

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño y Construcción de una Planta de Detergente en Crema  
con Capacidad de 5,000Ton/año”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Juan Carlos Méndez Estupiñán

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, a mis padres,  
amigos y maestros que  
con su apoyo  
incondicional contribuyen  
a mi formación personal  
y profesional.

## DEDICATORIA

A toda aquella  
persona especial,  
que estuvo  
pendiente,  
brindando su apoyo  
y que compartirá  
conmigo la  
satisfacción de  
haber concluido  
este trabajo.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Francisco Andrade S.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

---

Ing. Marcelo Espinosa L.

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ernesto Martínez L.

VOCAL

---

Ing. Manuel Helguero G.

VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Juan Carlos Méndez E.

## RESUMEN

Inicia el desarrollo de la Tesis con la definición específica de la necesidad a resolver; aquí se define ciertos parámetros que sirven de base para el diseño de la planta de detergente en crema, dentro de los más importantes se menciona la viscosidad, que debe encontrarse entre 4000 a 8000 cps, la densidad en  $1200 \text{ Kg/m}^3$ , capacidad de producción de la planta en 5000 ton/año y la presentación del producto que debe ser en empaque tipo doypack.

Posteriormente, se define el diagrama de flujo que modela el proceso; con esta información y la relacionada con las propiedades físicas de las materias primas, planes de ventas, instalaciones y espacios disponibles y planes de abastecimiento de materias primas, se determinan las máquinas y equipos necesarios para la operación de la planta.

Para la recepción y almacenamiento de las materias primas de mayor consumo, se emplean tanques de almacenamiento; esto

para el caso del ácido sulfónico, hidróxido de sodio y silicato de sodio, los tanques se especifican en acero inoxidable 304, las capacidades determinadas son de 75 ton, 50 ton y 15 ton respectivamente. Su diseño se apegó a las normas API 650 para tanques de almacenamiento.

Para facilitar las tareas de pesado y por seguridad industrial, se emplean tanques tipo báscula para el ácido sulfónico ( $0.64 \text{ m}^3$ ), hidróxido de sodio ( $0.12 \text{ m}^3$ ), silicato de sodio ( $0.12 \text{ m}^3$ ) y slurry ( $1.2 \text{ m}^3$ ); se diseñan los tanques en acero inoxidable AISI 304 en espesor de 2 mm; para el cálculo del espesor de plancha se empleó formulas en función de las dimensiones internas para un recipiente sometido a presión interna. Se equipa los tanques báscula con sistema de agitación de dos palas para acondicionamiento de ser necesario de la materia prima señalada y para la preparación del slurry (mezcla de agua y carbonato de calcio)

Para la fabricación del detergente en crema, se emplean dos reactores discontinuos, tipo tanque, en acero inoxidable AISI 316, con espesor de plancha en la olla interna de 8 mm, el equipo se diseña con camisa para calentamiento ó enfriamiento, se equipa con dos agitadores en contrarrotación para las

operaciones de mezclado; el agitador central de cuatro palas de 7.5 Kw de potencia y el lateral con cuatro niveles de aspa con raspadores de 15 Kw de potencia.

Se selecciona dos máquinas para el envasado, la una para presentación de 100 g y 200g y la otra para las presentaciones de 400 g y 1000 g; la capacidad máxima combinada de envasamiento calculada con una eficiencia de 80% es de 1920 kg/h. Para el cumplimiento de la producción, se requiere trabajar 24 horas de lunes a viernes en dos turnos de trabajo de 12 horas cada uno.

Para la manipulación y transporte en la recepción en tanques de almacenamiento, alimentación de tanques báscula y evacuación del detergente en crema de los reactores hacia las máquinas de envasado, se emplean bombas de proceso, mismas que son seleccionadas de acuerdo a las características del fluido y al THD calculado.

Para el almacenamiento de la producción, se emplea un sistema de estantería estática ajustable de acceso en un sólo

sentido, con capacidad de 255 posiciones ó pallets de 1000 Kg cada uno.

El costo de la parte mecánica del proyecto, que comprende tanques de almacenamiento, tanques báscula, bombas de proceso, máquinas de envasado, montaje, instalaciones mecánicas y demás equipos auxiliares para el proceso es de 733113.91 dólares.

El costo total incluyendo las obras civiles y eléctricas es de 798215.07 dólares.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Definición de la Necesidad.....	5
CAPÍTULO 2	
2. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA....	8
2.1. Aspectos Generales sobre el Detergente en Crema.....	8

2.2.	Diagrama de Flujo del Proceso.....	12
2.3.	Propiedades Físicas y Químicas de Principales Materias Primas.....	16
2.4.	Plan de Ventas y Producción.....	19
2.5.	Instalaciones y Disponibilidad de Espacio Existentes.....	21
2.6.	Empaque del Detergente en Crema.....	23
2.7.	Plan de Abastecimiento de Materia Prima y Material de Empaque.....	29

### CAPÍTULO 3

3.	DISEÑO DE PLANTA DE DETERGENTE EN CREMA.....	32
3.1.	Determinación y Cálculo de Capacidad de Máquinas y Equipos.....	32
3.2.	Especificaciones de Tanques de Almacenamiento para Materia Prima.....	46
3.3.	Especificaciones de Tanques Báscula y Reactores de Proceso.....	104
3.4.	Layout de la Planta.....	149
3.5.	Cálculo y Selección de Equipos de Bombeo.....	156
3.6.	Capacidad Requerida en Equipos de Aire Comprimido y Vapor.....	186
3.7.	Diseño de Instalaciones Mecánicas.....	193

3.8.	Selección de Sistema para Almacenamiento de Producción....	213
3.9.	Instrumentación para Tanques y Reactores.....	225

#### CAPÍTULO 4

4.	COSTOS.....	235
4.1.	Cronograma de Trabajos.....	236
4.2.	Costos de Construcción y Montaje.....	238
4.3.	Costos de Arranque y Operación.....	240

#### CAPÍTULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	244
----	-------------------------------------	-----

#### APÉNDICES

#### BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

Hp	Caballo de Potencia
cp	Centipoises
cSt	Centistokes
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramo
KJ	Kilo Joule
Kg / m <sup>3</sup>	Kilogramo por Metro Cúbico
Kw	Kilovatio
Kw-h	Kilovatio Hora
Lb/pie <sup>2</sup>	Libra por Pie Cuadrado
Lb/pie <sup>2</sup>	Libra por Pulgada Cuadrada
m	Metro
mm	Milímetro
cfm	Pie Cúbico por Minuto
Pulg	Pulgada
SSU	Segundos Universales Seibolt
Ton	Tonelada Métrica
V	Voltios
W	Watios

## SIMBOLOGÍA

$\Delta T$	Variación de Temperatura
C.A	Margen por corrosión
D	Diámetro
E	Eficiencia de Junta Soldada
G	Densidad Relativa
H	Altura
t	Espesor
$\theta$	Ángulo
$\sigma_{\text{máximo admisible}}$	Esfuerzo Máximo Admisible
P	Presión
$q_s$	Presión de Estancamiento del Viento
$C_q$	Coefficiente de Presión (factor de forma)
$C_e$	Altura Combinada
M	Momento debido a la Carga
w	Carga Uniforme del Viento
$\nu$	Viscosidad Dinámica ó Absoluta
n	Número de Revoluciones de Rodete
$N_{Re}$	Número de Reynolds
$N_p$	Número de Potencia, adimensional
m	Masa
c	Calor específico
$\rho$	Densidad
S	Flujo de Vapor
$h_{fg}$	Calor Latente de Vaporización
a	Área interior del Tubo
v	Volumen
$v_g$	Volumen Específico del Vapor
L	Longitud
P	Potencia

