiales más comunes	96
3.4.3.2 Selección del material	96
3.4.4 Códigos aplicables.	97
3.4.5 Breve historia del Código A.S.M.E.	98
3.4.6 Limitaciones.	105
3.4.7 Recipientes cilíndricos horizontales	105
3.4.7.1 Cálculo por presión interna.	106
3.4.7.2 Cálculo por presión externa. (Vacío)	106
3.4.7.2.1 Graficas utilizadas en el cálculo de presión externa.	108
3.4.8 Válvulas de seguridad o Alivio de Presión	113
3.4.8.1 Definiciones	113
3.4.8.2 Tipos de válvulas	114
3.4.8.3 Elementos	115
3.4.8.4 Funcionamiento	116
3.4.8.5 Valor de tarado	116
3.4.8.6 Contrapresión	118
3.4.8.7 Características constructivas	119
3.4.8.8 Montaje	121
3.4.8.9 Instalación	122
3.4.8.10 Mantenimiento	124
3.4.9 Calculo de válvulas de seguridad	125
3.4.8.1 Graficas utilizadas en el cálculo de presión externa.	126
3.4.9 Pruebas en recipientes a presión	128
3.4.9.1 Prueba hidrostática.	128
3.4.9.2 Prueba neumática.	129
3.4.9.3 Prueba de elasticidad	129

## **CAPITULO IV. DESARROLLO DEL PROYECTO**

TACHO No. 9.- cuadro de especificaciones y cálculos	131
EVAPORADOR 1 EQ. C.- cuadro de especificaciones y cálculos	139
PREEVAPORADOR 3.- cuadro de especificaciones y cálculos	146

## **CAPITULO V. OBSERVACIONES, SUGERENCIAS Y CONCLUSION**

5.1 Observaciones	154
5.2 Sugerencias	154
5.3 Conclusión	155
Bibliografía	156
Anexo 1 Formato de Tacho	157
Anexo 2 Formato de Evaporador	158
Anexo 3 Formato de Preevaporador	159
Anexo 4 Diagrama de Flujo de Vapor	160

## INTRODUCCIÓN

El mayor desafío competitivo que enfrentan hoy las industrias, principalmente la industria azucarera es el de poder adecuarse en abrazar el cambio que nunca se detiene. Estos deben ser capaces de aprender e innovar todo el tiempo sin pausa alguna y asumir nuevos desafíos de manera rápida y cómoda. Para poder alcanzar el cambio constante; la industria azucarera debe tener una sana comodidad y la habilidad de estar en estado de transformación, creando cambios fundamentales y duraderos.

Por esta razón la aplicación de las normas oficiales mexicanas en recipientes sujetos a presión en la Cia. Azucarera la Fe S.A de C.V., permitirá la seguridad del personal, así como de los equipos y las instalaciones de la empresa, logrando de esta manera aumentar la vida útil de los equipos, además de disminuir los accidentes de trabajo, también en brindarles una mejor capacitación y adiestramiento a los mismos para poder ser más competitivos y desarrollar sus actividades encomendadas con mayor eficacia; además de fomentar la participación y colaboración entre el personal que labora en los diferentes áreas y principalmente las que tienen interacción con los recipientes sujetos a presión.

En el capítulo I. Generalidades.

Se menciona los antecedentes de la empresa, quienes fueron los fundadores y en qué año se fundó, los diferentes nombres antes de llegar a ser Ingenio Pujiltic, dirección, ubicación, localización, políticas y normas de la empresa, estructura y servicios que presta el Ingenio Pujiltic, misión, visión, valores, descripción del proceso, labores de campo y cosecha, patios de caña, mesas de lavado de caña, conductor de caña y cuchillas, molienda, pesado de jugos, clarificación, filtración, evaporación, cristalización de la miel de azúcar, centrifugación, secado, envase del producto final, diferentes tipos de azúcar e Información General de la CIA. Azucarera “LA FE”.

En el capítulo II. Problemática del Departamento de Seguridad Industrial.

Se hace mención de la problemática que presenta el departamento de seguridad industrial, los objetivos generales y específicos, la justificación, los alcances y las limitaciones sobre la aplicación de las normas oficiales mexicanas (NOM 020) en equipos sujetos a presión.

En el capítulo III. Marco Teórico:

Se presenta la definición de los recipientes sujetos a presión, los tipos y clasificación, características los diferentes equipos, la importancia de estos equipos en el proceso de producción en la industria Azucarera, y las partes por las que están constituidas los diferentes equipos.

En el capítulo IV. Desarrollo del Proyecto.

Se presentan los criterios utilizados para el desarrollo y el cálculo de los recipientes sujetos a presión en la aplicación de la Norma Oficial Mexicana (NOM 020), el cual implica los planos de los equipos, así como los cálculos previos para su aplicación de la norma.

En el capítulo 5. Observaciones, sugerencias y conclusiones.

Se presentan las observaciones, sugerencias necesarias que se deben realizar para implementar la aplicación de la NOM 020-2002, así como la conclusión del proyecto.



# **CAPITULO I.**

## **GENERALIDADES**

## **1.1 Antecedentes de la empresa.**

El ingenio Pujiltic tuvo su origen en el año de 1946, siendo su propietario don Hernán Pedrero y su principal propósito era hacer un campo experimental en la siembra de diferentes cultivos, por tal motivo se llamo "Plantaciones Agrícolas Intensivas S.A de C.V.", pero uno de los cultivos que mas se adapto a las condiciones de la región fue la caña de azúcar con el propósito de producir alcohol, es por eso que en el año de 1950 el señor Hernán Pedrero decide construir la fábrica de alcohol la cual tuvo por nombre "Aguardientes de Chiapas", en donde se producía tres clases de bebidas que fueron: Ron Claro, Ron Bonampak y Ron Tres Piedras. Para el año de 1958 el señor Hernán Pedrero se asocia con su hermano el señor Moctezuma y juntos emprenden el proyecto de producir azúcar, es donde surge el nombre de "Cia. Azucarera la Fe".

En el año de 1977 se ven obligados los señores Pedreros a clausurar la fabricación de bebidas embriagantes y en 1978 se establece que la fabrica de alcohol solo produciría alcohol etílico de 96 grados, en ese mismo año el señor Hernán Pedrero vende sus acciones del Ingenio al gobierno federal el cual asigno el nombre de "OPERADORA NACIONAL DE INGENIOS S.A (ONISA), desde entonces ha pasado a ser de varias instituciones y grupos capitalistas entre los cuales podemos mencionar a: COMISIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA S.A. (C.N.I.A.), En el año de 1990 paso a ser del grupo operadora del Grijalva "GRUPO SAN ROQUE", al presentarse en 1994 en quiebra la vuelve a retomar el gobierno por medio de un fideicomiso liquidador de ingenios llamado FIDELIQ y desde 1995 hasta ahora lo adquirió el grupo "ZUCARMEX" teniendo como nombre "CIA. AZUCARERA LA FE S.A de C.V.

### **1.1.1 Nombre de la empresa.**

Cia. Azucarera la Fe S.A de C.V.

Ingenio Pujiltic, Chiapas.

### 1.1.2 Dirección.

San Francisco Pujilic

Mpio. De Venustiano Carranza Chiapas.

C.P. 30310

Tel. (01 992 67 5 20 85)

Fax. (5 22 24)

### 1.1.3 Ubicación, Climatología y Localización.

Tiene una posición geográfica de 16° o 17° longitud oeste, a una altitud de 635 mts sobre el nivel del mar sus temperaturas máximas promedio anuales son de 31.5 °C como máximo y 19.1 °C como mínimo con una precipitación pluvial de 1,172.2 mm anuales.

El Ingenio Pujilic, Chiapas está situado en el Km 106 de la carretera Tuxtla Gutiérrez a Venustiano Carranza.

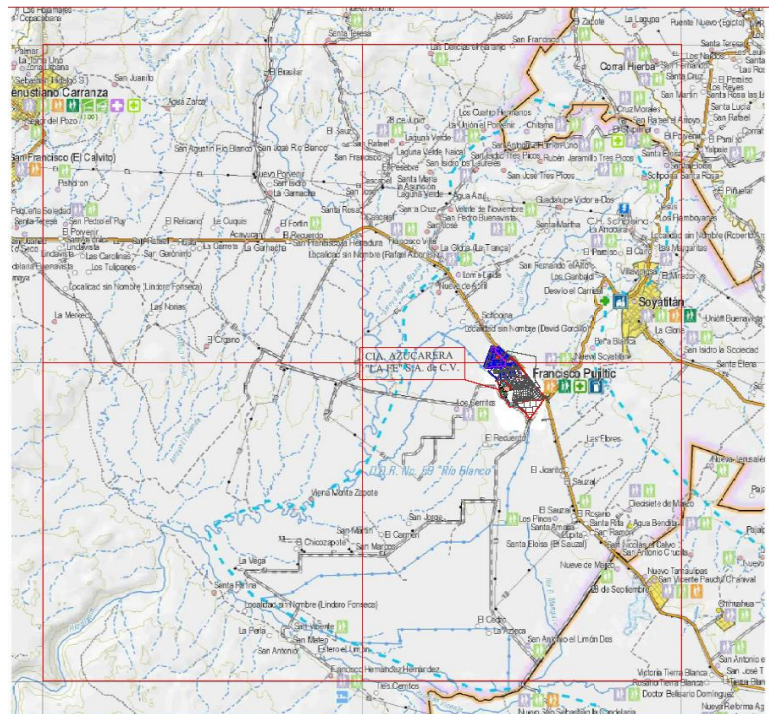


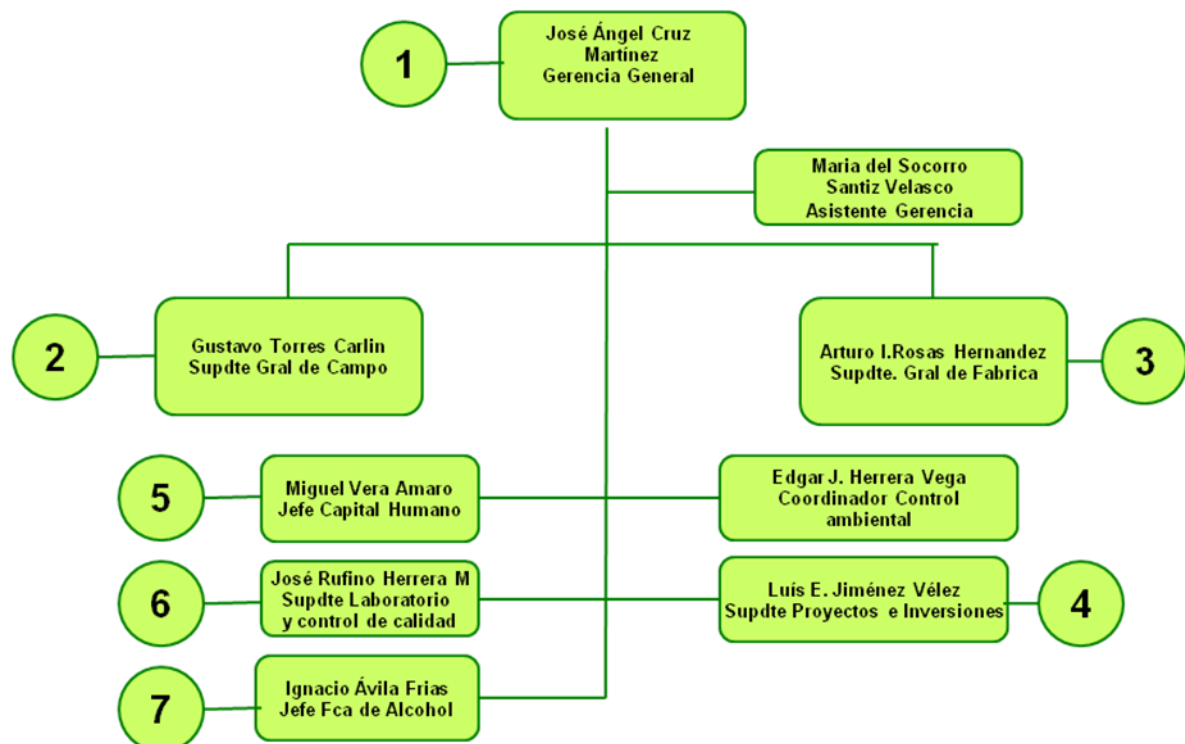
Fig. 1.1.3-1 mapa de la ubicación.

### 1.1.4 Política y normas.

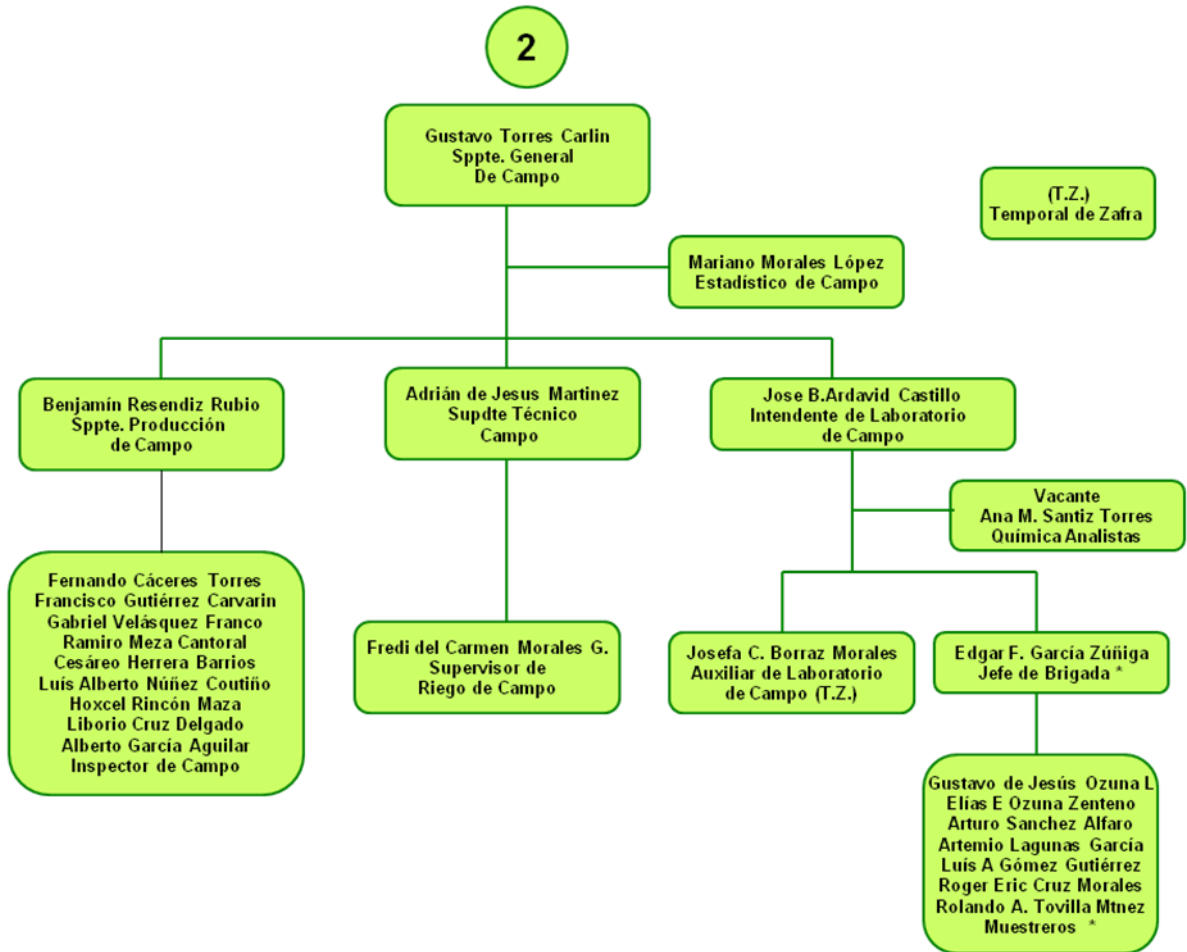
La política de la empresa es producir con el compromiso de procesar toneladas de caña al menor costo y el mínimo de contaminantes al ambiente, cuidando la ecología de la región tiene normas estrictas de control de calidad en todas sus áreas como son la gerencia de campo que se le exige caña de azúcar con la madurez adecuada para brindar el mínimo de fibras y el máximo de sacarosa, de la gerencia de fabrica se espera el mínimo de tiempo perdido y máxima producción de azúcar, sin salir de los parámetros de pureza humedad y color de azúcar y del departamento de control ambiental se espera el estricto control de contaminantes de esta fábrica.

### 1.1.5 ORGANIGRAMAS DE LA COMPAÑIA.

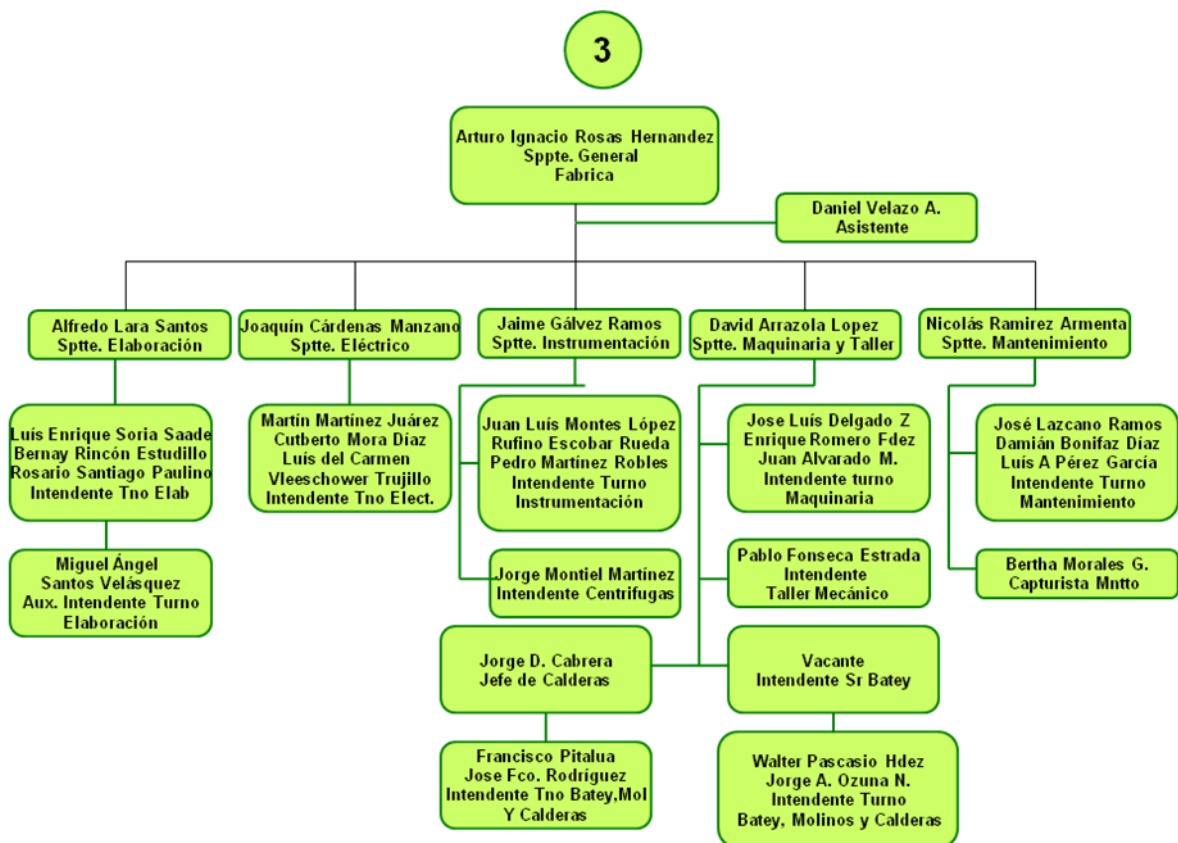
#### 1.1.5.1 ORGANIGRAMA LA FE DEPARTAMENTOS ACTUALES



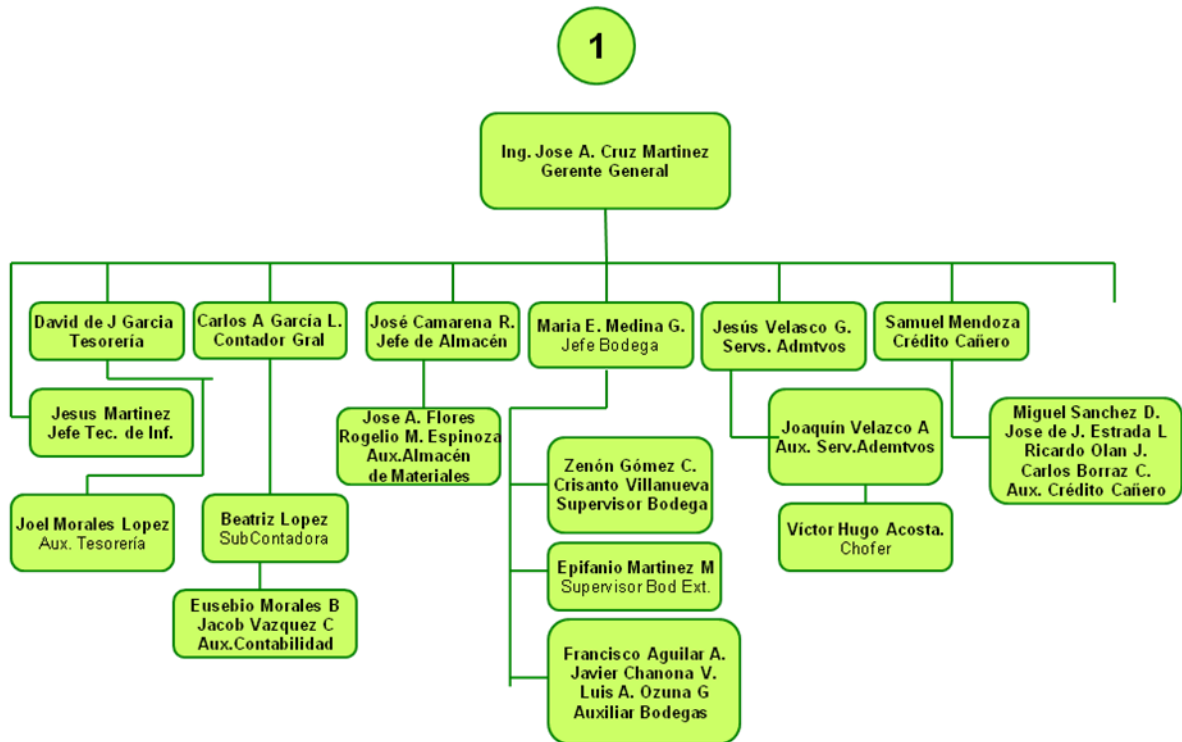
### 1.1.5.2 ORGANIGRAMA LA FE AREA DE CAMPO



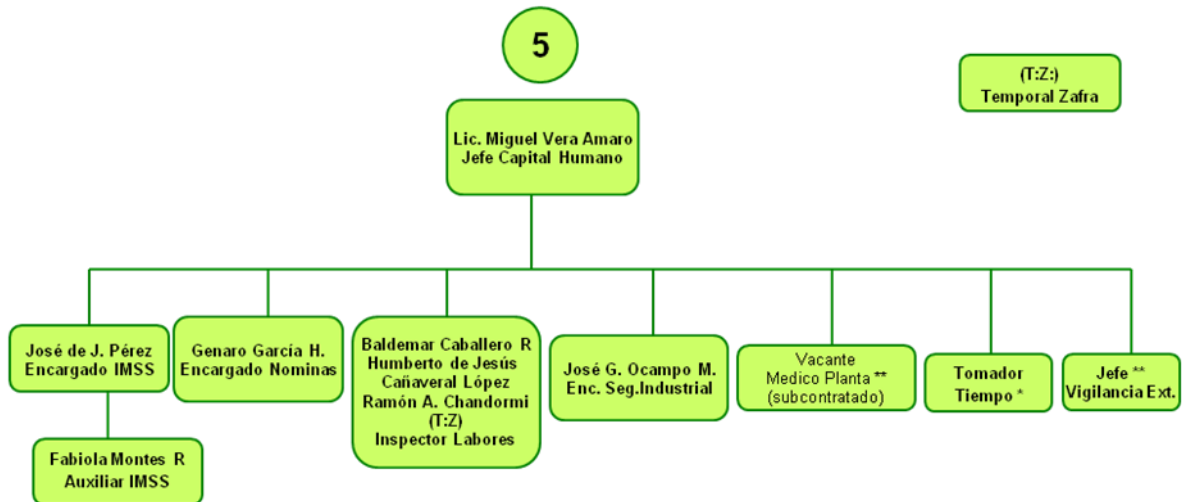
### 1.1.5.3 ORGANIGRAMA LA FE AREA DE FÁBRICA



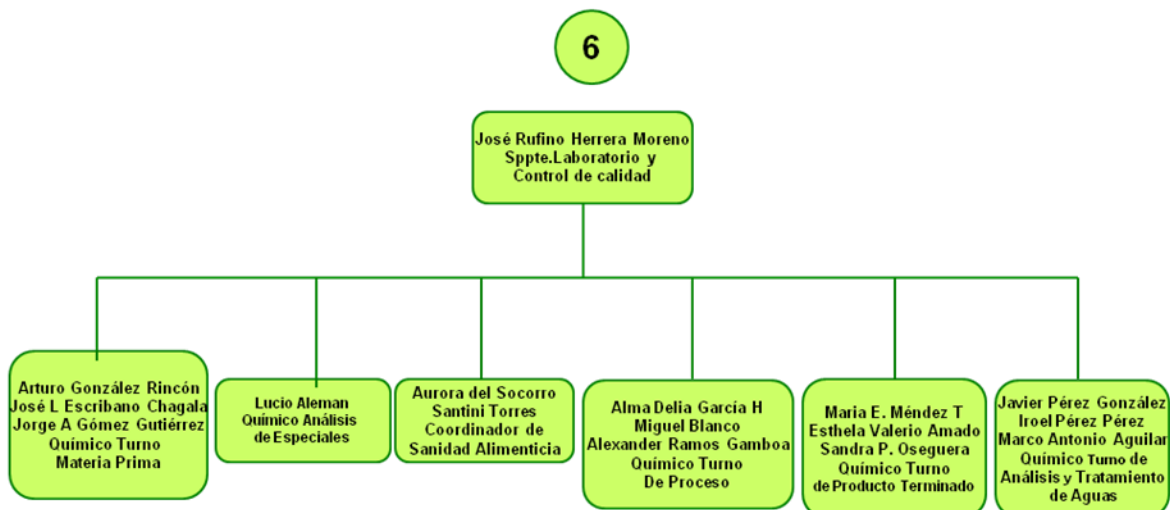
### 1.1.5.4 ORGANIGRAMA LA FE CONTABILIDAD Y MERCADOTECNIA



### 1.1.5.5 ORGANIGRAMA LA FE CAPITAL HUMANO

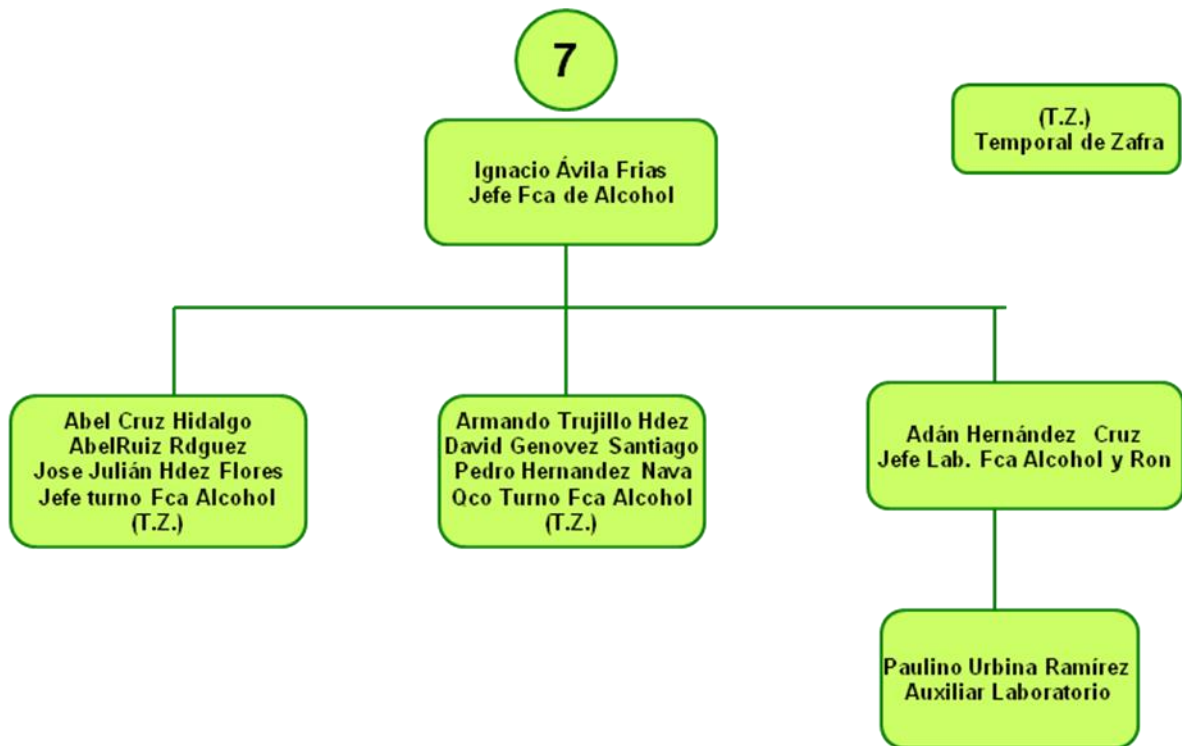


### 1.1.5.6 ORGANIGRAMA LA FE LABORATORIO DE FÁBRICA

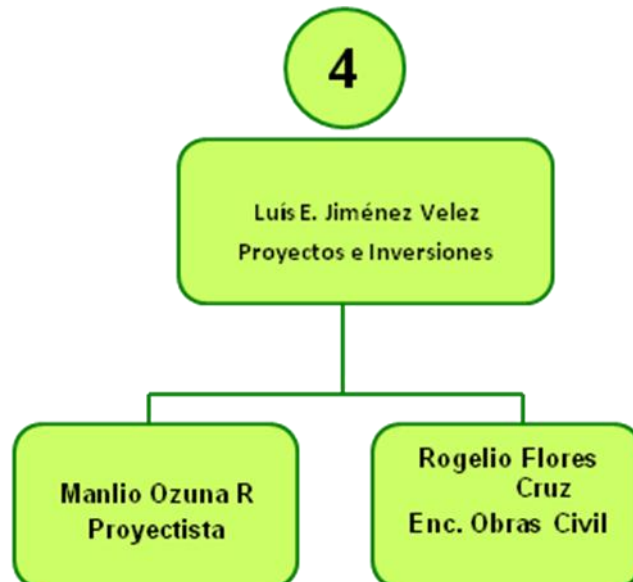




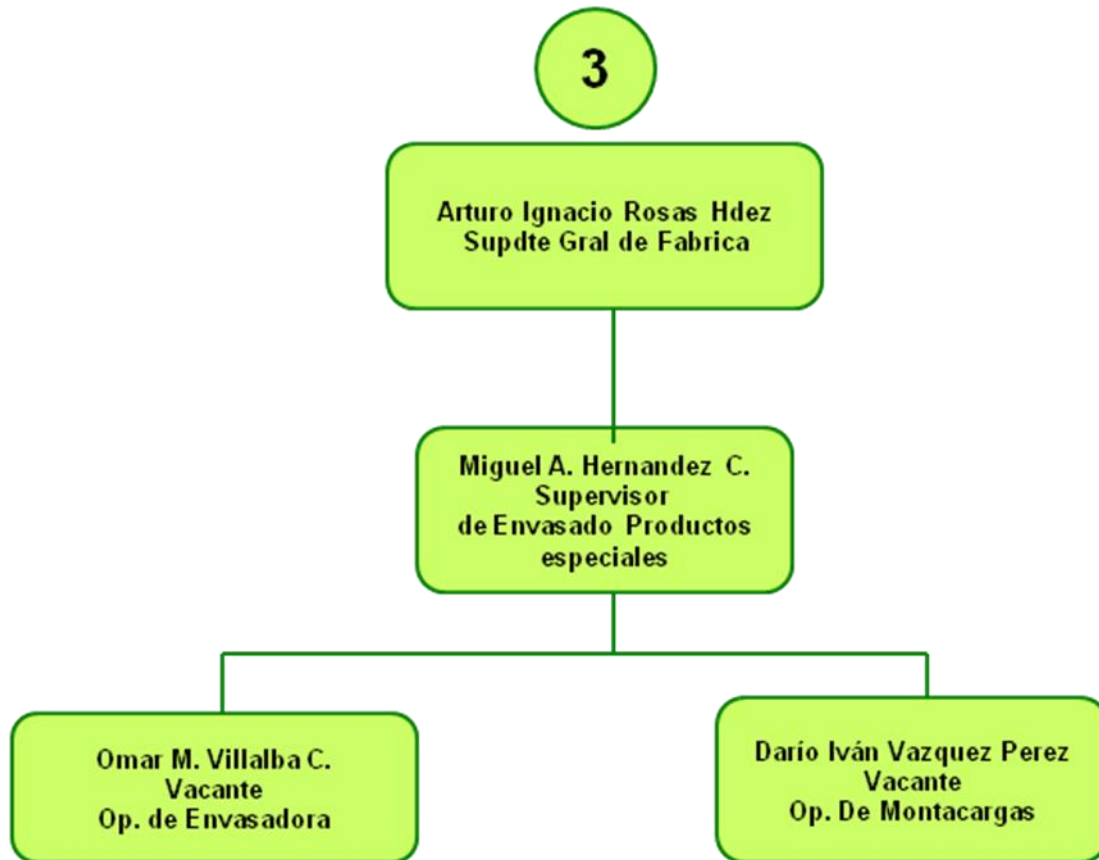
### 1.1.5.7 ORGANIGRAMA LA FE FÁBRICA DE ALCOHOL



### 1.1.5.8 ORGANIGRAMA LA FE PROYECTOS



### 1.1.5.9 ORGANIGRAMA LA FE ENVASADOS ESPECIALES



La Compañía Azucarera la Fe, S.A.de C.V. Ingenio pujiltic. Chiapas. Pertenece a un grupo denominado ZUCARMEX. El cual está constituido de cuatro ingenios más distribuidos a lo largo de todo el país de los cuales se mencionan a continuación:

- a).-Ingenio Melchor Ocampo, localizado en Auntla, en el estado de Jalisco.
- b).-Ingenio El Higo, localizado en el estado de Veracruz.
- c).- Ingenio Mahuixtlan, localizado Coatepec en el estado de Veracruz.
- d).- Ingenio La Primavera, localizado en Navolato, en el estado de Sinaloa.

Siendo en este ultimo donde se encuentran la dirección general del grupo. Por lo tanto cabe mencionar que el ingenio pujiltic es el más grande en producción de azúcar.

La cía. Azucarera la fe está constituido por tres áreas que son:

- Administrativo.
- Técnico de campo.
- Técnico de fábrica.

El departamento de fabrica también está integrado por personal de confianza y obrero sindicalizado quienes cuentan con un comité directivo local “sección 42” pertenecientes al Sindicato Nacional de la industria Azucarera y Similares de la República Mexicana.

Actualmente el número de personal obrero en el departamento de fábrica es de 585 Trabajadores, clasificándose en personal de planta permanente, temporal y eventual. Y el personal de confianza es de 224 empleados distribuidos en los diferentes departamentos: Administrativos, campos y fábrica.

Respecto a los días laborales cabe mencionar que los Ingenios azucareros se caracterizan por tener dos periodos de trabajo anualmente. De azúcar de caña denominado ZAFRA y el periodo de REPARACIÓN.

El periodo de zafra de esta compañía tiene una duración de 200 días consecutivos, laborado las 24 horas del día. Dando comienzo en la primera semana del mes de noviembre y finalizando en la última semana del mes de mayo del próximo año.

El periodo de reparación de esta compañía consiste en la reparación y mantenimiento a toda la maquinaria, equipo e instalaciones de la fábrica en general. Este periodo tiene una duración de 20 semanas, de las cuales únicamente se labora de lunes a sábado. El periodo de reparación comienza 15 días después de haber concluido el periodo de zafra. Siendo estos los 15 días de vacaciones generales para todo el personal de los diferentes departamentos que labora esta compañía y terminando una semana antes de que inicie la zafra, realizando en esta semana las pruebas de arranque de molienda de caña.

En el periodo de zafra el horario de trabajo para el departamento de fábrica esta dividido en tres turnos:

Primer turno: 6:00 a 14:00 hrs.

Segundo turno: 14:00 a 22:00hrs.

Tercer turno: 22:00 a 06:00 hrs.

En el periodo de reparación el horario de trabajo para el departamento de fábrica es solamente 06:00 a 14:00 y de 17:00 a 20hrs de lunes a viernes.

## **1.2 Objetivos y Servicios que presta.**

El objetivo principal de la compañía consiste en transformar materia prima “caña de azúcar” en azúcar de buena calidad. Aprovechando la miel como subproducto final del proceso para elaboración de alcohol de 96 grados y la utilización al 100% del bagazo “fibra de caña” como combustible en las calderas eliminando el consumo de combustóleo en estas.

### **Fábrica de Alcohol:**

Que emplea la miel final residual del proceso de la elaboración de azúcar, con una capacidad productiva de 22,000 litros de alcohol al día.

### **Fábrica de Azúcar:**

La cual produce azúcar de calidad estándar blanco y cuenta con todos los servicios necesarios para su funcionamiento. Procesado de 7,500 a 8, 400 toneladas de caña al día, lo que significa una producción de 950 a 1000 toneladas de azúcar estándar. Al día. Que es abastecido por los ejidos de la mesilla, soyatitan, Socoltenango y villa las rosas y el municipio de Venustiano Carranza.

### **Fábrica de Ron:**

Actualmente la Compañía produce Ron de caña de calidad que es exportada a diferentes estados de la república, obteniendo así un mejor aprovechamiento de la materia prima que es la caña.

Por lo que se puede decir que es la industria más grande en la producción de azúcar en el estado de Chiapas. Generando un gran número de empleos directos e indirectos, tanto a obras como profesionistas ya sea en el campo o en la ciudad.

### **1.3 Misión de la empresa.**

Industrializar caña y producir azúcar estándar de alta calidad al menor costo de producción siendo más eficientes, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes, preservando el medio ambiente en un clima laboral sano, en una relación armónica con los abastecedores y promoviendo el desarrollo integral de nuestro personal e innovando a la industria azucarera, transformando la cultura gerencial en pensamientos estratégicos, además de ofrecer marcas naturales, saludables y nutritivas; cumpliendo con las expectativas de calidad y sanidad que el cliente exige.