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Diagrama de Flujo de Proceso de Detergente en Crema.....	15
Figura 3.1. Reactores de Tanque Agitado.....	38
Figura 3.2. Reactores Tubulares.....	39
Figura 3.3. Viga en Voladizo con Carga Uniforme.....	58
Figura 3.4. Tanques Típicos de Proceso de Agitación.....	107
Figura 3.5. Número de Potencia Vs Reynolds para Varios Tipos de Agitadores.....	112
Figura 3.6. Valores del Factor A que se Usan en las Fórmulas para Recipientes Sometidos a Presión Externa.....	132
Figura 3.7. Valores del Factor B que se emplean en las Fórmulas para Recipientes Sujetos a Presión Externa (Caso Acero Austenítico 316).....	133
Figura 3.8. Esquema de Torre de Fabricación.....	154
Figura 3.9. Clasificación de Bombas.....	157
Figura 3.10. Corte Esquemático de una Bomba Centrífuga.....	158
Figura 3.11. Partes Constitutivas de una Bomba de Tornillo.....	160

Figura 3.12. Bomba Neumática.....	161
Figura 3.13. Diagrama Velocidad de Vapor.....	196
Figura 3.14. Caídas de Presión en Tubería de Vapor Cédula 40.....	197
Figura 3.15. Diagrama para Dimensionamiento de Tubería de Condensado.....	203
Figura 3.16. Cálculo de Redes de Aire Comprimido.....	210
Figura 3.17. Almacenamiento Paletizado.....	214
Figura 3.18. Estanterías Estáticas Ajustables.....	215
Figura 3.19. Estanterías de Doble Profundidad.....	217
Figura 3.20. Estanterías con Acceso en un Solo Sentido.....	218
Figura 3.21. Estantería con Acceso en Ambos Sentidos.....	219
Figura 3.22. Estantería Móvil.....	220
Figura 3.23. Estantería de Gran Altura con Pasillos Angostos.....	221
Figura 3.24. Sistema de Almacenamiento Paletizado de Planta de Jabón.....	223
Figura 3.25. Esquema de Sistema de Almacenamiento Seleccionado.....	224
Figura 3.26. Celda de Carga.....	231
Figura 3.27. Panel de Control de Pesaje de Tanque Báscula.....	232

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Plan Mensual de Ventas y Producción.....	20
Tabla 2 Dimensiones de Lámina de Empaque.....	28
Tabla 3 Dimensiones de Caja de Embalaje.....	29
Tabla 4 Plan de Compras de Materia Prima.....	30
Tabla 5 Plan de Compras de Material de Empaque.....	31
Tabla 6 Opciones de Rendimiento para Selección de Envasadora Automática de Crema.....	45
Tabla 7 Dimensiones de Tanques de Almacenamiento.....	52
Tabla 8 Espesores de Plancha a Diferentes Alturas Tanque de Ácido Sulfónico.....	55
Tabla 9 Espesores de Plancha a Diferentes Alturas Tanque de Hidróxido de Sodio.....	56
Tabla 10 Espesores de Plancha a Diferentes Alturas Tanque de Silicato de Sodio.....	57
Tabla 11 Valores Tabulados de Ce a Diferentes Alturas.....	60
Tabla 12 Valores para Constantes $K_L$ y $K_T$ .....	110
Tabla 13 Capacidad Instalada de Equipos de Generación de Aire	

Comprimido.....	187
Tabla 14 Consumo de Aire Comprimido de Planta de Jabón.....	188
Tabla 15 Requerimiento de Aire Comprimido de Planta de Detergente en Crema.....	189
Tabla 16 Requerimiento Total de Vapor Saturado.....	193
Tabla 17 Dimensiones de Tubería de Vapor Saturado.....	202
Tabla 18 Dimensiones de Tubería de Condensado.....	206
Tabla 19 Diámetro de Tuberías de Aire Comprimido.....	213
Tabla 20 Capacidad de Celdas de Carga Seleccionadas.....	230
Tabla 21 Cronograma de Trabajos.....	237
Tabla 22 Costos de Máquinas, Equipos e Instalaciones Mecánicas.....	239
Tabla 23 Costo Total del Proyecto.....	240
Tabla 24 Costos de Arranque de Planta de Detergente en Crema.....	242
Tabla 25 Costos de Operación de Planta de Detergente en Crema.....	243

# INTRODUCCIÓN

En nuestro país, existen varias plantas de detergente para tipo en polvo, barra y líquido, pero no del tipo en crema; de hecho no se dispone de información sobre tipos de planta aplicables para este proceso.

La información presentada en esta tesis, está basada en un proceso inicial realizado de manera manual, el cual se lo pretende industrializar; con la definición del proceso de producción, en base del diagrama de flujo se determina la tecnología que se requerirá para fabricar este producto.

Los cálculos de diseño de la planta, específicamente a lo relacionado a capacidad, se realizan en función de las proyecciones estimadas que tendrán las ventas; cálculos estructurales y de instalaciones mecánicas se basarán en normas aceptadas de diseño.

En lo referente a los costos de construcción y montaje de la planta, se realizan los cálculos necesarios para determinar un valor que refleje el costo del proyecto en lo referente a la parte de proceso; además se realizan los cálculos para el arranque y operación, lo que permitirá

conocer los requerimientos de capital para mantener la producción y cumplir el plan de ventas establecido

# **CAPÍTULO 1**

## **1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.**

El proyecto consiste en el diseño y construcción de una planta para la producción de detergente tipo crema; siendo el objetivo presentar el diseño de la planta basándose en los criterios de ingeniería y normas de diseño aplicables a este tipo de procesos.

La capacidad teórica, para la cual se diseñará la planta, es de 5,000Ton/año, cantidad que fue definida previo un estudio de mercado y la cual se tomará como dato para el dimensionamiento de las máquinas y equipos que se seleccionarán para tal efecto.

## 1.1. Antecedentes

Como antecedentes para el diseño de la planta, se considera lo siguiente:

- El espacio disponible para la planta de detergente en crema, está junto a una planta de jabón de tocador y en plena operación, lo cual será una restricción para el diseño.
- Una ventaja a analizar, es que se cuenta con servicios (aire comprimido, agua y vapor), que previo análisis de factibilidad en cuanto a la capacidad disponible, pueden ser empleados para la operación de la nueva planta.
- Para el almacenamiento del producto terminado, se deberá considerar la producción de ambas plantas, es decir del jabón de tocador y del detergente en crema.
- Existe una sola vía de acceso disponible para la recepción de materias primas.
- Se dispone de un tanque de Hidróxido de Sodio de 20 ton de capacidad para la producción mensual del actual producto

(consumo 15 ton/mes); el tanque es de material plástico y se encuentra en malas condiciones técnicas, constituyéndose en un riesgo de seguridad industrial, por cuanto se aprovecha este proyecto para cambiarlo.

- Debe de analizarse la capacidad del banco de transformadores para el nuevo proyecto; se da por descartado poder emplear tableros de fuerza existentes, por cuanto estos fueron diseñados para la capacidad instalada de la planta actual.

## **1.2. Definición de la Necesidad**

En términos generales, se define como poder satisfacer una necesidad del mercado, por contar con un producto para lavado de ropa que reemplace al detergente en polvo y el jabón en barra tradicional, la aplicación debe ser similar y sin afectar el hábito de lavado; este nuevo producto es un detergente tipo crema, color blanco, cuya aplicación principal es para lavado de ropa y con característica multiuso.