### **1.4 Visión de la empresa.**

Llegar a ser el ingenio en el país que produzca el azúcar de mejor calidad que satisfaga los requisitos del cliente, al menor costo de producción con mayor rentabilidad, preservando el entorno ecológico aplicando las buenas prácticas de manufactura de seguridad y bienestar para nuestros trabajadores empleados y abastecedores.

### **1.5 Valores de la empresa.**

Honestidad:

- Cumplir 100% con tu trabajo.
- Conducirse con la verdad y con justicia, reconociendo nuestras capacidades y limitaciones.

Responsabilidad:

- Dar resultados positivos.
- Cumplir en tiempo y forma con tu programa de trabajo.
- Lealtad en ZUCARMEX, es aceptar el desafío al cambio.

#### Eficiencia:

- Aprovechamiento máximo de los recursos,... haz más con menos.
- Soluciona los problemas.

#### Creatividad:

- Proponer mejoras de manera sistematizada.
- Eliminar el NO SE PUEDE
- Usa tu imaginación, como la mejor herramienta que tienes.

#### Disciplina:

- Cumplir con procedimientos establecidos.
- Se constante.

#### Respeto:

- Consideración a: tiempo de los demás, medio ambiente e ideas.
- Trata a los demás como te gustaría que te trataran a ti.

## 1.6 Descripción del proceso

La caña de azúcar ha sido sin lugar a dudas uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial en el continente americano y europeo. El azúcar se consume en todo el mundo puesto que es una de las principales fuentes de calorías de todos los países. El azúcar puede obtenerse industrialmente a partir de la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa nacional e internacionalmente. A continuación se detalla el proceso en la fábrica.

### 1.6.1 Labores de campo y cosecha.

El proceso Productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa a la siembra de la caña (Fig. 1.6.1-1), Una vez la planta madura entre 12 y 13 meses, las personas encargadas de la tarea de cosecha se disponen a cortarla (Fig. 1.6.1-2) y recogerla a través del alce mecánico y llevarla hacia los patios de caña de los ingenios.



Fig. 1.6.1-1 Siembra de la Caña



Fig. 1.6.1-2 Cosecha y corte de Caña

### 1.6.2 Patios de caña.

La caña que llega del campo en camiones rabones y Torton son del tipo diesel y gasolina. A continuación, la caña se pesa con básculas electrónicas (Fig. 1.6.2-1) para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas: se cuenta con 3500 cortadores de caña, 415 camiones y 66 Alzadoras de caña: a la fecha se llevan 513,886 ton (38%) de caña de un total de 1, 360,142 ton. (100%) Sembradas en 15,700 hectáreas todas de riego. Se tiene dos básculas, una para pesar y otra para destazar, ambas de 50 Ton. La capacidad de molienda por día es de 8,500 ton.

Luego se conduce a los patios de donde se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda transportadora alimenta las picaduras.



Fig. 1.6.2-1 Basculas de Caña



### 1.6.3 Mesas de lavado de caña

La caña se conduce a los patios donde empleando un sistema de grúas se alimenta a granel directamente en 3 mesas lavadoras de 30° de inclinación de 7.91 metros de ancho por 8.95 metros de largo, accionadas por Motor eléctrico de 40 hp. Para dirigirla al conductor de 2.10 m de ancho por 35 metros de longitud que alimenta a las cuchillas.

Las mesas lavadoras (Fig. 1.6.3-1) cuentan con un sistema de boquillas aspersores de agua que lavan la caña y remueven las impurezas evitando su entrada al proceso.



Fig. 1.6.3-1 Mesas de Lavado de Caña

#### 1.6.4 Conductor de caña y cuchillas

La caña lavada se transporta por un sistema de conductores hacia dos cuchillas(Fig. 1.6.4-1), picadoras de caña las que son accionadas por turbinas a vapor de 1,100 y 1200 hp que giran a 650 rpm bajo las cuales se hace pasar el colchón de caña, que se fracciona abriendo las celdas para facilitar la extracción del jugo que contiene, posteriormente se hace pasar por un imán, y llega a la desfibradora(Fig. 1.6.4-2) marca Dedini de 60", y gira a 1150 rpm, cuya función es convertir en astillas dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.



Fig. 1.6.4-1 Juegos de Cuchillas



Fig. 1.6.4-2 Desfibradora

### 1.6.5 Molienda.

La caña preparada por las cuchillas y la desfibradora llega al tándem de molienda marca five lille cail, constituido por 6 molinos de 4 mazas de hierro de fundición gris (hierro colado) cada uno.

En medio de las cuales se hace pasar el colchón de caña aplicándole una fuerza de 420 tons a lo largo de la maza (Fig. 1.6.5-1) y mediante esta presión se extrae el jugo que se recolecta en tanques.

Cada molino está equipado con una turbina a vapor accionada con vapor de 31 Kg. /cm<sup>2</sup> y 340° c, un sistema de transmisión y reductores de velocidad. Los molinos son un tándem de 6 unidades con 4 mazas cada una, y es el equipo más moderno de México con una extracción de sacarosa superior al 97 %. La potencia total instalada en el tándem es de 6,000 hp.



**Fig. 1.6.5-1 Mazas de Extracción de Jugo.**

En el recorrido de la caña por los molinos (Fig. 1.6.5-2), se le agrega agua para instaurar los jugos y lograr extraerle la sacarosa que contiene el material fibroso que pasa a través de todas las unidades que componen dicho molino.

El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a las calderas para que sirva como combustible y produzca el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas (Fig. 1.6.5-3) de los molinos para lograr su movimiento y en los turbogeneradores para producir la energía eléctrica requerida por el ingenio y la energía suministrada como excedente a la red pública.

El vapor de escape de las turbinas se emplea en las operaciones de evaporación y cocimiento de los jugos azucarados. El bagazo se puede emplear adicionalmente para las fábricas de papel o de tableros aglomerados.

**Fig. 1.6.5-2 Molinos**



**Fig. 1.6.5-3 Turbinas de Alta Presión.**

### 1.6.6 Pesado de jugos.

El jugo diluido que se extrae de la molida se pesa en básculas con celdas de carga para saber la cantidad de jugo sacaroso que entra en la fábrica (Fig. 1.6.6-1).



Fig. 1.6.6-1 Pesado de Jugos

### 1.6.7 Clarificación.

El jugo que se extrae del molino se pesa en básculas, inmediatamente después se alcaliza para subir su PH de 5.2 a 7.6 para luego ser calentado con vapor en intercambiadores de tubo (Fig. 1.6.7-1) y coraza hasta una temperatura de 102-105 °C y se dispone en tanques clarificadores de 65,000 galones de volumen cada uno (Fig. 1.6.7-2) y tres horas de retención, donde los sólidos no azúcares floclados por la alcalización y calentamiento se precipitan por gravedad en forma de un lodo llamado cachaza. El jugo clarificado sobrenadante se pasa por tamices finos para remover partículas y se envía hacia los evaporadores.



Fig.1.6.7-1 Calentadores del jugo.

Fig. 1.6.7-2 Clarificación del jugo



### 1.6.8 Filtración

Los lodos o cachaza contienen azúcar y para retirársela se someten a un proceso de filtración al vacío.

Inicialmente a los lodos se les agrega bagacillo, cal y floculante para aumentar su filtrabilidad, posteriormente se bombean hacia filtros rotatorios (Fig. 1.6.8-1) al vacío donde se separan los sólidos del jugo resultante. En el filtro se aplica agua caliente con boquillas aspersores para minimizar la cantidad de sacarosa residual en la cachaza.



**Fig. 1.6.8-1 Filtros de Cachaza**

La materia sólida se conduce por bandas transportadoras a tolvas para recogerla en volteos (Fig. 1.6.8-2), pesarla y disponerla en el campo como estabilizador de suelos pobres en materia orgánica.

El jugo turbio resultante se clarifica por flotación con ácido fosfórico, cal, floculante y aire de tal manera que el jugo filtrado clarificado se mezcla con el jugo claro de jugo para enviarlo a los evaporadores y los lodos sólidos no azúcares se retornan a la operación de filtración y se desalojan con la cachaza.



**Fig. 1.6.8-2 Volteos Recolectores de Cachaza**

### **1.6.9 Evaporación.**

El jugo clarificado se recibe en los evaporadores con un contenido de sólidos de 16.5 % (°Brix), se concentra por evaporación de múltiple efecto y se entrega con 69 °Brix. Este jugo concentrado se denomina jarabe o meladura.

La estación de evaporación consta: 4 preevaporadores con una superficie total de 76,000 pies cuadrados y de tres líneas de cuerpos de evaporación tipo Roberts en arreglo de cuádruple efecto (Fig. 1.6.9-1) con un área de evaporación total de 168,000 pies cuadrados. En total la superficie de calefacción instalada es de 244,000 pies cuadrados. Cada línea de evaporación está provista de instrumentación y equipos de control. Siempre está en limpieza un preevaporador y un cuádruple efecto.



**Fig. 1.6.9-1 Evaporadores de Múltiples Efectos**



### 1.6.10 Cristalización.

La sacarosa contenida en la meladura cristaliza llevándola hasta el nivel metaestable de sobresaturación por evaporación al vacío en evaporadores de simple efecto (Fig. 1.6.10-1).

El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida.

El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr una mayor recuperación de sacarosa.



Fig.1.6.10-1 Tachos

### 1.6.11 Centrifugación.

Los cristales se separan del licor madre mediante fuerza centrífuga en tambores rotatorios que contienen mallas interiores.

Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales y se descarga para conducirla a las secadoras.

La miel que sale de las centrifugas (Fig. 1.6.11-1) se bombea a tanques de almacenamiento para someterla a posteriores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel agotada o miel de purga que se retira del proceso y se comercializa para la alimentación de ganado y/o como materia prima para la obtención de alcoholes.



Fig. 1.6.11-1 Centrifugas

### 1.6.12 Secado.

El azúcar húmeda que sale de centrífugas, (1.0 a 2.0 % de humedad) se transporta por elevadores y bandas para alimentar a la secadora (Fig. 1.6.12-1) que es un tambor rotatorio inclinado en el cual el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente.

El aire se calienta con vapor en intercambiadores tipo radiador y se introduce a la secadora con ventiladores. El azúcar seco sale por el extremo opuesto de la secadora, donde se instala una malla clasificadora para remover los terrones de azúcar. El azúcar a la salida del secador tiene una humedad de 0.035%



Fig. 1.6.12-1 Secadora de Azúcar

### 1.6.13 Envase.

El azúcar seca y fría se empaca en sacos de 50 Kg (Fig. 1.6.13-1). Bascula de azúcar electrónica triple marca Acemex de alta velocidad de tres tolvas suspendidas de 3 Celdas de carga estabilizadas, equipadas con Mordazas automáticas de 25 a 30 sacos de 50 Kg. por minuto.

Además de presentaciones diferentes dependiendo el mercado (Fig. 1.6.13-2) y se despacha en la bodega de producto terminado para su venta.

Se cuenta con dos bodegas de almacenamiento con capacidad de 1, 100,000 sacos de azúcar de 50 kg (Fig. 1.6.13-3)



Fig. 1.6.13-1 Envase de 50 Kg.



Fig. 1.6.13-2 Envase Diferentes Presentaciones



Fig. 1.6.13-3 Bodega

### 1.6.14 Tipos de azúcar.

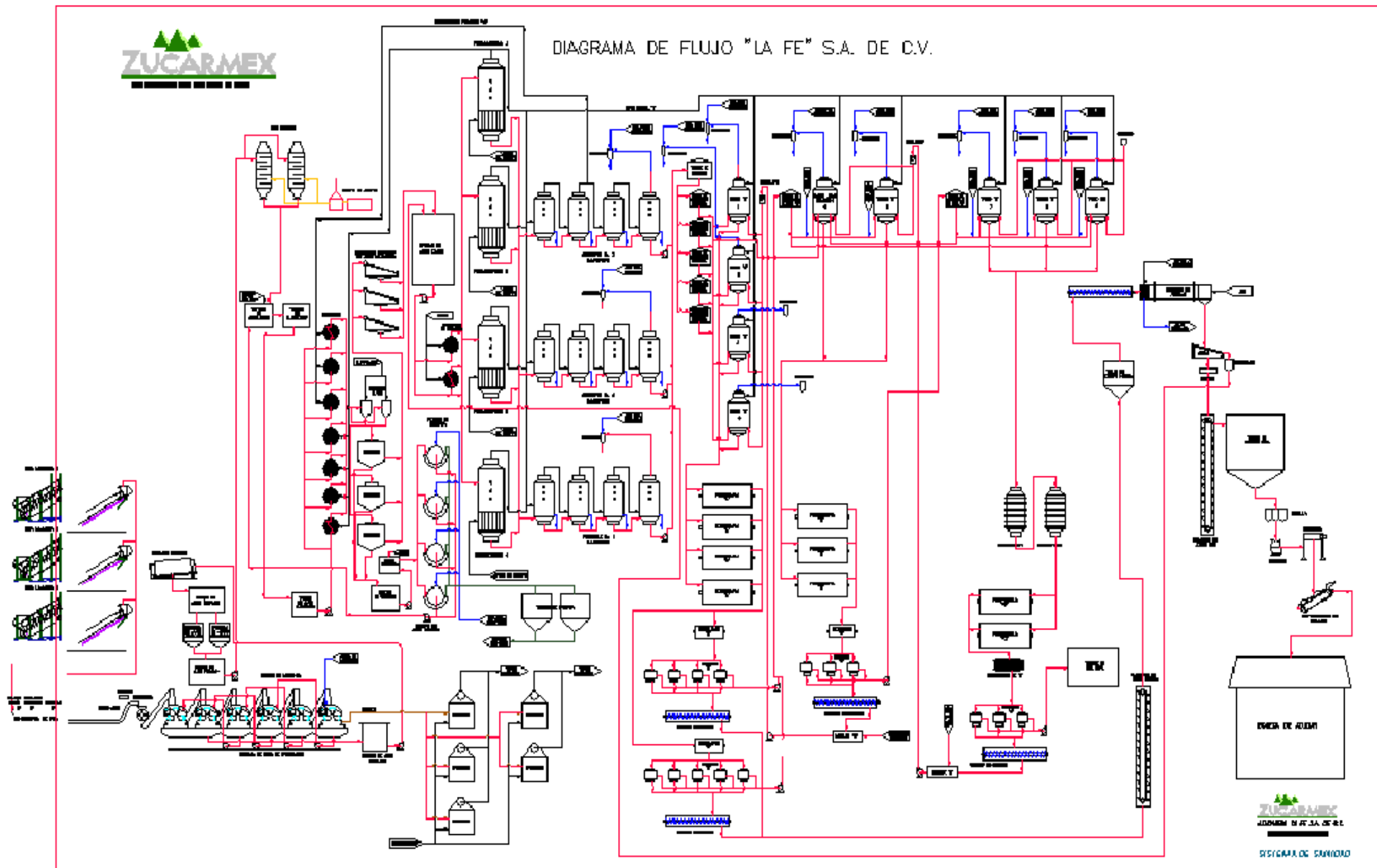
El azúcar se clasifica dependiendo de los procesos aplicados en la extracción y el gusto del consumidor.

- Crudo, mascado o morena: se produce con cristales de tamaño pequeño y conserva una película de melaza que envuelve cada cristal.
- Blanco directo o directo especial: se producen por procesos de clarificación y su producción final se logra en una sola etapa de clarificación.
- Refinamiento: se cristaliza 2 veces con el fin de lograr su máxima pureza.



Fig. 1.6.14-1 Presentación del Azúcar

## 1.7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EMPRESA



## **1.8 INFORMACIÓN GENERAL DE LA COMPAÑÍA AZUCARERA “LA FE”**

### **RECUROS HUMANO:**

Empleados de confianza permanente: 96 confianza temporal: 34. Obreros sindicalizados permanentes: 280. Sindicalizados temporales: 270 haciendo un total de empleados dentro de la fábrica de 680 personas.

### **ABASTECIMIENTO DE CAÑA**

Depende de 4 Municipios del Estado de Chiapas: Socoltenango, 5478.47ha. Tzimol 2,343.84; Venustiano Carranza, 5,140.68 ha; y Villa las Rosas, 3,019.18 ha. Superficie coséchale total: 15,982.18 ha. Cortadores de caña 3,200. Locales 2,910. Foráneos: 290.

### **EQUIPO DE TRANSPORTE:**

Propiedad de los productores. 479 camiones, el 53% Torton para 15 a 18 tons. Y 47% Rabones para 13 a 15 tons. 75 alzadoras grandes cameco, 3m y thomson, adaptadas con freno de aire.

### **MANEJO DE CAÑA:**

Descarga: 3 volteaderos de hilo tipo Cameco para 20 tons, movidos con motor de 60 hp. 3 mesas alimentadoras, 2 de 7.91x9.75m. Y 1 de 7.73x8.95m, inclinadas a 30° con sistema de lavado de cañas en seco. Mesa 1 y 2 con sistema de lavado de caña en seco. Mesa 1: 12 hileras de cadena No. 698 reforzada accionada por motor de 40 hp/1800 r.p.m. Mesa 2: 12 hileras de cadena No. 698 accionada por motor de 100 hp. Conductor 1: 2.10x33.5m. Cadena de arrastre Rex 1223 y motor de 100hp. Conductor 2: 2.10x23.5 m. con cadena de arrastre Rex 1223 y motor de 100 hp, reductor Bonfiglioli.

### **EQUIPO DE MOLIENDA.**

2 juegos de cuchillas de 1.72 m. diámetro. Juego 1: 54 machetes de 0.66 m. de longitud c/u, accionado por turbina Elliott de 1,100 hp/42.18 r.p.m. a través de reductor Elliott relación 7.03:1. Juego 2: del tipo de machetes oscilantes con diámetros de preparación de 68”, operando a 850 r.p.m. con 124 machetes, accionado por turbinas Coppus-Murray de 1,200 hp a través de reductor Elliott, relación 4.94:1.

**Desfibradora:** Dedini de 60" diámetro con 176 martillos, opera a 1200 r.p.m. accionada por turbina Dedini de 3,900 r.p.m., presión de entrada 34.5 kg/cm<sup>2</sup> y reductor de Dedini FID-500 de reducción 3.324: 2,200 hp.

**Tándem** de 6 molinos Fives Lille Cail.

**Molino 1:** tipo 970 con mazas de 41 ½" x 84 5/8 de longitud con 4<sup>a</sup> maza y conductor alimentador tipo Chute Donelly, accionado por turbina Murray de 1,100 hp y reductor de alta y baja Farrell con relación total de reducción de 649.76.

**Molinos 2, 3, 4, 5 y 6:** tipo 920 con mazas de 39 ½ "x 82 ¾ ", con 4<sup>a</sup> maza de 32" diámetro exterior, alimentador tipo chute Donelly.

**Molino 3 y 5:** accionado por turbo reductores Fives Lille de 790 KW con relaciones de velocidad de 1.345:1.

**Molinos 2 y 4** movidos por turbinas TGM TM FLEX 2000 de 1,000 hp y reductor de alta Flender 56GS 280 potencia de 761 kw.

**Molino 6:** accionado por turbina Murray de 1,100 hp. Todos los molinos cuentan con sistema de presión Edwards de 161.7 motor eléctrico Siemens de 50 hp.

**Conductor de Bagazo** distribuidor a calderas de 75 hp con 70 m. longitud.

**2 bombas para jugo** de 1,200 g.p.m. de carga dinámica de 60 ft y 100 hp.

**4 bombas inatascables** Galingher de 600 g.p.m. Con carga dinámica de 40 ft. Accionada por motores de 15 hp/1,750 r.p.m.

**Filtro rotativo** Tromel Mod. 765 x 228, para manejo de jugo.

**2 Bombas Century** 450 m<sup>3</sup>/hr, altura 12, accionada con motor 100 hp.

## **PLANTA DE VAPOR (5 CALDERAS)**

**Caldera 1 y 3:** Dallas Boiler de 45 tons. Vapor/hr. Vapor sobrecalentado a 350° C. presión máxima de trabajo 34.5 kg/cm<sup>2</sup> con parrilla tipo volcante y 2 quemadores de combustóleo tipo AP-K de atomización de vapor.

**Caldera 2:** Uv60 de 45 tons. Vapor/hr. Vapor sobrecalentado de 350° C y presión máxima de trabajo de 34.5 kg/cm<sup>2</sup> con parrilla tipo volcante, sin quemadores de combustóleo 100% bagacera.



**Caldera 4:** Dallas Boiler de 454 tons. De vapor/hr. Vapor sobrecalentado a 350 °C y presión máxima de trabajo de 34.5 kg/cm<sup>2</sup> con 4 hornos tipo ciclónico con aire fluidizado y 3 quemadores de combustóleo tipo AP-K con atomización a vapor.

**Caldera 6:** Cerrey de 55 tons. De vapor/hr. Vapor sobrecalentado a 370 °C. Presión máxima de trabajo 34.5 kg/cm<sup>2</sup> con 4 hornos tipo ciclónico con aire fluidizado y 3 quemadores de combustóleo tipo AP-K con atomización a vapor. Todas generando vapor sobrecalentado a 350 °C y presión máxima de trabajo de 33 kg/cm<sup>2</sup>.

**Precalentadores de aire:** Tubulares de pasos a contracorriente.

**Caldera 1:** 3 pasos con tubos bwg calibre 14, 2" diámetro, 12,181 ft<sup>2</sup>.

**Caldera 2:** 2 secciones, un solo paso con tubos de 2 ½" diámetro y 20,979 ft<sup>2</sup>.

**Caldera 3:** 4 pasos con tubos bwg calibre 14, 2" diámetro, 18,069.8 ft<sup>2</sup>.

**Caldera 4:** 4 pasos con tubos bwg calibre 14, 2" diámetro, 14,752ft<sup>2</sup>.

**Caldera 5:** 2secciones de un solo paso, con tubos din-2394, 2 ½" diámetro, 20,979.6 ft<sup>2</sup>.

**Ventilador de tiro forzado. Calderas 1, 2, 4,5:** c/u con ventilador Armee-Chicago tipo A, tamaño 4900, Clase 1200, arreglo 3, rotación ccw, descarga bau 45°, volumen de 59,800 p.c.m. velocidad de giro 1,180 r.p.m. potencia requerida 117 hp, temperatura de operación 80 °F, altitud 2,100 p.s.n.m.,  $Wr^2$  113 vlb-ft<sup>3</sup>.

**Caldera 6:** 2 ventiladores Armee Mod. 1904, tamaño 4900 tipo imp. A, volumen 26,000 pcm, rotación rw, descarga 1,180 r.p.m. accionado por motor de 150 hp/1200 r.p.m.

**Ventiladores de tiro inducido. Caldera 1, 2, 5,6:** Armee-Chicago diseño 22/40, velocidad de giro 883 r.p.m., potencia requerida 483 hp. Caldera 4: de fabricación local, velocidad de trabajo 850 r.p.m., potencia requerida 450 hp. **Turbina.** Caldera 1 y 5: turbina Elliott Mod. 2CYR de 325 hp. Caldera 4 y 6: turbina Terry Mod. 24zs-1 de 375 hp.

**Ventiladores de aire secundario. Calderas 1,2 y 4:** con volumen de 18,000 m<sup>3</sup>/hr. Motor weg 40 cv, 2 polos.

**Ventiladores de aire fluidizado.** Calderas 5 y 6: ventilador centrífugo, volumen 10,000 m<sup>3</sup>/hr.

## SEPARADORES DE PARTÍCULAS.

**Caldera 2, 5,6:** tipo multiciclón vía seca con 2 tolvas colectoras de ceniza y 2 válvulas rotativas para descarga de la ceniza, accionados por motoreductores de 3 hp c/u.

**Chimeneas: caldera 1, 2, 4 y 5:** metálicas autoestable de 2.14 m diámetro x 30.15 m. altura.

**Caldera 3:** metálica autoestable de 2.44 diámetro de 1.91 m. diámetro x 30.15 m. altura.  
Caldera 5: metálica autoestable de 2.14 m diámetro x 30.15 m. altura.

**Chimenea de concreto** de 4 m. diámetro base x 2m. Diámetro corona x 76m. Altura.

**Tanque deareador** para 40,000lt. De agua con controladores automáticos para mantener la temperatura y el nivel del agua. 4 bombas para el manejo de agua de condensados al tanque deareador. 3 bombas para el manejo de condensados del tanque de almacenamiento a tanque deareador.

**Bombas de agua de alimentación a calderas.** 2 turbobombas Sulzer. Bombas 1 y 5: centrifugas horizontales, multipasos, mod. MC-100-5 st, 3,500 r.p.m. y temperatura del agua 115°C. Ambas accionadas por turbinas Murray Mod. UV-102UV4/473 de 750 hp/ 3,600 r.p.m. bomba 3: centrifuga horizontal, mod. MC-100, sin turbina ni motor.

**2 Bombas** auxiliares Sulzer centrifugas multipasos tipo HCP de 68.4 m<sup>3</sup>/hr.

**3 bombas** para bombeo de petróleo a quemadores. Bomba 1 y 2: Worthington Mod, GR de 5000 g.p.m. Bomba 3: Riva de 47 g.p.m.

**3 calentadores de petróleo:** 1 riva de 47 g.p.m. y 2 de fabricación local.

**Conductores de Bagazo:** conductor principal de bagazo de 78 m. longitud, tipo de cadena REX-2358 de 9" de paso, 2 transmisiones motores de 150hp/1,185 r.p.m. y 125 hp/1800 r.p.m. 2 conductores laterales para la caldera 5 de 8m. Longitud, cadena Rex-F2184 de 6" de paso, motor de 10hp. 2 conductores laterales para la caldera 6 de 8.60 m, longitud cadena 6" de paso, motor de 10 hp. Conductor retorno de bagazo de 68m, longitud, cadena Rex-F22184 de 6" de paso, motor de 30 hp/1750 r.p.m. Planta de tratamiento interno. Batería en stand by de 7 bombas Milton Roy dúplex dosificadora de productos químicos, 16 g.p.m., presión de trabajo 500 psi, motor de 3 hp, operando con 6 bombas dosificadoras dúplex Milton Roy, Tipo Mroy "M" Mod. RM21-19 FR SESEALNN, 1,725 r.p.m. capacidad máxima de la bomba 21 g.p.h. 100 psi y 16 g.p.h., 100 psi, motor eléctrico 1 hp.

**Planta de tratamiento externo:** 2 trenes de integrados por filtros de grava y arena y columnas de intercambio iónico que contiene resina Amberlite IR-120na con bomba para solución de salmuera.

**Tanques de almacenamiento de condensados:** Tanques 1, 2,3 y 4: 300,000 lt.

**Automatización:** sistema de control distribuidor delta versión 7.4 para control de agua de alimentación de calderas 1, 4,5 y 6 para procesar 150 señales. El sistema tiene 2 computadoras Dell mod. 380 para a visualización de la operación.

### **PLANTA ELECTRICA:**

Red de distribución compuesta por 9 subestaciones, 5 transformadores de 1,000 Kva., 4160/440v, 4 transformadores de 2,000 kva., 4160/440 v, transformador de 300 Kva., 4,160/220v. Para alumbrado de fábrica, normalmente se trabajan 2 generadores en paralelo para abastecer la demanda de todos los equipos de fábrica. Subestación de CFE como respaldo en caso de fallas en calderas: transformador de 1,500 Kva 13,200/4160 v, transformador de 750 Kva, 13,2500/220 v.

### **CLARIFICACION:**

Procedimiento: se sulfita por medio de 2 torres cilíndricas de acero inoxidable de 1.5 m de diámetro x 6m altura con gases producidos en hornos rotativos cilíndricos de 0.5 m diámetro x 2 m. largo consumo de azufre de 0.215 kg/tons de caña.

**Planta de alcalización:** 2 tanques para lechada de cal de 4500 lt. C/u y agitador de corona sinfín con motor de 7.5 hp/1700 rpm. Tanque de alcalización de 25,000 lt. y 2 tanques de retención de 21,000 lt. y 14,500 lt.

**2 bombas** Agse para jugo alcalizado de 2,000 g.p.m. y motor de 159 hp. 7 calentadores: 3 primarios de 3,7000 ft<sup>2</sup> y 4 secundarios, 3 de 2,193 ft<sup>2</sup> y 1 de 3500 ft<sup>2</sup> s.c. 3 clarificadores: 1 tipo Rapi Dorr para 300 m<sup>3</sup>, 1 tipo Rapi Dorr para 340 m<sup>3</sup> un tipo Sri para 280 m<sup>3</sup>. Planta de filtración con 4 filtros de cachaza: 2 filtros de cachaza eimco de 2.44 x 4.88 m. con 36.09 m<sup>2</sup> de superficie de filtración (s.f.), filtro Stockdale de 3.2 x 6 m, con 60 m<sup>2</sup> s.f. filtro Dorr Oliver de 3.20 x 6.00 m, con 60 m<sup>2</sup> s.f.

**3 bombas** para jugo clarificado, 1 agse de 2,00 g.p.m. de 150 hp/1,750 rpm tipo 5X6CB15 y 2 century de 2,000 g.p.m. con motor de 75 hp/1,750 rpm. Tanque de hierro vertical para recepción de jugo clarificado de 60,000 lt.

**3 coladores estáticos** para jugo clarificado de 3.20 x 3.50 m con área filtrante de 11.20 m<sup>2</sup> c/u, con malla de acero inoxidable.

### **EVAPORACION:**

**4 preevaporadores**, 2 de 20,000 ft<sup>2</sup>, 1 de 17,567 ft<sup>2</sup> y 1 de 18,452 ft<sup>2</sup> de s.c. con extracción de vapor a tachos, calentadores y cuádruples. Se tiene 3 cuádruples de 56,000 ft<sup>2</sup> de superficie calórica para un total de 168,000 ft<sup>2</sup>, con una extracción de vapor en los segundos vasos a calentadores primarios. Se trabaja con 2 cuádruples y 3 preevaporadores dando un total de 169,567 ft<sup>2</sup> de superficie calórico en operación y 74,452 ft<sup>2</sup> en limpieza. Se tiene

**2 Precalentadores** de jugo de 3,767 ft<sup>2</sup> c/u.

**2 bombas** hidrolavadoras de alta presión buttherwoorth de 15,000 lb/plg<sup>2</sup> para la limpieza de fluxería de evaporadores, tachos y calentadores de jugo.

**2 bombas** para meladura.

**2 bombas** Durco de 400 g.p.m. tamaño 4 x 3 – 13, ANSI No. A 40, serie 9,285, aleación D4, sello mecánico CPO, 1,750 r.p.m.

### **TACHOS (10):**

Todos consumen vapor de extracción de preevaporadores de 1 kg/cm<sup>2</sup>. Los tachos 1, 2, 3, 6, 7, y 8 rectos y los tachos 4, 5 y 9 de cabeza baja.

**Tachos 1, 2, 3, 4 y 10:** para masa "A" de 3,428; 3,185; 3,329; 3,108; y 4,000 ft<sup>2</sup> de s. c.

**Tachos 6 y 9:** para masa "B" de 3,219 y 3,345 ft<sup>2</sup> s. c.

**Tachos 5, 7 y 8:** para masa "C" de 4,222; 2,915 y 2,290 ft<sup>2</sup> de s. c. los tachos 4 y 5 cuentan con agitador mecánico de 75 hp.

**Semilleros:** 1 de "B" de 37,700 lt, 1 de "C" de 28, 274 lt y granero de "C" de 65,200 lt, tipo cilíndrico con agitadores de aspas. Se instalaron 2 fundidores de semilla de "B" y "C" de 3.0 m diámetro x 3.5 m altura y 2 dilutores de mieles "A" y "B" de 2 m diámetro x 2.5 altura. Tacho 8, automatizado.

## **EQUIPO DE CONDENSACION Y VACIO:**

12 condensadores, 10 MultiJet y 2 Cascadas. 7 bombas de inyección, 3 verticales de 12,000 g.p.m. 2 verticales de 5,000 g.p.m. y 1 bipartida de 4,000 g.p.m. 4 Bombas de vacío Vaco A 900 para tachos de "A".

## **CRISTALIZADORES:**

9 Portatemplas, 4 para masa de "A", 3 para masa de "B" y 2 para masa de "C". 2 de enfriamiento rápido continuo de forma cilíndrica vertical de 3.58 m. diámetro x 19.50 m altura, 13.27 m<sup>3</sup>/hr para masa "C".

## **CENTRIFUGAS:**

**Batería A:** 9 centrifugas automáticas, 5 CBI tipo Batch de 48" x 30" de 750 kg. Y 4 Vertek VK de 1,500 kg.

**Batería B:** 3 centrifugas continuas Vertek VK-14 de 30 tons/hr.

**Batería C:** 3 centrifugas continuas: 1 Robert's CC-6 de 6 tons/hr y 2 Vetek-14 de 30 tons/hr.

## **SECADO Y ENVASE:**

Heliconductor transversal que alimenta a elevador de azúcar húmeda de doble cadena de 150 cangilones de 17 x 15 cm. Para 70 tons/hr, accionado por motor de 30 hp y reductor de 28 hp. Una tolva de azúcar de húmeda de 4 tons, que alimenta a heliconductor transversal con motor de 15 hp. Secador de azúcar Vertek sv 30 de 1,500 tons/día de azúcar, accionado por motor de 125 hp y 1,750 r.p.m. que alimenta al elevador de azúcar seco de banda de 60 cangilones de 20 x 32 x 13 cm. Para 60 tons/hr, accionado por motor de 30 hp y reductor de 28 hp. Tolva de almacenamiento de azúcar para 75 tons. Bascula de azúcar electrónica triple tipo tanque para 5<sup>o</sup> y 25 kg. Parson-Eagle, equipada con sistema neumático, con velocidad de envasado de 25 a 30 sacos de 50kg/min. Para repeso se cuenta con báscula de precisión Acemex de plataforma de indicador electrónico.

## **ALMACENAMIENTO DE AZUCAR:**

2 Bodegas para sacos de 50 kg. C/u, Bodega 1: 320,000 sacos. Bodega 2: 680,000 sacos.

### **TANQUES PARA MIELES:**

3 Tanques cilíndricos verticales de 3, 177,887; 4, 886,616 y 3, 268,962 lt.

### **TANQUES PARA PETROLEO:**

Tanques metálicos de 1, 000,000 lt. Fosa de concreto de 30,000 lt.

### **EDIFICIOS:**

Fabrica: estructura de fierro, paredes y techos de lámina de aluminio.

Oficina y casas de empleados: mampostería. Superficie terreno fabrica: 98,908 m<sup>2</sup>.  
Superficie construida: 14,158 m<sup>2</sup>.

### **DESTILERIA:**

Fabrica completa de 60,000 lt. De alcohol de 96° G.L. en 24 hr. Construida en acero inoxidable con sistema de recuperación de levadura, con torre de agua de enfriamiento de los tanques de fermentación, sistemas automático de enfriamientos. Sistema automático de clarificación de miel final.

### **PLANTA PARA TRATAMIENTO EXTERNO DE AGUA PARA CALDERAS:**

4 Filtros de grava y arena en tanques de 170 cm, diámetro x 150 cm, altura con tapa y fondo toriesferico, válvula de 4" diámetro para 12-15 lt/seg. Cada filtro. 3 suavizadores en tanques de las mismas dimensiones, volumen de 48.5 ft<sup>3</sup>, de resina Amberlite, capacidad de 12-15 lt/seg. Cada suavizador. Manejo de agua: bomba F.M. Mod. 5532, tamaño 5, acoplada a motor Siemens de 50 hp.

### **SERVICIOS GENERALES:**

Torre de enfriamiento Bac-Pritchard para manejo de agua a condensadores de 35,000 g.p.m. , abatimiento de temperatura de 13 °C, 5 celdas, con ventilador para flujo cruzado accionado con motor y reductor de 125 hp y 1,740 r.p.m.

### **TANQUES PARA AGUA:**

3 Tanques para agua tratada y condensadas para las calderas. Capacidad: 300,000 lt. C/u. Tanque 5: 1, 000,000 lt. Tanque 6: 1, 500,000 lt. Tanque 4 de 300,000 lt. Para recibir agua de río. Tanque de 1, 250,000 para recibir el agua de condensados amoniacaes para servicio de fábrica.

## **SISTEMA DE CÓMPUTO:**

105 PC's. 32 Impresoras.

## **CONTROL AMBIENTAL:**

**Mesa Lavadora** caña en seco: separación de basura, hojarasca, tierra y piedras hasta de ½", totalmente en seco sin depender del suministro y recuperación de agua y manejo de lodo. Descarga con volteador de hilos de camiones a mesa alimentadora de caña. Manejo de caña entera y troceada en mesa con inclinación de 35°. Sistema separador de basura con 12 ejes giratorios con discos circulares a todo lo ancho de la mesa. Captación, manejo de basura y tierra por medio de 2 bandas, 1 tolva en el sistema separador de basura, 1 tolva de enlace entre las 2 bandas y 1 tolva final para cargar el camión de basura. La carga directa de la basura y tierra a camiones de volteo o de redilas.

**Agua de lavado de caña:** se utiliza para riego agrícola en predios aledaños a lo largo del canal principal. Canal y fosa de sedimentación de lodos, en la cual tiene lugar sedimentación natural por disminución de velocidad del efluente y los lodos son retirados cada 40 días y reincorporados a los campos cañeros.

**Manejo de Cachaza;** las tolvas de cachaza reciben y entregan la cachaza a la flotilla de camiones de volteo que les transportan a la planta compostadora de cachaza, en donde se prepara la composta que posteriormente es integrada como nutriente a los campos cañeros. En otras circunstancias, se entrega cachaza fresca a solicitud de productores determinados.

**Torre compactas de enfriamiento:** se cuenta con 3 torres de enfriamiento, dispuestas para recircular y bajar temperatura del agua de enfriamiento de los siguientes equipos:

- a) Turbinas de planta de fuerza
- b) Turbinas e intercambiadores de calor de Batey y Molinos
- c) Bombas de vacío de filtros de cachaza
- d) Bombas de vacío de evaporadores
- e) Bombas de vacío de cristalización.

Se cuenta con torre de enfriamiento de 5 módulos para equipos de condensadores barométricos de la fábrica de azúcar.

**Manejo de grasas y aceites:** trampas recolectoras de grasas y aceites procedentes de equipo de batey y molinos, que se envasan y se entregan a empresas autorizadas para su desalojo, transportación o confinamiento. La separación de efluentes permite descargar las aguas de servicios sanitarios a drenaje municipal. Aguas y condensados generados en el proceso de elaboración de azúcar: se utilizan para riego agrícola en predios aledaños a lo largo del canal principal. La utilización de lagunas de sedimentación permite dar pretratamiento a las aguas residuales del proceso de elaboración de alcohol antes de ser utilizadas en riego, de este modo se descargan vinazas directamente a campos cañeros.