En términos específicos, se define la necesidad a resolver en los siguientes términos:

- **Producto a Fabricar:** detergente tipo crema.
- **Especificaciones del Producto:** densidad  $1,2\text{g/cm}^3$ , viscosidad entre 4.000-8.000cps, color blanco.
- **Capacidad de Producción:** 5.000ton/año.
- **Presentación:** en empaque tipo doy pack, tamaños de 100g, 200g, 400g y 1000g.
- **Operación de la Planta:** debe disponer de las seguridades tanto para los operadores así como para el medio, fácil operación y mantenimiento.
- **Ubicación:** se debe de considerar como primera opción, realizar el montaje de la planta dentro de un espacio disponible en el interior de una planta existente y en plena operación.

- **Almacenamiento:** se debe de contemplar de un sistema para el almacenamiento en tránsito de las materias primas y de la producción.
- **Tensión Eléctrica:** 220V en máquinas y equipos, 110V en instrumentos de pesado y control en caso de requerirse.

# **CAPÍTULO 2**

## **2. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA**

### **2.1. Aspectos Generales sobre el Detergente en Crema**

El término detergente, es aplicado a compuestos cuya disolución actúa como agente limpiador de la suciedad y de sustancias en superficies contaminadas.

La detergencia, es la remoción de un material no deseado de un sustrato sumergido en cierto medio, generalmente con el uso de una fuerza mecánica y en presencia de una sustancia química que puede reducir la adherencia del material no deseado al sustrato.

Se termina el proceso, cuando el material indeseado se mantiene en suspensión sin adherirse nuevamente. Este proceso se ve afectado principalmente por la concentración y estructura del

surfactante, la dureza y los aditivos que controlan esta en el medio de lavado. Otros factores son la naturaleza del sustrato que se va a someter al proceso de lavado y el material a retirar.

### **Principales Componentes de los Detergentes**

Los detergentes, pueden clasificarse por su estado en polvos, líquidos, cremas y barra; y por su uso para lavadoras, acondicionadores de tela, lavaplatos, etcétera.

El tipo de detergente objeto de este estudio, está orientado para el lavado de ropa tanto a mano como en lavadora.

De acuerdo a la teoría, este tipo de detergente puede contener fósforo presente en los Tripolifosfato de Sodio (TPFS), además incluyen una amplia gama de componentes como agentes suavizadores, surfactantes y agentes eliminadores de manchas, que poseen diferentes roles:

- **Agentes suavizadores:** desarrollan las condiciones óptimas para la operación de los surfactantes, desactivando los minerales causantes de la dureza del agua (iones de calcio y magnesio que reducen la eficiencia del surfactante y se incrustan en la superficie a limpiar), además de crear y estabilizar la alcalinidad proveyendo de las condiciones óptimas

para la remoción de la suciedad, facilitar la solubilización de todos los componentes del detergente, promueven la dispersión de la suciedad y ayudan a evitar su re-deposición.

El tripolifosfato de sodio es el agente ablandador más utilizado, ya que permite a los detergentes sintéticos trabajar con eficiencia en todas las condiciones de lavado, minimizando el uso de surfactantes. El TPFS también juega otros roles en los detergentes como proteger el equipo de lavado contra la corrosión, ayuda a suspender la suciedad en el agua de lavado, además ayuda a la manufactura, almacenamiento y uso eficientes de los detergentes al estabilizar sus propiedades físicas, facilita la disolución del detergente en el agua de lavado, permitiendo el buen desempeño del detergente.

Los silicatos ablandan el agua mediante la formación de precipitados que son fácilmente removidos. Estos no tienden a depositarse en la superficie, dado que tienen grandes propiedades antidepositantes. Todos los silicatos tienen excelentes propiedades como amortiguadores del pH en contra de sustancias ácidas. Esto es muy importante, ya que un gran número de sólidos indeseados en los procesos de detergencia son ácidos.

Los silicatos pueden inhibir la corrosión del acero y el aluminio. El meta silicato de sodio es un silicato comúnmente utilizado y puede presentarse en forma anhídrica o hidratada. Su fórmula típica es  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

Otros agentes suavizantes son el carbonato de sodio y el sulfato de sodio.

- **Surfactantes:** solubilizan el material indeseado (suciedad) pegándose en la parte grasa y atrayéndola al agua. Estos pueden ser aniónicos, catiónicos, no iónicos ó anfotéricos. Los surfactantes aniónicos ocupan la mayor parte del mercado, estos incluyen dodecilsulfonato y sulfonato de alquilbenceno lineal (conocidos también como ácido sulfónico ramificado y lineal respectivamente).
- **Los agentes que remueven las grasas (blanqueadoras y enzimas):** oxidan ó degradan sustancias para hacerlas removibles.
- **Otros ingredientes:** incluyen álcalis, activadores de blanqueo y agentes antidepositantes, agentes fluorescentes y perfumes.

## 2.2. Diagrama de Flujo del Proceso

Con una formulación previamente establecida, inicialmente la crema detergente se la fabrica a escala de laboratorio, en donde se establecen y evalúa cada fase del proceso, así como el comportamiento, principio activo y ajuste de cantidades de cada ingrediente de acuerdo a lo definido en la formulación.

Se empezará definiendo cada una de las etapas del proceso, para posteriormente elaborar un diagrama de flujo del mismo.

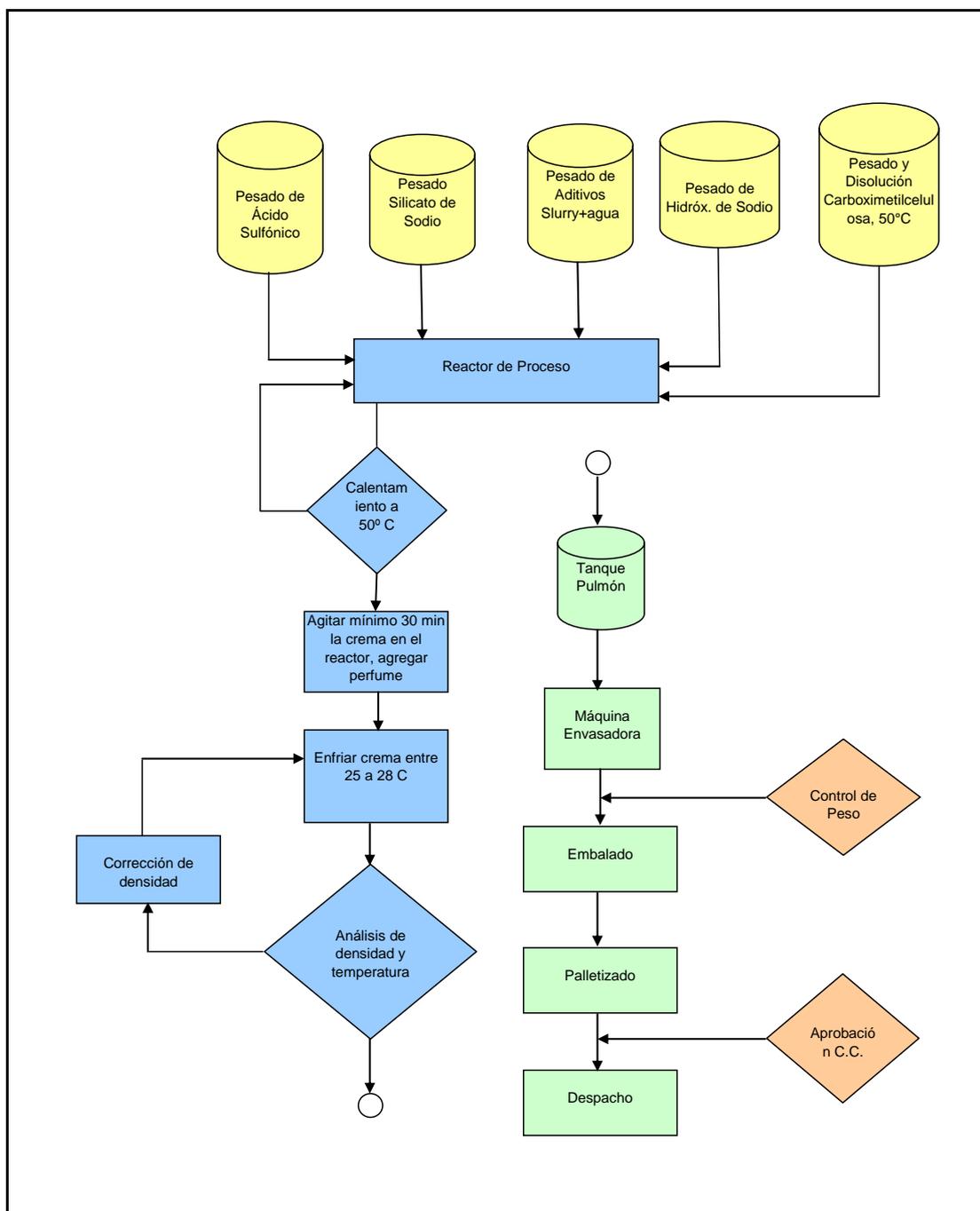
El proceso inicia con el pesado de las materias primas tanto sólidas como líquidas, para posteriormente ser incorporadas de la siguiente manera:

- En un recipiente, disolver con agitación continua el carbonato de sodio en agua, una vez obtenida una completa disolución enviarlo al reactor de proceso.
- En un recipiente, disolver el tripolifosfato de sodio, la agitación debe ser continua, luego se debe de enviarlo al reactor de proceso a una temperatura de 50 °C.

- Se repite la misma acción con el sulfato de sodio, una vez disuelto en agua con agitación continua enviarlo al reactor de proceso.
- Agregar al reactor el hidróxido de sodio y el ácido sulfónico, esta acción debe ser lenta y con agitación continua hasta que se obtenga una mezcla homogénea con las disoluciones agregadas anteriormente.
- En un recipiente, disolver en agua el carboximetilcelulosa, la disolución debe ser completa; ésta acción debe realizarse mínimo a una temperatura de 50 °C. Luego debe agregarse al reactor de proceso.
- En un recipiente, disolver en agua a temperatura ambiente el abrillantador óptico y luego agregarlo al reactor de proceso.
- Posteriormente, agregar al reactor la glicerina, la cual debe estar a temperatura ambiente; mezclar en el reactor por agitación.

- Luego agregar lentamente al reactor el carbonato de calcio y posteriormente el silicato de sodio; el reactor debe estar en agitación continua.
- Mantener el reactor a una temperatura de 50 °C y agregar el perfume que sería el último ingrediente de la fórmula. Se debe mantener la agitación de 20 a 30 minutos, luego se toman muestras para el análisis de humedad.
- Con el parámetro de humedad conforme, se procede a enfriar la mezcla hasta una temperatura entre 25 a 28 °C. El mezclador debe estar en agitación continua, una vez alcanzada la uniformidad en la mezcla, se toma muestras para realizar análisis de densidad.
- Con el parámetro de densidad conforme, se procede a descargar la mezcla para el envasado.

En la Figura 2.1., se presenta el diagrama respectivo para el proceso.



**FIGURA 2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE DETERGENTE EN CREMA**

## 2.3. Propiedades Físicas y Químicas de Principales Materias

### Primas

Las materias primas del detergente en crema, a emplear para la producción de la planta objeto de este diseño son: agua, tensoactivo aniónico (ácido sulfónico), carbonato de calcio, tripolifosfato de sodio, sulfato de sodio, carbonato de sodio, silicato de sodio, carboximetilcelulosa, hidróxido de sodio, glicerina, abrillantador óptico y perfume.

En este capítulo, sólo se presentarán las propiedades de las materias primas más revelantes que influirán en el proceso de diseño, en este caso el ácido sulfónico, silicato de sodio e hidróxido de sodio ó soda cáustica; esto se hace por cuanto estas materias primas son líquidas y de mayor porcentaje en la receta y por lo tanto se diseñarán tanques adecuados para su recepción y almacenamiento.

**Ácido Sulfónico:** ó alquibenceno sulfónico, es un tensoactivo (surfactante) aniónico y biodegradable obtenido de la sulfonación del alquibenceno (CAB) ó deodecibenceno (DDB ó BAB) para el lineal y ramificado respectivamente.

Propiedades Físicas:

Apariencia y color: líquido viscoso de color ámbar

Olor: sulfuroso

Temperatura de Congelamiento:  $-10^{\circ}\text{C}$

Solubilidad en agua a  $10^{\circ}\text{C}$ : completa

Densidad a  $20^{\circ}\text{C}$ :  $1.04\text{-}1.05\text{ g/cm}^3$

Viscosidad: 8000 a 15000 cps

Debe de almacenarse en un área fresca y bien ventilada. Los recipientes de almacenaje deben ser de acero inoxidable del tipo 304 ó 316 ó en envases plásticos.

**Silicato de sodio:** en estado líquido, son soluciones en agua manufacturados a partir de proporciones variadas de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Dependiendo de su composición dan un amplio rango de propiedades físicas y químicas.

Teóricamente, los óxidos de sodio y silicio pueden ser combinados en toda proporción, sin embargo los productos líquidos actuales no deben exceder en una relación molar de  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Na}_2\text{O}$  de 3.5 a 1 ó inferiores a 1.6 a 1.

Densidad a  $20^{\circ}\text{C}$ :  $1.6\text{g/cm}^3$

**Hidróxido de sodio:** se obtiene principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

Propiedades Físicas:

Apariencia y color: líquido corrosivo viscoso de color claro

Temperatura de Congelamiento: 5°C

Temperatura de ebullición: 140°C

Solubilidad en agua: soluble en todas las proporciones

Densidad relativa: 1.520-1.540

Viscosidad: 78,3cps

Presión de vapor: 13 mmHg

Propiedades Químicas:

- El hidróxido de sodio reacciona con metales como el Al, Zn y Sn, generando aniones como  $\text{AlO}_2^-$ ,  $\text{ZnO}_2^-$  y  $\text{SnO}_3^{2-}$  e hidrógeno.
- Con los óxidos de estos metales, forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además hay ignición.

- Con bromo, cloroformo y triclorometano las reacciones son vigorosas ó violentas.
- La reacción con sosa y tricloroetileno es peligrosa, ya que este último se descompone y genera dicloroacetileno, el cual es inflamable.

Referente al almacenamiento, este debe ser fresco, seco y ventilado; con suelos de hormigón, con recubrimiento resistente a la corrosión y con buen drenaje

#### **2.4. Plan de Ventas y Producción**

De acuerdo al estudio de factibilidad, las ventas están proyectadas para 5,000 ton/año, la cual se distribuirá en presentaciones de 100 g, 200 g, 400 g y 1000 g en los siguientes porcentajes:

- Presentación de 100 g: 20%
- Presentación de 200 g: 20%
- Presentación de 400 g: 30%

- Presentación de 1000 g: 30%

Como política de empresa para la producción para este producto, se establece como margen de seguridad mensual un 8% sobre el plan de ventas, es decir que el plan de producción para cada presentación será un 8% mayor que el establecido en el plan de ventas.

Lo descrito se resume en la Tabla 1.

**TABLA 1**

**PLAN MENSUAL DE VENTAS Y PRODUCCIÓN**

PRESENTACIÓN	PLAN VENTAS MES	PLAN VENTAS MES	PLAN PRODUCCIÓN MES	PLAN PRODUCCIÓN MES	%
	TON	UNDS.	TON	UNDS.	
100g	83	833.333	90	900.000	20%
200g	83	416.667	90	450.000	20%
400g	125	312.500	135	337.500	30%
1,000g	125	125.000	135	135.000	30%
<b>TOTAL MES</b>	<b>417</b>	<b>1.687.500</b>	<b>450</b>	<b>1.822.500</b>	<b>100%</b>

De aquí se desprende, que la producción mensual del detergente en crema será de 450 toneladas, por lo que la planta deberá tener una capacidad de producción anual de 5,400 toneladas.