**Muros de contención** en tanques de miel final, combustóleo y sosa, en caso de algún derrame, sirven para evitar contaminación.

**MISELANEOS:** Resultado de la Zafra 2010 y de las 5 zafras anteriores:

AÑO	Tons. De Caña Molida	Tons. De caña por Ha	Días Efect. De Mol.	%Rend. En Fabrica	Tons. De Azúcar Prod.
2005	1 ,435,563	94.5	211	11.86	170,189
2006	1 ,388,096	91.2	164	12.72	176,608
2007	1 ,402,603	93.3	184	12.27	175,457
2008	1 ,381,538	92.0	191	12.70	175,457
2009	1 ,386,297	89.1	176	12.67	175,568
2010	1 ,453,513	91.3	184	12.61	183,327

## RESUMEN DE INFORMES FINALES DE CORRIDA:

### ZAFRA 2010

Inicio:	26 Nov. 09
Termino:	28 May 10
Tiempo de caña molida por hora	364.441
Tiempo perdido % tiempo total	9.684
Kg. De miel final a 85° Bx. X Ton. De caña	33.383
Extracción molino: Jugo absoluto	84.487
Extracción Pol. % Pol. En caña	96.318



Imbibición % de caña	26.850
Tipo de azúcar producida y Pol. Estándar	99.62
Lt. de petróleo por tonelada de caña	0.0

#### **DATOS ANALITICOS:**

- CAÑA:
 

Fibra	11.78
Sacarosa	14.453
- JUGO DE LA DESMENUZADORA:
 

Brix	19.22
% Sacarosa	16.76
Pureza	87.24
- JUGO MEZCLADO:
 

Brix	16.36
% Sacarosa	13.90
Pureza	84.97
- BAGAZO:
 

% Fibra	44.11
% Humedad	53.18
% Sacarosa	1.99
- MIEL FINAL:
 

Brix	86.27
% Sacarosa	33.38
Pureza	38.69
- BALANCE DE SACAROSA:
 

Perdidas: Bagazo	0.532
Perdidas: Miel Final	1.098
Perdidas: Cachaza	0.076
Perdidas: Indeterminadas	0.183
Perdidas: Totales	1.889
Azúcar productivo (Sacarosa)	12.564

## **INFORMACION AGRICOLA:**

### **VARIEDAD DE CAÑA:**

CP 72-2086: 42.7%

Mex 69-290: 28.8%

Mex 57-473 10.7%.

El restante 17.8%

Variedades que se están desplazando como son:

Mex 68-P-23

SP 70-1284

RD 75-11

MY55-14

Mex 79-431.

Además se tienen 157 Variedades en observación y adaptación en el campo experimental.

### **RIEGO:**

El 100% se provee de agua del Distrito No. 059 "Rio Blanco", actualmente operado por usuarios productores constituidos en 3 módulos de riego:

Modulo 1: Schpoina.

Modulo 2: Socoltenango

Modulo 3: La Mesilla,

La CNA funge como organismo rector. Se proporcionan de 3 a 4 riegos en promedio en socas y resocas y para el caso de plantillas hasta 5 riegos.

### **FERTILIZACION:**

Socas y resocas: 500 kg. Triple 16 complejo y 200 kg. De urea 46% en 2 aplicaciones.

1ª: Triple 16, aplicada en los primeros 30 días después del corte de manera mecánica en 60% y 40% manual.

2ª: de los 100 a 120 días posteriores al corte y manualmente al 100% (urea).

Plantillas: misma dosis, solo que el triple 16 es al fondo del surco al sembrar.

## **PREPARACION DE LAS TIERRAS.**

Mecánica: 100% inicia con chapeo del terreno y 2 subsuelos con ganchos a 40 cm. De profundidad. Nivelación con niveladoras de tipo laser, 2 barbechos con arado de discos de 28" de diámetro, 2 pasos de rastra semipesado con discos de 24" de diámetro y le surco a 1.40 m de distancia. Labores de rayado de regaderas y construcción de drenes. La preparación comienza posterior al corte de la caña por reposición por bajos rendimientos, desalojo de variedades indeseables, afectaciones de plagas o por mejoras al terreno de cultivo (mal drenaje) y van enfocados a 2 periodos de siembras, de junio a agosto y de octubre a febrero.

## **CULTIVOS DE PLANTILLAS SOCAS Y RESOCAS:**

Plantillas: después de la siembra se realiza una aplicación de herbicida pre-emergente. A los 120 días posteriores a la siembra se da la aplicación de urea de manera manual y el control de melazas subsecuentes se realiza manualmente a machete, azadón o coa y químicamente con herbicidas post-emergente, dependiendo de las condiciones de humedad que prevalezcan. También se realiza 1 a 2 cultivos con ganchos. Socas y resocas: se da inicio a los cultivos con las labores de destroncone y requema de basura. Se impulso al productor a evitar la requema de basura logrando que esta se realizara en un 10% de la zona de abasto. Después se realiza el subsuelo central y la fertilización mecánica, aunque esta se da en un 60% de la superficie, debido a que en la zona alta, por la topografía del terreno y las escasa capa arable, no se pueden realizar estas labores, llevándose a cabo la fertilización manualmente: también se realizan los cultivos con ganchos en 50% de la superficie.

## **PLAGAS Y ENFERMEDADES:**

Plagas. Mosca pinta o salivazo *Aeneolamia postica*: afecta en una superficie aproximada de 1,000 ha.

Gusano barrenador *Diatrea saccharalis*: 2.7 % de infestación actual. Ambas se controlan biológicamente, la 1ª con *metarhizium anisopliae* y la 2ª con *trichogramma sp*, respectivamente. Se cuenta con un Laboratorio de Producción de *Trichogramma sp* para atender 15,982.18 ha en cultivo y se ha logrado reducir la infestación del gusano barrenador de un 7% a un 2.7%.

## **CLASES DE TIERRAS:**

Predomina la unidad vetisl pelico, rocas calizas formando suelos *in situ* y suelos aluviales, con los colores gris oscuro con espesor de suelo de 40 a 70 cm. El 70% de los suelos son de textura arcillosa con drenaje interno deficiente.

**CAPITULO II.**

**PROBLEMÁTICA DEL  
DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

## **2.1 Problemática.**

El problema con el que se encuentra el departamento de seguridad industrial es que cuando los equipos no están registrados y acreditados ante la secretaría del trabajo y previsión social, se está contraviniendo esta disposición y no cuenta con los elementos para justificar su proceder, por lo cual los trabajadores y las instalaciones se encuentran desprotegidos ante la ley en caso de sufrir accidentes y lesiones de algún personal la empresa no tiene manera de justificarse ante la autoridad, por lo que es necesario realizar a la mayor brevedad posible los trámites para estar dentro de la ley, durante el funcionamiento de los equipos.

## **2.2 Objetivos Generales.**

Aplicar la Norma Oficial Mexicana (NOM 020) para obtener la aprobación y acreditación del funcionamiento de los equipos sujetos a presión ante la secretaría del trabajo y previsión social (STPS).

## **2.3 Objetivos Específicos**

- Cumplir con los requerimientos de aprobación requerida.
- Disminuir riesgos de ocurrencia de daños a los trabajadores, a los equipos, a la maquinaria e instalaciones en general.
- Dar información detallada de planos y cálculos de los equipos instalados en la empresa ante la secretaría del trabajo y previsión social.

## **2.4 Justificación.**

La utilización de los equipos tales como los tachos, los evaporadores y los preevaporadores son parte esencial dentro de las industrias para llevar a cabo todo el proceso de elaboración del azúcar y por lo tanto resultan muy importantes sus alivios instantáneos ante la acumulación de una sobrepresión en dichos elementos.

## **2.5 Alcances.**

Aplicando la norma oficial mexicana ayudará a salvaguardar las instalaciones, así como la vida de los trabajadores, creando confianza, bienestar, armonía y seguridad en las labores que se realizan.

Así como:

- Aumentar la disponibilidad operativa de los equipos.
- Obtener una máxima eficiencia durante el funcionamiento de los equipos.
- Tener personal adiestrado para realizar eficazmente sus actividades específicas.

## **2.6 Limitaciones**

- El personal se resiste al cambio
- Mal manejo de los equipos por parte de los operadores.
- El mal mantenimiento de los equipos
- El inadecuado al montaje y desmontaje de los equipos
- Falta de inspección de los equipos por parte del personal autorizado.

## **CAPITULO III.**

### **MARCO TEORICO.**



## **3.1 LA CRISTALIZACIÓN EN TACHOS**

La función del tacho es la producción y desarrollo de cristales satisfactorios de azúcar a partir del jarabe del que se alimenta. Las cualidades deseables del azúcar crudo, están sujetas a la influencia de los tachos y de la forma en que se operan. La concentración inicial de los productos que se usan en tachos suele ser de 60 a 65 ° Brix, y puede llegar a 74 ° Brix en el trabajo de refinería. Las altas densidades disminuyen el consumo de vapor y la duración del ciclo, pero hacen que el control satisfactorio de las operaciones sea cuestión delicada que implica el peligro de la producción de conglomerados y falso grano.

### **3.1.2 Tipos de Tachos.**

En general, predominan dos tipos de tachos: los de serpentín, que trabajan satisfactoriamente con vapor directo; y los de calandria, que trabajan con vapor de escape a baja presión o con vapores extraídos del primer cuerpo de un múltiple efecto, o de un pre-evaporador. La desventaja del tacho de serpentín es que restringe la economía de vapor que se puede lograr, ya que tiene que trabajar con vapor directo.

Los tachos de calandria de diseño moderno son muchos más rápidos que los de serpentín, y trabajan mejor. En el Hemisferio Occidental, hace muchos años que no se fabrican Tachos de Serpentín para ingenios azucareros, y en la actualidad muchas personas los consideran anacrónicos.

#### **3.1.2.1 Tachos de serpentín.**

Los Tachos de serpentín son evaporadores verticales de simple efecto operados al vacío. Su superficie calórica se compone de 6 ó 7 serpentines de cobre a los cuales se admite vapor de 50 a 90 lbs.(3,5 - 3,6 kg/cm<sup>2</sup>) de presión. Estos serpentines son independientes, y se suelen construir de tubería de cobre de 4 pulgadas de diámetro, enrollada en forma de espiral cónico alto en la periferia exterior y bajo en el centro, con lo que se ajusta a la forma del fondo del tacho y permite un buen drenaje del vapor condensado. Los serpentines se apoyan y fijan sobre unos soportes, con piezas apropiadas en forma de silletas para que el cobre no sea dañado por la vibración, expansión y contracción.

### 3.1.2.2 Tachos de calandria.

Un tacho de calandria es un evaporador de simple efecto, de diseño especial, dotado de tubos cortos de gran diámetro y un tubo central grade, para facilitar la circulación de la masa cocida pesada y viscosa que se elabora en cochuras llamadas “templas”.

EL jarabe y las melazas, en ciertas proporciones, desarrollan cristales de azúcar. Se comienza por la cobertura de la superficie calórica a un nivel apenas suficiente para lograr que haya circulación, y se termina con la carga completa que constituye la templa, cuyo volumen es el triple del volumen con que se comienza.

a) Fondos: El fondo tiene forma cónica, con la válvula de descarga situada en el centro. El ángulo que forman los lados con la horizontal no debe ser menor de 20°. Entre el cono y la calandria, que está colocada inmediatamente arriba, debe haber una sección cilíndrica corta, de no menos de 8 pulgadas de altura, que permita espacio suficiente para hacer la fijación de los tubos mediante expansión de sus extremos.

b) Alimentación: Si el tacho está provisto de circulación mecánica, la alimentación tiene que llegar hasta la válvula de descarga o cerca de esta válvula, para que sea proyectada hacia el centro, debajo del impelente.

Si el tacho no tiene circulador, hay que poner cuidado especial en el logro de una distribución uniforme en el fondo, debajo de la calandria y lejos del tubo central. Un método satisfactorio de lograr esto es el que describimos a continuación.

La alimentación entra en el tacho por encima de la calandria, y la tubería de alimentación penetra en el tacho hasta el centro del tubo central, donde hay un codo y una tubería vertical que llevan la boca hasta más debajo de la placa inferior. La tubería termina en conexión con la salida lateral de una cruceta. Las cuatro ramas horizontales de la cruceta tienen la mitad del diámetro de la tubería de alimentación, y se apoyan en abrazaderas soldadas a la parte inferior del tubo central. Los brazos llegan casi al envolvente, y sus extremos se cierran. Cada brazo tiene cuatro huecos de diámetro igual a la mitad del diámetro del brazo, situados del mismo lado, y dispuestos en forma tal que impartirán una rotación en el mismo sentido que las manecillas del reloj a la cocida en el fondo del tacho. Se logra una mejora considerable si se inyecta vapor de escape a la tubería de alimentación, entre la válvula de control de alimentación y el tacho; esta

instalación constituye una adaptación de la asperjadota con la alimentación se deja siempre abierta, pero no tanto que interfiera con la alimentación del tacho.

Cuando se cierra la alimentación para hacer la concentración final de la templa, la válvula de vapor se deja abierta, y no se cierra más que cuando la templa está terminada. Cuando el tacho se vacía, la limpieza a vapor del fondo “escoba” puede ser auxiliada por esta conexión.

### **3.1.3 Accesorios para tachos, tanto de Calandria como de Serpentin.**

- Una gran válvula de descarga situada al fondo, con un diámetro de la octava a la sexta parte del diámetro del tacho.
- Un Separador en el extremo superior del tacho, situado en el domo o cúpula, o entre el domo y el condensador. Este separador frena la velocidad de los vapores, y disminuye el arrastre de gotas de jarabe.
- Un condensador de algunos de los diversos tipos apropiados, abastecidos de agua fría para condensar los vapores y mantener el vacío.
- Una bomba de vacío conectada al condensador por tubería de 6 a 8” de diámetro. Esta bomba crea vacío para comenzar la templa y elimina los gases inconfensables durante la cocción.
- Una válvula para sacar el vacío conectado al cuerpo del tacho por un tramo corto de tubería, o montada sobre el tacho mismo. El vacío se saca precisamente antes de descargar el tacho.
- Mirillas de observación, a través de las cuales se podrá observar el progreso de la templa; una sonda para tomar muestra de la masa cocida; un manómetro de vacío, un termómetro y un manómetro de presión de vapor. El operador del tacho puede variar la temperatura de la masa en ebullición mediante el aumento o disminución de la inyección de agua que la produce.

El uso de tubos de sección elíptica con eje largo en posición vertical, es una mejora de los tachos de serpentín que fue desarrollada en Australia.

### **3.1.4 Materiales de construcción de los tachos.**

El material común para la fabricación de cuerpos de tachos era el hierro fundido anteriormente, hoy en día se usa casi exclusivamente la lámina de hierro dulce. Los serpentines y tubos de cobre proporcionan la mejor superficie calórica, pero se siguen

usando mucho los tubos de hierro. Los tubos de hierro se oxidan por el lado expuesto al vapor, los que disminuye notablemente la transmisión de calor.

El procedimiento reciente en la construcción de tachos para azúcar refinado ha sido uso de materiales anticorrosivos, para evitar que dicho azúcar lleve manchas de óxido, especialmente después de las paradas. Patterson hizo un examen de los tachos de las refinerías norteamericanas, y encontró que aproximadamente la tercera parte de ellos estaban fabricados con láminas de hierro dulce y que de éstos, muchos llevaban tubos de acero. Si a esta cantidad se sumaban los cuerpos de hierro fundido existentes, el total ascendía a más de la mitad de todos los tachos examinados. Del azúcar blanco, eran de materiales anticorrosivos: lámina de hierro dulce con forro de acero inoxidable, la misma lámina con forro de níquel, lámina totalmente inoxidable, lámina de acero con alto contenido de cobre, u otros aceros especiales.

Para evitar la formación de óxido durante las paradas, es procedimiento bastante común en las refinerías el dejar las superficies calóricas con la capa de jarabe de azúcar que queda si no se aplica vapor de barrido después de la última templa. El barrido (que frecuentemente se sustituye por una ebullición con agua) se hace precisamente antes de recomenzar el trabajo.

### **3.1.5 Términos utilizados en el área de tachos.**

Jarabe: Es el jugo concentrado que sale de los evaporadores.

Masa Cocida: Se le llama a si a la mezcla de azúcar y licor madre que descarga el tacho.

Melaza: este no es más que el licor madre.

La Magma: consiste de azúcar de baja calidad mezclada con jarabe o melaza y depositada y depositada en cristalizadores, de los cuales se extrae hacia los tachos para comenzar con ella una templa de alta calidad (a menudo se le llama también Mingler)

Pie de Templa: La cantidad de magma que se utiliza para cada templa.

Templa: Esta es la cantidad de masa cocida que se descarga en un tacho.

Corte: Se le llama de ese modo a la transferencia de masa cocida de un tacho a otro.

### 3.1.6 Principio básicos del Tacho.

En la cocción de azúcar, están implicados los mismos principios y se encuentran los mismos problemas cuando los tachos se controlan a mano que cuando se controlan por medio de instrumentos, de modo que cuando se controlan por medio de instrumentos, de modo que comentaremos a la vez la operación por estos dos métodos, señalando los rasgos esenciales desde ambos puntos de vista. Ya que la mayor parte del trabajo se ejecuta con tachos de calandria en la actualidad, en ellos se basarán estos comentarios; las condiciones fundamentales son iguales a que las que existen con el uso de tachos de serpentín.

El primer paso es la fabricación del grano. En las refinerías de azúcar de caña y en las fábricas de azúcar de remolacha se fabrica grano para cada templa. Sin embargo, en la industria de azúcar crudo no se hace granos más que para las templeas de baja calidad, que se transfieren a un cristizador de depósito "semillero" situado en el piso de tachos o cerca de él, del cual se extraen pies para comenzar las templeas de baja calidad. El Volumen del pie no es más que la tercera parte de la templa terminada, y una templa de grano produce material suficiente para tres pies de templa de baja calidad. Si se poseen dos cristizadores de depósito en vez de uno, se podrá hacer esta operación en forma compuesta, lo que permitirá la fabricación de grano suficiente para nueve templeas. Este procedimiento ahorra mucho tiempo, al proporcionar triple cantidad de núcleos, cada uno de los cuales adsorbe a la misma velocidad, con lo que se aumenta el volumen a una a una rapidez de tres a nueve veces mayor.

En términos generales, es preferible que la fabricación de grano se haga a un vacío que no pase de 25" al nivel del mar. Lo que significa que las temperaturas de operación serán de 150° a 160 °F, según la pureza. A estas temperaturas la viscosidad será menor y la velocidad de desarrollo de los cristales, mayor.

El tacho se cierra, se hace vacío, y se aplica la cantidad plena de agua de inyección al condensador, para lograr la evaporación rápida del licor, jarabe o melaza antes del cebado. Se aplica vapor a la calandria después que ésta ha quedado cubierta de líquido. No se debe cargar demasiado el tacho, ya que esto frenará la velocidad de la operación, debido al efecto de la presión hidrostática. Después que comience la formación del grano. La alimentación se suspende antes del comienzo de la formación de núcleos.

### **3.1.7 Fabricación de granos por el método antiguo.**

Se comprueba el progreso de la concentración que se está logrando bajo las condiciones fijas que acabamos de mencionar, mediante la extracción de una muestra con la sonda, y la observación de su viscosidad o sensación al tacto. Ya que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura, se logra más exactitud en su determinación si se lleva a cabo este proceso al mismo vacío. La muestra se toma entre el índice y el pulgar, se separan estos dedos, y se observa el largo al que llega el cordón de jarabe antes de quebrarse. No comenzará a formarse grano con el método antiguo hasta que este cordón sea más largo que la separación que se puede lograr entre el índice y el pulgar de la mano. Con jarabe a 83 de pureza y control por instrumentos, el grano se formará a un a.p.e. de aproximadamente 27<sup>o</sup>, o una sobresaturación de 1,75 en la zona lábil, en la cual se forma cristales espontáneamente sin que haya otros presentes.

Llegado este punto, el grano comenzará a formarse rápidamente, y la cantidad deseada se determina de acuerdo con el criterio de un puntita o tachero muy experimentado, quien se basa en la observación de una muestra esparcida sobre un pedazo de vidrio y examinada con lupa o microscopio. Cuando se ha formado suficiente grano, se frena la formación, aplicando alimentación al tacho y disminuyendo el vacío 3 o 4". Con el control manual, el sentido del tacho y la apariencia que tiene la muestra tomada con la sonda determinan el progreso de la formación de grano. El objetivo es el regreso a la fase metaestable, en la cual se desarrollan los cristales existentes, pero no se forman cristales nuevos. Si existen instrumentos, se puede lograr precisión. El a.p.e. se baja a aproximadamente 19, lo que corresponde a una sobresaturación de 1,25.

### **3.1.8 El semillamiento (cebado) por choque.**

El semillamiento por choque fue introducido por Zitkowski en la industria remolachera, sustituyó rápidamente el método más antiguo que consistía en permitir que el grano se formara espontáneamente. El líquido se concentra hasta un punto superior al de saturación, después de lo cual se introduce al tacho una cantidad pequeña (aproximadamente 1/2kg) de polvo de azúcar. Este polvo no sirve de núcleo al grano, sino constituye un choque a la solución sobresaturada, mediante el cual se induce la formación de grano nuevo más pronto que con el procedimiento antiguo. El choque se debe aplicar tan pronto como se haya pasado el punto de saturación, lo que significa que se debe hacer cuando la solución esté en la zona metaestable.

Con el control manual, el momento de aplicar el choque se determina por el largo del cordón de una muestra que se toma entre índice y pulgar: cuando dicha muestra tenga cordón de 1" de largo aproximadamente, el momento de hacer el choque ha llegado. Con control por instrumentos, el polvo se debe inyectar cuando apenas se haya pasado el punto de saturación; esto corresponde a un a.p.e. de 16, o sobresaturación de 1,10, con 83 de pureza.

Si se practica el choque demasiado tarde, hay peligro de formación de conglomerados debido a la concentración excesiva. La velocidad de adsorción de azúcar de cualquier cristal es proporcional a su superficie, que varía según el cubo de esta dimensión. Por lo tanto, la superficie de un cristal a su tamaño; esto quiere decir que, con determinado peso de azúcar, mientras menores sean los cristales, mayor será la superficie de crecimiento, por lo que también será mayor el crecimiento. Esto corrige las irregularidades iniciales de los cristales, ya que los pequeños crecen más rápidamente que los grandes.

La irregularidad del grano de la templa final se puede deber a:

- 1) un aumento repentino del vacío
- 2) que se haya permitido una evaporación demasiado rápida
- 3) que haya habido filtración de aire por la válvula de descarga, y
- 4) la admisión de alimentación fría a un tacho caliente mientras la templa estaba subiendo.

No aparecerá grano tan pronto como se introduzca el azúcar pulverizado.

Junto con el choque se admite una cantidad mínima de aire, para evitar alteraciones del equilibrio de temperatura. Cuando, después de algunos minutos, comience a formarse el grano, habrá que decidir cuando detener dicha formación, lo que se hará por examen de la muestra tomada por sonda, como en el procedimiento antiguo.

El grano se debe haber terminado de formar estando el e.p.e. a un nivel de aproximadamente 19 (sobresaturación de aproximadamente 1,40), de modo que no será grande el cambio producido al volver a la zona metaestable. Parece que es mejor efectuar este cambio mediante alimentación de jarabe, y dejar que el vacío permanezca

inalterado. En Hawai se han obtenido excelentes resultados con el mantenimiento de un vacío constante toda la operación de cocción.

Hasta que el grano haya quedado completamente desarrollado, la sobresaturación no debe ser muy alta. De otra forma, se producirá conglomeración, aun antes de que ocurra la formación de falso grano, y si esto pasa no se podrá hacer nada más que volver a fundir el azúcar.

### **3.1.9 El semillamiento de tachos.**

El sistema mejor para lograr una buena formación de grano es el de “semillamiento total” del tacho, que significa la inyección. En el momento debido, de la cantidad plena de grano de tamaño predeterminado, en cantidad equivalente al número total de cristales que se desea que contenga la templa terminada. No se forma en el tacho en ningún momento, y hay que mantener la concentración en la zona metaestable o de crecimiento de cristales. La semilla se introduce tan pronto como los instrumentos indican que se ha llegado al punto de saturación. Para determinado tamaño que hay que introducir al tacho para formar una templa de cristales de azúcar de cierto tamaño, se procede como sigue:

- Determínese el peso del azúcar que se espera obtener de la templa.
- Cuéntese unos 500 cristales de cristales de azúcar de este tipo, y determínese su peso.
- Cuéntese el mismo número de cristales del polvo de semilla que se va a actualizar.
- La división de c) por b), y multiplicación del cociente por a) indica el peso de semilla que hay que utilizar.

Después que esto ha quedado determinado y probado, se pueden efectuar correcciones menores para compensar las variaciones que puedan existir. Una vez que se haya establecido el procedimiento, la fijación de normas eliminará el factor personal, y la operación podrá ser duplicada por cualquiera.

### **3.1.10 El falso grano y los conglomerados.**

Si no se practica el semillamiento de tachos, es fácil pasarse de medida cuando se frena la formación de grano mediante el aumento de la temperatura del tacho, o por dilución, o por ambos métodos ; la masa cocida cae a punto inferior al de saturación y todo el grano queda disuelto, por lo que hay que comenzar de nuevo. Aunque no quede



destruido todo el grano, puede quedar destruido parte de él, por lo que quedará una cantidad insuficiente y se necesitarán que llevar la concentración a la fase metaestable después que se ha logrado formar grano, y en esta fase debe mantenerse durante el resto de la templa.

Si la concentración se lleva a un punto demasiado alto, se formará falso grano habrá que disolverlo por dilución, preferiblemente con agua. Aun antes que aparezca el falso grano, puede ocurrir la formación de conglomerados.

La conglomeración significa la agrupación de cierto número de cristales, que siguen creciendo juntos,. Una vez formados, los conglomerados seguirán así hasta el final de la templa. Estas agrupaciones de cristales son inconvenientes, porque se alojan impurezas en las rendijas, que evitan el lavado debido y rinden un producto malo, de elevada coloración y baja filtrabilidad. Los conglomerados bajan la calidad d el azúcar refinado y del de consumo directo, hacen que sea más difícil secar estos azúcares en los granuladotes.

### **3.1.11 Hacer que se junte la masa.**

Después que se haya obtenido gano por cualquier método, o después de que se haya introducido un pie de templa nuevo, el paso más importante y difícil es el de lograr que esta masa se junte. No existen suficientes superficies de cristal para adsorber la sacarosa tan pronto como la evaporación la hace disponible, porque los granos pequeños están muy separados: existe una situación crítica. El vacío se tiene que mantener sumamente uniforme, y hay que restringir la evaporación de acuerdo con la capacidad d e crecimiento de los cristales. Es en este punto cuando el auxilio de los instrumentos resulta más eficaz, ya que indican la sobresaturación o el a.p.e. se no dispone de instrumentos, el operados tendrás que depender del sentido del tacto ejercido en las muestras de la sonda. Si la velocidad de evaporación es demasiado rápida, y la sobresaturación o el a.p.e. se aproximen al punto de peligro.

### **3.1.12 La concentración final.**

Cuando el volumen de la templa ha llegado a ocupar la capacidad plena del tacho, se efectúa la concentración final, cerrando la alimentación, y dejando que progrese la evaporación hasta que se logre el Brix necesario. Esta se determina tomando una muestra de la sonda y formando un cono o una bola de masa cocida en la palma o pulgar

de la mano, y observando la rapidez con la cual la muestra de la sonda y formando un cono o una bola de masa cocida en la muestra se achata. Un puntista u operador de tachos experimentado puede determinar la concentración existente con una exactitud de 0,5° Brix.

Esta determinación se puede efectuar por instrumentos de control, cuando indica cierto a.p.e. o cierta sobresaturación, que se determina de acuerdo con la experiencia. Con circulación mecánico, la lectura de la carga del motor producirá resultados exactos después que se haya hecho la calibración de su instrumento.

### **3.1.13 Limpieza del tacho con vapor y con agua “barridos” y “enjuagues”.**

La masa cosida que queda adherida en el interior del tacho después de la descarga tiene que ser eliminada completamente antes del comienzo de la siguiente templa; si no los cristales adheridos pueden alterar las operaciones de formación de grano que hemos descrito.

Antiguamente, se admitía vapor al tacho, para calentar y disolver este grano, pero se ha encontrado que las duchas de agua son más deseables, ya que mantienen más limpias las superficies calóricas y logran que haya menos coloración. Las duchas deben alcanzar todas las partes de la superficie calórica y el envolvente, y el agua debe estar caliente y ser aplicada con bastante fuerza.

### **3.1.14 La temperatura durante la cocción.**

La tendencia actual es hacia tachos que trabajen a menos temperatura, debido a que así se produce menos inversión y coloración. El procedimiento antiguo era la cocción del azúcar refino a unos 180 °F (82 °C), y el de sulfatación era a temperatura algo inferior. Hoy en día, casi todas las refinerías hacen sus templeas a temperaturas de 150 °F (61 °C) o inferiores, para evitar incremento de la coloración. Los rudos también se cuecen a temperaturas inferiores a las épocas anteriores. A altas temperaturas, la viscosidad es menor y la cristalización es relativamente más sencilla, pero con el semillamiento total para el establecimiento del grano estas ventajas desaparecen. Las templeas de baja calidad siempre se cuecen a vacíos altos, que significan temperaturas bajas para evitar el peligro de la fermentación de espumas y facilitar el trabajo subsiguiente de los cristalizadores, cuya capacidad de enfriamiento suele ser limitada.

### **3.1.14.1 Brix:**

En el pasado, se seguían ellos consejos de los puntistas sobre la concentración del jarabe o las melazas con que se alimentaban los tachos. En épocas recientes, predominan densidades de aproximadamente 70° Brix o más. El Brix aparentemente de las plantas de un ingenio de crudos es, aproximadamente, el siguiente:

Plantas de grano 90, 0

Plantas A 93,0

Plantas B 94,0

Plantas C 96,0 hasta 100

## **3.2 EVAPORACION Y EVAPORADORES DE MULTIPLE EFECTO**

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. Generalmente el vapor es de baja presión, inferior a 3 atm absoluto, y con frecuencia el líquido que hierve se encuentra a un vacío moderado, de hasta 0,05 atm absolutas. Al reducir la temperatura de ebullición del líquido aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor condensante y el líquido de ebullición y, por tanto, aumenta la velocidad de transmisión de calor en el evaporador.

El método general para aumentar la evaporación por kilogramo de vapor de agua utilizando una serie de evaporadores entre el suministro de vapor vivo y el condensador recibe el nombre de evaporación en múltiple efecto. En el cual el vapor procedente de uno de los evaporadores se introduce como alimentación en el elemento calefactor de un segundo evaporador, y el vapor procedente de éste se envía al condensador, la operación recibe el nombre de doble efecto. El calor del vapor de agua original es reutilizado en el segundo efecto, y la evaporación obtenida por unidad de masa del vapor de agua de alimentación al primer efecto es aproximadamente el doble.

El primer efecto de un evaporador de flujo múltiple es aquél en el que se introduce el vapor vivo y en el que la presión en el espacio de vapor es la más elevada. El último efecto es el que tiene la presión mínima en el espacio de vapor.

La presión en cada efecto es menor que la del efecto del cual recibe el vapor de agua y superior a la del efecto al cual suministra vapor. Cada efecto, por sí solo, actúa como un evaporador de un solo efecto, y cada uno de ellos tiene una caída de temperatura a través de su superficie de calefacción correspondiente a la caída de presión en dicho efecto. El acoplamiento de una serie de cuerpos del evaporador en un sistema de múltiple efecto es una cuestión de tuberías de interconexión y no de la estructura de las unidades individuales. La numeración de los efectos es independiente del orden en el que las disoluciones entren como alimentación de los mismos. En figura la alimentación diluida entra en el primer efecto, donde se concentra parcialmente, pasa al segundo efecto para una concentración adicional y, por último, en el tercer efecto alcanza la concentración final. La disolución concentrada se extrae del tercer efecto mediante una bomba. En la operación en estado estacionario las velocidades de flujo y las velocidades de evaporación son tales que tanto el disolvente como el soluto no se acumulan ni disminuyen en cada efecto. La concentración, temperatura y velocidad de flujo de la alimentación están ligadas, las presiones en la entrada del vapor vivo y el condensador están establecidas, y todos los niveles de las disoluciones se mantienen en cada efecto. Por tanto, todas las concentraciones internas, velocidades de flujo, presiones y temperaturas se mantienen automáticamente constantes por sí mismas durante la operación del proceso. La concentración de la disolución concentrada solamente se puede modificar cambiando la velocidad de flujo de la alimentación. Si la disolución concentrada es demasiado diluida, se reduce la velocidad de alimentación al primer efecto y, contrariamente, se aumenta si es demasiado concentrada. La concentración en el último efecto y de la disolución concentrada que descarga del mismo alcanzará eventualmente un nuevo estado estacionario para el nivel deseado.

La superficie de calefacción del primer efecto transmitirá por hora una cantidad de calor dado por la ecuación.

$$q_1 = A_1 U_1 \Delta T_1$$

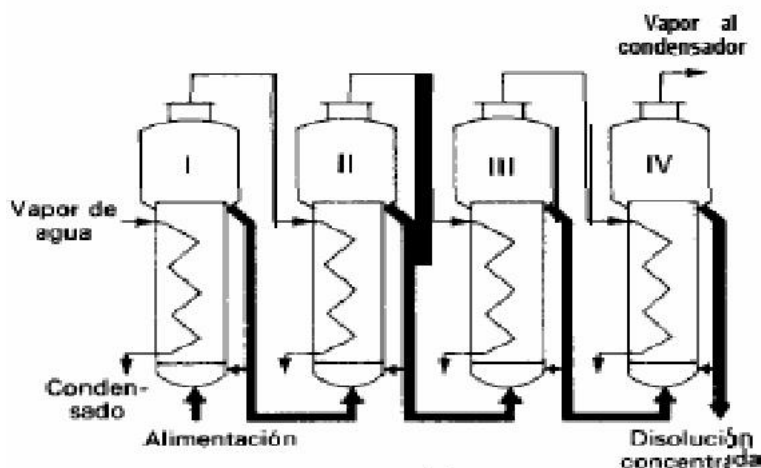


Fig. 3.2-1 Esquema de los Evaporadores de Múltiples Etapas

Si la parte de este calor que va a calentar la alimentación hasta el punto de ebullición se desprecia por el momento, resulta que todo este calor ha de aparecer como calor latente en el vapor que sale del primer efecto. La temperatura del condensado que sale del segundo efecto es muy próxima a la temperatura  $T$ , de los valores procedentes del líquido que hierve en este efecto. Por tanto, en la operación en estado estacionario prácticamente todo el calor consumido en crear vapor en el primer efecto será cedido cuando este mismo vapor condense en el segundo efecto. Sin embargo, el calor transmitido en el segundo efecto viene dado por la ecuación.

$$q_2 = A_2 U_2 \Delta T_2$$

Tal como se ha indicado,  $q_1$  y  $q_2$  son prácticamente iguales, de forma que.

$$A_1 U_1 \Delta T_1 = A_2 U_2 \Delta T_2$$

Este mismo razonamiento puede ampliarse, de forma que, aproximadamente.

$$A_1 U_1 \Delta T_1 = A_2 U_2 \Delta T_2 = A_3 U_3 \Delta T_3$$

En la práctica ordinaria las áreas de calefacción de todos los efectos de un evaporador de múltiple efecto son iguales, lo cual conduce a una economía constructiva. Por tanto  $q_1 = q_2 = q_3$  la ecuación queda de esta manera.

$$U_1 \Delta T_1 = U_2 \Delta T_2 = U_3 \Delta T_3 = \frac{q}{A}$$

A partir de aquí se deduce que las caídas de temperatura en un evaporador de múltiple efecto son, de forma aproximada, inversamente proporcionales a los coeficientes de transmisión de calor.

### 3.2.1 Métodos de alimentación para un evaporador de múltiple efecto.

Para alimentar un evaporador de múltiple efecto existen varias maneras o formas de realizarlo entre ellas encontramos las siguientes.

- ◆ Alimentación directa

- ◆ Alimentación inversa
- ◆ alimentación mixta
- ◆ alimentación paralela.
  - Corrientes de disolución;
  - Corrientes de vapor de agua y
  - Vapor condensado.
- ◆ Alimentación en contracorriente

### 3.2.1.1 Alimentación directa.

Consiste en introducir mediante una bomba la disolución diluida en el primer efecto y hacerla circular después a través de los demás efectos. La concentración de la disolución aumenta desde el primer efecto hasta el último. Este modelo de flujo del líquido es el más sencillo. Requiere una bomba para introducir la alimentación en el primer efecto, ya que con frecuencia este efecto está a una presión superior a la atmosférica, y una bomba para extraer la disolución concentrada del último efecto. Sin embargo, el paso de un efecto a otro se realiza sin bombas puesto que el flujo es en el sentido de presiones decrecientes, y todo lo que se requiere son válvulas de control en las líneas de Unión.

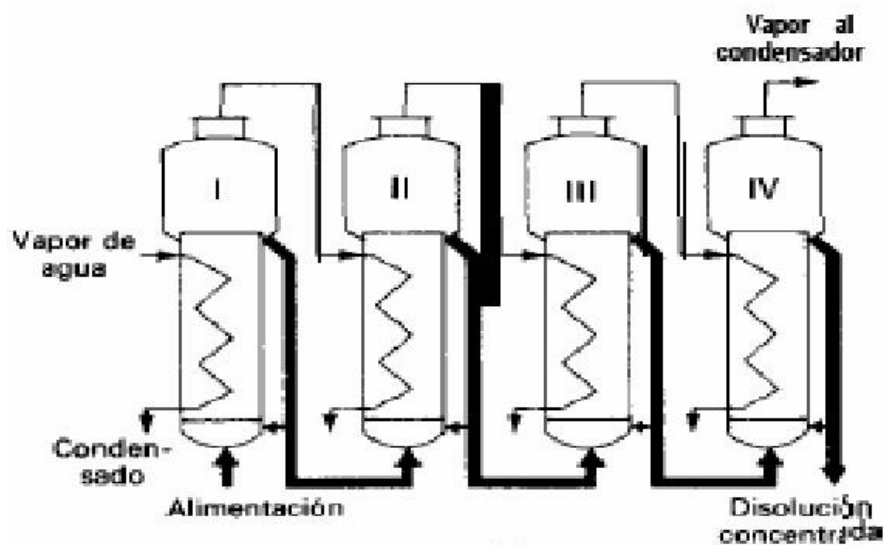


Fig. 3.2.1.1-1 Esquema de Alimentación directa.