Este dato será de mucha relevancia para el dimensionamiento de las máquinas y equipos que conformarán la planta de proceso.

## **2.5. Instalaciones y Disponibilidad de Espacio Existentes**

Como se indicó en los antecedentes de esta tesis, la planta se va a montar junto a una planta de jabón de tocador, por lo que en este subcapítulo se van a citar las instalaciones, equipos y espacios con los que se cuenta, y que podrán ser utilizados previo análisis de factibilidad para el montaje y operación de la planta de detergente en crema.

### **Instalaciones:**

- Aire comprimido: se cuenta con una red de aire comprimido suministrado por dos compresores tipo tornillo de 7.5 Hp (5.6 Kw) con una capacidad de suministro de 28 cfm cada uno, a una presión de operación máxima de 125 psig (8.6 Bar); un compresor de tornillo 50 Hp (37.3 Kw), 210 cfm presión máxima de operación 125 psig.
- Vapor: se dispone de un caldero vertical, con capacidad de suministrar 1000 lb/h de vapor saturado, 230 lb/pulg<sup>2</sup>, con consumo de agua 9 gal/hora.

- Agua: se cuenta con una red de agua potable con distribución para toda la planta, la capacidad de la cisterna principal es de 20 m<sup>3</sup> y la capacidad de la bomba es de 100 gpm, 5 Hp.
- Recepción de Hidróxido de Sodio: la planta dispone de una bomba de recepción para esta materia prima; la bomba centrífuga está conectada a la tubería que transporta el fluido desde el camión cisterna o tanquero hacia el tanque de recepción.

La bomba es de 2 Hp, 2 pulg x 1 ½ pulg, caudal de 50 gpm.

Como se indicó en los antecedentes, el tanque se reemplazará por cuestiones de seguridad industrial, conservando la tubería de recepción.

### **Espacio:**

Para el montaje de la nueva planta, se dispone un espacio de 414 m<sup>2</sup> distribuidos de la siguiente forma:

- Interior del galpón: 315 m<sup>2</sup>, forma rectangular (45 m x 7 m).

- Exteriores de galpón: 36 m<sup>2</sup> (6 m x 6 m) y 63 m<sup>2</sup> (9 m x 7 m); ambos de forma rectangular.

En el Plano 1 se identifican las áreas disponibles, aquí se deberá montar todas las máquinas, equipos e instalaciones para la recepción y almacenamiento de la materia prima, fabricación, envasamiento y almacenamiento del detergente en crema.

Es importante anotar, que no se consideran áreas para oficinas administrativas, laboratorio de control de calidad, parqueos por cuanto esto ya existe y no es necesario ampliarse, por lo tanto no son considerados en el diseño de la planta.

## **2.6. Empaque del Detergente en Crema**

### **Generalidades**

**Empaque:** son materiales que forman la envoltura de los paquetes para su traslado del sitio de producción al sitio de consumo sin que sufran daño.

El objetivo es lograr un vínculo comercial permanente entre un producto y un consumidor; ese vínculo debe ser beneficioso para el consumidor y el productor.

### **Funciones del Empaque**

Las funciones del empaque son varias y se dividen en dos: estructurales y modernas.

**Funciones Estructurales:** son aquellas relacionadas con la parte física del empaque.

**Contener:** el empaque debe tener una capacidad específica para que el producto se encuentre bien distribuido. Ni muy flojo ni muy apretado. El producto nunca debe rebasar la boca del empaque para lograr un perfecto sellado.

**Compatibilidad:** el empaque debe ser compatible con el producto para evitar que se transmitan aromas o microorganismos que contaminen el producto; es práctica común realizar pruebas en laboratorio con el producto final y la estructura del empaque seleccionado.

La premisa es: el empaque no debe afectar el producto ni el producto debe afectar al empaque.

**Retener:** el empaque debe conservar todos los atributos del producto. Esta función y la de contener es precisamente el objetivo principal de los empaques para aquellos productos que se exportan para la venta en fresco.

**Práctico:** cumple esta función el empaque que se arma, llena y cierra fácilmente; además, resulta cómodo para su manejo por parte del productor, comerciante, transportista y consumidor.

Un empaque práctico permite abrir el empaque y disponer del producto sin esfuerzo alguno.

**Funciones Modernas:** son aquellas relacionadas con los aspectos subjetivos.

Entre las funciones modernas del empaque se destacan dos: la presentación y la exhibición. El empaque es el primer contacto que tiene el comprador. Por eso la imagen que se forma en el primer momento es básica para llegar a una negociación efectiva.

Estas dos funciones son de gran importancia, más ahora cuando la comercialización por autoservicio ha tomado tanto auge.

Eso significa que el producto debe venderse por sí mismo, lo cual se consigue con una esmerada presentación y, en ocasiones, mediante la exhibición y respaldo de una marca.

### **Requerimiento de Empaque**

Por estrategia de mercadeo las presentaciones de 100g, 200g, 400g y 1000 g se envasarán en empaque tipo "DoyPack".

El empaque DoyPack, se caracteriza por tener una forma muy singular, redonda en el fondo y achatada en la boca.

Esto permite que el mismo permanezca parado. Por lo general es utilizado para líquidos y semilíquidos, siendo una opción económica al tiempo que es vistoso.

También existen dos formas para su uso: de tipo corte superior del empaque y del tipo spout la cual viene incorporada una válvula que facilita la dosificación y su uso.

### **Características del Material de Empaque para Detergente en Crema**

Las principales características que debe poseer el material de empaque para el detergente en crema son:

- Baja absorción de humedad
- Baja permeabilidad a los olores y gases
- Resistencia a químicos
- Resistencia al impacto
- Barrera a los rayos UV

Aunque, de esto también depende el espesor del material que se vaya a emplear.

### **Selección del Material de Empaque para Detergente en Crema**

El material de empaque recomendado para el doypack, es una lamina coextruída de polietileno de baja densidad y polietilentereftalato (PET), el cual posee las características requeridas para garantizar una adecuada preservación del producto y le dará la rigidez necesaria para autosoportarse en percha.

Las dimensiones aproximadas de las láminas para los doypack son las siguientes:

**TABLA 2**

**DIMENSIONES DE LAMINAS DE EMPAQUE**

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>DIMENSIONES LAMINA (mm)</b>	<b>FORMADO (mm)</b>
Doypack 100g	115X350	115X145X30
Doypack 200g	130X350	130X145X30
Doypack400g	150X435	150X180X37,5
Doypack 1,000g	180X510	185X255X50

En donde, el último valor en la columna FORMADO, corresponde a la profundidad de fuelle del doypack.

El producto terminado, será embalado en cajas de cartón corrugado de una sola onda denominado comúnmente de “simple onda”, el tipo de onda seleccionado es de tipo C de 5 mm de altura.