### 3.2.1.2 Alimentación inversa.

Método común en el que la alimentación diluida se introduce en el último efecto y se bombea después a través de los sucesivos efectos hasta el primero. Este método requiere una bomba entre cada pareja de efectos, además de la bomba de disolución concentrada, ya que el flujo tiene lugar en el sentido de presiones crecientes. La alimentación inversa conduce con frecuencia a una mayor capacidad que la alimentación directa cuando la disolución es viscosa, pero puede producir una menor economía que la alimentación directa cuando la alimentación está fría.

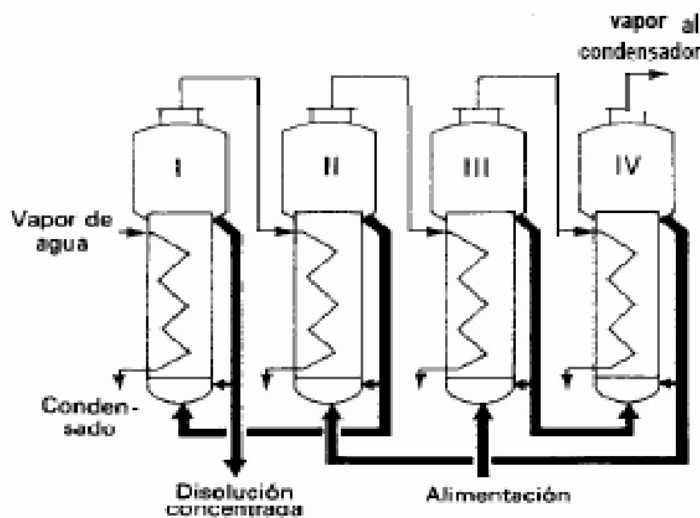


Fig. 3.2.1.2-1 Esquema de Alimentación inversa.

### 3.2.1.2 Alimentación mixta.

La disolución diluida entra en un efecto intermedio, circula con alimentación directa hasta el extremo de la serie, y después se bombea hacia atrás a los primeros efectos para conseguir la concentración final. Esta forma de operar elimina algunas de las bombas que se requieren en la alimentación inversa y permite realizar la evaporación final a temperatura más elevada.

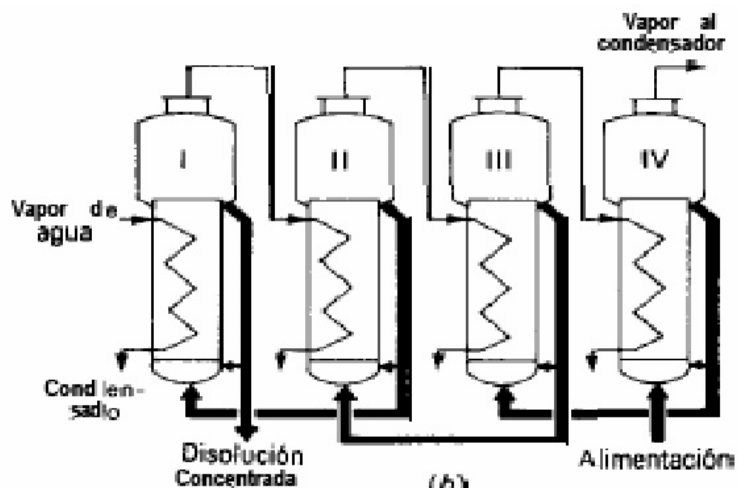


Fig. 3.2.1.2-1 Esquema de Alimentación mixta.

### 3.2.1.4 Alimentación paralela.

En los evaporadores con cristalización, donde se retira una suspensión de cristales y aguas madres, la alimentación se introduce directamente en cada efecto en la alimentación paralela no hay transporte de líquido entre los efectos.

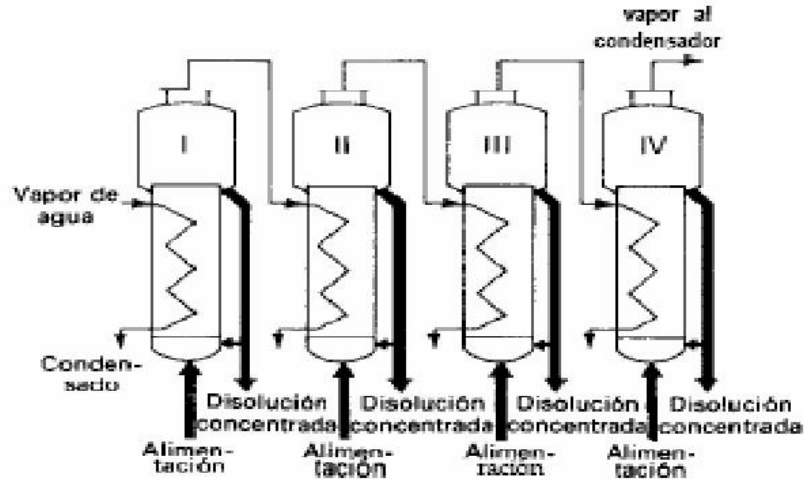


Fig. 3.2.1.4-1 Esquema de Alimentación paralela.

#### Ventajas

Gran utilización del vapor la presión se distribuye el mismo vacío hace que fluyan los concentrados.

#### Inconvenientes

La transmisión de calor está dificultada por:  $U$  grande,  $T_s - T_1$  grande, la  $u$  va aumentando y  $U$  va disminuyendo.

### 3.2.1.5 Alimentación en contracorriente.

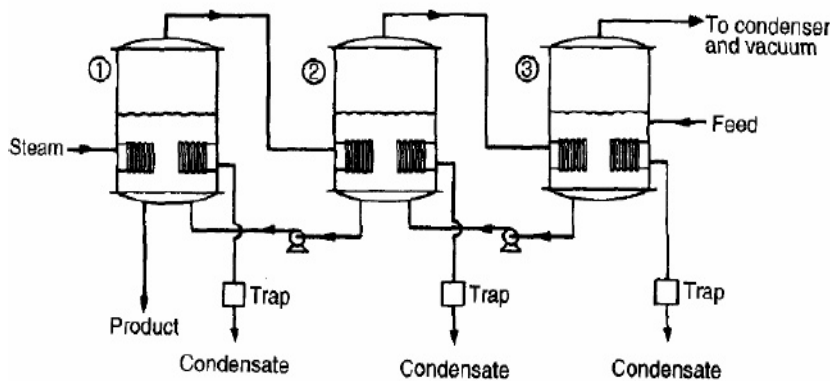


Fig. 3.2.1.5-1 Diagrama de Alimentación en contracorriente.



## Ventajas

Mejora la transmisión de calor, se compensa el gradiente.

## Inconvenientes

Hay que colocar bombas para que fluya el concentrado.

### 3.2.2 Evaporación química

El principal propósito de realizar evaporación química en comparación con otro tipo de industriales como son las de planta de fuerzas, cuales separan el agua pura a partir de agua cruda o tratada, es que la porción no evaporada del alimento es considerada el producto de dicha operación. Mediante la aplicación de estas dos operaciones las impurezas se retiran continuamente del sistema mediante la purga, además son muy empleadas en la industria química en la producción de compuestos puros como sosa cáustica (Hidróxido de sodio), sal de mesa (cloruro de sodio) y azúcar. En la primera fase del proceso estas sustancias se encuentran en soluciones acuosas diluidas de las que continuamente debe ser eliminando grandes cantidades de agua antes de llegar a ser cristalizadas en equipos para dicho proceso.

### 3.2.3 Diferencias entre evaporación química y evaporación de planta de fuerza

#### 1. Ausencia de purga.

Generalmente los evaporadores químicos no operan con sistemas de purgas, y en lugar de ello el líquido tiende a ser alimentado en paralelo a cada evaporador que comúnmente se es alimento utilizando sistemas de múltiple efecto en serie.

#### 3.2.3.1 Alimentación en paralelo

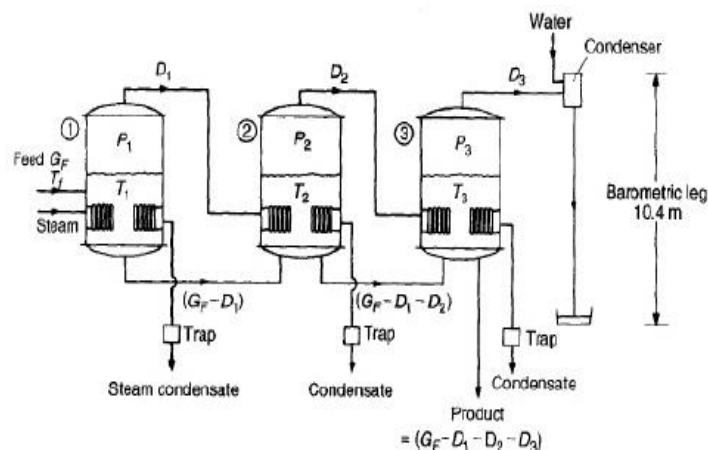


Fig. 3.2.3.1-1 Diagrama de Alimentación en paralelo

### 3.2.3.2 Alimentación en contracorriente

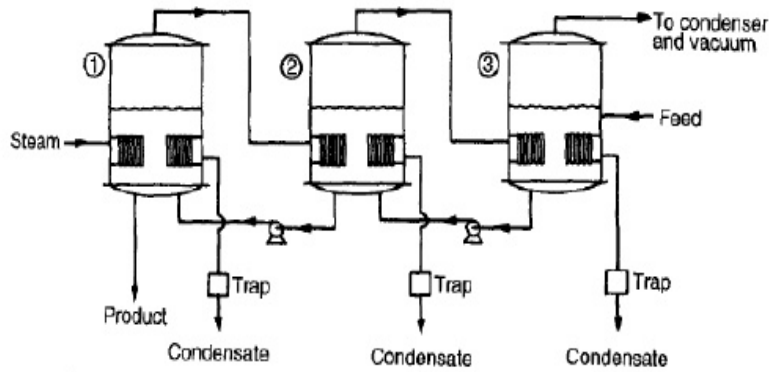


Fig. 3.2.3.2-1 Diagrama de Alimentación en contracorriente

### 3.2.3.3 Alimentación en paralelo (balance de materiales)

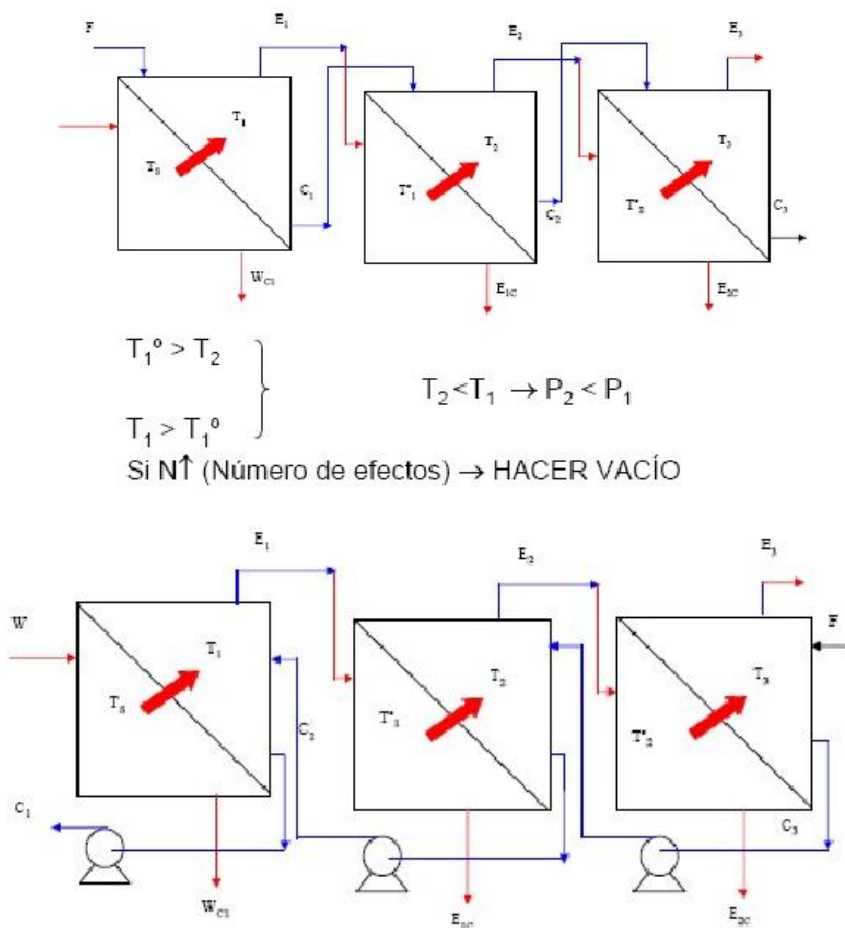


Fig. 3.2.3.3-1 Diagramas de Flujo de Alimentación en paralelo (balance de materiales)

Los sistemas que se emplean para alimentar se muestra en las figuras anteriores, en donde el alimento después del primer efecto es parcialmente evaporadora dentro del procesos, sin embargo será evaporadores continuamente en los siguientes efectos.

En los sistemas de evaporación donde el líquido posee una dirección de flujo igual a la del vapor se le denomina alimentación en paralelo.

Por el contrario cuando el alimento se hace en dirección opuesta a la del vapor se le denomina alimentación en contracorriente.

**Ventajas alimentación en paralelo:** Si se quiere hacer uso del de los potenciales de temperatura, la alimentación en paralelo es más eficiente y segura en ello.

**Desventajas alimentación en paralelo:** La transmisión de calor está dificultada por  $U$  grande,  $T_s - T_1$  grande, la  $u$  va aumentando y  $U$  va disminuyendo.

**Ventajas alimentación en contracorriente:** Si dentro de la evaporación se utilizan líquidos muy viscosos, es más recomendada la alimentación en contracorriente, puesto que la temperatura del primer efecto será mayor mientras en virtud a ello la viscosidad disminuirá.

**Desventajas alimentación en contracorriente:** Hay que colocar bombas para que fluya el concentrado.

La importancia que tiene la ausencia de purga en la evaporación química es la de permitir un mayor recuperación del calor en el evaporador.

## **2. Elevación del punto de ebullición.**

La importancia de utilizar evaporadores químicos en los procesos de evaporación es que permiten altas eficiencias térmicas, sin embargo no utilizan todo el potencial y en base a esto requieren grandes superficies.

Este hecho por lo general se debe a que las soluciones acuosas concentradas experimentan un aumento significativo en el punto de ebullición sobre la temperatura de saturación correspondiente al agua pura a la misma presión.

Un aspecto importante en este punto es que la diferencia entre la temperatura del vapor de calentamiento y la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor que se evapora es la caída de temperatura aparente, expresada como  $t\Delta$ .

Por lo que los coeficientes de transferencia de calor que se reportan en la base D son coeficientes totales aparentes.

$$U_D = \frac{Q}{A(\Delta t)_a}$$

El calor latente de vaporización para el vapor de una solución puede ser calculado utilizando la correlación de Duhring o por la ecuación de Othmer.

$$a) \frac{\lambda_w}{\lambda_s} = \frac{\Delta t'_w}{\Delta t'_s} \left( \frac{t'_w}{t'_s} \right)_{\text{abs.}}^2$$

$$b) \frac{\lambda_s}{\lambda_w} = \frac{d \log p_s}{d \log p_w}$$

La elevación del punto de ebullición puede ser calculada únicamente para soluciones diluidas, las que se consideran relativamente ideales. 3. Propiedades del fluido.

En el evaporador de planta de fuerza el proceso de ablandamiento de agua es modificado en diferentes direcciones, por lo que la composición del alimento del evaporador cause un mínimo de espuma y otras dificultades de operación. El evaporador químico, el residuo que por lo general será una solución concentrada es el producto deseado y en base a ello no se pueden hacer ajuste para prevenir la espuma o eliminar depósito incrustante.

### 3.2.4 Evaporadores químicos

Los evaporadores químicos se clasifican en dos grupos:

- De circulación natural.
- De circulación forzada.

Los evaporadores de circulación natural se emplean de manera independiente o en múltiple efecto siempre que los requerimientos de evaporación sean simples. Por otra parte los evaporadores de circulación forzada se utilizan para líquidos viscosos, aquellos que forman sales y las soluciones que tienden a incrustarse.

### 3.2.4.1 Evaporadores de circulación natural

Los evaporadores de circulación natural se clasifican en cuatro clases:

- Tubos horizontales.
- Calandria con tubos verticales.
- Tubos verticales con canasta.
- Tubos verticales largos.

#### 3.2.4.1.1 Evaporadores de tubos horizontales.

- Son los tipos más antiguos de evaporadores que se utilizan en la industria química.
- Estos evaporadores están constituidos por un cuerpo cilíndrico o rectangular y de un haz de tubos que usualmente es de sección cuadrada.

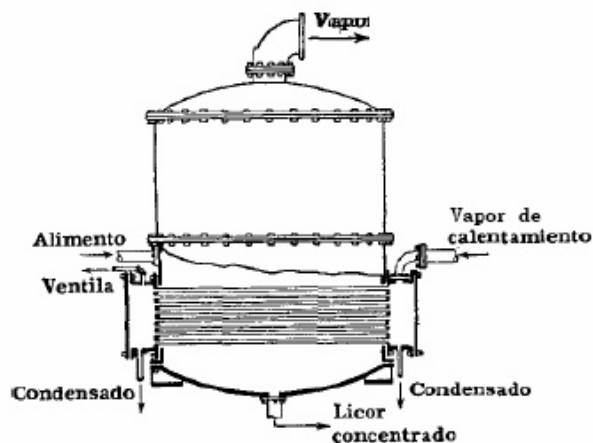
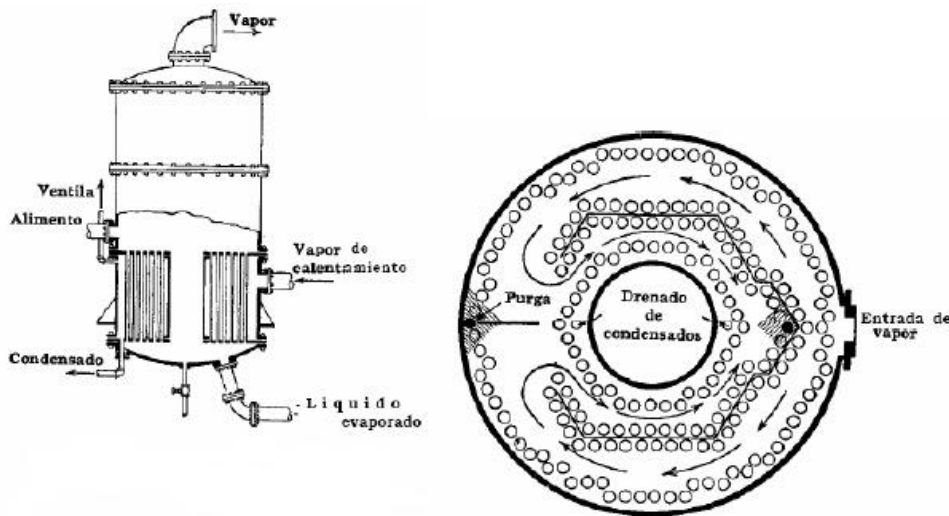


Fig.3.2.4.1.1-1 Esquema de Evaporadores de tubos horizontales.

- Estos evaporadores no tienen un aprovechamiento efectivo de las corrientes térmicas inducidas al calentamiento, por lo tanto no son tan utilizados específicamente.
- Una característica principal de este tipo de evaporadores es que utiliza vapor el cual fluye por dentro de los tubos. Su principal ventaja radica en el espacio ocupado para su instalación en la dimensión vertical y el arreglo del haz de tubos de manera que el aire pueda purgarse con el vapor no permitiendo que bloquee superficie de calentamiento.

- Su uso industrial está determinado en procesos en los el producto final es un liquido en lugar de un sólido, donde el gran volumen de líquido almacenado en el evaporador puede permitir un ajuste preciso de la densidad final cambiando la cantidad retenida en evaporador.
- La longitud de los tubos está determinado por el tamaño de los evaporadores. El evaporador de tubo horizontal usa diámetros de tubos menores que cualquier otro, de  $\frac{3}{4}$  a 1  $\frac{1}{4}$  de pulg. de diámetro exterior.

### 3.2.4.1.2 Evaporadores de calandria.



**Fig. 3.2.4.1.2-1 Evaporador tipo Calandria**

- Este tipo de evaporadores consisten en un haz de tubos vertical, corto, usualmente de no más de 6'0" de altura, colocado entre dos espejos que se replican en las bridas del cuerpo del evaporador.
- A diferencia de los anteriores el vapor fluye por fuera de los tubos en la calandria, habiendo un gran paso circular de derrame en el centro del haz de tubos donde el líquido más frío recircular hacia la parte inferior de los tubos.
- Los tubos son grandes con mediciones de 3 pulg. de DE con el fin de reducir la caída de presión y permitir un rápida recirculación, y una instalación de espejos encasquillados.
- Un de las desventajas de los evaporadores de calandria es la de colocar deflectores en el espacio vapor, de manera que haya una distribución relativamente completa del vapor en los tubos.

- Su principal uso industrial es la eliminación centrifuga de las “gotitas de líquido”.
- Son denominados también evaporadores estándar debido a su uso muy a menudo. Además la mayoría de las incrustaciones ocurren dentro de los tubos, lo que hace posible utilizar dicho evaporador para operaciones más rigurosas que los evaporadores de tubos horizontales.

### 3.2.4.1.3 Evaporadores de canasta.

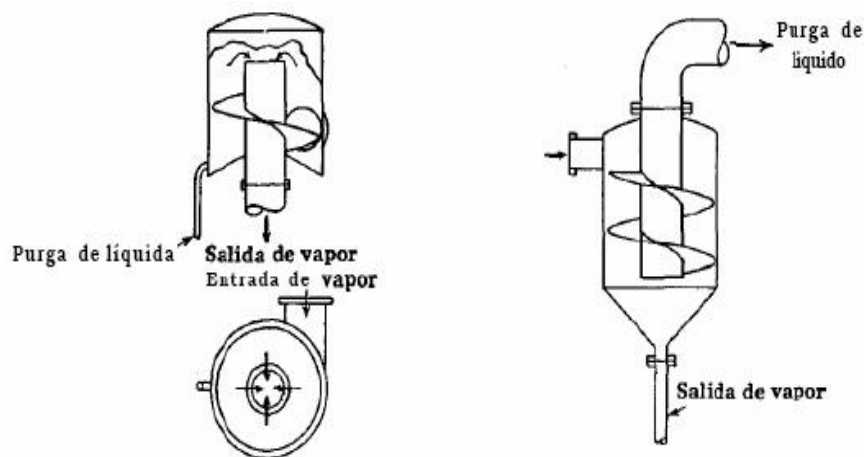


Fig.3.2.4.1.3-1 Esquema de Evaporadores de canasta

- Tienen una similitud con los evaporadores de calandria, sin embargo tiene el haz de tubos desmontables, lo que le permiten una limpieza instantánea.
- El su interior el haz de tubos se soporta sobre ménsulas interiores, y el derrame está situado entre el haz de tubos y el cuerpo del evaporador, está ubicado en la parte central.
- Los espejos en este tipo de evaporadores están soportados libremente, además frecuentemente se diseñan con fondo cónico y se le pueden instalar un agitador para aumentar la circulación.
- La ventaja que poseen les permite ser empleados para la fabricación de licores con tendencia a incrustar, aun cuando se recomienda para líquidos con altas viscosidades o muy incrustantes.

#### 3.2.4.1.4 Evaporadores de tubos verticales largos.

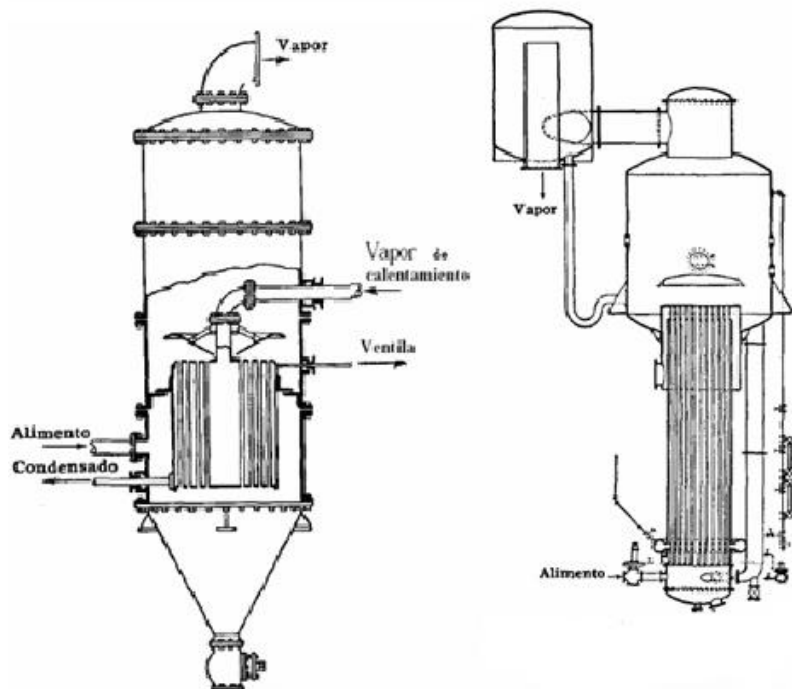


Fig. 3.2.4.1.4-1 Evaporador de tubos verticales largos

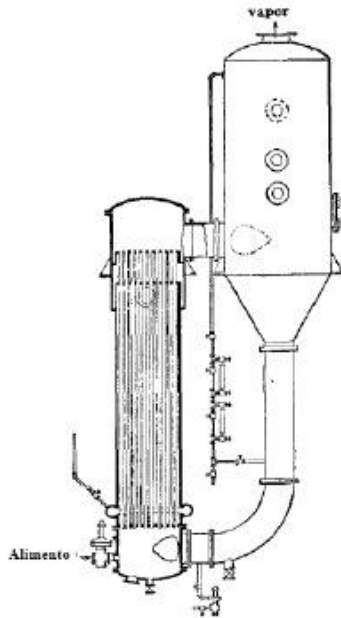
- Estos evaporadores están formados por un elemento calefactor tubular diseñado para el paso de los licores a través de los tubos solo una vez, movidos por circulación natural.
- El espejo superior de los tubos está libre, y sobre este hay un deflector de vapor con el fin de reducir el arrastre.
- Estos evaporadores no son especialmente utilizados para los licores incrustantes o que depositan sales, pero son muy empleados para el manejo de líquidos espumosos o que forman natas.
- Una característica muy fundamental es que el vapor que sale de los tubos es mayor que en los tipos de tubos verticales cortos.
- Los tubos para estos evaporadores son usualmente de 1 ¼ pulg. a 2 pulg. DE, y de 12 a 14 pies de longitud. Además la liberación del vapor ocurre fuera del cuerpo del evaporador.

#### 3.2.4.2 Evaporadores de circulación forzada.

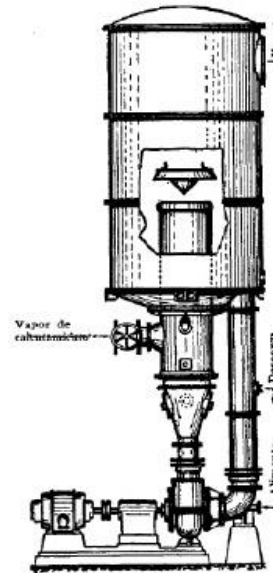
Los evaporadores de circulación forzada se fabrican en una gran variedad de arreglos, haciéndolos no tan económicos en operación como sí lo son los evaporadores



de circulación natural, sin embargo son necesarios cuando los problemas de concentración involucran soluciones de flujo pobre, incrustaciones, y ciertas características térmicas.



**Fig. 3.2.4.2-1 Evaporador de tubos largos con recirculación**



**Fig. 3.2.4.2-2 Evaporador de circulación forzada con elemento calefactor vertical**

Este tipo de evaporadores se adaptan muy bien para un control preciso del flujo, particularmente cuando un tiempo de contacto excesivo puede ser perjudicial a la solución química.

Los tubos en los evaporadores de circulación forzada son más pequeños que en los tipos de circulación natural, y por lo general no exceden alas 2 pulg. DE.

El vapor de calentamiento para estos evaporadores entra al haz de tubos por la parte exterior del cuerpo del evaporar, teniendo este un contacto con los tubos en la parte superior del haz en el espejo anular provisto para este fin. Los deflectores son colocados en la parte superior del espejo y la bomba de recirculación se instala al nivel del piso.

### **3.2.5 Evaporación química en múltiple efecto**

El uso de la alimentación paralela no es por mucho lo más económico, y se usa en la evaporación química solamente cuando la solución por evaporarse está casi saturada y la evaporación sólo se efectúa para lograr una sobresaturación. En la

evaporación química es costumbre emplear la alimentación en paralelo, en contracorriente, o una modificación de las dos, conocida como alimentación mezclada.

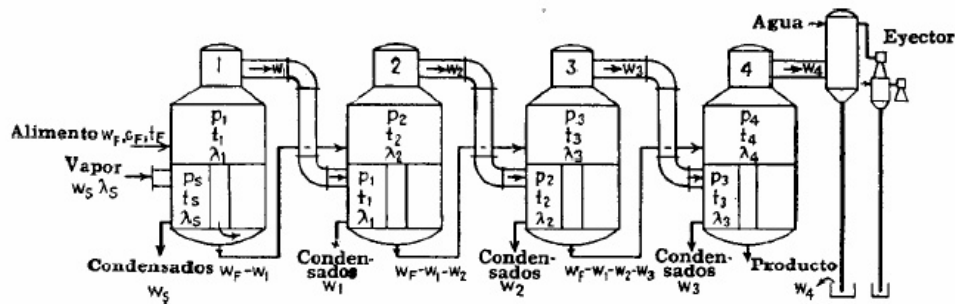


Fig. 3.2.5-1 Evaporación química en múltiple efecto con alimentación en paralelo

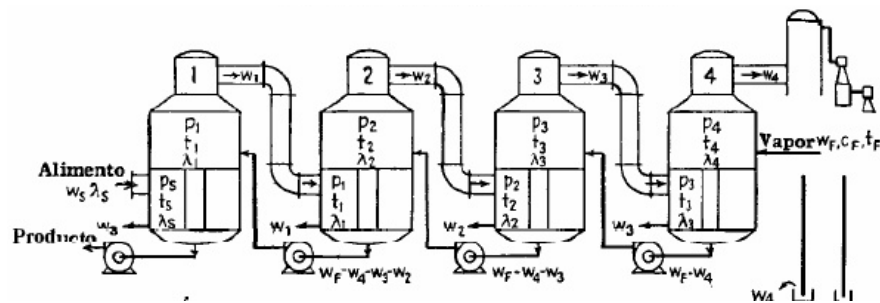


Fig. 3.2.5-2 Evaporación química en múltiple efecto con alimentación en contracorriente.

Las figuras mostradas nos muestran algunas ventajas y desventajas que resultan, ya sea del flujo paralelo o a contracorriente. En los flujos paralelos, si el licor de alimentación está a mayor temperatura que la temperatura de saturación del primer efecto, tendrá lugar automáticamente una evaporación flash. Puesto que el vacío se mantiene usualmente en el último efecto, el licor fluye por sí mismo de efecto a efecto, y sólo se requiere una bomba al final de la batería. Similarmente, puesto que la temperatura de saturación de la solución en Ebullición en cada efecto es menor que la temperatura del efecto precedente, siempre hay una evaporación flash, o 'libre', en cada efecto que reduce el consumo total de vapor. En un evaporador la película de ebullición es la resistencia controlante y el valor, numérico del coeficiente total disminuye con la concentración debido a que la viscosidad aumenta. En la alimentación con flujos paralelos, el licor concentrado se encuentra en el último efecto y obviamente, ese efecto tiene el menor coeficiente total, ya que el líquido está más concentrado aquí y al mismo tiempo más frío.

Cuando se emplean flujos a contracorriente, se evita el tener los licores más concentrados en el último efecto. Aquí el licor diluido entra en el efecto último y más frío, y sale concentrado en el primer evaporador que está a más alta temperatura. En este arreglo el licor debe calentarse en cada efecto, como sucede con la alimentación en

paralelo, teniéndose también evaporaciones flash. Sin embargo, el alimento debe bombearse de efecto a efecto, lo que significa que los lugares para fugas o entradas de aire, tales como las bombas y bridas, aumentan, aumentando también el mantenimiento y el costo por potencia. Las relaciones de temperatura en los flujos a contracorriente usualmente contrarrestan en parte estas desventajas, puesto que el sistema está a contracorriente y la economía del vapor es mayor en estas condiciones.

Si el licor de alimentación a un evaporador de flujos a contracorriente está Uniformemente caliente, su introducción en el último efecto no tiene sentido, ya que los vapores que se producen por evaporación flash en el último efecto se pierden en el condensador. En los flujos paralelos no solamente se producirán estos mismos vapores, sino que en cada efecto ellos reevaporarán agua adicional. El problema de determinar la dirección del alimento es, como en muchos problemas de transferencia de calor, una consideración económica. Los flujos a contracorriente pueden o no conducir a menor superficie de calentamiento, dependiendo de la cantidad de agua que vaya a evaporarse y de la viscosidad de la solución final. El costo de vapor será menor para flujos a contracorriente si el alimento está frío, y menor para los flujos paralelos si el licor que se alimenta.

### 3.2.6 Calculo de evaporadores químicos

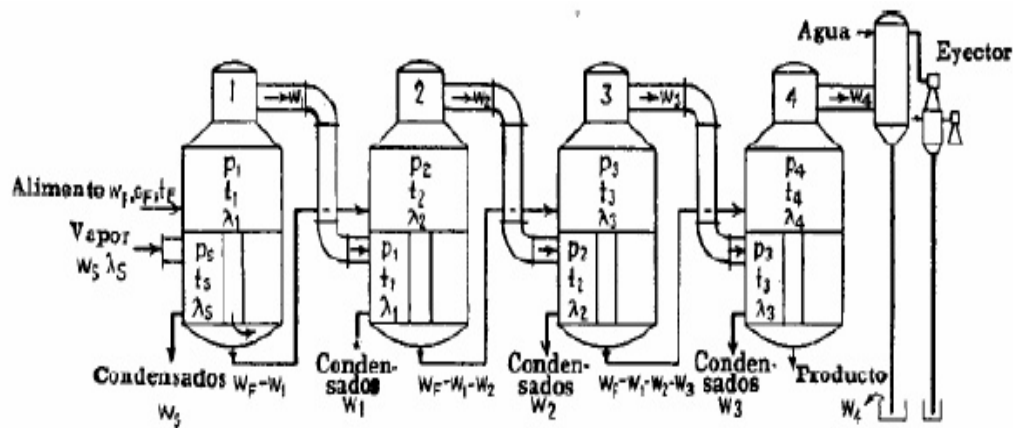


Fig. 3.2.6-1 Esquema de evaporadores químicos

Teniendo en cuenta la figura anterior, los cálculos para la superficie y los requerimientos de calor pueden calcularse por medio de un balance de calor a través de cada efecto individual y un balance de material en todo el sistema.

Para un cuádruple efecto como el mostrado en la figura se tiene en cuenta los siguientes términos:

- $c_p$  = calor específico del alimento, Btu/(lb (°F))
- $t_p$  = temperatura del alimento, °F
- $w_p$  = alimento, lb/h
- $T_s$  = temperatura de saturación del vapor de calentamiento en el primer efecto, °F
- $W_s$  = vapor de calentamiento al primer efecto, lb/h
- $w_{1-4}$  = agua total removida por evaporación, lb/h
- $c_1, c_2, c_3, c_4$  = calor específico del licor en los efectos 1 a 4, Btu/(lb) (°F)
- $t_1, t_2, t_3, t_4$  = punto de ebullición del licor en los efectos 1 a 4, °F.
- $w_1, w_2, w_3, w_4$  = agua removida en los efectos 1 a 4 lb/h

Un aspecto muy considerativo para estos cálculos es suponer que no hay efectos de calor como resultados de la concentración y que no hay elevación de punto de ebullición.

Para los tipos de flujos que estamos considerando paralelo y flujo en contracorriente se tiene:

*Flujos paralelos*

Balance de calor en el primer efecto:

$$W_s \lambda_s + w_p c_p (t_p - t_1) = w_1 \lambda_1$$

Balance de calor en el segundo efecto:

$$w_1 \lambda_1 + (w_p - w_1) c_1 (t_1 - t_2) - w_2 \lambda_2$$

Balance de calor en el tercer efecto:

$$w_2 \lambda_2 + (w_p - w_1 - w_2) c_2 (t_2 - t_3) = w_3 \lambda_3$$

Balance de calor en el tercer efecto:

$$w_3 \lambda_3 + (w_p - w_1 - w_2 - w_3) c_3 (t_3 - t_4) = w_4 \lambda_4$$

Balance de material:

$$w_{1-4} = w_1 + w_2 + w_3 + w_4$$

Los requerimientos de superficie serán

$$A_1 = \frac{Q}{U_D \Delta t} = \frac{W_s \lambda_s}{U_1 (T_s - t_1)}$$

$$A_2 = \frac{w_1 \lambda_1}{U_2 (t_1 - t_2)}$$

$$A_3 = \frac{w_2 \lambda_2}{U_3 (t_2 - t_3)}$$

$$A_4 = \frac{w_3 \lambda_3}{U_4 (t_3 - t_4)}$$

sea

$$A_1 = A_2 = A_3 = A_4$$

En este tipo de flujos U1, U2, U3, U4 corresponden a los coeficientes totales de diseño en los respectivos efectos.