Las dimensiones de las cajas, en función de las medidas internas se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 3

## DIMENSIONES DE CAJAS EMBALAJE

PRESENTACIÓN	UNDS/CAJA	DIMENSIONES (mm)	PESO (g)
Doypack 100 g	100	300X250X300	350
Doypack 200 g	50	280X235X250	255
Doypack 400 g	30	320X300X170	235
Doypack 1000 g	12	320X300X170	235

### 2.7. Plan de Abastecimiento de Materia Prima y Material de Empaque

Para la planeación de requerimientos de materiales (MRP) se toman las siguientes consideraciones:

- Cantidades a consumir mensualmente de acuerdo al Plan Maestro de Producción (MPS)
- Costo del pedido y de almacenamiento
- Costo de transporte
- Tiempo de respuesta de proveedor

- Lotes mínimos del proveedor
- Disponibilidad de almacenamiento

En la Tabla 4 y Tabla 5 de acuerdo a la información proporcionada por el Departamento de Compras, la compra y reposición de la materia prima se programa de la siguiente manera:

**TABLA 4**

**PLAN DE COMPRAS DE MATERIA PRIMA**

<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>ESTADO</b>	<b>CANTIDAD A COMPRAR (Ton)</b>	<b>FRECUENCIA COMPRA</b>
Agua	Líquido	190	30días
Acido Sulfónico	Líquido	59	20días
Hidróxido de Sodio	Líquido	25	30días
Silicato de Sodio	Líquido	11	30días
Glicerina	Líquido	5	45días
Perfume	Líquido	7	90días
Carbonato de Calcio	Polvo	86	30días
Tripolifosfato de Sodio	Polvo	27	45días
Sulfato de Sodio	Polvo	20	45días
Carbonato de Sodio	Polvo	14	45días
Carboximetilcelulosa	Polvo	5	45días

TABLA 5

## PLAN DE COMPRAS DE MATERIAL EMPAQUE

PRESENTACIÓN	PLAN PRODUCCIÓN MES	UNDS/CAJA	UNDS CAJA/MES	PESO TOTAL CAJA MES (Kg)	FRECUENCIA COMPRAS
	UNDS.				
100g	917.400	100	9174	3211	45días
200g	917.400	50	18348	4679	45días
400g	1.376.100	30	45870	10779	45días
1,000g	1.376.100	12	114675	26949	45días

De acuerdo al principio del MRP, la estrategia de compra es pedir sólo la cantidad necesaria y sólo cuando se lo requiera en base del requerimiento bruto de materias primas, por lo que el requerimiento neto será igual al requerimiento bruto menos la suma del inventario actual más las recepciones programadas basándose en los lotes económicos de los proveedores.

# **CAPÍTULO 3**

## **3. DISEÑO DE PLANTA DE DETERGENTE EN CREMA**

En este capítulo, se determinarán las máquinas y equipos para la Planta de Detergente en Crema, así como los cálculos respectivos para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento, tanques báscula, capacidad de máquina de envasado y selección de sistema de almacenamiento y dispositivos de control de nivel, medición de peso y temperatura.

### **3.1. Determinación y Cálculo de Capacidad de Máquinas y Equipos**

Basándose en el diagrama de procesos, se determinan las máquinas y equipos a requerirse tanto en la parte de recepción y

almacenamiento, fabricación y envasamiento del detergente en crema.

### **Almacenamiento de Materia Prima:**

Materias Primas Líquidas: para el almacenamiento de las materias primas líquidas de mayor consumo mensual (a excepción del agua) en este caso el ácido sulfónico, silicato de sodio e hidróxido de sodio se requerirán de silos o tanques para recepción y almacenamiento.

Las capacidades se determinan en función a lo programado en el plan de abastecimiento mostrado en Tabla 4.

Se sobredimensionarán los silos en un 25% sobre la cantidad requerida ante posible aumento de la demanda.

Las capacidades de los silos quedan definidas en las siguientes cantidades:

- Tanque de Ácido Sulfónico: 75 ton
- Tanque de Hidróxido de Sodio: 50 ton
- Tanque de Silicato de Sodio: 15 ton

**Pesado de Materia Prima:** para el pesado de la materia prima que intervendrá en el proceso, se emplearán dos sistemas de pesado de acuerdo al tipo de materia prima: polvo ó líquido.

- Para el pesado de polvos (carbonato de calcio, tripolifosfato de sodio, sulfato de sodio, carbonato de sodio, carboximetilcelulosa) se requerirá de una plataforma de pesado tipo industrial para piso de 1,2 m x 1,2 m, en acero al carbono de superficie corrugada con capacidad hasta 500 Kg +/- 0.5 Kg.
- Para el pesado de los líquidos, se emplearán tanques tipo básculas; en este proceso se emplearán cuatro tanques báscula dispuestos de la siguiente manera: tanque báscula para ácido sulfónico, tanque báscula para silicato de sodio, tanque báscula para hidróxido de sodio y tanque báscula para slurry; el slurry en este proceso se define a la mezcla del carbonato de calcio con agua.

El empleo de los tanques báscula se justifica, por cuanto reduce los tiempos en las operaciones de pesado y es un

método más seguro al reducir riesgos para los operadores en la manipulación de las materias primas anotadas, esto debido a que el transporte de la materia prima sería por medio de tuberías.

Los tanques báscula dispondrán de un agitador que permitirá corregir alguna disociación de fases en el caso del ácido sulfónico, silicato e hidróxido sodio y para mezclado en la preparación del slurry.

Cada tanque báscula, tendrá la capacidad de pesar de manera precisa la cantidad de materia prima necesaria de acuerdo a un lote de producción; el tamaño del lote definirá si se dimensionan los tanques básculas para el pesado en una o más etapas. En la sección siguiente de mezclado de componentes, se definirá el tamaño del lote de producción para alcanzar el requerimiento de producción anual, que es de 5400 toneladas.

**Fabricación del Detergente en Crema:** una vez pesado todos los ingredientes, sigue la fabricación del detergente propiamente,

siendo esta la etapa más importante, por cuanto es donde gira todo el proceso.

Para la mezcla y reacción química de todos los componentes, se requerirá de un reactor.

Para justificar el criterio de selección, es necesario indicar que los reactores se clasifican de manera general de dos formas, una que se relaciona con el tipo de operación y la otra según sus características de diseño.

La primera clasificación, se asocia primordialmente con reacciones homogéneas y divide a los reactores en las siguientes clases: discontinuos, continuos y semicontinuos. A continuación se da una breve descripción de los mismos.

Reactor Discontinuo: este tipo admite todos los reactivos al principio y los procesa según un curso determinado de reacción durante el cual no se alimenta o se extrae ningún material. Por lo común, el reactor tiene la forma de un tanque con o sin agitación, y se usa primordialmente en una producción a pequeña escala.

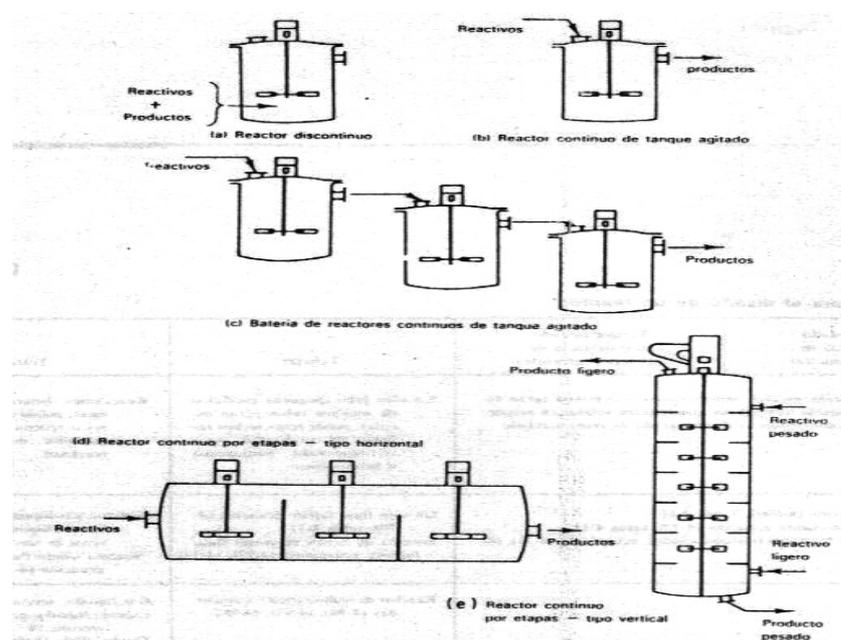
Reactor Continuo: los reactivos se introducen y los productos se extraen simultáneamente y en forma continua en los reactores de esta índole. Este puede tener la forma de un tanque, una estructura tubular o una torre, y tiene multitud de aplicaciones en plantas a gran escala con el propósito de reducir los costos de operación y facilitar el control de la calidad del producto.