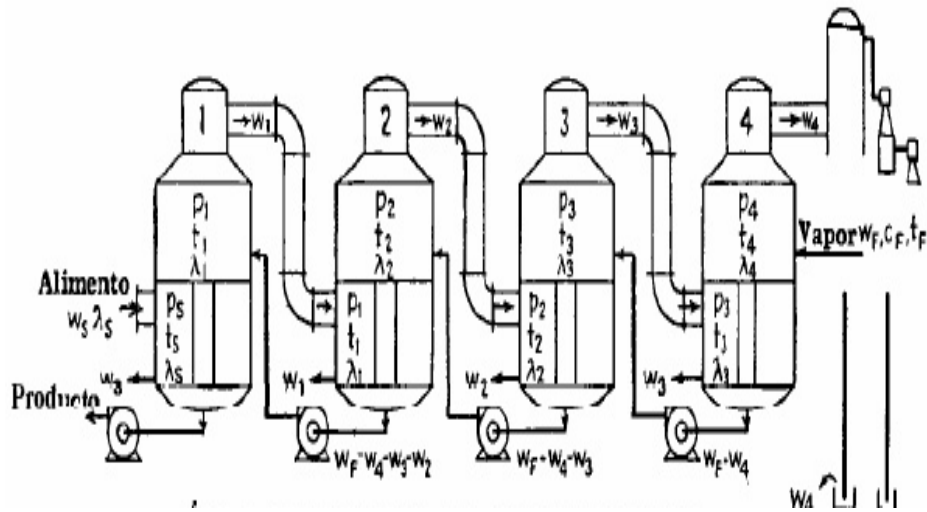


Fig. 3.2.6-2 Esquema de evaporadores químicos con alimentación en contracorriente

*Flujos a contracorriente.*

Balance de calor en el cuarto efecto:

$$w_3 \lambda_3 + w_F c_F (t_F - t_4) = w_4 \lambda_4$$

Balance de calor en el tercer efecto:

$$w_2 \lambda_2 + (w_F - w_4) c_4 (t_3 - t_4) = w_3 \lambda_3$$

Balance de calor en el segundo efecto:

$$w_1 \lambda_1 + (w_F - w_4 - w_3) c_3 (t_2 - t_3) = w_2 \lambda_2$$

Balance de calor en el primer efecto:

$$w_s \lambda_s + (w_F - w_4 - w_3 - w_2) c_2 (t_1 - t_2) = w_1 \lambda_1$$

Balance de material:

$$w_{1-4} = w_1 + w_2 + w_3 + w_4$$

$$q_T = q_1 + q_2 + q_3 = U_1 A_1 \Delta T_1 + U_2 A_2 \Delta T_2 + U_3 A_3 \Delta T_3$$

$$q_1 = U_1 A_1 \Delta T_1 \quad q_2 = U_2 A_2 \Delta T_2 \quad q_3 = U_3 A_3 \Delta T_3$$

Debido a los balances y demás ecuaciones se puede concluir que en operaciones específicas a estas condiciones las diferencias de presión entre los efectos serán aproximadamente iguales. Otro punto importante es que los evaporadores de múltiple efecto pueden diseñarse para superficie mínima o mínimo costo inicial. El diseño de un

evaporador de múltiple efecto para condiciones óptimas, en las industrias es más que un aspecto fundamental.

### 3.2.7 Capacidad y economía de evaporadores de múltiple efecto.

El aumento de economía mediante la evaporación en múltiple efecto se consigue a costa de una capacidad reducida. Es claro que aumentando varias veces la superficie de calefacción aumentará la capacidad de evaporación. La capacidad total de un evaporador de múltiple efecto generalmente no es superior a la de uno de simple efecto que tiene igual superficie de calefacción en cada uno de los efectos y opera con las mismas condiciones extremas, pero cuando hay un apreciable aumento del punto de ebullición dicha capacidad con frecuencia es considerablemente menor. Cuando la elevación del punto de ebullición es despreciable el AT efectivo global es igual a la suma de los AT de cada efecto, y la cantidad de agua evaporada por unidad de área de superficie en un evaporador de N efectos es aproximadamente igual a (1/N) de la de un evaporador de simple efecto. Esto puede demostrarse de acuerdo con el análisis que sigue.

El calor transmitido en los tres efectos de la figura viene dado por las ecuaciones.

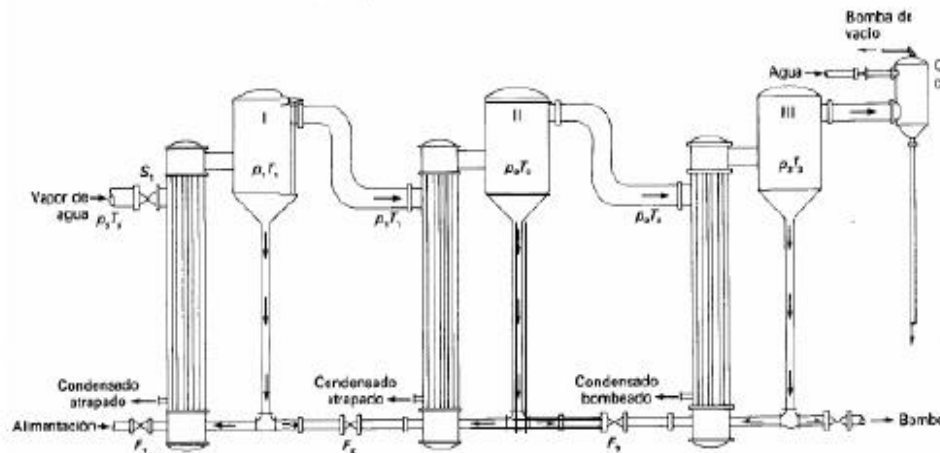
$$q_1 = U_1 A_1 \Delta T_1 \quad q_2 = U_2 A_2 \Delta T_2 \quad q_3 = U_3 A_3 \Delta T_3$$

La capacidad total es proporcional a la velocidad total de transmisión de calor  $q_T$ , que se obtiene a partir de las ecuaciones.

$$q_T = q_1 + q_2 + q_3 = U_1 A_1 \Delta T_1 + U_2 A_2 \Delta T_2 + U_3 A_3 \Delta T_3$$

Supóngase que el área de la superficie de cada efecto es A pie' y que el coeficiente global U es el mismo en cada efecto.

$$q_T = UA(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) = UA \text{ AT} \quad \text{EC. DE CAPACIDAD}$$



**Fig. 3.2.7-1 Evaporadores de tres efectos.**

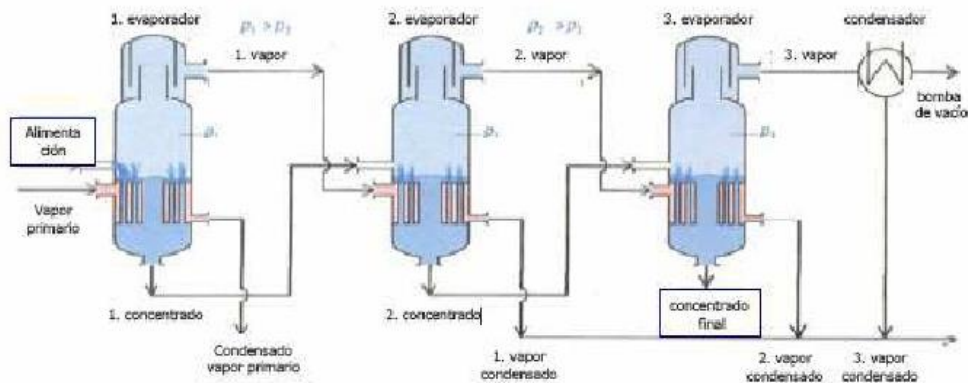
Sea cual fuere el número de efectos, si los coeficientes globales son los mismos, la capacidad no será superior a la de un simple efecto que tenga igual área que cada efecto de una unidad múltiple. La elevación del punto de ebullición tiende a que la capacidad de un evaporador de múltiple efecto sea menor que la del correspondiente a uno de efecto simple. Sin embargo, se modificarán los coeficientes globales de un evaporador de múltiple efecto.

Número óptimo de efectos: El coste de cada efecto, por unidad de superficie, es una función de su área total  $g_b$  y disminuye con el área, tendiendo a un valor asintótico para grandes instalaciones. Por tanto, la inversión necesaria para la adquisición de un evaporador de  $N$  efectos es aproximadamente  $N$  veces la de un evaporador de simple efecto de la misma capacidad. El número óptimo de efectos se obtiene a partir de un balance económico teniendo en cuenta el ahorro de vapor de agua que se obtiene con la operación de múltiple efecto y la inversión adicional que se requiere.

Para reducir el alto consumo de energía la evaporación se realiza con un procedimiento a múltiple efecto, en el cual algunos evaporadores son operados en serie. El vapor del primer evaporador es usado como "vapor" en el segundo evaporador y así sucesivamente. Para esto en cada evaporador la presión y la temperatura necesitan ser menor que en el anterior. Un flujo esquemático es mostrado en el diagrama de evaporación a múltiple efecto (flujo directo).

El promedio de vapor consumido por un evaporador a múltiple efecto es mostrado en la siguiente tabla. A partir de la quinta etapa los ahorros adicionales de energía no son mucho más altos, y los ahorros de energía tienen que ser sopesados contra los altos costos de inversión del equipo.

Consumo de vapor para evaporar 1 kg de agua	En kg de vapor
Evaporación a simple efecto	1,1 kg
Evaporación a doble efecto	0,57 kg
Evaporación a triple efecto	0,4 kg
Evaporación a cuádruple efecto	0,3 kg
Evaporación a quintuple efecto	0,27 kg



Teórico:  $n$ -efecto  $1/n$ ; consumo específico de energía Práctico: 10 a 30% más alto.

**Fig. 3.2.7-1 Diagrama de evaporadores de tres efectos**

### 3.2.8 Calculo de un caso múltiple efecto

En el diseño de un evaporador de múltiple efecto los resultados generalmente deseados son la cantidad de vapor de agua consumido, el área de la superficie de calentamiento que se requiere, las temperaturas aproximadas en los distintos efectos y la cantidad de vapor que abandona el último efecto. Lo mismo que en un evaporador de simple efecto, estos valores se obtienen a partir de balances de materia, balances de entalpía y la ecuación de capacidad Sin embargo, en un evaporador de múltiple efecto se utiliza un método de tanteo en vez de una solución algebraica directa.

Por ejemplo, un evaporador de triple efecto. Se pueden escribir siete ecuaciones: un balance de entalpía para cada efecto, una ecuación de capacidad para cada efecto y la evaporación total, que es conocida, o bien la diferencia entre los flujos de las disoluciones concentrada y diluida. Si se supone que la superficie de calentamiento en cada efecto es la misma, hay siete incógnitas en estas ecuaciones: (1) el flujo de vapor vivo que entra en el primer efecto, (2) a (4) la velocidad de flujo desde cada efecto, (5) la temperatura de ebullición en el primer efecto, (6) la temperatura de ebullición en el segundo efecto, y (7) la superficie de calefacción por efecto. Es posible obtener las siete



incógnitas a partir de estas ecuaciones, pero el método resulta tedioso. Otro método de cálculo es el siguiente:

1. Se suponen temperaturas de ebullición en el primer y segundo efectos.
2. A partir de balances de entalpía se obtienen las velocidades de flujo de vapor de agua y de disolución de un efecto a otro.
3. Se calcula la superficie de calefacción que se requiere en cada efecto a partir de las ecuaciones de capacidad.
4. Si las áreas de calefacción así encontradas no son aproximadamente iguales, se estiman nuevos valores para las temperaturas de ebullición y se repiten las partes 2 y 3 hasta que las superficies de calefacción sean iguales.

### 3.3 PREEVAPORADORES

El vapor de calentamiento para estos preevaporadores es extraído de las turbinas de alta presión, es decir que es el vapor residual que se tiene después de pasar por las turbinas de los molinos, este entra al haz de tubos por la parte exterior del cuerpo del preevaporadores, teniendo este un contacto con los tubos realizando un precalentamiento del jugo que se necesita evaporar, ya que suele evaporarse más rápidamente una liquido precalentado, que un liquido a temperatura ambiente. Los deflectores son colocados en la parte superior del espejo y la bomba de recirculación se instala al nivel del piso para enviar el jugo precalentado a la primera etapa del proceso de evaporación.

El calor que va a calentar al jugo en los pre-evaporadores (Fig. 3.3-1) es de alimentación directa para después pasarlo a los evaporadores de múltiples etapas.

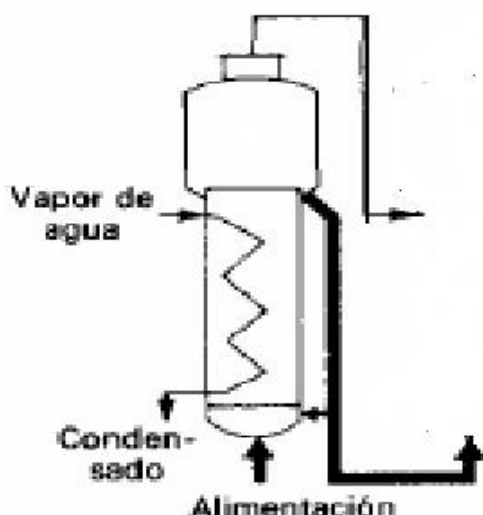


Fig.3.3-1 Pre-evaporador

Los preevaporadores son muy similares a los evaporadores, la diferencia de los evaporadores es que evaporan el agua contenida en el jugo, y los preevaporadores únicamente calientan el jugo antes de pasar a los evaporadores.

### **3.4 CRITERIOS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN.**

#### **3.4.1 Definición de conceptos.**

##### **4.1.1.1 Recipientes a presión**

Es considerado un recipiente a presión cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o vacío, independientemente de su forma y dimensiones.

##### **3.4.1.2 Presión de operación (PO)**

Es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual está sometido un equipo en condiciones de operación normal.

##### **3.4.1.3 Presión de diseño (P)**

Es el valor que se utiliza en las ecuaciones para el cálculo de las partes construidas de los recipientes sometidos a presión.

Se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P = 1.1 \cdot P_o.$$

$$\text{Si } P_o \leq 300 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$P = P_o + 30 \text{ lb/pulg}^2.$$

Donde **P** es la presión de diseño, y **P<sub>o</sub>** es la presión de operación.

La presión de diseño (**P**), se debe tomar en consideración la presión hidrostática debida a la columna del fluido que estemos manejando, si éste es líquido sobre todo en recipientes cilíndricos verticales.

##### **3.4.1.4 Presión de prueba (PP)**

La presión de prueba se entenderá por presión hidrostática de prueba y se cuantificará por medio de la siguiente ecuación:

$$P_p = P (1.5) S_{ta}/S_{td}$$

**Donde:**

**P** = Presión de diseño.

**S<sub>ta</sub>** = Esfuerzo a la tensión del material a la temperatura ambiente.

**S<sub>td</sub>** = Esfuerzo a la tensión del material a la temperatura de diseño.

#### **3.4.1.5 Presión de trabajo máxima permisible**

Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que este está:

- a) En condiciones después de haber sido corroído.
- b) Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- c) En la posición normal de operación.
- d) Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., cuyos efectos deben agregarse a los ocasionadas por la presión interna.

El término “**Máxima presión de trabajo permisible nuevo y frío**” es usado frecuentemente. Esto significa: La presión máxima permisible, cuando se encuentra en las siguientes condiciones:

- a) El recipiente no está corroído (**nuevo**).
- b) La temperatura no afecta a la resistencia a la tensión del material (**temperatura ambiente**) (**frío**).
- c) Tampoco se consideran los efectos producidos por la acción del viento, presión hidrostática, etc.

#### **3.4.1.6 Esfuerzo de diseño a la tensión (S)**

Es el valor máximo al que podemos someter un material, que forma parte de un recipiente a presión, en condiciones normales de operación. Su valor es aproximadamente el **25%** del esfuerzo último a la tensión del material en cuestión.

#### **3.4.1.7 Eficiencia de las soldaduras (E).**

La eficiencia de las soldaduras está mostrada en la Figura No. 3.4.1.7-1, en ella se dan los diferentes valores de la eficiencia (**E**) que debemos usar en los cálculos de acuerdo con el tipo de unión.

Antes de aplicar cualquier soldadura, en recipientes a presión, debemos preparar un Procedimiento de Soldadura para cada caso en particular, el cual nos indica la preparación, diámetro del electrodo, etc., para cada tipo y espesor de material.

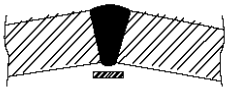
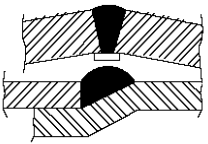

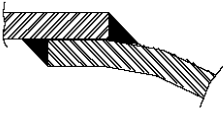
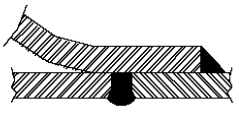
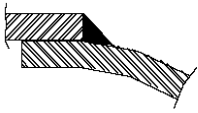
Debemos también hacer pruebas a los soldadores para asegurarnos que la soldadura será aplicada por personal debidamente calificado. Estas pruebas y procedimientos deberán apegarse estrictamente a las recomendaciones hechas por el **Código A.S.M.E., Sección IX "Welding and Brazing Qualifications."**

El material de aporte, de la soldadura, debe ser compatible con el material base a soldar. Los electrodos más comúnmente utilizados para soldar recipientes a presión de acero al carbón, son el **6010** y el **7018**.

Cuando aplicamos soldadura en recipientes a presión de acero inoxidable, es necesario utilizar gas inerte y se recomienda pasivar las soldaduras con una solución a base de ácido nítrico y ácido clorhídrico.

Debemos tratar de evitar los cruces de dos o más cordones de soldadura. La distancia mínima entre dos cordones paralelos será de 5 veces el espesor de la placa, sin embargo, cuando sea inevitable el cruce de dos cordones, el **Código A.S.M.E., Sección VIII División 1**, nos recomienda radiografiar una distancia mínima de 102 milímetros a cada lado de la intersección.

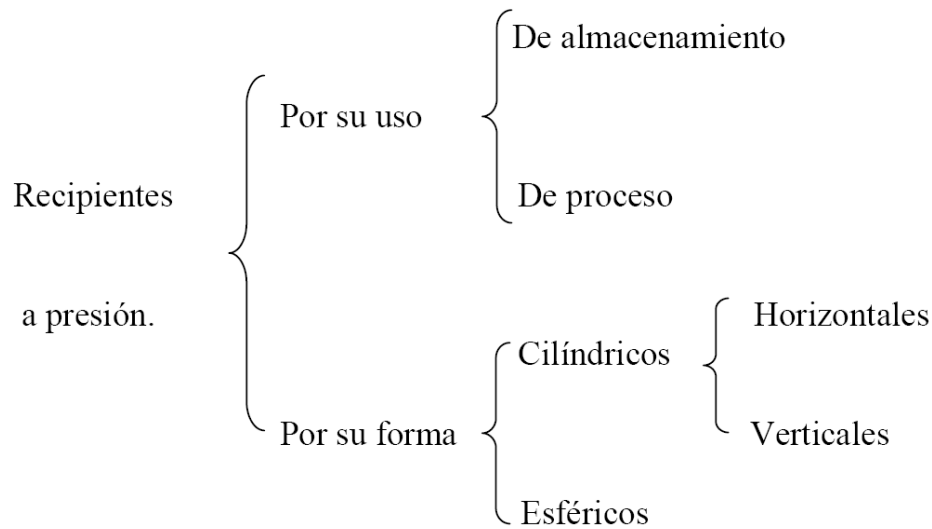
Se recomienda no aplicar soldadura a un recipiente a presión después de haber sido relevado de esfuerzos.

TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

**Figura No. 3.4.1.7-1 Eficiencias de Soldadura Valores de E**

### 3.4.2 Tipos de recipientes.

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:



#### 3.4.2.1 Por su uso

Por su uso los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de proceso.

Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc.

Los recipientes a presión de proceso tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos podemos citar los cambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, etc.

#### 3.4.2.2 Por su forma.

Por su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos.

Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso.

Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones.

Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos.

### 3.4.3 Materiales usados en recipientes a presión.

En la etapa de diseño de recipientes a presión, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual, necesitamos definir una secuencia lógica en la selección de éstos. Cabe hacer la aclaración que éste es un tema muy amplio y complejo, por lo cual, será difícil llegar a dar recetas para la selección adecuada de los materiales a usar, en recipientes a presión.

El **Código A.S.M.E.** indica la forma de suministro de los materiales más utilizados, la cual va implícita en su especificación. A continuación se dan algunos ejemplos de materiales, su especificación y forma de suministro.

#### PLACA

Especificación	<b>SA-515-70</b>	<b>SA-285-C</b>	<b>SA-36</b>
Composición Nominal	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>
Esfuerzo de cedencia <b>KPSI</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>36</b>
Esfuerzo último en <b>KPSI</b>	<b>70</b>	<b>55</b>	<b>58</b>
Esfuerzo de diseño en <b>KPSI</b>	<b>17.5</b>	<b>13.8</b>	<b>12.7</b>
<b>(de - 20 a 650 °F)</b>			

#### FORJA (Bridas)

Especificación	<b>SA-105</b>	<b>SA-181</b>	<b>SA-266-II</b>
Composición nominal	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>
Esfuerzo de cedencia en <b>KPSI</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>35</b>
Esfuerzo último en <b>KPSI</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
Esfuerzo de diseño en <b>KPSI</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
<b>(de - 20 a 650°F)</b>			

### **TUBOS DE CÉDULA**

Especificación	<b>SA-106-B</b>	<b>SA-53</b>	<b>SA-333-1</b>
Composición nominal	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>
Esfuerzo de cedencia en <b>KPSI</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
Esfuerzo último en <b>PKSI</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>55</b>
Esfuerzo de diseño en <b>KPSI</b> (de - 20 a 650°F)	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13.7</b>

### **TUBOS DE CALIBRE**

Especificación	<b>SA-179</b>	<b>SA-334-1</b>	<b>SA-556-C2</b>
Composición nominal	<b>C-Si</b>	<b>C-Si</b>	<b>C-Mn</b>
Esfuerzo de cedencia en <b>KPSI</b>		<b>30</b>	<b>40</b>
Esfuerzo último en <b>KPSI</b>	<b>46</b>	<b>55</b>	<b>70</b>
Esfuerzo de diseño en <b>KPSI</b>	<b>11.7</b>	<b>13.7</b>	<b>17.5</b>

#### **3.4.3.1 Materiales más comunes**

Entre los materiales de más comúnmente usados en la fabricación de recipientes a presión, está principalmente el acero al carbón y algunas aleaciones especiales como:

Aceros Especiales austeníticos y ferríticos:

<b>Titanio</b>	<b>Incoloy</b>
<b>Zirconio</b>	<b>Hastelloy</b>
<b>Hafnio</b>	<b>Monel</b>
<b>Tántalo</b>	<b>Inconel</b>
<b>Molibdeno</b>	<b>Admiralty</b>

En la siguiente página, se muestra un formato en el que se interrelacionan los diferentes materiales usados en la fabricación de los recipientes a presión.

#### **3.4.3.2 Selección del material**

La decisión final sobre el material a utilizar será de acuerdo a lo siguiente:

Material más adecuado.

Será aquel que cumpla con el mayor porcentaje de requisitos tales como:



## 1.- Requisitos Técnicos.

Cumplir con el mayor número de requisitos técnicos es lo más importante para un material, ya que de éstos depende el funcionamiento correcto y seguro del equipo.

## 2.- Requisitos Económicos.

Estos requisitos lo cumplen los materiales que impliquen los menores gastos como son los iniciales, de operación y de mantenimiento, sin que por este concepto se tenga que sacrificar el requisito técnico, que repetimos, es el más importante.

### 3.4.4 Códigos aplicables.

El principal **Código** utilizado en **México, Estados Unidos de Norteamérica** y en muchos otros países del mundo, es el “**CÓDIGO A.S.M.E. SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1**”.

Este **Código** es publicado por la **Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos**, su edición es trianual; **1965, 1968, 1971, 1974, 1977, 1980, 1983, 1986, 1989, 1992, 1995**, etc., sin embargo, la asociación antes mencionada emite adendas trimestrales, las cuales modifican constantemente el **Código**, manteniéndolo siempre actualizado.

Como una alternativa del **Código A.S.M.E, Sección VIII, División 1**, existe la **División 2**. La diferencia fundamental entre las dos divisiones radica en los factores de seguridad, los cuales son mayores en la **División 1**.

A continuación se enlistan los principales **Códigos** existentes en el mundo para diseño y fabricación de recipientes a presión.

<b>PAÍSES</b>	<b>CÓDIGOS</b>
<b>Alemania Occidental</b>	<b>A. D. Merkblatt Code</b>
<b>Estados Unidos De Norteamérica</b>	<b>A.S.M.E. Code. Section VIII División 1 y 2</b>
<b>Inglaterra</b>	<b>British Code BS 5500</b>
<b>Italia</b>	<b>Italian PressureVessel Code</b>
<b>Japón</b>	<b>Japanesse Pressure Vessel Code</b>
<b>Japón</b>	<b>Japanesse Std. Pressure Vessel Construction</b>

Como un complemento, el **Código A.S.M.E., Sección VIII, División 1**, para el procedimiento de soldadura se utiliza la **Sección IX del Código A.S.M.E.** y el **AWS (American Welding Society)**, para la selección de materiales usamos la **Sección II** y el **A.S.T.M. (American Society of Testing Materials)**.

### **3.4.5 Breve historia del código A.S.M.E.**

Se describirá brevemente el origen del **Código A.S.M.E.**

El **Código** para calderas y recipientes a presión de la **Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (A.S.M.E.)**, se originó por la necesidad de proteger a la sociedad de las continuas explosiones de calderas que se sucedían antes de reglamentar su diseño y construcción.

Inglaterra fué uno de los primeros países que sintió esta necesidad, y fue después de uno de los más grandes desastres que sufrió la ciudad de **Londres** al explotar una caldera en el año de **1815**.

La investigación de las causas de esta explosión la llevó a cabo la **Cámara de los Comunes** por medio de un **Comité**, el cual, después de agotar todas sus pesquisas, logró establecer tres de las principales causas del desastre:

Construcción inapropiada, material inadecuado y aumento gradual y excesivo de la presión.

Al final de su informe, dicho **Comité** recomendaba el empleo de cabezas semiesféricas, el hierro forjado como material de construcción y el empleo de dos válvulas de seguridad.

En los **Estados Unidos de Norteamérica**, las personas dedicadas a la fabricación de caldera, se agruparon en una asociación en el año de **1889**.

Esta **Asociación** nombró un **Comité** encargado de preparar reglas y especificaciones, en las que se basará la fabricación en taller de las calderas.

Como resultado de los estudios hechos por este **Comité**, se presentó ante la **Asociación** un informe en el que se cubrían temas como:

Especificaciones de materiales, armado por medio de remaches, factores de seguridad, tipos de cabezas y de bridas, así como reglas para la prueba hidrostática.

No obstante, los dos intentos anteriores por evitar las explosiones de calderas, éstas seguían sucediendo; A principios de este siglo, tan sólo en los **Estados Unidos de Norteamérica**, ocurrieron entre **350** y **400**, con tremendas pérdidas de vidas y propiedades, llegó a ser costumbre que la autorización para usar una caldera la diera el cuerpo de bomberos.

Hasta la primera década de este siglo, las explosiones de calderas habían sido catalogadas como "**Actos de Dios**". Era necesario, la existencia de un **Código** legal sobre calderas.

El **10** de **marzo** de **1905**, ocurrió la explosión de una caldera en una fábrica de zapatos en **Crocktown, Massachussetts**, matando a **58** personas, hiriendo a otras **117** y con pérdidas materiales de más de un cuarto de millón de dólares.

Este accidente catastrófico hizo ver a las gentes de **Massachussetts** la imperiosa necesidad de legislar sobre la construcción de calderas para garantizar su seguridad.

Después de muchos debates y discusiones públicas, el Estado promulgó, en **1907**, el primer **Código** legal de reglas para la construcción de calderas de vapor, al año siguiente, el **Estado** de **Ohio** aprobó un reglamento similar.

Otros **Estados** y **Ciudades** de la **Unión Americana** que habían padecido explosiones similares, se dieron cuenta que éstas podían evitarse mediante un buen diseño y una fabricación adecuada y también se dieron a la tarea de formular reglamentos para este propósito.

De esta manera, se llegó a una situación tal, que cada **Estado** y aún cada ciudad interesada en este asunto, tenía su propio reglamento.

Como los reglamentos diferían de un estado a otro, y a menudo estaban en desacuerdo, los fabricantes empezaron a encontrar difícil el fabricar un equipo con el reglamento de un Estado que pudiera ser aceptado por otro. Debido a esta falta de uniformidad, en **1911**, los fabricantes y usuarios de caldera y recipientes a presión, apelaron ante el concilio de la **A.S.M.E.** Para corregir esta situación. El concilio respondió

a esto nombrando un comité para que formule especificaciones uniformes para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión especificados para su cuidado en servicio. El comité estaba formado por siete miembros, todos ellos de reconocido prestigio dentro de sus respectivos campos, un ingeniero de seguros para calderas, un fabricante de materiales, dos fabricantes de calderas, dos profesores de ingeniería y un ingeniero consultor.

El **comité** fue asesorado por otro **Comité** en calidad de consejero, formado de **18** miembros que representaban varias fases del diseño, construcción, instalación y operación de calderas.

Basándose en los reglamentos de **Massachussetts** y de **Ohio** y en otros datos de utilidad, el **Comité** presentó un informe preliminar en **1913** y envió **2,000** copias de él a los profesores de **Ingeniería Mecánica** a departamentos de Ingeniería de compañías de seguros de calderas, a jefes de inspectores de los departamentos de inspección de calderas de **Estados** y **Ciudades**, a fabricantes de calderas, a editores de revistas de **Ingeniería** y a todos los interesados en la construcción y operación de calderas, pidiendo sus comentarios.

Después de tres años de innumerables reuniones y audiencias públicas, fue adoptado en la primavera de **1925**, el primer **Código A.S.M.E.**, “**Reglas para la Construcción de Calderas Estacionarias y para las Presiones Permisibles de Trabajo**”, conocido como la edición **1914**.

Desde entonces, el **Código** ha sufrido muchos cambios y se han agregado muchas secciones de acuerdo a las necesidades.

Las secciones han aparecido en el siguiente orden:

<b>Sección I</b>	<b>Calderas de potencia (Power Boilers)</b>	<b>1914</b>
<b>Sección II</b>	<b>Especificaciones de Materiales (Material Specifications)</b>	<b>1924</b>
<b>Sección III</b>	<b>Calderas de Locomotoras (Boilers of Locomotives)</b>	<b>1921</b>

<b>Sección IV</b>	<b>Calderas para Calefacción de baja presión (Low-Pressure Heating Boilers)</b>	<b>1923</b>
<b>Sección V</b>	<b>Calderas en Miniatura (Miniature Boilers)</b>	<b>1922</b>
<b>Sección VI</b>	<b>* Inspección (Inspection)</b>	<b>1924</b>
<b>Sección VII</b>	<b>Reglas sugeridas para el cuidado de las calderas de potencia. (Suggested Rules for care of Power Boilers)</b>	<b>1926</b>
<b>Sección VIII</b>	<b>Recipientes a Presión no sometidos a fuego directo. (Unfired Pressure Vessels)</b>	<b>1925</b>
<b>Sección IX</b>	<b>* Requisitos de Soldadura (Welding Qualifications)</b>	<b>1940</b>
<b>Sección X</b>	<b>Recipientes a Presión de Plástico Reforzado y fibra de vidrio. (Fiber glass reinforced plastic pressure vessel)</b>	
<b>Sección XI</b>	<b>Reglas para Inspección en Servicio de Plantas de Potencia Nuclear. (Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plants)</b>	

\* Esta sección estuvo incorporada a la sección I desde su aparición hasta **1949**, finalmente fue cancelada en **1952**.

\*\* La primera vez que apareció esta sección, fue en **1937** como suplemento al **Código**.

El aumento de secciones en el **Código**, refleja el progreso de la industria en este campo. Se ha conservado un crecimiento espontáneo y se han requerido revisiones constantes.

Como ilustración diremos que en **1914**, las calderas se operaban a una presión máxima de **20 Kg/cm<sup>2</sup> (285 psi)** y a temperaturas de **300°C (572°F)**, actualmente éstas se diseñan para presiones tan altas como son **305 Kg/cm<sup>2</sup> (4,331 psi)**, y a temperaturas de **600°C (1,112°F)**.

Los recipientes se diseñan para presiones de **200 Kg/cm<sup>2</sup> (2,845 psi)** y a un rango de temperatura entre **-210°C a 550°C (de -346°F a 1,022°F)**.

Cada nuevo material, cada nuevo diseño, cada nuevo método de fabricación, cada nuevo sistema de protección, trae consigo nuevos problemas de estudio para el **Comité del Código**, exigiendo la experiencia técnica de muchos sub-Comités, para expedir nuevos suplementos y nuevas revisiones del **Código**.

Como resultado del espléndido trabajo de esos sub-Comités, el **Código A.S.M.E.**, ha desarrollado un conjunto de Normas que garantizan cualquier diseño y cualquier construcción de calderas y recipientes a presión dentro de los límites del propio **Código**.

El **Código A.S.M.E.**, ha tenido que mantenerse al día, dentro del cambiante mundo de la tecnología.

Este grupo celebra seis reuniones anuales para adaptar el **Código**. Las ediciones del **Código** se hacen cada tres años, la más reciente fue en **1998**, consta de once secciones en catorce tomos y son:

- Sección I**                                      **Calderas de Potencia**  
**(Power Boilers).**
- Sección II**                                      **Especificaciones de Materiales**  
**(Material Specifications)**
- Parte A: Especificaciones de Materiales ferrosos**  
**(Ferrous Materials)**
- Parte B: Especificaciones de Materiales no ferrosos.**  
**(Non Ferrous Material)**

**Parte C: Especificaciones de materiales de soldadura. (Welding Materials)**

<b>Sección III</b>	<b>Plantas de Potencia Nuclear</b>
	<b>División 1 y División 2</b>
<b>Componentes:</b>	<b>Requerimientos Generales</b>
	<b>(Nuclear Power Plants)</b>
	<b>División 1 &amp; División 2</b>
	<b>(Components: General Requirements)</b>
<b>Sección IV</b>	<b>Calderas para Calefacción</b>
	<b>(Heating Boilers)</b>
<b>Sección V</b>	<b>Pruebas no Destructivas</b>
	<b>(Non Destructive Examinations)</b>
<b>Sección VI</b>	<b>Reglas Recomendadas para el Cuidado y Operación de Calderas para Calefacción</b>
	<b>(Recommended Rules for Care and Operation of Heating Boilers)</b>
<b>Sección VII</b>	<b>Reglas Sugeridas para el Cuidado de Calderas de Potencia</b>
	<b>(Recommended Rules for Care of power Boilers)</b>
<b>Sección VIII</b>	<b>División 1: Recipientes a Presión</b>
	<b>(Pressure Vessels)</b>
	<b>División 2: Reglas para Diferentes Alternativas Para Recipientes a Presión.</b>
	<b>(Alternative Rules for Pressure Vessels)</b>
<b>Sección IX</b>	<b>Requisitos de Soldadura</b>
	<b>(Welding Qualifications)</b>
<b>Sección X</b>	<b>Recipientes a Presión de Plástico Reforzado y fibra de vidrio.</b>
	<b>(Fiber Glass Reinforced Plastic Pressure Vessel)</b>

**Sección XI                    Reglas para Inspección en Servicio de Plantas de  
Potencia Nuclear.  
(Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power  
Plants).**

Una vez teniendo una idea de lo que es y cómo está formado el **Código A.S.M.E.**, nos enfocaremos a la **Sección VIII**, ya que es la relacionada con Recipientes a Presión.

La **Sección VIII** del **Código A.S.M.E.**, contiene dos Divisiones, la **División 1**, que cubre el diseño de los recipientes a presión no sujetos a fuego directo y la **División 2**, que contiene otras alternativas para el cálculo de recipientes a presión.

Las reglas de la **División 1**, de esta **Sección** del **Código**, cubren los requisitos mínimos para el diseño, fabricación, inspección y certificación de recipientes a presión, además de aquellas que están cubiertas por la **Sección I**.

**(Calderas de Potencia), Sección III (Componentes de Plantas Nucleares) y Sección IV (Calderas para Calefacción).**

Como se dijo anteriormente, el considerable avance tecnológico que se ha tenido en los últimos años, ha traído como consecuencia el incremento de nuevos **Códigos y Normas**, el **Código A.S.M.E.**, consciente de ello, crea dentro de la **Sección VIII** de su **Código**, un nuevo tomo denominado, **División 2**.

**“REGLAS ALTERNATIVAS PARA CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN”.**

En **1995**, reconociendo el gran volumen de la nueva información desarrollada por el **Comité de Investigación de Recipientes a Presión (P.V.C.R)** y otras organizaciones, el **Comité** del **A.S.M.E.**, para **Calderas y Recipientes a Presión**, organizó su **Comité** especial para revisar las bases de los esfuerzos del **Código**.

El **Comité** fue consultado para desarrollar las bases lógicas para establecer los valores de esfuerzos permisibles de **1958** a **1962**, el **Comité** especial interrumpió sus trabajos para preparar la **Sección III**, el **Código** para **Recipientes Nucleares**.



Su labor original fue terminada en **1968** con la publicación de la **Sección VIII División 2**.

En esta **División**, los esfuerzos permisibles están basados en un coeficiente de seguridad aproximadamente igual a tres.

### **3.4.6 Limitaciones.**

El **Código A.S.M.E., Sección VIII División 1**, especifica claramente algunas limitaciones, entre las principales tenemos:

**Espesor mínimo.-** Se establece que para recipientes construidos en acero al carbón, el espesor mínimo será de **3/32" (2.38 mm.)**. Independientemente de su uso, ya que para algunos usos particulares, se especifican espesores mínimos diferentes.

$$\text{La relación } \frac{R}{t} \geq 10$$

Los recipientes diseñados y construidos bajo este **Código**, no deberán tener elementos principales móviles, ya sean rotatorios o reciprocantes, razón por la cual se excluyen del alcance del mismo las bombas, compresores, turbinas y cualquier equipo que tenga elementos principales móviles.

El volumen mínimo que deberán tener los recipientes a presión diseñados y construidos bajo este **Código**, deberá ser de **120 galones**.

La presión mínima a que deberán diseñarse los recipientes será de **15 PSIG (1 atmósfera)**.

- El diámetro interior mínimo será de **6"**.
- La presión máxima de diseño será de **3,000 PSIG**.
- Deberán ser estacionarios.

### **3.4.7 Recipientes cilíndricos horizontales**

Se enunciarán los procedimientos a seguir para efectuar los cálculos necesarios en el diseño de diferentes tipos de recipientes a presión, en el caso de los cilíndricos horizontales, es necesario efectuar los siguientes cálculos.

- **Cálculo por presión interna.**
- **Cálculo por presión externa (vacío)**

### 3.4.7.1 Cálculo por presión interna.

Al calcular la presión interna un recipiente cilíndrico, es necesario elaborar los cálculos del cuerpo y de las tapas. Con el fin de hacer más clara la comprensión.

Mediante la fórmula:

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0.6t}$$

Donde los Parámetros usados en el Cálculo de Presión Interna Máxima de Trabajo en recipientes sometidos a presión son los siguientes:

P= Presión máxima permisible de trabajo

S= Esfuerzo máximo permisible

E= Eficiencia de la construcción soldada

t = Espesor de la plancha

R= Radio interior del cilindro

### 3.4.7.2 Cálculo por presión externa (vacío)

Al Calcular la Presión Externa Máxima de Trabajo para Cilindro Central de la Calandria se utiliza la ecuación siguiente:

$$Pa = \frac{4B}{3(Do/t)}$$

Donde los parámetros usados en el cálculo de presión externa en recipientes sometidos a presión son los siguientes:

Pa = Presión de trabajo permisible

L= Longitud del cilindro

Do = Diámetro exterior máximo

t = Espesor de la plancha.

A = Factor determinado por medio de la gráfica mostrada en la Grafica No. 3.4.7.2.1-1.

B = Factor determinado por medio de las gráficas mostradas en las Graficas No. 3.4.7.2.1-2, 3.4.7.2.1-3, 3.4.7.2.1-4, 3.4.7.2.1-5 cuyo valor depende del material utilizado y de la temperatura de diseño.

E = Módulo de elasticidad del material.

T= Temperatura de Diseño.

Pasos a Seguir en el cálculo de la Presión Externa Máxima de Trabajo.

1.- Calculamos las relaciones **L/Do** y **Do/t**.

2.- Con el valor de **L/Do** entramos a la gráfica mostrada en la **GRAFICA No. 3.4.7.2.1-1**, si **L/Do** es mayor que **50**, entramos con este valor. Y si **L/Do** es menor que **0.5**, usaremos este valor para entrar a la gráfica.

3.- A la altura del valor **L/Do**, nos movemos horizontalmente hacia la derecha hasta encontrar la línea representativa del valor **Do/t**, de esta intersección, nos moveremos verticalmente hacia abajo y determinaremos el valor del factor "**A**".

4.- Entramos en la gráfica aplicable en las Graficas No. 3.4.7.2.1-2, 3.4.7.2.1-3, 3.4.7.2.1-4, 3.4.7.2.1-5, para el material utilizado con el valor del factor "**A**". Hasta la línea representativa de la temperatura de diseño, desde esta intersección nos movemos horizontalmente hacia la derecha y leemos el valor de "**B**".

5.- Con el valor de "**B**", calculamos la máxima presión exterior de trabajo.

Si el valor de "**A**" estuviera mas a la izquierda de la línea de temperatura indicada, el valor de la máxima presión exterior de trabajo permisible será calculado por medio de la ecuación:

$$Pa = \frac{2AE}{3(Do/t)}$$

3.4.7.2.1 Graficas utilizadas en el cálculo de presión externa.

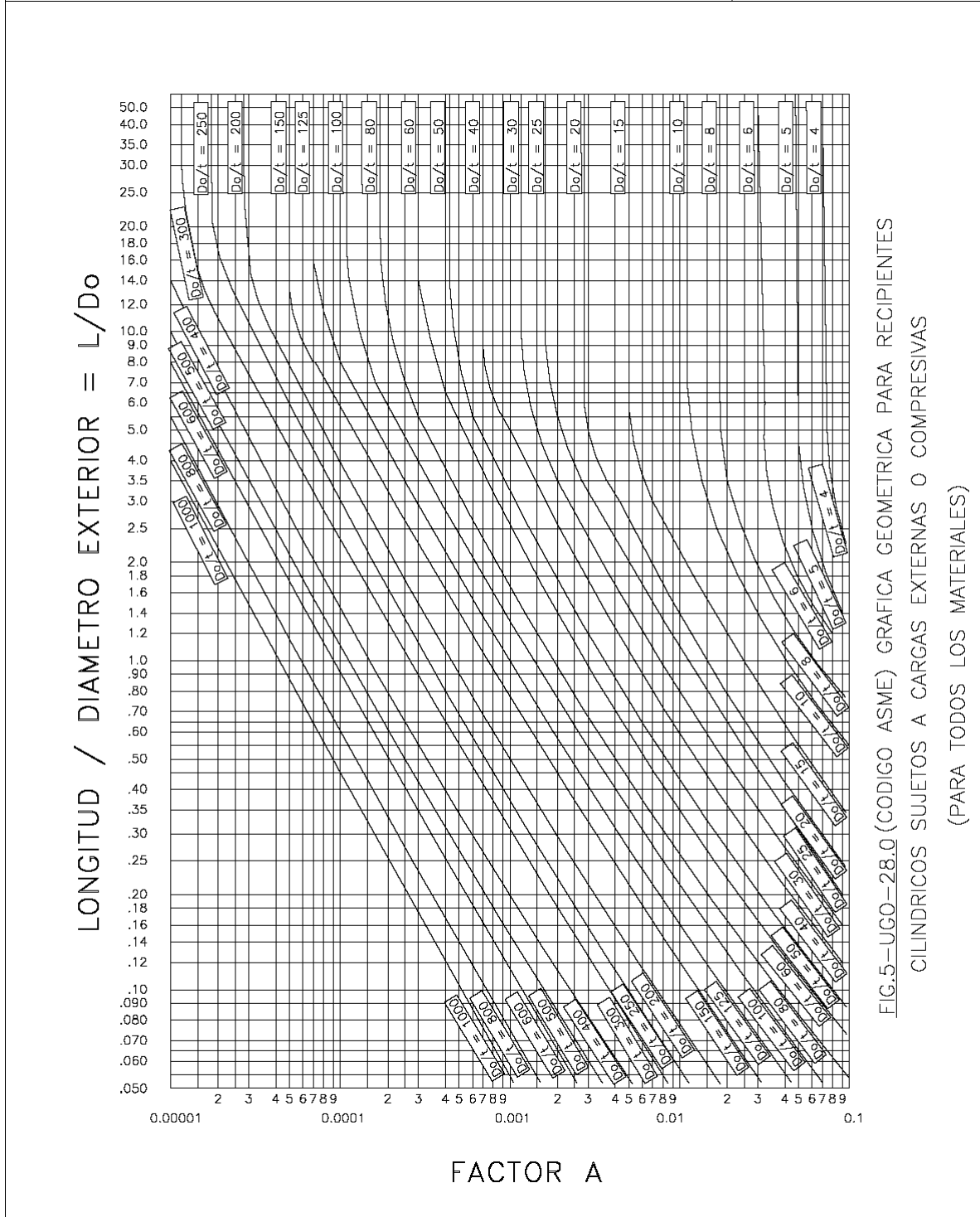
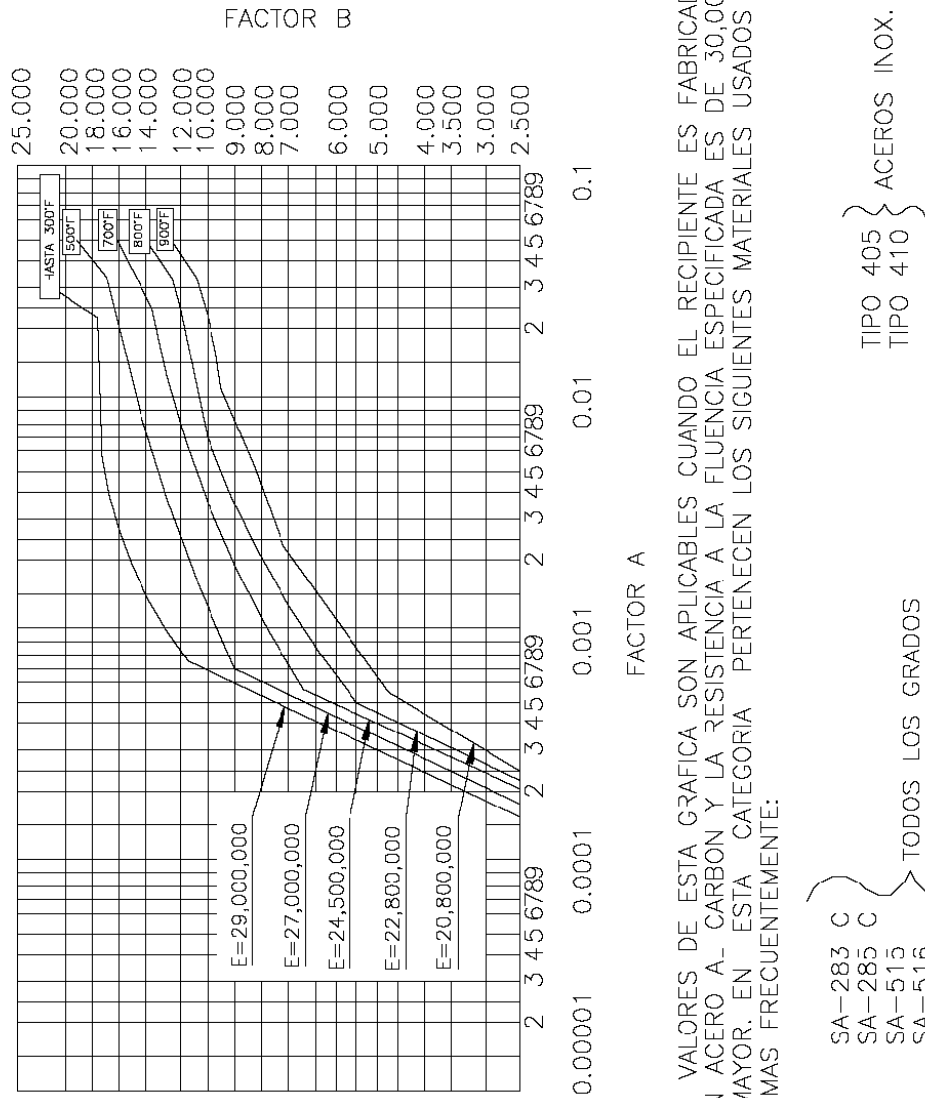


FIG.5-UGO-28.0 (CODIGO ASME) GRAFICA GEOMETRICA PARA RECIPIENTES CILINDRICOS SUJETOS A CARGAS EXTERNAS O COMPRESIVAS (PARA TODOS LOS MATERIALES)

GRAF. 3.4.7.2.1-1 Valores del factor A que se usan en las formulas para Recipientes Sujetos a Presion Externa



NOTA:

EN LOS CASOS EN QUE EL VALOR "A" CAIGA A LA DERECHA DEL EXTREMO DE LA LINEA DE TEMPERATURA, SUPONGASE UNA INTERSECCION CON LA PROLONGACION HORIZONTAL DEL EXTREMO SUPERIOR DE LA LINEA DE TEMPERATURA.

LOS VALORES DE ESTA GRAFICA SON APLICABLES CUANDO EL RECIPIENTE ES FABRICADO CON ACERO AL CARBON Y LA RESISTENCIA A LA FLUENCIA ESPECIFICADA ES DE 30,000 PSI. O MAYOR. EN ESTA CATEGORIA PERTENECEN LOS SIGUIENTES MATERIALES USADOS MAS FRECUENTEMENTE:

- SA-283 C
- SA-285 C
- SA-515
- SA-516
- SA-53-B
- SA-106-B

TODOS LOS GRADOS

TIPO 405 }  
TIPO 410 } ACEROS INOX.

FIG. 5-UCS-28.2 (CODIGO ASME)

GRAF. 3.4.7.2.1 -2 Los valores del factor B que se emplean en las formas para recipientes sujetos a presión externa.

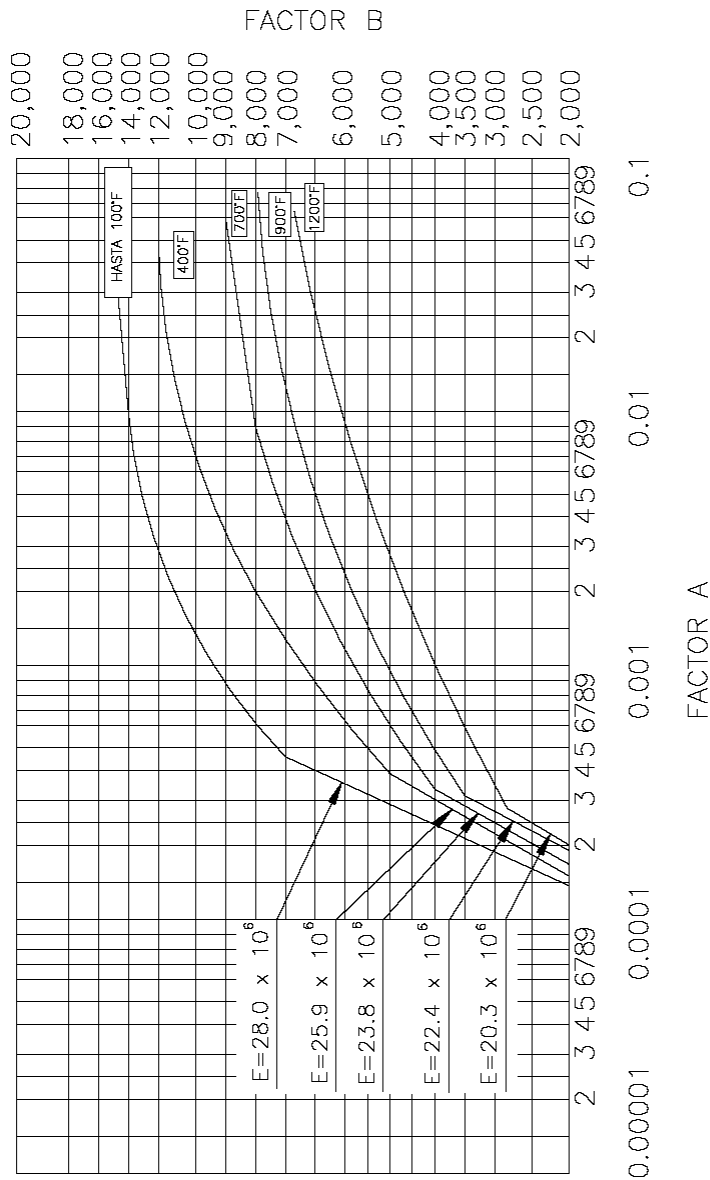


FIG. 5-UHA-28.1 (CODIGO ASME) LOS VALORES DE LA GRAFICA SON APLICABLES CUANDO SE FABRIQUE EL RECIPIENTE CON ACERO AUSTENITICO (18Cr - 8Ni, TIPO - 304)

**NOTA:**

EN LOS CASOS EN QUE EL VALOR "A" CAIGA A LA DERECHA DEL EXTREMO DE LA LINEA DE TEMPERATURA, SUPONGASE UNA INTERSECCION CON LA PROLONGACION HORIZONTAL DEL EXTREMO SUPERIOR DE LA LINEA DE TEMPERATURA.

**GRAF. 3.4.7.2.1-3 Los valores del factor B que se emplean en las formas para recipientes sujetos a presión externa.**

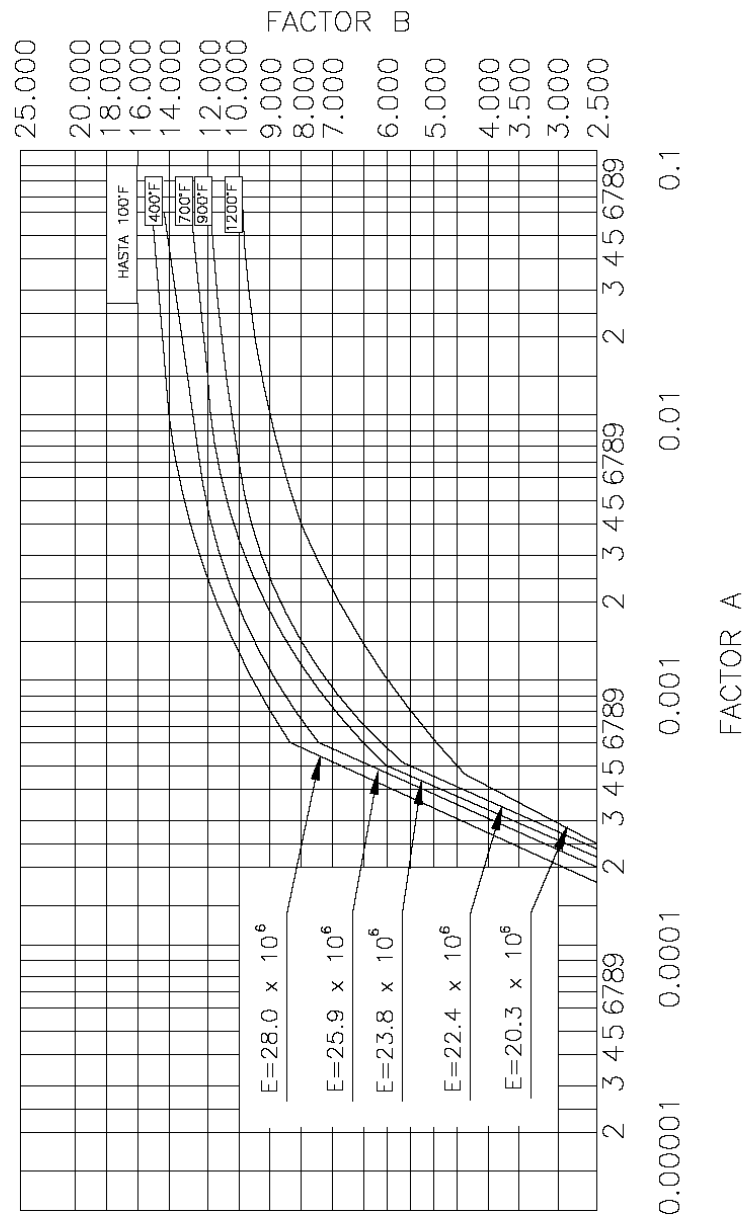


FIG. 5-UHA-28.2 GRAFICA PARA DETERMINAR ESPESOR DE ENVOLVENTE DE RECIPIENTES CILINDRICOS Y ESFERICOS SUJETOS A PRESION EXTERNA CUANDO SON CONSTRUIDOS DE ACERO AUSTENITICO (18 Cr.-8Ni-Mo, TIPO 316; 18 Cr.-8Ni-Ti; TIPO 321; 18Cr-8Ni-Cb, TIPO 347; 25Cr-12 Ni, TIPO 309 (A TRAVES DE 1100°F SOLAMENTE); 25Cr-20Ni, TIPO 310 Y 17Cr, ACERO INOXIDABLE TIPO 430B (A TRAVES DE 700°F SOLAMENTE)

NOTA:

EN LOS CASOS EN QUE EL VALOR "A" CAIGA A LA DERECHA DEL EXTREMO DE LA LINEA DE TEMPERATURA, SUPONGASE UNA INTERSECCION CON LA PROLONGACION HORIZONTAL DEL EXTREMO SUPERIOR DE LA LINEA DE TEMPERATURA.

**GRAF. 3.4.7.2.1 -4 Los valores del factor B que se emplean en las formas para recipientes sujetos a presión externa.**

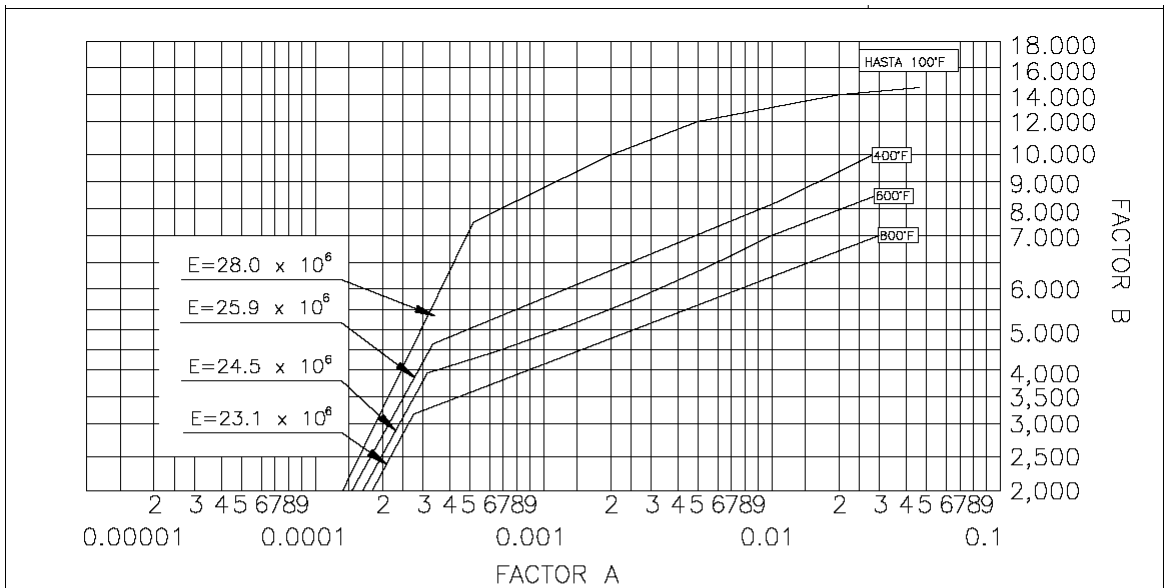


FIG. 5-UHA-28.3 GRAFICA PARA DETERMINAR ESPESORES DE ENVOLVENTES DE RECIPIENTES CILINDRICOS Y ESFERICOS SUJETOS PRESION EXTERNA CONS-TRUIDOS DE ACERO AUSTENITICO (18Cr.-8Ni-0.03 MAXIMO DE CARBONO, TIPO 304L) (VER TABLA UHA-23).

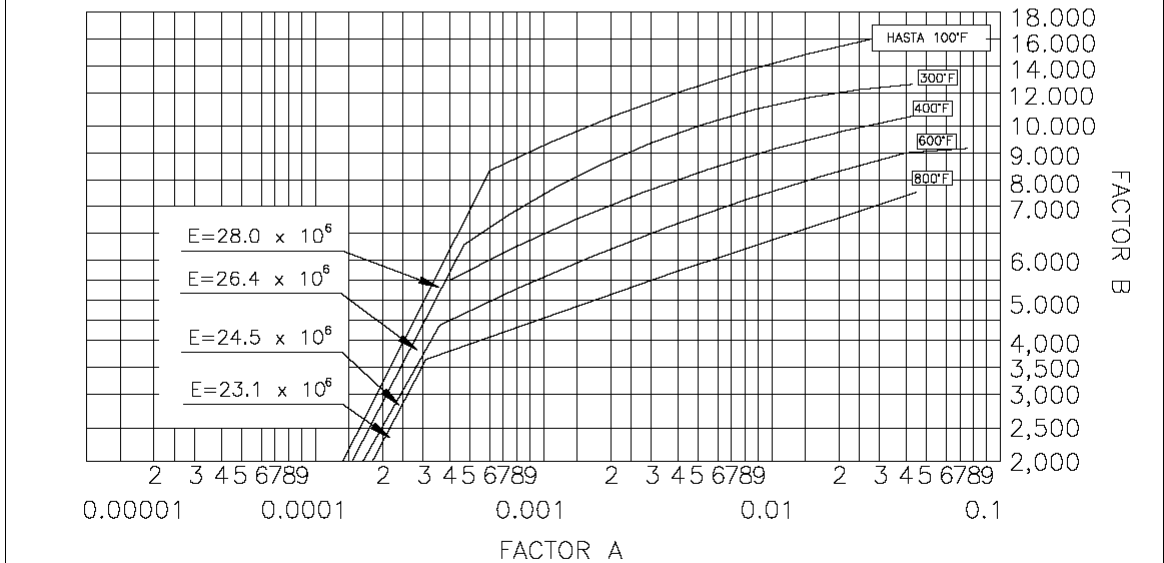


FIG. 5-UHA-28.4 GRAFICA PARA DETERMINAR ESPESORES DE ENVOLVENTES DE RECIPIENTES CILINDRICOS Y ESFERICOS SUJETOS PRESION EXTERNA CONS-TRUIDOS DE ACERO AUSTENITICO (18Cr.-8Ni-Mo-0.03 MAXIMO DE CARBON, TIPO 316L, 317L) (VER TABLA UHA-23).

**GRAF. 3.4.7.2.1-5 Los valores del factor B que se emplean en las formas para recipientes sujetos a presión externa.**



### 3.4.8 Válvula de Seguridad o Alivio de Presión.

En la industria constituye una situación normal la utilización de sistemas que operan a presión. Reactores, calderas, recalentadores, tanques de almacenamiento, tuberías y demás aparatos a presión, pueden verse sometidos a presiones superiores a la de diseño, con el consiguiente riesgo de explosión, pudiendo causar graves consecuencias tanto para las personas como para las instalaciones cercanas. Para prevenir este riesgo se instalan en estos equipos válvulas de seguridad, que permitan por medio de la descarga del fluido contenido, aliviar el exceso de presión. Así, las válvulas de seguridad constituyen un elemento clave de seguridad utilizado ampliamente en la industria y exigido reglamentariamente, por lo que es importante entender adecuadamente su funcionamiento y sus limitaciones.

#### 3.4.8.1 Definiciones

- **Válvula de seguridad:** Dispositivo empleado para evacuar el caudal de fluido necesario de tal forma que no se sobrepase la presión de timbre del elemento protegido.
- **Presión de tarado:** Es la presión a la cual abre la válvula.
- **Sobrepresión:** Es el incremento de presión que se produce por encima de la presión de tarado estando la válvula completamente abierta.
- **Presión de cierre:** Es aquella presión a la cual se cierra la válvula una vez desaparecida la causa que motivó su apertura.
- **Escape:** Es la diferencia existente entre la presión de tarado y la de cierre, (blow off).
- **Presión de precinto:** Es la presión a la que están tarados los elementos de seguridad que protegen el aparato o sistema. También se denomina "**timbre**" cuando se refiere a la presión máxima de servicio y es la que limita el propio sistema de seguridad.
- **Presión de servicio:** Es la presión normal de trabajo del aparato o sistema a la temperatura de servicio.
- **Presión máxima de servicio:** Es la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema en condiciones extremas de funcionamiento del proceso. Es el máximo valor efectivo de tarado de la válvula de seguridad.
- **Temperatura de diseño:** Es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo del espesor del aparato en condiciones severas de funcionamiento.

- **Temperatura de servicio:** Es el valor de la temperatura alcanzada en el interior del aparato o sistema en condiciones normales de funcionamiento a la presión de servicio.
- **Temperatura máxima de servicio:** Es el máximo valor de la temperatura que se estima puede producirse en el interior del aparato o sistema en condiciones extremas de funcionamiento.
- **Temperatura mínima de servicio:** Es el mínimo valor de la temperatura que se estima pueda producirse en el interior del aparato o sistema en condiciones extremas de funcionamiento.

### 3.4.8.2 Tipos de válvulas

#### a) Según su apertura

- **Válvulas de seguridad de apertura instantánea:** Cuando se supera la presión de tarado la válvula abre repentina y totalmente.
- **Válvulas de alivio de presión:** Cuando se supera la presión de tarado, la válvula abre proporcionalmente al aumento de presión.
- 

#### b) Según su actuación

- **Válvulas de actuación directa:** Son válvulas cargadas axialmente, que al alcanzar la presión de tarado abren automáticamente debido a la acción del fluido a presión sobre el cierre de la válvula.
- **Válvulas de actuación indirecta:** Son válvulas accionadas por piloto. Deben actuar debidamente sin ayuda de ninguna fuente exterior de Energía.

#### c) Según su agrupación

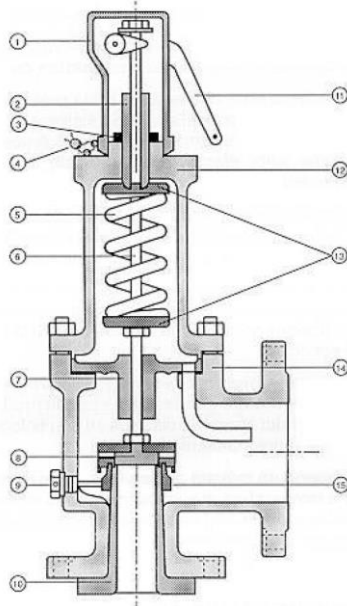
- **Válvulas de seguridad sencilla:** Son las que alojan en su cuerpo a un solo asiento de válvula.
- **Válvulas de seguridad dobles o múltiples:** Son las que alojan en su cuerpo dos o más asientos de válvulas.

#### d) Según su conexión

- Bridadas.
- Roscadas.
- Soldadas.

### 3.4.8.3 Elementos

Algunos de los elementos más importantes presentes en las válvulas de seguridad se representan en la figura siguiente:



- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1. Caperuza.                         | 9. Tornillo de fijación del anillo de ajuste. |
| 2. Tensor.                           | 10. Tobera de entrada.                        |
| 3. Contratuerca fijación regulación. | 11. Palanca de apertura manual.               |
| 4. Precinto.                         | 12. Cúpula o Arcada.                          |
| 5. Resorte.                          | 13. Placas resorte.                           |
| 6. Vástago.                          | 14. Cuerpo.                                   |
| 7. Tapa guía.                        | 15. Anillo de ajuste o regulación.            |
| 8. Disco de cierre u obturador.      |   |

Fig. 3.4.8.3-1 Esquema de Válvula de Seguridad

### 3.4.8.4 Funcionamiento

Las válvulas de seguridad de alivio de presión están diseñadas para abrir y aliviar un aumento de la presión interna del fluido debido a condiciones anormales de operación o a emergencias.

Cuando en el recipiente o sistema protegido por la válvula se produce un aumento de la presión interna, hasta alcanzar la presión de tarado, la fuerza ejercida por el muelle es equilibrada por la fuerza producida por la presión sobre el área del disco de cierre (Fig. 3.4.8.4-1). A partir de aquí, un pequeño aumento de presión producirá el levantamiento del disco de cierre y permitirá la salida del fluido. Si se trata de una válvula de seguridad de apertura instantánea, el disco de cierre se separará repentina y totalmente, debido al incremento de la fuerza resultante del producto de la presión por el incremento del área del disco de cierre. Pero si se trata de una válvula de alivio de presión, la válvula abrirá proporcionalmente al incremento de presión producido.

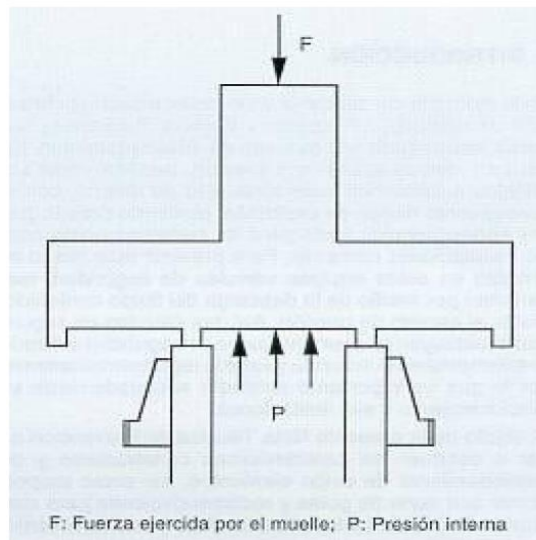


Fig. 3.4.8.4-1 Esquema de Disco de cierre

Cuando la presión disminuye la válvula cierra a una presión ligeramente inferior a la presión de tarado. En la figura 3.4.8.4-2 se pueden apreciar los diferentes niveles de presión existentes. Son, a diferencia de otros dispositivos de alivio (discos de rotura, tapones fusibles térmicos, etc.), mecanismos diseñados para cerrar cuando la presión haya sido restablecida, quedando en disposición de actuar y prevenir un nuevo alivio del fluido.

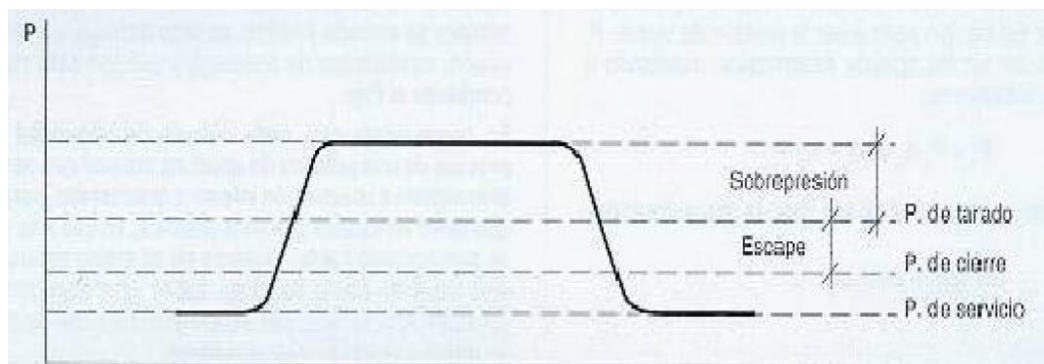


Fig. 3.4.8.4-2 Diagrama de evolución de la presión en la apertura y cierre de una válvula de seguridad.

### 3.4.8.5 Valor de tarado

De las válvulas de seguridad instaladas en un equipo no sobrepasará la presión de diseño ni la máxima de servicio del equipo y el dimensionado del conjunto de válvulas que protegen el equipo debe ser tal que permita aliviar la cantidad de fluido necesario para que **el aumento de presión no exceda del 10% de la presión de tarado** para cualquier condición de funcionamiento, y con ésto nos referimos a las condiciones más desfavorables posibles.

### Ejemplo de Normativa de aplicación en España:

- Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP1 del Reglamento de Aparatos a Presión.
  - a) el art. 15 cuando trata de válvulas de seguridad para calderas de vapor saturado, sobrecalentadores y recalentadores de vapor dice "... las cuales deberán precintarse a una presión que no exceda de un 10% a la de servicio, sin sobrepasar en ningún caso a la de diseño.... El conjunto de válvulas de seguridad bastará para dar salida a todo el vapor producido en régimen máximo, sin que el aumento de presión en el interior de la caldera pueda exceder del 10% de la presión de precinto correspondiente."
  - b) el art. 16 cuando se refiere a válvulas de seguridad para calderas de agua sobrecalentada, dice que "... una de las cuales, al menos, estará precintada a la presión de diseño o por debajo de ésta. La presión de precinto de las demás válvulas no excederá de un 3 por 100 de la presión de precinto de la primera válvula. El conjunto de ambas válvulas deberá dar salida a un caudal de vapor equivalente a la potencia térmica del aparato a la presión efectiva máxima de servicio, y sin que la presión de la caldera sobrepase en más de un 10% la presión de precinto correspondiente a la válvula precintada a menor presión."
  - c) el art. 17 cuando se refiere a válvulas de seguridad para economizadores y Precalentadores de agua y el art. 18 para calderas de agua caliente para instalaciones en circuito cerrado, dicen que las válvulas de seguridad cumplirán con las especificaciones indicadas en el art. 16, ya citadas.
- En la Instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ-001 del Reglamento sobre Almacenamiento de Productos Químicos se establece para el venteo de emergencia para depósitos a presión, que "... permitirá dar salida a los vapores producidos por efecto del calor recibido, sin que pueda aumentar la presión en el interior del depósito en más del 10 % de la máxima presión de diseño. "

Ahora bien, la presión de tarado de las válvulas de seguridad, aunque no deba sobrepasar la presión máxima de servicio, y para algunos equipos como las calderas de vapor saturado, sobrecalentadores y recalentadores de vapor, tampoco el 110% de la

presión de servicio, no es conveniente que el tarado sea igual o muy cercano a la presión de servicio, ya que de ser así, estarían continuamente abriendo y aliviando fluido, así pues es importante aplicar el criterio anteriormente expuesto pero respetando un cierto diferencial de presión entre la presión de servicio y la de tarado.

### 3.4.8.6 Contrapresión

Un aspecto que tiene una notable influencia en el establecimiento del punto de funcionamiento de las válvulas de seguridad es la contrapresión existente en el escape de la válvula, que puede estar generado por pérdidas de carga en la tubería de escape, presiones en la salida o por la instalación de silenciadores, filtros u otros mecanismos en la tubería de escape de la válvula.

Para analizar el efecto de la contrapresión en el punto de tarado de la válvula, realicemos un balance de fuerzas sobre el disco de cierre.

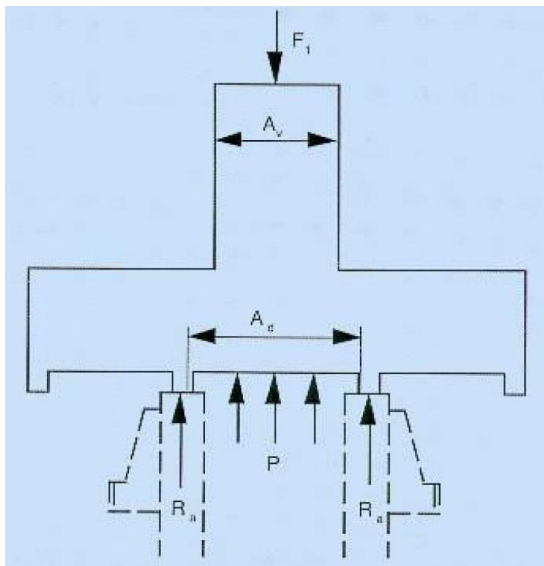


Fig. 3.4.8.6-1 Balance de fuerzas sobre el disco de cierre de la válvula de seguridad

El balance de fuerzas antes de que la válvula abra es:

$$F_1 = R_a + P A_d + (A_v - A_d) P_c$$

Donde:

$F_1$  es la fuerza inicial del resorte.

$R_a$  es la reacción en los apoyos.

$P$  es la presión en el interior del equipo.

$A_d$  es el área efectiva del disco de cierre.

$A_v$  es el área del vástago.

$P_c$  es la contrapresión

En el momento en que la válvula va a abrir, la presión en el interior del equipo pasa a ser la presión de tarado  $P_t$ , y la reacción en los apoyos desaparece, quedando la ecuación anterior en:

$$F_1 = P_t + A_d + (A_v - A_d) P_c$$

Con lo que la presión de tarado tiene la siguiente expresión:

$$P_t = k_1 F_1 + k_2 P_c$$

Donde:

$$k_1 = 1 / A_d$$

$$k_2 = (A_d - A_v) / A_d$$

Es decir la presión de tarado es proporcional a la fuerza inicial que ofrece el resorte mediante la constante  $k_1$  y a la contrapresión existente, mediante una constante que es función del área del vástago y del disco de cierre. Así pues queda claro que la presión de tarado de la válvula de seguridad, no solo depende del resorte y de sus características constructivas, sino que también depende de las condiciones de operación, a través de la contrapresión existente. Con lo que las válvulas conviene tararlas, tal y como marca la norma UNE 9-100-86, una vez instalada la misma en las condiciones de fluido, presión y temperatura correspondientes a su servicio.

Algunos fabricantes muestran en las especificaciones técnicas de la válvula, gráficos para realizar un correcto tarado inicial de la válvula de seguridad, en función de la contrapresión existente y de la presión de tarado que se pretende alcanzar.

También existen algunos tipos de válvulas de seguridad comercializadas que incorporan un fuelle intermedio con el objeto de eliminar el efecto de la contrapresión.