Reactor semicontinuo: a esta categoría pertenecen aquellos reactores que no satisfacen por completo las dos clases antes mencionadas. En uno de los casos, algunos de los reactivos se cargan en el principio, en tanto que los restantes se dosifican continuamente conforme se desarrolla la reacción. Otro tipo es similar al reactor discontinuo, excepto que uno o más de los productos se extraen en forma continua.

De acuerdo a las características de diseño se clasifican de la siguiente manera:

Reactor Tanque: es uno de los más comunes en la industria. En la mayoría de los casos está equipado con un sistema de agitación (por ejemplo, centrifugación, oscilación o sacudidas) así como de elementos para la transferencia de calor. Esta clase admite la

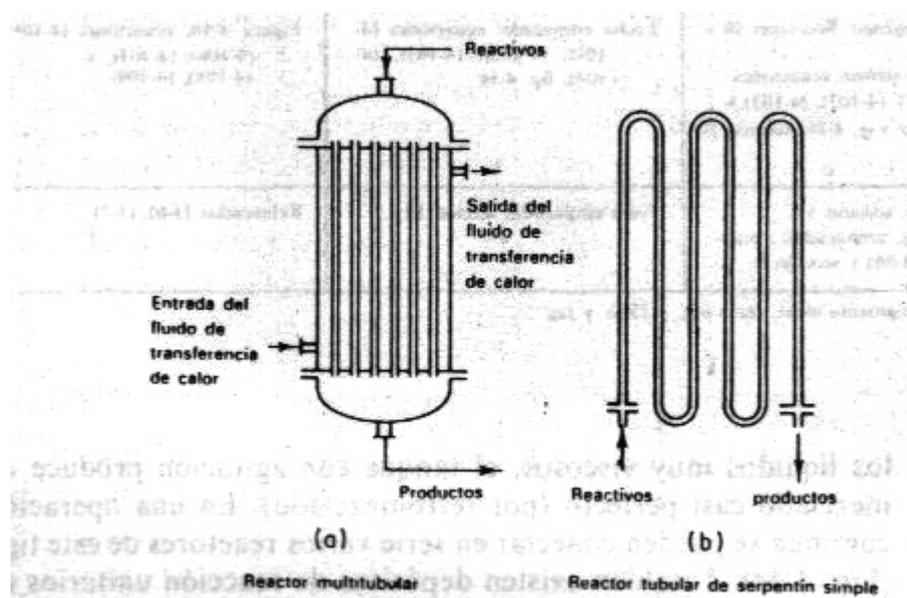
operación discontinua como la continua en amplia gama de presiones y temperaturas (ver Figura 3.1.). Con excepción de los líquidos muy viscosos, el tanque con agitación produce un mezclado casi perfecto.



**FIGURA 3.1. REACTORES DE TANQUE AGITADO**

Reactor tubular: este tipo de reactor se construye ya sea de un solo tubo continuo ó de varios tubos en paralelo (Ver Figura 3.2.). Los reactivos penetran por un extremo y el producto sale por el otro. La transferencia de calor hacia el reactor o donde éste, se

logra por medio de una camisa o un diseño de tubos y carcasa. El reactor tubular tiene aplicación en casos en los que es indeseable el retromezclado en la dirección del flujo.



**FIGURA 3.2. REACTORES TUBULARES**

Reactor en torre: se caracteriza por su estructura cilíndrica vertical con una relación grande entre la altura y el diámetro. Se utiliza para proceso continuo de reacciones heterogéneas, como por ejemplo el horno de cal y las unidades de absorción de gases para reacciones gas-líquido.

Reactor de lecho fluidificado: se trata de un depósito cilíndrico vertical que contiene partículas sólidas finas que son catalizadores o reactivos. La corriente del reactivo fluido se introduce en la base del reactor a una velocidad tal que los sólidos flotan en la corriente del fluido sin salir del sistema. Se ha aplicado extensamente a reacciones sólido-fluido como la disociación catalítica de los hidrocarburos de petróleo, la conversión de óxidos de uranio en cloruros de uranio, etc.

Reactor para fases dispersas: se caracteriza por una columna vertical que contiene partículas de catalizador muy finas suspendidas en un medio líquido (por ejemplo, aceite) que puede ser uno de los reactivos. El reactivo gaseoso que se burbujea por la suspensión se disuelve en el medio líquido en donde se producen las reacciones catalizadas.

De acuerdo a lo descrito y en función a nuestro proceso, se selecciona el reactor de proceso de operación discontinua tipo tanque en donde todos los reactivos se introducen y no se descarga el producto hasta que concluye el proceso.

El reactor dispondrá de un sistema de agitación doble en contrarrotación (agitador central y agitador lateral con raspadores para las paredes cuyo giro será contrario entre sí); su función principal será de mezclar todos los componentes, eliminando grumos y burbujas de aire que se hayan formado en el proceso; los raspadores serán útiles para evitar que la crema que se queda en las paredes se quemé y ayudar a la descarga de la misma.

El reactor deberá disponer de un sistema de calentamiento y enfriamiento para alcanzar las temperaturas requeridas por el proceso.

Cómo se indicó anteriormente, en función de esta etapa del proceso se definirá el tamaño del lote de producción, lo cual permitirá definir la capacidad de los equipos auxiliares (tanques báscula) así como de las máquinas para el envasado.

Proyectando trabajar la planta veinticuatro horas de lunes a viernes, se obtiene doscientos cincuenta días disponibles al año, de acuerdo a esto se deduce, que la planta deberá ser capaz de producir diariamente:

$$\text{Producción(Kg / día)} = \frac{5400000}{250}$$

$$\text{Producción(Kg / día)} = 21600$$

Ó lo que es lo mismo, la planta debe tener una capacidad de producción de 900 Kg/hora.

De las pruebas de producción a pequeña escala en laboratorio y de estimaciones de proceso, se establece un tiempo de fabricación de cuatro horas; tiempo que se denominará tiempo lote de producción ó tiempo de ciclo (no incluye envasado).

Empleando el dato anterior, se tiene que por día es factible fabricar seis lotes de crema detergente; relacionando este valor con la cantidad a producir por día, se puede determinar el tamaño del lote para cumplimiento del plan:

$$\text{Tamaño lote(Kg)} = \frac{21600}{6}$$

$$\text{Tamaño lote(Kg)} = 3600$$

Esto implica, que la capacidad mínima del equipo de mezclado, será de 3600 Kg; de manera conservadora y considerando que el

detergente en crema es un producto nuevo a nivel local, y que su posicionamiento en el mercado puede resultar algo lento, se incrementará la capacidad de este equipo en aproximadamente un 40% en previsión ante un posible aumento de la demanda, por lo que se lo diseñará para una capacidad de 5000 Kg.

Por estrategia de producción y para darle la mayor continuidad posible al proceso, para evitar paradas por la descarga del producto ante el inicio del nuevo ciclo, para la elaboración del lote de 5000 Kg se emplearán dos reactores de 2500 Kg cada uno.

**Envasado:** luego de fabricado el detergente en crema, se procederá al envasado, para lo cual se requerirá de tanques pulmón y máquinas para tal efecto.