#### **3.4.8.7 Características constructivas**

Los materiales empleados en la construcción de las válvulas de seguridad deberán ser adecuados para la presión, temperatura y fenómenos de corrosión según el fluido que contenga el recipiente y para cualquier condición de operación. La presión de diseño de la válvula de seguridad deberá ser superior al 110% de la presión máxima de servicio, ya que es la que se alcanzará en el interior del equipo, pero preventivamente sería conveniente que fuera, al menos, dos veces la presión máxima de servicio.

La temperatura límite de trabajo de la válvula de seguridad debe de ser superior a la temperatura máxima de servicio del equipo protegido, es decir superior a aquella que se puede alcanzar en condiciones extremas de funcionamiento. Por ejemplo, para el caso de equipos que contienen líquidos con aporte energético, la temperatura límite de la válvula debe ser superior a la temperatura de saturación del líquido contenido al 110% de la presión de tarado de la válvula, puesto que es la que se alcanzaría en caso de fallo del mecanismo de corte del aporte energético.

En cuanto al diseño, las válvulas de seguridad deben de estar construidas de forma que la rotura de cualquier parte de ella no pueda obstruir la descarga libre y total del fluido a presión.

Las partes móviles, cierres y vástagos, deben de estar guiados de forma efectiva y se debería tener en cuenta el posible efecto de la expansión y contracción diferencial, así como la presencia de grasas y depósitos.

Cada válvula debería llevar incorporada de forma permanente la información necesaria para identificar al elemento, como: identificación del fabricante, tamaños nominales de entrada y salida, sentido del flujo, presión de tarado, coeficientes de descarga y sección neta correspondiente al flujo.

Es conveniente que cada válvula de seguridad esté provista de **una palanca de apertura manual que permita descargarla a una presión inferior a la de tarado**, pero hay que tener en cuenta que esta palanca, en caso de tener un peso considerable, estando en su punto muerto podría transmitir cierto esfuerzo sobre el mecanismo de apertura de la válvula, con lo que debería estar diseñada de forma que esto no se produjera.

También se debe indicar que el diseño de las válvulas debería contemplar la instalación de un mecanismo de precinto del órgano de regulación de la presión de tarado, con el objeto de impedir la manipulación no autorizada de este órgano.

Por último tener en cuenta que en medios corrosivos es conveniente la instalación de válvulas de materiales especiales, por ejemplo, desde hace algunos años, algunas válvulas para este tipo de medios están construidas con polímeros fluorados como revestimiento interior de una carcasa metálica, consiguiendo con esta combinación buenas propiedades anticorrosivas junto con una elevada resistencia mecánica.



#### **3.4.8.8 Montaje.**

El adecuado comportamiento de las válvulas de seguridad después de montadas puede estar influenciado por una instalación defectuosa o por la utilización de tuberías inadecuadas. La mala instalación de las válvulas de seguridad no solo puede llevar a su destrucción, sino a dar lugar a peligrosos daños sobre las instalaciones y equipos protegidos. Así pues, las válvulas deben ser cuidadosamente manejadas durante su instalación, procurando que los esfuerzos a los que puedan estar sometidas no se transmitan a los elementos móviles y de cierre, dañándolos.

Cada compartimento estanco de los sistemas y equipos a presión protegidos mediante válvulas de seguridad debe considerarse como independiente y ser conectado convenientemente al elemento de alivio de presión. La instalación se efectuará en la zona de vapor o gas, por encima del nivel de líquido, o a la tubería conectada a esta zona de vapor o gas.

Las válvulas de seguridad deberían montarse sobre conexiones planas o tubulares utilizadas con este fin, con sección mínima igual a la suma de las secciones de todas las válvulas montadas en ellas.

La conexión entre la válvula y el recipiente debe ser robusta y corta, sin generar estrechamientos, es decir con una sección de paso al menos igual que el área neta de la válvula de seguridad; esta conexión debe estar diseñada para generar la mínima pérdida de presión posible entre el recipiente y la válvula, la que no debería de exceder del 3% de la presión de tarado.

En las válvulas de conexión bridada, es importante una adecuada elección de las juntas ya que estas, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, podrían llegar a reducir la sección de paso de la válvula, así como también realizar un correcto apretado de los pernos de forma uniforme para evitar posibles distorsiones. Así mismo en las válvulas roscadas hay que utilizar una llave adecuada, teniendo especial cuidado en no doblar los manguitos roscados en el montaje.

En las instalaciones nuevas, es conveniente limpiar el circuito antes de instalar la válvula de seguridad con el objeto de eliminar posibles partículas, como restos de soldaduras, que pudieran provocar un defectuoso funcionamiento de la válvula.

Una vez instaladas las válvulas, hay que comprobar que no existen fugas y utilizar un manómetro calibrado para determinar si la válvula está trabajando correctamente.

El tarado de las válvulas hay que realizarlo en las condiciones de fluido, presión y temperatura correspondientes a su servicio, y posteriormente precintarse el órgano de regulación de la presión de tarado para impedir su manipulación posterior. Si una vez instalada la válvula cambian las condiciones de operación, se desprecinta la válvula y se actúa sobre el órgano de regulación de la presión de tarado dentro del rango de presiones para el que es adecuado el resorte, si la regulación necesaria estuviera fuera del estrecho rango de presiones de ese resorte, se tiene que cambiar éste y reajustarlo convenientemente, una vez realizado el ajuste la válvula debe de precintarse de nuevo.

Las válvulas de seguridad deben estar dotadas de tuberías de escape independientes, las cuales deberían tener al menos igual sección que la salida de la válvula, ya que la reducción en el paso de la tubería de salida produciría un aumento de presión tras la válvula, lo que influiría en el comportamiento de ésta. Es importante no producir excesiva contrapresión cuando se instalen silenciadores, filtros u otros accesorios que puedan estrangular el paso en la tubería de salida, así como diseñar esta tubería de tal forma que disponga de los mínimos codos y sea lo más corta posible, produciendo una descarga segura, en un punto donde no ocasione riesgos, es decir que no circulen personas, etc.

La tubería de escape deberá estar dispuesta y apoyada de forma que no transmita esfuerzos ni vibraciones a la válvula.

#### **3.4.8.9 Instalación**

Las válvulas de seguridad de alivio de presión deben ser instaladas en todos aquellos equipos o sistemas que trabajen a presión, para protegerlos frente a sobrepresiones debido a condiciones anormales de operación (por elevación de temperatura, por llenado, reacción incontrolada, etc) y debido a situaciones de emergencias (incendios, etc). Así pues deben instalarse en calderas de vapor, de agua caliente, en sobrecalentadores, recalentadores, reactores, acumuladores, en depósitos, etc, así como en aquellos sistemas de tuberías donde circulan fluidos a cierta presión y es posible un bloqueo del fluido en un tramo, pudiendo darse una sobrepresión.

Una cuestión importante es la ubicación y el adecuado dimensionado de las válvulas en los equipos donde están instaladas, lo que se debe tener en cuenta tanto en la fase de diseño como en las modificaciones posteriores que se realicen en los sistemas, por ejemplo no deben de instalarse válvulas de seguridad tras caudalímetros que regulen

condiciones de operación del sistema, ya que en el caso de que la válvula de seguridad este aliviando, la medida de caudal sería errónea.

Hay que resaltar la importancia del precinto del órgano de regulación de la presión de tarado, con el objeto que no pueda ser actuado por personal no formado para ello. Cuando debido a cambios de operación, es necesario cambiar el tarado, tal y como se explicó en el punto anterior, lo deberá realizar personal técnicamente capacitado, cambiando el resorte si procede, y con los medios adecuados, como es el empleo de un manómetro calibrado. Es una operación que merece especial atención, puesto que con ella se fijan las características del elemento de seguridad que protege el equipo a presión.

Cada vez que se produzca una variación, tanto de las instalaciones como de las condiciones de operación del sistema, hay que revisar la vigencia de la presión de tarado y de la capacidad de alivio de las válvulas de seguridad, Es importante que no se produzcan acumulaciones de condensado en la tubería de escape de la válvula, que puedan incluso solidificar y obstruir la salida de la válvula, no debe ser posible su bloqueo por formación de tapones de hielo.

Se evitará instalar una válvula de cierre entre un aparato o sistema y su válvula de seguridad, con el objeto de que no sea posible el cierre ocasional de ésta, con la consiguiente anulación de la válvula de seguridad. No obstante, en los casos en que se prevea que ha de revisarse con cierta frecuencia una válvula de seguridad para proceder a su mantenimiento o asegurar su conservación sin necesidad de interrumpir un proceso continuo, es conveniente instalar varias válvulas de seguridad en paralelo, como mínimo dos, con las correspondientes válvulas de cierre o bloqueo, de tal forma que se pueda cerrar y realizar las operaciones de mantenimiento sobre una de las válvulas sin necesidad de parar el proceso y sin que quede el equipo sin protección. Para ello en cualquier caso, las válvulas de seguridad no bloqueadas deberían tener entre todas ellas la capacidad de descarga necesaria para el equipo o sistema en el que están instaladas. Para evitar que todas las válvulas de seguridad puedan quedar bloqueadas, las válvulas de cierre deberían constar de un sistema de enclavamiento que impidiera el cierre simultaneo de ellas o bien instalar una sola válvula de cierre de varios pasos, de modo que cerrando la vía hacia la válvula de seguridad que se vaya a dejar fuera de servicio, quede abierta la vía hacia la otra u otras que quedan en servicio.

Cuando el fluido contenido en el equipo o sistema protegido por la válvula es inflamable, la tubería de descarga debería estar diseñada de tal forma que en caso de

inflamarse el fluido, no pueda producir recalentamientos locales ni que el fuego incida en cualquier parte del recipiente. Cuando se trata de fluidos peligrosos (inflamables, tóxicos, etc.) la descarga debería estar canalizada y llevada hacia un lugar seguro y controlado, a una antorcha en caso de inflamables y a neutralización en el caso de tóxicos.

#### **3.4.8.10 Mantenimiento**

Es importante realizar un adecuado mantenimiento preventivo de las válvulas de seguridad de los equipos, ya que supone la reducción del número de paradas de emergencia o de accidentes que puedan suceder por deficiente funcionamiento de estos elementos y la consiguiente rentabilidad y seguridad de la instalación.

Las válvulas deben ser inspeccionadas con regularidad para comprobar que están trabajando correctamente, y periódicamente deben ser desmontadas totalmente para verificar que sus distintos elementos no presentan anomalías, así como que su interior este limpio de acumulaciones de moho, incrustaciones o sustancias extrañas, que el asiento del disco de cierre este correcto, y que el muelle no haya perdido sus características. Posteriormente deben montarse y probarse con el equipo en funcionamiento, verificándose el disparo a la presión de precinto.

Previamente al desmontado o reparación de una válvula, se deberá comprobar que el equipo ha quedado sin presión y que está en adecuadas condiciones para realizar el trabajo.

Estas inspecciones, que preventivamente deberían realizarse una vez al año, están reglamentadas para algunos equipos donde se establece las frecuencias con que se deben realizar. Estas inspecciones serían realizadas bien por el fabricante, el instalador o el servicio de mantenimiento de la empresa. Si en alguna de las inspecciones se detecta que la válvula tiene fugas, debe ser desmontada a la primera oportunidad, teniendo la precaución de que no exista presión en el interior del equipo. Tras desmontar la válvula quedarían accesibles los componentes interiores y las superficies del asiento para poder realizar la inspección y el mantenimiento, rectificando están superficies en caso de que estén defectuosas. A continuación se debe comprobar que el interior de la válvula esta limpio y montarse de nuevo.

Antes de desmontar las válvulas es práctico medir la altura del tornillo de regulación, con el fin de que en el montaje sea más fácil el ajuste de la presión de tarado que se afinará con un manómetro calibrado.

Es recomendable actuar sobre el sistema de disparo de las válvulas de seguridad periódicamente, observando su correcto funcionamiento, y así asegurar su adecuado comportamiento en condiciones de operación.

### 3.4.9 CALCULO DE VALVULAS DE SEGURIDAD.

La siguiente fórmula se utiliza para el dimensionamiento de las válvulas de vapor servicio en un 10% de sobrepresión. Esta fórmula se basa en la Napier fórmula empírica para el flujo de vapor. Factores de corrección se incluyen para tener en cuenta los efectos de recalentamiento, de vuelta la presión y el flujo suscritico. Un factor de corrección adicional  $K_n$  Se requiere por ASME al aliviar la presión ( $P_1$ ) está por encima de 1500 pisa.

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

Dónde:

$A$  = área mínima requerida de cumplimiento efectivo, pulgadas cuadradas

$W$  = la capacidad necesaria para aliviar, libras por hora

$K$  = coeficiente de descarga efectiva,  $K = 0.975$

$P_1$  = presión de trabajo (psig) + sobrepresión (PSI) + presión atmosférica (psia).

$K_{sh}$  = Capacidad factor de corrección por el grado de sobrecalentamiento en el vapor.

Para el uso de vapor saturado

$K_{sh} = 1.00$ . Véase la Tabla 3.4.9.1-1 para otros valores.

$K_n$  = Capacidad factor de corrección para el vapor saturado seco a presiones de conjunto por encima de 1500 psia y hasta 3200 psia. Ver Tabla 3.4.9.1-2

$K_b$  = Factor de corrección para efectos de la contrapresión.



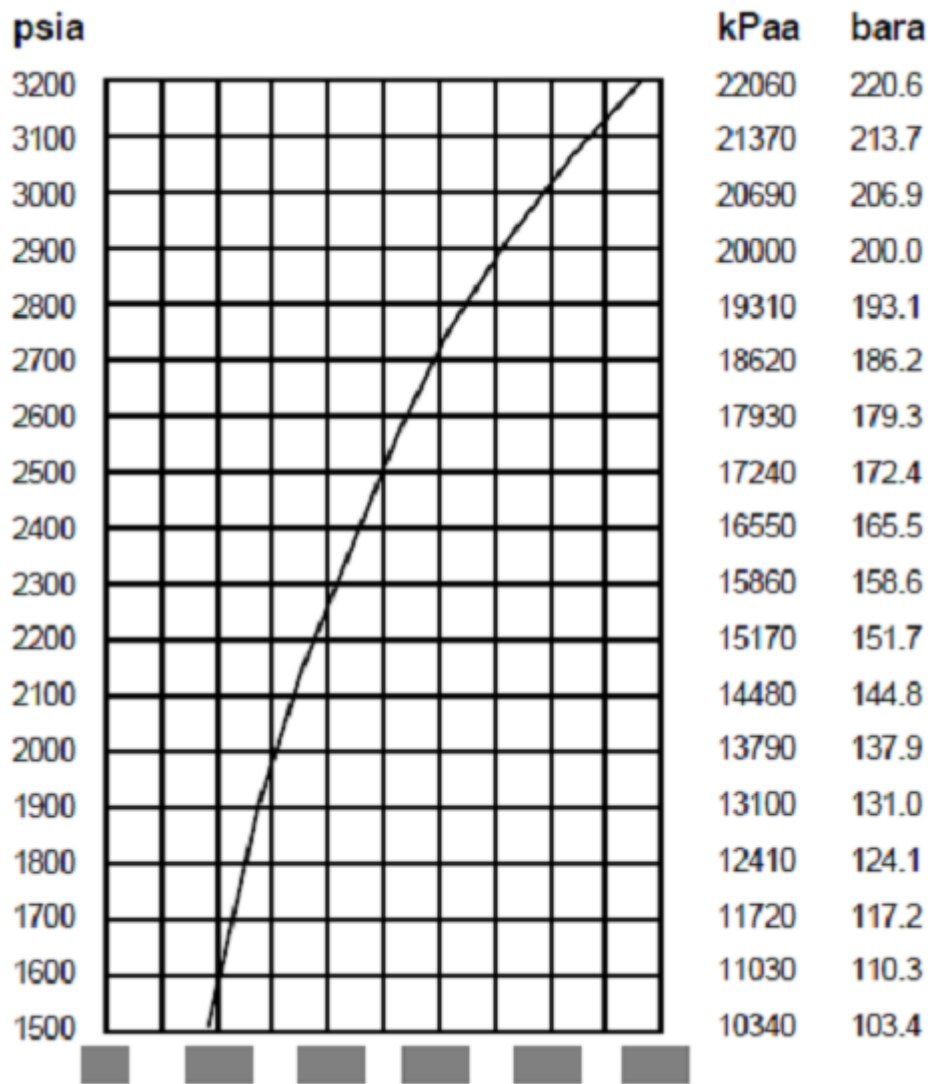


Tabla 3.4.9.1-2 Factor de Correccion Kn

### **3.4.10 Pruebas en recipientes a presión**

Durante la fabricación de cualquier recipiente a presión, se efectúan diferentes pruebas para llevar a cabo un control de calidad aceptable, estas pruebas son, entre otras, Radiografiado, Pruebas de partículas magnéticas, Ultrasonido, Pruebas con líquidos penetrantes, etc.

Este tipo de pruebas, como se mencionó anteriormente, son efectuadas durante la fabricación y el departamento de Control de Calidad de cada compañía es responsable de que estas pruebas se lleven a cabo.

En este capítulo describiremos de una manera muy breve, las pruebas que se les deberá aplicar a los recipientes sometidos a presión una vez que se han terminado de fabricar, esta prueba se denomina prueba hidrostática, ya que generalmente es el tipo de prueba que se aplica, aun que también existe la prueba neumática.

#### **3.4.10.1 Prueba Hidrostática**

Consiste en someter el recipiente a presión una vez terminado a una presión **1.5** veces la presión de diseño y conservar esta presión durante un tiempo suficiente para verificar que no haya fugas en ningún cordón de soldadura, como su nombre lo indica, esta prueba se lleva a cabo con líquido, el cual generalmente es agua.

Cuando se lleva a cabo una prueba hidrostática en un recipiente a presión, es recomendable tomar las siguientes precauciones:

- 1.- Por ningún motivo debe excederse la presión de prueba señalada en la placa de nombre.
- 2.- En recipientes a presión usados, con corrosión en cualquiera de sus componentes, deberá reducirse la presión de prueba proporcionalmente.
- 3.- Siempre que sea posible, evítese hacer pruebas neumáticas, ya que además de ser peligrosas, tienden a dañar los equipos.



### **3.4.10.2 Pruebas Neumáticas**

Las diferencias básicas entre este tipo de pruebas y la prueba hidrostática, consisten en el valor de la presión de prueba y el fluido a usar en la misma, la presión neumática de prueba es alcanzada mediante la inyección de gases.

Como ya dijimos anteriormente, no es recomendable efectuar pruebas neumáticas, sin embargo, cuando se haga indispensable la práctica de este tipo de prueba, se deberán tomar las siguientes precauciones:

**1.-** Las pruebas neumáticas deben sobrepasar con muy poco la presión de operación, el **Código A.S. RECIPIENTES CILÍNDRICOS HORIZONTALES**

Se enunciarán los procedimientos a seguir para efectuar los cálculos necesarios en el diseño de diferentes tipos de recipientes a presión, en el caso de los cilíndricos horizontales, es necesario efectuar los siguientes cálculos.

### **3.4.10.3 Prueba de elasticidad**

Esta prueba cuando se efectúa, se lleva a cabo de manera simultánea con la prueba hidrostática, su objetivo se verificar al comportamiento elástico del material de fabricación del recipiente y el procedimiento para llevarla a cabo se describe a continuación.

**1.-** Primeramente, se llena el recipiente a probar con agua hasta que por el punto más alto del recipiente escape el agua una vez que se haya abierto el venteo.

**2.-** Cerramos la válvula de venteo y comenzamos a inyectar agua a fin de elevar la presión, el agua que introduzcamos para este fin, la tomaremos de una bureta graduada para cuantificar de manera exacta el agua que inyectamos para levantar la presión hasta alcanzar el valor de la presión de prueba.

**3.-** Se mantendrá la presión de prueba durante el tiempo suficiente para verificar que no haya fugas y posteriormente, se baja la presión hasta tener nuevamente la presión atmosférica en el recipiente. Es sumamente importante recoger el agua sacada para bajar la presión, ya que compararemos este volumen con el inyectado para aumentar la presión y esta comparación nos indicará si las deformaciones sufridas por el recipiente mientras se sometió a la prueba hidrostática, rebasaron el límite elástico.

## **CAPITULO IV.**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

## **TACHO No. 9.- CUADRO DE ESPECIFICACIONES Y CALCULOS**

MATERIAL:

PLACA DE ACERO,

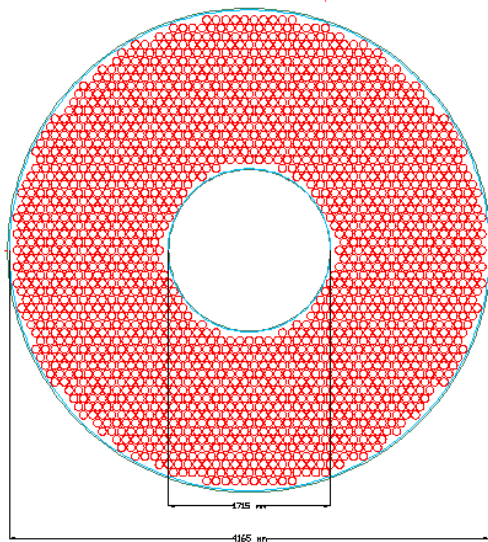
CUERPO: ASTM A-36

ESPEJOS ASTM A-285 GR. "C"

PRESION REGULADA: 30 PSI = 2.11 Kg/cm<sup>2</sup>

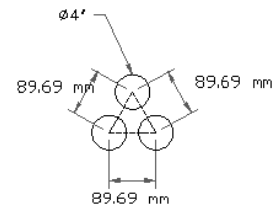
PRESION DE OPERACION: 25 PSI= 1.76 Kg/cm<sup>2</sup>

PRESION DE DISEÑO: 30 PSI= 2.11 Kg/cm<sup>2</sup>



**NOTAS:**

- 1.- No. TOTAL DE BARRENOS DE Ø(4") 802
- 2.- VER DETALLE DE DISTRIBUCION DE BARRENOS



**DETALLE DE DISTRIBUCION**

### **ESPEJOS O TAPAS DEL TACHO**

#### **A) CALCULO DE LA SUPERFICIE EXPUESTA A PRESION**

**H = SUPERFICIE PARTE CILINDRICA + SUPERFICIE DE TAPAS - SUPERFICIE DE CONEXIONES**

$$H = \pi * L * (D + d) + 2 * (\pi/4 * (D^2 - d^2) - \pi/4 * (Df^2) * n) - \pi/4 (d_5^2 + d_6^2 + d_7^2 + d_8^2 + d_9^2 + d_{10}^2)$$

Donde:

D = Diámetro máximo interior

d = Diámetro exterior de tubo central

L = Longitud total de la parte cilíndrica

Df = Diámetro de fluxes

n = Numero de fluxes

d5 d6 d7 d8 d9 d10 = Diámetro de conexiones

Datos:

$$D = 164" = 4165 \text{ mm}$$

$$d = 67.5" = 1715 \text{ mm}$$

$$L = 49" = 1245 \text{ mm}$$

$$D_f = 4" = 101.6 \text{ mm}$$

$$n = 802$$

$$d_5 = 20" = 508 \text{ mm}, \quad d_6 = 2" = 50.8 \text{ mm}, \quad d_7 = \frac{1}{2}" = 12.7 \text{ mm}, \quad d_8 = d_9 = d_{10} = 4" = 101.6 \text{ mm}$$

$$\text{SUPERFICIE PARTE CILINDRICA (SPC)} = \pi * L * D + \pi * L * d = \pi * L * (D + d)$$

$$\text{SPC} = \pi * 1.245 * (4.165 + 1.715)$$

$$\text{SPC} = \underline{\underline{22.998 \text{ m}^2}}$$

$$\text{SUPERFICIE DE TAPAS (ST)} = 2 * (\pi/4 * (D^2 - d^2) - \pi/4 * (D_f^2) * n)$$

Como son 2 tapas por eso se multiplica por 2

$$\text{ST} = 2 (\pi/4 * (4.165^2 - 1.715^2) - \pi/4 * (0.1016^2) * 802)$$

$$\text{ST} = \underline{\underline{9.625 \text{ m}^2}}$$

$$\text{SUPERFICIE DE CONEXIONES (SC)} = \pi/4 (d_5^2 + d_6^2 + d_7^2 + d_8^2 + d_9^2 + d_{10}^2)$$

1 Conexión bridada de  $\varnothing 20"$  para entrada de vapor ( $d_5$ )

2 Conexión de  $\varnothing 2"$  para salida de gases ( $d_6$ )

2 Cople de  $\varnothing 1/2"$  para nivel de condensados ( $d_7$ )

1 Conexión bridada de  $\varnothing 4"$  para condensados ( $d_8$ )

1 Conexión bridada de  $\varnothing 4"$  para condensados ( $d_9$ )

2 Conexión bridada de  $\varnothing 4"$  para agua ( $d_{10}$ )

$$\text{SC} = \pi/4 (d_5^2 + 2*d_6^2 + 2*d_7^2 + d_8^2 + d_9^2 + 2*d_{10}^2)$$

$$\text{SC} = \pi/4 (0.508^2 + 2*(0.0508)^2 + 2*(0.0127)^2 + 4*(.1016)^2)$$

$$\text{SC} = \underline{\underline{0.2394 \text{ m}^2}}$$

$$H = SPC + ST - SC$$

$$H = \underline{22.998 \text{ m}^2} + \underline{9.625 \text{ m}^2} - \underline{0.2394 \text{ m}^2}$$

$$\underline{H = 32.3838 \text{ m}^2}$$

## B) CALCULO DE ESPESOR MINIMO PARA LA PRESION DE OPERACION

Con la presión de operación o de trabajo calculamos el espesor mínimo que debe tener el recipiente sujeto a presión con la ecuación de acuerdo a la **Sección VIII** del **Código A.S.M.E., División 1**.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Donde:

P = Presión máxima permisible de trabajo

S = Esfuerzo máximo permisible

E = Eficiencia de la construcción soldada

t = Espesor de la plancha

R = Radio interior del cilindro

Datos:

$$P = 25 \text{ psi} = 1.76 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 13\,800 \text{ psi} = 970.236 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 0.70$$

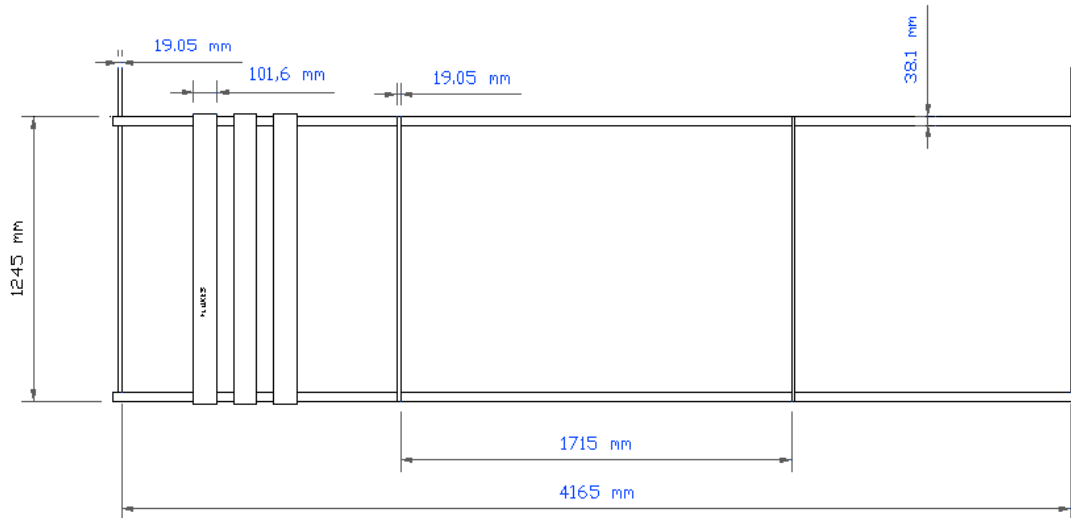
$$t = ?$$

$$R = 82'' = 2082.5 \text{ mm}$$

$$t = \frac{(1.76 \text{ Kg/cm}^2) (82'')}{(970.236 \text{ Kg/cm}^2) (0.70) - 0.6 (1.76 \text{ Kg/cm}^2)} = 0.2128'' < 0.25'' (1/4'')$$

El espesor mínimo será de **1/4''**

**C) CALCULO DE LA PRESION INTERNA MAXIMA DE TRABAJO EN CUERPOS Y TAPAS EN LA CALANDRIA.**



**CALANDRIA DEL TACHO**

El espesor del recipiente construido es de  $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto el equipo soportara la presión de trabajo.

Ahora calculamos la presión interna máxima que puede soportar dicho espesor construido.

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0.6t}$$

Datos:

$$P = ?$$

$$S = 13\,800 \text{ psi} = 970.236 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 0.70$$

$$t = \frac{3}{4}'' = 19.05 \text{ mm}$$

$$R = 82'' = 2082.5 \text{ mm}$$

De acuerdo a la formula de la Presión Interna, sustituimos los datos.

$$P = \frac{(970.236 * 0.70 * 19.05)}{(2082.5 + 0.6 * 19.05)}$$

$$\underline{\underline{P = 6.179 \text{ kg/cm}^2}}$$

Con el espesor construido (3/4") el recipiente puede soportar una presión de interna máxima de **P= 6.179 kg/cm<sup>2</sup>**

#### **D) CALCULO DE LA PRESION EXTERNA MAXIMA DE TRABAJO PARA CILINDRO CENTRAL DE LA CALANDRIA.**

Para el cálculo de la presión externa máxima de acuerdo a la **Sección VIII del Código A.S.M.E., División 1**, se utiliza la ecuación siguiente.

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

Donde:

Pa = Presión de trabajo permisible

L = Longitud del cilindro interno

Do = Diámetro exterior máximo

B = Valor de tablas con L / Do Y Do / t

t = Espesor de la plancha

Datos:

Pa = ?

L = 49" = 1245 mm

Do = 67.5" = 1715 mm

B = ?

t = 3/4"

Calculamos las relaciones L / Do Y Do / t

$L / Do = 49 / 67.5 = 0.7259$

$Do / t = 67.5 / .75 = 90$

Con las relaciones buscamos en la Grafica No. 3.4.7.2.1-1, y encontramos el valor de A

A = 0.0025

Obtenido el Valor de A y la temperatura de Diseño, buscamos en la Grafica No. 3.4.7.2.1-2

$$A = 0.0025$$

$$T = 500 \text{ }^\circ\text{F}$$

Encontramos el valor de B.

$$B = 12\,000 \text{ PSI} = 843.874 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituimos los valores dados y encontrados en la formula de la Presión Externa.

$$P_a = \frac{(4 * 843.874)}{(3 * 90)}$$

$$\underline{P_a = 12.501 \text{ kg/cm}^2}$$

### E) CALCULO DE VALVULAS DE SEGURIDAD.

Para el cálculo del área requerida en la válvula de seguridad de acuerdo a Crosby Engineering Handbook se tiene la siguiente ecuación.

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

A = área mínima requerida de cumplimiento efectivo, pulgadas cuadradas

W = flujo de vapor, libras por hora.

K = coeficiente de descarga efectiva, K = 0.975

P1 (presión absoluta total)= presión de diseño (psi) + sobrepresión (psi) + presión atmosférica (psi).

Ksh = Factor de corrección por el grado de sobrecalentamiento en el vapor. Para el uso de vapor saturado

Ksh = 1.00. Véase la Tabla 3.4.9.1-1 para otros valores.

Kn = Capacidad factor de corrección para el vapor saturado seco a presiones de conjunto por encima de 1500 psia y hasta 3200 psia. Ver Tabla 3.4.9.1-2

Kb = factor de corrección debido a la contrapresión.



**W (Flujo de vapor) = 29 526 lb/h**

**Presión de operación = 25 psi = 1.76 Kg/cm<sup>2</sup>**

**Presión Atmosférica = 14.7 psi**

**Sobrepresión = 10% de la presión de operación**

La sobrepresión la obtenemos multiplicando el porcentaje de sobrepresión por la presión de diseño.

**Sobrepresión = 0.1 \* 25 = 2.5 psi**

Se suman las presiones para obtener la presión absoluta total.

**P1 = la presión de diseño (psi) + sobrepresión (psi) + presión atmosférica (psi).**

**P1 = 25 psi + 14.7 psi + 2.5 psi**

**P1 = 42.2. psi**

**K = 0.975** coeficiente de descarga de este tipo de válvula de seguridad.

Como el vapor que se utiliza es vapor saturado y no sobrecalentado, por lo tanto,

**Kn = 1** Y **Ksh = 1**

Kb = factor de corrección debido a la contrapresión.

$$K_b = \frac{\text{Contrapresión}}{\text{Presión de Diseño}}$$

Contrapresión = 25 pulg Hg = 28.96 Kg/cm<sup>2</sup>

$$K_b = \frac{28.96 \text{ Kg/cm}^2}{2.11 \text{ Kg/cm}^2} = 13.725$$

**Kb = 13.725**

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

$$A = \frac{29\,526}{51.5 * 0.975 * 42.2 * 1 * 13.725 * 1}$$

$$\underline{A = 1.015 \text{ ln}^2}$$

## EVAPORADOR 1 EQ. C.- CUADRO DE ESPECIFICACIONES Y CALCULOS

MATERIAL:

PLACA DE ACERO

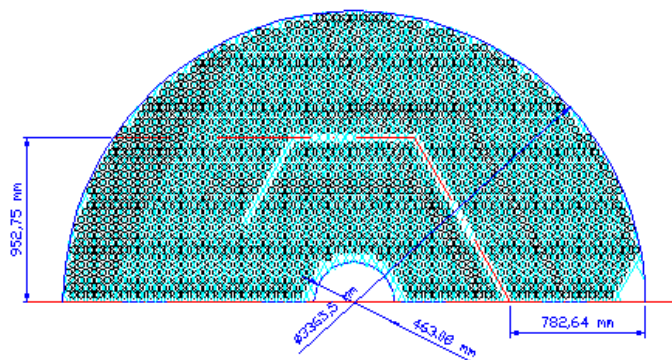
CUERPO: ASTM A-36

ESPEJOS ASTM A-285 GR. "C"

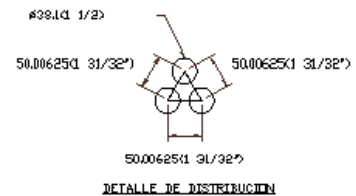
PRESION REGULADA: 25 PSI = 1.76 Kg/cm<sup>2</sup>

PRESION DE OPERACION: 15 PSI= 1.055 Kg/cm<sup>2</sup>

PRESION DE DISEÑO: 25 PSI = 1.76 Kg/cm<sup>2</sup>



**MITAS**  
1- N° TOTAL DE BARRENDOS DE #1 1/2> 3,714  
2- VER DETALLE DE DISTRIBUCION DE BARRENDOS



### ESPEJOS O TAPAS DEL EVAPORADOR

#### A) CALCULO DE LA SUPERFICIE EXPUESTA A PRESION

**H=SUPERFICIE PARTE CILINDRICA + SUPERFICIE DE TAPAS - SUPERFICIE DE CONEXIONES**

$$H = \pi * L * (D + d) + 2 * (\pi/4 * (D^2 - d^2) - \pi/4 * (Df^2) * n) - \pi/4 (d1^2 + d2^2 + d3^2)$$

Donde:

D = Diámetro máximo interior

d = Diámetro exterior de tubo central

L = Longitud total de la parte cilíndrica

Df = Diámetro de fluxes

n = Numero de fluxes

d1 d2 d3 = Diámetro de conexiones

Datos:

$$D = 132.5" = 3365.5 \text{ mm}$$

$$d = 18 \frac{5}{8}" = 473.08 \text{ mm}$$

$$L = 120" = 3048 \text{ mm}$$

$$D_f = 1.5" = 38.1 \text{ mm}$$

$$n = 3714$$

$$d_1 = 20" = 508 \text{ mm}, \quad d_2 = 3" = 76.20 \text{ mm}, \quad d_3 = 2" = 50.8 \text{ mm},$$

$$\text{SUPERFICIE PARTE CILINDRICA (SPC)} = \pi * L * D + \pi * L * d = \pi * L * (D + d)$$

$$\text{SPC} = \pi * 3.048 * (3.3655 + 0.47308)$$

$$\underline{\text{SPC} = 36.7566 \text{ m}^2}$$

$$\text{SUPERFICIE DE TAPAS (ST)} = 2 * (\pi/4 * (D^2 - d^2) - \pi/4 * (D_f^2) * n)$$

Como son 2 tapas por eso se multiplica por 2

$$\text{ST} = 2 (\pi/4 * (3.3655^2 - 0.47308^2) - \pi/4 * (0.0381^2) * 3714)$$

$$\underline{\text{ST} = 10.789 \text{ m}^2}$$

$$\text{SUPERFICIE DE CONEXIONES (SC)} = \pi/4 (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2)$$

1 Conexión bridada de  $\varnothing 20"$  para entrada de vapor ( $d_1$ )

1 Conexión bridada de  $\varnothing 3"$  para condensados ( $d_2$ )

1 Conexión brida de  $\varnothing 2"$  para salida de gases ( $d_3$ )

$$\text{SC} = \pi/4 (0.508^2 + 0.0762^2 + 0.0508^2)$$

$$\underline{\text{SC} = 0.2093 \text{ m}^2}$$

$$H = \text{SPC} + \text{ST} - \text{SC}$$

$$H = \underline{36.7566 \text{ m}^2} + \underline{10.789 \text{ m}^2} - \underline{0.2093 \text{ m}^2}$$

$$\underline{H = 47.3363 \text{ m}^2}$$

## B) CALCULO DE ESPESOR MINIMO PARA LA PRESION DE OPERACION

Con la presión de operación o de trabajo calculamos el espesor mínimo que debe tener el recipiente sujeto a presión con la ecuación de acuerdo a la **Sección VIII** del **Código A.S.M.E., División 1**.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Donde:

P = Presión máxima permisible de trabajo

S = Esfuerzo máximo permisible

E = Eficiencia de la construcción soldada

t = Espesor de la plancha

R = Radio interior del cilindro

Datos:

P= 1.055 Kg/cm<sup>2</sup>

S= 13 800 psi = 970.236 Kg/cm<sup>2</sup>

E= 0.70

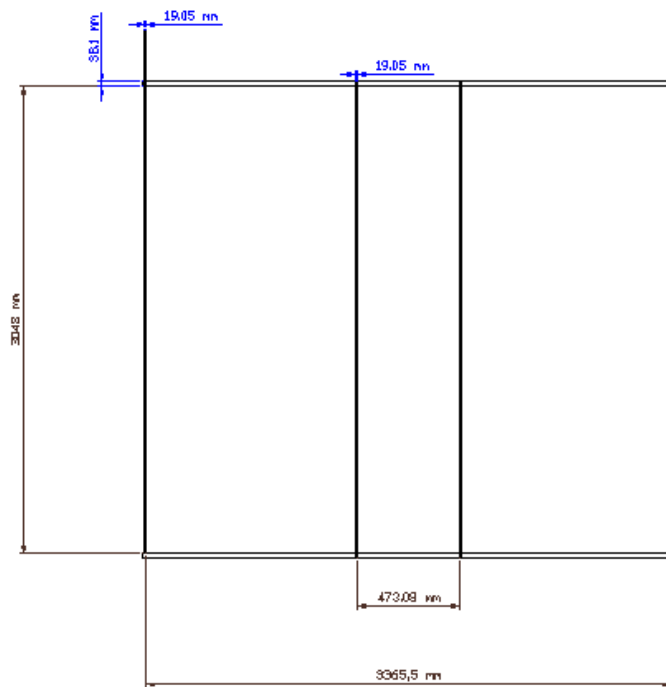
t = ?

R= 66.25" = 1682.75 mm

$$t = \frac{(1.055 \text{ Kg/cm}^2) (66.25")}{(970.236 \text{ Kg/cm}^2) * (0.70) - 0.6 * (1.055 \text{ Kg/cm}^2)} = 0.1030" < 0.125" (2/16")$$

El espesor mínimo será de **2/16"**

**C) CALCULO DE LA PRESION INTERNA MAXIMA DE TRABAJO EN CUERPOS Y TAPAS EN LA CALANDRIA.**



**CALANDRIA DEL EVAPORADOR**

El espesor es del recipiente construido es de  $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto el equipo soportara la presión de trabajo.

Ahora calculamos la presión interna máxima que puede soportar el recipiente construido.

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0.6t}$$

P= ?

S= 13 800 psi = 970.236 Kg/cm<sup>2</sup>

E= 0.70

t =  $\frac{3}{4}$ " = 19.05 mm

R= 66.25" = 1682.75 mm

De acuerdo a la formula de la Presión Interna, sustituimos los datos.

$$P = \frac{(970.236 * 0.70 * 19.05)}{(1682.75 + 0.6 * 19.05)}$$

**P= 7.637 kg/cm<sup>2</sup>**

Con el espesor construido (3/4") el recipiente puede soportar una presión de interna máxima de **P= 7.637 kg/cm<sup>2</sup>**

#### **D) CALCULO DE PRESION EXTERNA MAXIMA DE TRABAJO PARA CILINDRO CENTRAL DE LA CALANDRIA.**

Para el cálculo de la presión externa máxima de acuerdo a la **Sección VIII** del **Código A.S.M.E., División 1**, se utiliza la ecuación siguiente.

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

Donde:

Pa = Presión de trabajo permisible

L = Longitud del cilindro central

t = Espesor de la plancha

Do = Diámetro exterior máximo

B = Valor de tablas con L / Do Y Do / t

Datos:

Pa = ?

L = 120" = 3048 mm

Do = 18 5/8" = 473.08 mm

B = ?

t = 3/4"

Calculamos las relaciones L / Do Y Do / t

$$L / Do = 120 / 18.625 = 6.4429$$

$$Do / t = 18.625 / .75 = 24.833$$

Con las relaciones buscamos en la Grafica No. 3.4.7.2.1-1, y encontramos el valor de A

$$A = 0.002$$

Obtenido el Valor de A y la temperatura de Diseño, buscamos en la Grafica No. 3.4.7.2.1-2

$$A = 0.002$$

$$T = 500 \text{ }^\circ\text{F}$$

Encontramos el valor de B.

$$B = 11\,500 \text{ PSI} = 808.713 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituimos los valores dados y encontrados en la formula de la Presión Externa.

$$Pa = \frac{(4 * 808.713)}{(3 * 24.833)}$$

$$Pa = 43.4214 \text{ kg/cm}^2$$

### E) CALCULO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

A = área mínima requerida de cumplimiento efectivo, pulgadas cuadradas

W = flujo de vapor, libras por hora.

K = coeficiente de descarga efectiva, K = 0.975

P1 (presión absoluta total)= la presión de diseño (psi) + sobrepresión (psi) + presión atmosférica (psi).

Ksh = Factor de corrección por el grado de sobrecalentamiento en el vapor. Para el uso de vapor saturado

Ksh = 1.00. Véase la Tabla 3.4.9.1-1 para otros valores.

Kn = Capacidad factor de corrección para el vapor saturado seco a presiones de conjunto por encima de 1500 psia y hasta 3200 psia. Ver Tabla 3.4.9.1-2

Kb = factor de corrección debido a la contrapresión.

$$W \text{ (Flujo de vapor)} = 20\,346 \text{ lb/h}$$

$$\text{Presión de Operación} = 15 \text{ PSI} = 1.055 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Presión Atmosférica} = 14.7 \text{ psi}$$

$$\text{Sobrepresión} = 10\% \text{ de la presión de operación}$$

La sobrepresión la obtenemos multiplicando el porcentaje de sobrepresión por la presión de diseño.



$$\text{Sobrepresión} = 0.1 * 15 = 1.5 \text{ psi}$$

Se suman las presiones para obtener la presión absoluta total.

**P1**= la presión de operación (psi) + sobrepresión (psi) + presión atmosférica (psi).

$$P1 = 15 \text{ psi} + 14.7 \text{ psi} + 1.5 \text{ psi}$$

$$\underline{P1 = 31.2 \text{ psi}}$$

Para estas válvulas tiene un coeficiente de descarga

$$\underline{K = 0.975}$$

Como el vapor que se utiliza es vapor saturado y no sobrecalentado, por lo tanto,

$$\underline{K_n = 1} \quad \text{Y} \quad \underline{K_{sh} = 1}$$

Kb = factor de corrección debido a la contrapresión.

$$K_b = \frac{\text{Contrapresión}}{\text{Presión de Diseño}}$$

$$\text{Contrapresión} = 25 \text{ pulg Hg} = 28.96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K_b = \frac{28.96 \text{ Kg/cm}^2}{1.76 \text{ Kg/cm}^2} = 16.45$$

$$\underline{K_b = 16.45}$$

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

$$A = \frac{20\,346}{51.5 * 0.975 * 31.2 * 1 * 16.45 * 1}$$

$$\underline{A = 0.789 \text{ In}^2}$$

## PRE-EVAPORADOR 3.- CUADRO DE ESPECIFICACIONES Y CALCULOS

MATERIAL:

PLACA DE ACERO

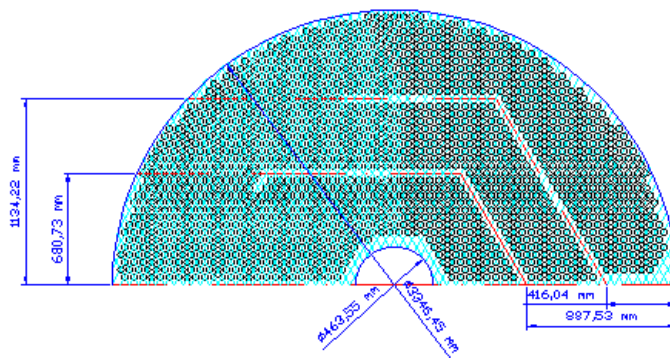
CUERPO: ASTM A-36

ESPEJOS ASTM A-285 GR. "C"

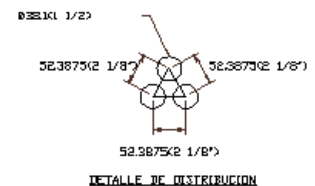
PRESION REGULADA: 30 PSI = 2.11 Kg/cm<sup>2</sup>

PRESION DE OPERACION: 25 PSI= 1.76 Kg/cm<sup>2</sup>

PRESION DE DISEÑO: 30 PSI = 2.11 Kg/cm<sup>2</sup>



NOTAS:  
1.- No. TOTAL DE BARRIDOS DE #C1 1/E) 3,200  
2.- VER DETALLE DE DISTRIBUCION DE BARRIDOS



### ESPEJO O TAPAS DEL PREEVAPORADOR

#### A) CALCULO DE SUPERFICIE EXPUESTA A PRESION.

H=SUPERFICIE PARTE CILINDRICA + SUPERFICIE DE TAPAS- SUPERFICIE DE CONEXIONES

$$H = \pi * L * (D + d) + 2 * (\pi/4 * (D^2 - d^2) - \pi/4 * (Df^2) * n) - \pi/4 (d1^2 + d2^2 + d3^2)$$

Donde:

D = Diámetro máximo interior

d = Diámetro exterior de tubo central

L = Longitud total de la parte cilíndrica

Df = Diámetro de fluxes

n = Numero de fluxes

d1 d2 d3 = Diámetro de conexiones

Datos:

$$D = 131.75" = 3346.45 \text{ mm}$$

$$d = 18.25" = 463.5 \text{ mm}$$

$$L = 120" = 3048 \text{ mm}$$

$$D_f = 1.5" = 38.1 \text{ mm}$$

$$n = 3200$$

$$d_1 = 20" = 508 \text{ mm}, \quad d_2 = 3" = 76.20 \text{ mm},$$

$$\text{SUPERFICIE PARTE CILINDRICA (SPC)} = \pi * L * D + \pi * L * d = \pi * L * (D + d)$$

$$\text{SPC} = \pi * 3.048 * (3.34645 + 0.4635)$$

$$\underline{\text{SPC} = 36.4824 \text{ m}^2}$$

$$\text{SUPERFICIE DE TAPAS (ST)} = 2 * (\pi/4 * (D^2 - d^2) - \pi/4 * (D_f^2) * n)$$

Como son 2 tapas por eso se multiplica por 2

$$\text{ST} = 2 (\pi/4 * (3.34645^2 - 0.4635^2) - \pi/4 * (0.0381^2) * 3200)$$

$$\underline{\text{ST} = 9.957 \text{ m}^2}$$

$$\text{SUPERFICIE DE CONEXIONES (SC)} = \pi/4 (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2)$$

1 Conexión brida de  $\varnothing 20"$  para entrada de vapor ( $d_1$ )

1 Conexión brida de  $\varnothing 3"$  para condensados ( $d_2$ )

1 Conexión brida de  $\varnothing 2"$  para salida de gases ( $d_3$ )

$$\text{SC} = \pi/4 (0.508^2 + 0.0762^2 + 0.0508^2)$$

$$\underline{\text{SC} = 0.2093 \text{ m}^2}$$

$$H = \text{SPC} + \text{ST} - \text{SC}$$

$$H = \underline{36.7566 \text{ m}^2} + \underline{10.789 \text{ m}^2} - \underline{0.2093 \text{ m}^2}$$

$$\underline{H = 47.3363 \text{ m}^2}$$

## B) CALCULO DE ESPESOR MINIMO PARA LA PRESION DE OPERACION

Con la presión de operación o de trabajo calculamos el espesor mínimo que debe tener el recipiente sujeto a presión con la ecuación de acuerdo a la **Sección VIII** del **Código A.S.M.E., División 1**.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Donde:

P = Presión máxima permisible de trabajo

S = Esfuerzo máximo permisible

E = Eficiencia de la construcción soldada

t = Espesor de la plancha

R = Radio interior del cilindro

Datos:

P=1.76 Kg/cm<sup>2</sup>

S= 13 800 psi = 970.236 Kg/cm<sup>2</sup>

E= 0.70

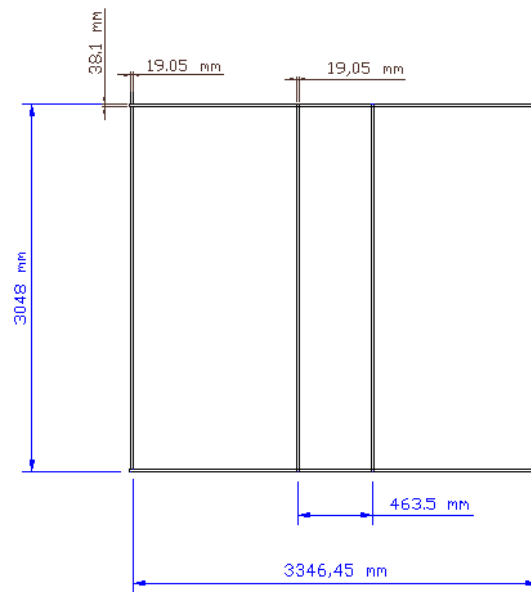
t = ?

R= 65.875" = 1673.22 mm

$$t = \frac{(1.76 \text{ Kg/cm}^2) (65.875")}{(970.236 \text{ Kg/cm}^2)(0.70) - 0.6(1.76 \text{ Kg/cm}^2)} = 0.171" < 0.1875" (3/16")$$

El espesor mínimo será de **3/16"**

**C) CALCULO DE LA PRESION INTERNA MAXIMA DE TRABAJO EN CUERPOS Y TAPAS EN LA CALANDRIA.**



**CALANDRIA DEL PREEVAPORADOR**

El espesor es del recipiente construido es de  $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto el equipo soportara la presión de trabajo.

Ahora calculamos la presión interna máxima que puede soportar el recipiente construido.

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0.6t}$$

P= ?

S= 13 800 psi = 970.236 Kg/cm<sup>2</sup>

E= 0.70

t =  $\frac{3}{4}$ " = 19.05 mm

R= 65.875" = 1673.22 mm

De acuerdo a la formula de la Presión Interna, sustituimos los datos.

$$P = \frac{(970.236 * 0.70 * 19.05)}{(1673.22 + 0.6 * 19.05)}$$

**P= 7.68 kg/cm<sup>2</sup>**

Con el espesor construido (3/4") el recipiente puede soportar una presión de interna máxima de **P= 7.68 kg/cm<sup>2</sup>**

#### **D) CALCULO DE LA PRESION EXTERNA MAXIMA DE TRABAJO PARA CILINDRO CENTRAL DE LA CALANDRIA.**

Para el cálculo de la presión externa máxima de acuerdo a la **Sección VIII** del **Código A.S.M.E., División 1**, se utiliza la ecuación siguiente.

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

Donde:

Pa = Presión de trabajo permisible

L = Longitud del cilindro central

t = Espesor de la plancha

Do = Diámetro exterior máximo

B = Valor de tablas con L / Do Y Do / t

Datos:

Pa = ?

L = 120" = 3048 mm

Do = 18.25" = 463.5 mm

B = ?

t = 3/4"

Calculamos las relaciones L / Do Y Do / t

$L / Do = 120 / 18.25 = 6.575$

$Do / t = 18.25 / .75 = 24.333$

Con las relaciones buscamos en la Grafica No. 3.4.7.2.1-1, y encontramos el valor de A

$A = 0.002$

Obtenido el Valor de A y la temperatura de Diseño, buscamos en la Grafica No. 3.4.7.2.1-2

$A = 0.002$

$T = 500 \text{ }^\circ\text{F}$

Encontramos el valor de B.

$$B = 11\,500 \text{ PSI} = 808.713 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituimos los valores dados y encontrados en la fórmula de la Presión Externa.

$$Pa = \frac{(4 * 808.713)}{(3 * 24.333)}$$

$$Pa = 44.314 \text{ kg/cm}^2$$

#### D) CALCULO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

A = área mínima requerida de cumplimiento efectivo, pulgadas cuadradas

W = flujo de vapor, libras por hora.

K = coeficiente de descarga efectiva, K = 0.975

P1 (presión absoluta total) = la presión de diseño (psi) + sobrepresión (psi) + presión atmosférica (psi).

Ksh = Factor de corrección por el grado de sobrecalentamiento en el vapor. Para el uso de vapor saturado

Ksh = 1.00. Véase la Tabla 3.4.9.1-1 para otros valores.

Kn = Capacidad factor de corrección para el vapor saturado seco a presiones de conjunto por encima de 1500 psia y hasta 3200 psia. Ver Tabla 3.4.9.1-2

Kb = factor de corrección debido a la contrapresión.

$$W \text{ (Flujo de vapor)} = 154\,910 \text{ lb/h}$$

$$\text{Presión de Operación} = 25 \text{ PSI} = 1.76 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Presión Atmosférica} = 14.7 \text{ psi}$$

$$\text{Sobrepresión} = 10\%$$

La sobrepresión la obtenemos multiplicando el porcentaje de sobrepresión por la presión de diseño.

$$\text{Sobrepresión} = 0.1 * 25 = 2.5 \text{ psi}$$

Se suman las presiones para obtener la presión absoluta total.

**P1**= la presión de operación (psi) + sobrepresión (psi) + presión atmosférica (psi).

$$P1 = 25 \text{ psi} + 14.7 \text{ psi} + 2.5 \text{ psi}$$

$$\underline{P1 = 42.2 \text{ psi}}$$

$$\underline{K = 0.975}$$

Como el vapor que se utiliza es vapor saturado y no sobrecalentado, por lo tanto,

$$\underline{K_n = 1} \quad \text{Y} \quad \underline{K_{sh} = 1}$$

Kb = factor de corrección debido a la contrapresión.

$$K_b = \frac{\text{Contrapresión}}{\text{Presión de Diseño}}$$

$$\text{Contrapresión} = 25 \text{ pulg Hg} = 28.96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K_b = \frac{28.96 \text{ Kg/cm}^2}{2.11 \text{ Kg/cm}^2} = 13.725$$

$$\underline{K_b = 13.725}$$

$$A = \frac{W}{51.5 K P_1 K_{sh} K_n K_b}$$

$$A = \frac{154\,910}{51.5 * 0.975 * 42.2 * 1 * 13.725 * 1}$$

$$\underline{A = 5.326 \text{ ln}^2}$$



## **CAPITULO V.**

**OBSERVACIONES, SUGERENCIAS**

**Y**

**CONCLUSION**

## **5.1 Observaciones.**

Los equipos sujetos a presión están expuestos a cualquier falla o problema en su medio interior o medio exterior, por lo cual siempre hay que estar protegiendo a los trabajadores y los equipos mismos de estas fallas.

Es recomendable que todos los equipos sujetos a presión presenten los requisitos para ser operado y así ser seguro para su utilidad. Debido a que esto hace que una sirva como respaldo ante la ley, en caso de alguna falla o un problema.

Por lo que es necesario cumplir con las leyes que rigen y protegen a la integridad de los trabajadores y de las instalaciones de la empresa colocándose así una ventaja en la industria azucarera.

## **5.2 Sugerencias.**

- Realizar programas de convencimiento al personal antes de generar un cambio.
- Implementar programas de adiestramiento al personal de acuerdo con las actividades específicas que realiza.
- Realizar inspecciones periódicas y verificar el buen funcionamiento de las válvulas de seguridad (evitar que se peguen los sellos).
- Realizar drenajes periódicos de la acumulación de condensados de humedad o de vapor en los depósitos sujetos a presión.
- Verificar ausencias de fugas, y debilitamiento del espesor de los depósitos sujetos a presión aplicándoles periódicamente pruebas neumáticas.

### **5.3 Conclusión**

La implementación de la norma oficial mexicana NOM-020 en recipientes sujetos a presión ante la Secretaría del Trabajo y Previsión Social es de gran importancia en la seguridad industrial de la empresa.

Contar con la acreditación y aprobación de los recipientes nos ayuda en el funcionamiento de los mismos, la aplicación de la NOM-020 funciona como un medio de seguridad a los trabajadores y a la infraestructura de la empresa, creando un ambiente de confianza y bienestar para el trabajador.

Tener en regla los equipos sujetos a presión nos proporciona el beneficio de salvaguardar a los recursos con que la empresa cuenta y dispone en caso de presentarse algún accidente. Al haber alguna lesión o accidente de trabajo, la empresa puede justificar ante las leyes que los equipos cumplen con los requerimientos establecidos por dicha dependencia.

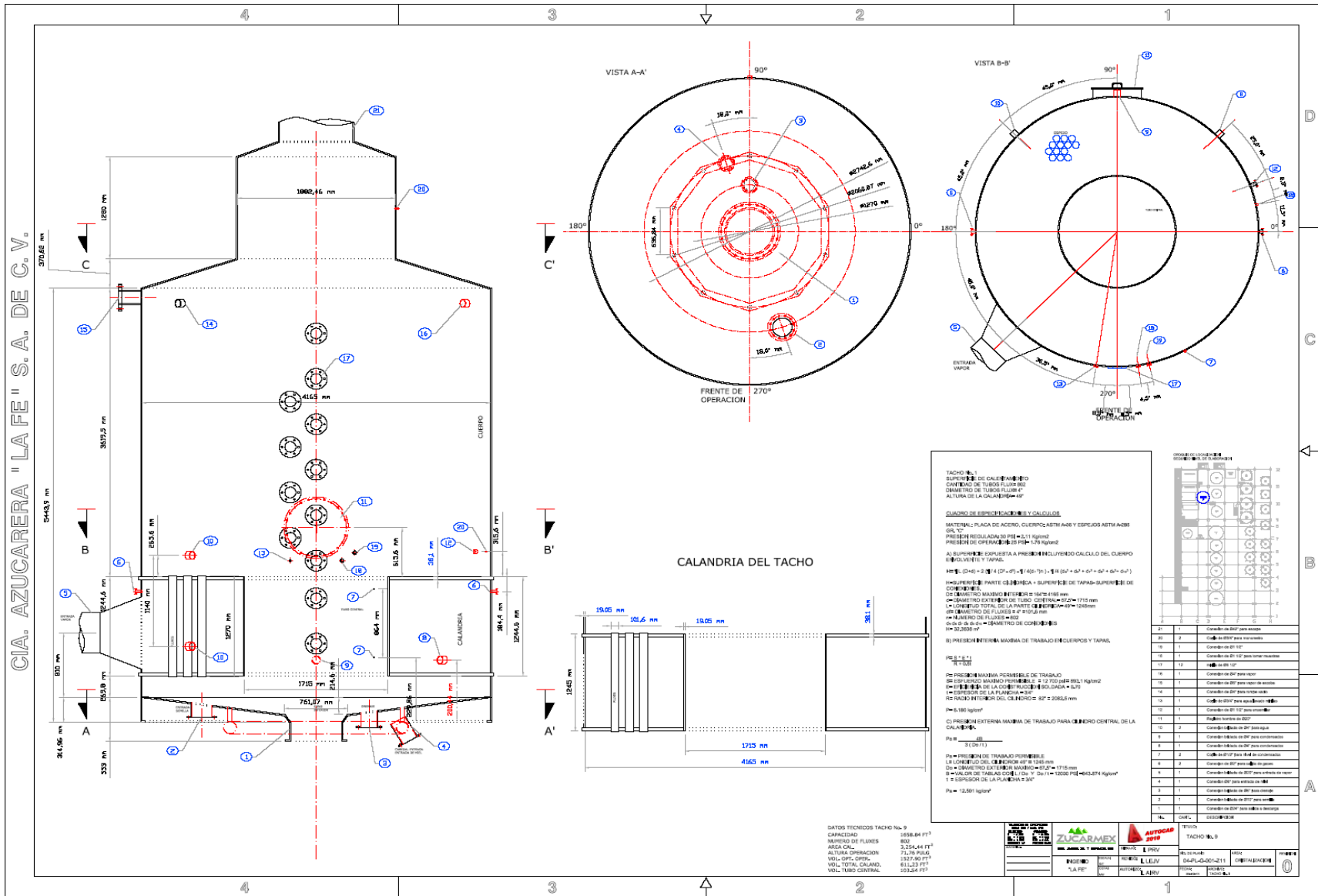
Además reduciría considerablemente los riesgos de accidentes y aumentaría la disponibilidad operativa de los equipos.

## **Bibliografía.**

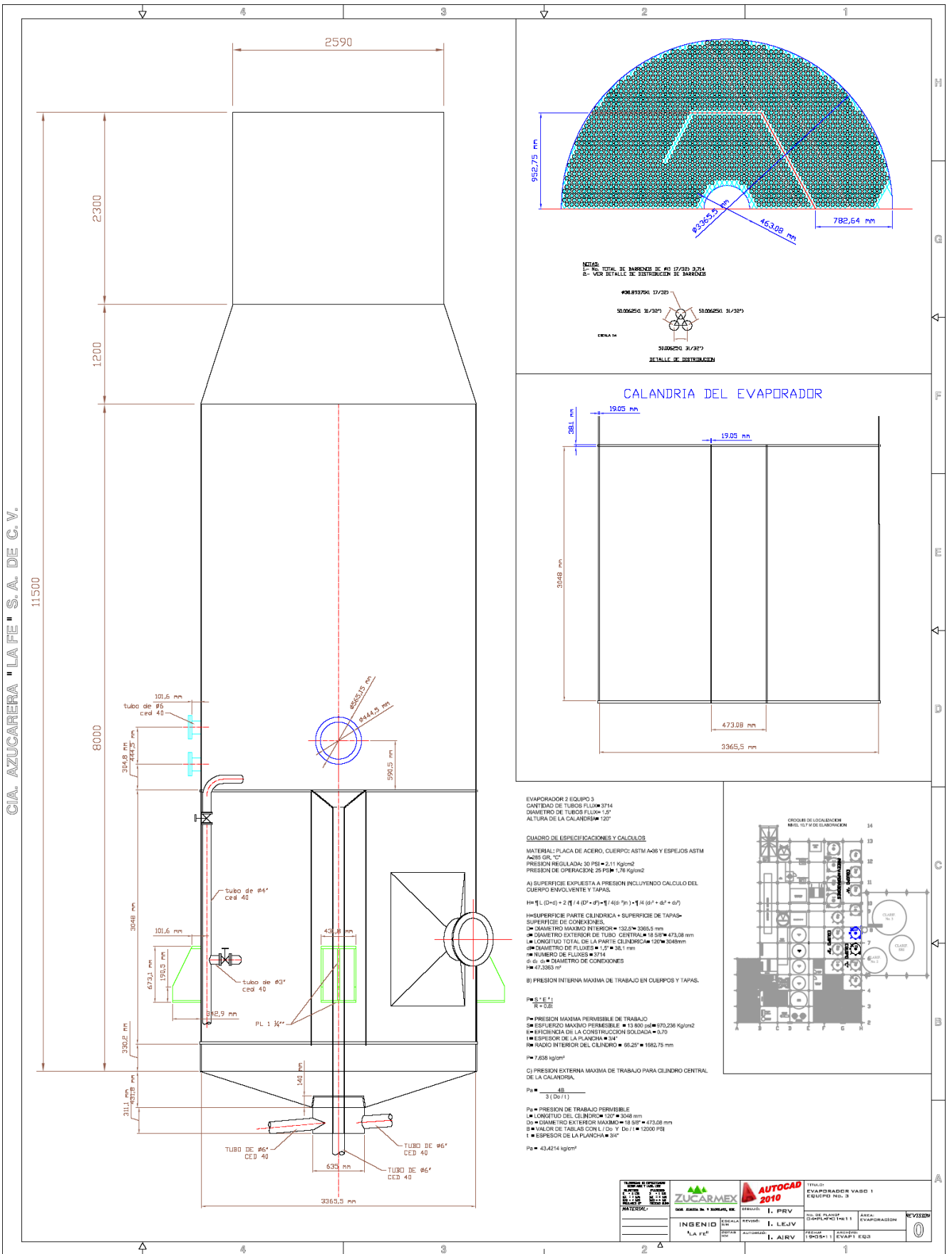
1. DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES A PRESION, ING. JUAN MANUEL LEON ESTRADA, EDICION 2001. EDITORIAL INGLESAS
2. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, DISEÑO Y CALCULO, EUGENE F. MEGYESY, EDITORIAL LIMUSA GRUPO NORIEGA EDITORES, EDICION 2004
3. CIA. AZUCARERA LA FE, MANUAL DE OPERACIÓN, 2010.
4. WWW.GOOGLE.COM.MX.
5. CROSBY, PRESSURE RELIEF VALVE, ENGINEERING HANDBOOK
6. Adjunto en una carpeta las normas que están vinculadas con la Secretaria del Trabajo y Previsión Social.



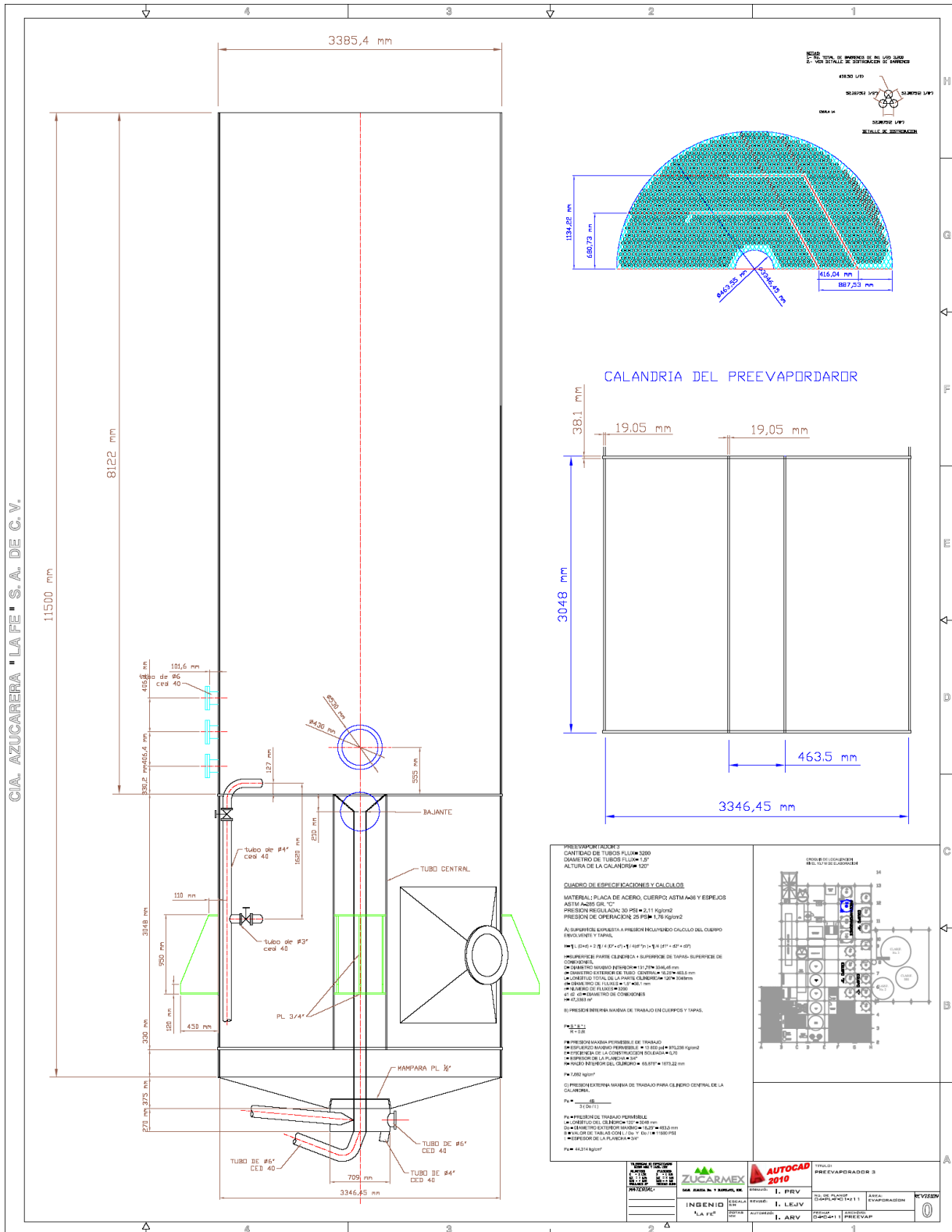
ANEXO 1 FORMATO DE TACHO ANTE LA SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL



# ANEXO 2 FORMATO DE EVAPORADOR ANTE LA STPS

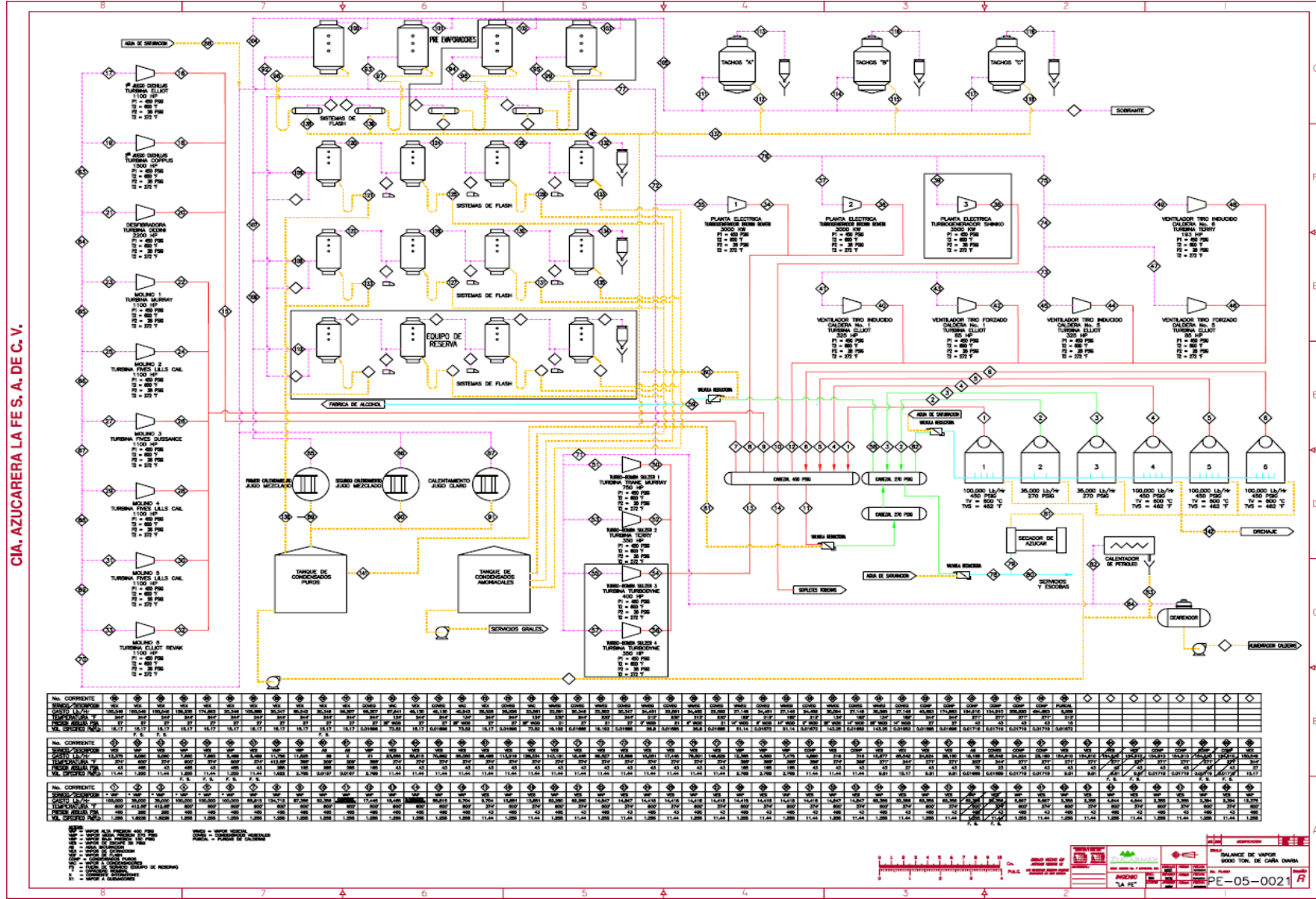


# ANEXO 3 FORMATO DE PREEVAPORADORANTE LA STPS





# ANEXO 4 DIAGRAMA DE FLUJO DE VAPOR UTILIZADO EN LA CIA. AZUCARERA LA FE



CIA. AZUCARERA LA FES.A. DE C.V.

Núm. COMPONENTE	SECCIÓN TURBINA		SECCIÓN CALDERA		SECCIÓN CONDENSADOR		SECCIÓN CALENTADOR		SECCIÓN DE ALCIVEL		SECCIÓN DE AGUA		SECCIÓN DE VAPOR		OTROS
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	
SECCIÓN TURBINA	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
SECCIÓN CALDERA			1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
SECCIÓN CONDENSADOR					1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
SECCIÓN CALENTADOR							1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
SECCIÓN DE ALCIVEL									1000	1000	1000	1000	1000	1000	
SECCIÓN DE AGUA											1000	1000	1000	1000	
SECCIÓN DE VAPOR															1000
OTROS															

"2011, Año del Turismo en México"



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP


### CONSTANCIA DE LIBERACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**M.I. APOLINAR PÉREZ LÓPEZ**  
**JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA**


Por medio de la presente me permito informarle que ha concluido la asesoría y revisión del proyecto de Residencia profesional cuyo título es: "**APLICACIÓN DE LA NOM 020 2002 EN EQUIPOS SUJETOS A PRESIÓN EN LA CÍA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.**" desarrollado por **C. PEDRO RAMIREZ VAZQUEZ**, estudiante de la carrera de **INGENIERÍA MECÁNICA**, con número de control **07270154**, desarrollado en el presente periodo "ENERO-JUNIO 2011"

Por lo que, se emite la presente **Constancia de Liberación y Evaluación del Proyecto** a los veintiséis días del mes de junio de 2011.

**ATENTAMENTE**  
**"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"**

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Prisciliano Simón Santiago López**  
Asesor del proyecto

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Fernando Alfonso May Arrijoa**  
Revisor del proyecto

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Víctor Manuel Vázquez Ramírez**  
Revisor del proyecto

Carretera Panamericana Km.1080, . C.P. 29050, Apartado Postal 599  
Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87  
<http://www.itg.edu.mx>





CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V.

San Francisco Pujilic, Venustiano Carranza, Chis., a 14 de junio de 2011

**M.C. Roberto Carlos García Gómez.**  
Jefe Del Departamento De Gestión Tecnológica y Vinculación  
Del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.  
P r e s e n t e .

Por este conducto hago constar que el alumno **PEDRO RAMIREZ VAZQUEZ** con número de control 07270154 alumno de la carrera de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cumplió con la Residencia Profesional en esta empresa en el período del 24 de enero al 14 de junio del presente año teniendo como asesor externo al Ing. Luis Enrique Jiménez Vélez, Superintendente de Proyectos, quien le supervisó el desarrollo del proyecto **APLICACIÓN DE LA NOM-020-2002 EN EQUIPOS SUJETOS A PRESION EN LA CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V.**

Por lo anterior, tenemos el agrado de presentar a Usted ésta **CONSTANCIA DE LIBERACIÓN DE RESIDENCIA PROFESIONAL** para los fines académicos y curriculares que al alumno convengan.

Sin otro asunto a que referirme, quedo de Usted.

Atentamente



**Lic. Miguel Vera Amaro**  
Jefe de Capital Humano.

C.c.p. Ing. José Angel Cruz Martínez.- Gerente General.  
Interesado.  
Expediente