Tanques Pulmón: servirán de depósito del detergente en crema, montándose en línea con las máquinas de envasado. Sus dimensiones van en relación con la capacidad del reactor y la velocidad de llenado de máquina envasadora. Estos tanques de 1000 Kg de capacidad cada uno, recibirán el semielaborado de los reactores de proceso, el medio de transporte de la crema

desde los reactores a los tanques pulmones será por medio de una bomba.

Máquina de Envasado: la máquina debe ser capaz de formar el empaque en doy pack, en los formatos de 100g, 200g, 400g y 1000g. En el cálculo de capacidades, se definirá la velocidad de la máquina y determinarán cuantas máquinas se requerirán para cumplir con el plan de producción.

Se puede inferir, que el mínimo rendimiento que se debe obtener de la ó las máquinas de envasado será la producción por día 21600 Kg/día ó en términos de hora 900 Kg/hora.

De acuerdo a datos de fabricantes de máquinas de envasado de cremas, se pueden conseguir en el mercado, máquinas con los siguientes rendimientos para las diferentes presentaciones ó formatos:

**TABLA 6**

**OPCIONES DE RENDIMIENTO PARA SELECCIÓN DE  
ENVASADORA AUTOMÁTICA DE CREMA**

PRODUCTO	PESO (Kg)	UNDS/min	Kg/h	EFICIENCIA (%)	CAPACIDAD (Kg/h)
DOY PACK 100g -200g	0,1	100	600	80	480
	0,2	80	960	80	768
DOY PACK 400g -1000g	0,4	60	1.440,00	80	1.152,00
	1	10	600	80	480

De manera combinada, considerando que operarían las dos máquinas a la vez, la mínima producción por hora es de 960 Kg (en el caso de 100 g y 1000 g) y la máxima de 1920 Kg (para el caso de 200 g y 400g)

En el Apéndice A, con el rendimiento mostrado, se presenta un análisis de Capacidad de Fabricación y Envasado considerando los días disponibles y no disponibles (fines de semana, feriados, programados para mantenimientos, etc.).

Para cumplir el requerimiento de envasado se necesitará:

- Una máquina envasadora automática para los formatos de 100 g y 200 g; con una velocidad nominal de 100 y 80 unds/min respectivamente.
- Una máquina envasadora automática para los formatos de 400 g y 1000 g; de velocidad nominal de 60 y 10 unds/min respectivamente.
- Producción en envasado de 24 horas de lunes a viernes, distribuidos en dos turnos de trabajo de 12 horas cada uno. (La empresa ha adoptado esta modalidad de labores, por cuanto la nueva planta se alineará a este esquema para aprovechar la logística asociada para tal efecto)
- Tensión de energía eléctrica de 220 voltios y frecuencia de corriente de 60 Hz.

### **3.2. Especificaciones de Tanques de Almacenamiento para Materia**

#### **Prima**

Para definir las especificaciones de los tanques, se seguirá la siguiente metodología: primero se seleccionará el material de

acuerdo a la información referente a las propiedades de las materias primas que van a ser contenidas en los silos ó tanques, posteriormente se describirá el diseño de forma para luego realizar los cálculos de espesor del manto, de los pernos para anclaje y sistema de calentamiento.

### **Selección del Material**

De acuerdo, a lo descrito en el capítulo 2, sección 2.3 de esta Tesis, tanto el ácido sulfónico, hidróxido de sodio y silicato de sodio son soluciones corrosivas (el silicato de sodio en menor grado debido a que la concentración es baja 43%) por lo que la primera recomendación de los fabricantes de estas materias primas, es que los materiales de los recipientes sean resistentes a la corrosión o que posean un recubrimiento que garantice la protección de los mismos.

En el caso del ácido sulfónico, que es el más corrosivo de las tres materias primas a almacenar en tanques, la selección del material del recipiente no da lugar a más alternativa que elegir un acero inoxidable austenítico.

Para el caso del almacenamiento del hidróxido de sodio, la selección del material del recipiente depende de la concentración de la solución, la temperatura y cantidad a almacenar; sobre la base de esto se presentan tres alternativas de los materiales que son aceros (al carbono o inoxidable), acero al carbono con algún tipo de recubrimiento o materiales sintéticos como plásticos.

Los materiales se aplican bajo los siguientes criterios:

Acero de Bajo Carbono: se aplica cuando la concentración del hidróxido de sodio no es crítica y la temperatura de almacenamiento no excede los 45 °C; para el hidróxido de sodio en estas condiciones el contenido de carbono deberá estar entre 0,18% y 0,25%. Variaciones en la concentración, alta temperatura de almacenamiento y enguaje del tanque promueve la corrosión y deben ser evitados.

Acero Inoxidable Austenítico: AISI 304L es muy recomendable para temperaturas de almacenamiento por debajo de 70°C. El acero inoxidable AISI 316L es también adecuado pero su uso es menos extendido para esta aplicación.

Acero Recubierto: se puede emplear cuando la concentración del hidróxido de sodio es crítica y la temperatura excede los 45°C; bajo estas condiciones el tanque debe ser protegido y esto se puede lograr recubriendo el tanque con: ebonite, es uno de los primeros materiales que aún es usado, pero presenta dificultad en la reparación; hypalon, es recomendado para aplicaciones críticas y capas epóxicas que es el recubrimiento más popular especialmente para tanques grandes

Materiales Sintéticos: pueden ser usados bajo estricta recomendación del fabricante, en particular lo relacionado con la concentración y temperatura deben ser respetadas. La temperatura de suministro del producto puede ser alta como 55°C.

Un tanque hecho de fibra de vidrio reforzado con poliéster y con un interior recubierto de polipropileno es recomendable para temperaturas arriba de los 60°C; la rigidez es proporcionada por la fibra de vidrio reforzada y la resistencia química es debido al recubrimiento interior de polipropileno.

En este tipo de tanques es necesario un periódico control del recubrimiento.

Para almacenar a temperaturas sobre los 35°C, recubrimiento de PVC también puede ser recomendable, aún para altas temperaturas el polipropileno puede ser aplicado; el polietileno de alta densidad también puede ser usado pero con limitaciones en la capacidad.

De acuerdo a los criterios expuestos, se decide por el acero inoxidable AISI 304 para los tanques de almacenamiento, por cuanto el producto en ocasiones se lo va a someter a calentamiento por encima de los 45°C previo enviarlo al proceso; además el tanque construido con este tipo de material, requiere de mínimas acciones de mantenimiento, a diferencia de los tanques de acero al bajo carbono y los recubiertos; otra consideración muy importante que influye en la selección del acero inoxidable AISI 304, es para asegurar que las materias primas contenidas no se contaminen con el material producto de corrosión o desprendimiento de recubrimiento del tanque y garantizar la pureza y blancura del producto final, requisito muy importante solicitado por el departamento de mercadeo.

### **Diseño de Forma**

Los tanques se diseñarán de forma cilíndrica, el techo será de forma cónica, será provisto de dos registros de inspección uno superior sobre el techo y uno inferior en la parte lateral.

Por requerimiento de proceso, se considera un sistema de calentamiento, para este diseño se usará como medio de calentamiento el vapor por ser un método económico, seguro y de fácil control. Para tal efecto, se empleará un serpentín de calentamiento, el cual será montado sobre el fondo del tanque.

La base tendrá una pendiente de 3° para facilitar el drenaje y limpieza; se empleará la misma pendiente para facilitar la purga del condensado del serpentín.

El ingreso del fluido será por la parte superior con característica antiespuma y la descarga por la parte inferior.

### **Cálculo de Diámetro y Altura:**

Definida la capacidad de cada tanque y conociendo su densidad, se procede a determinar el volumen de los mismos empleando las siguientes expresiones:

$$\rho = \frac{m}{V} ; \quad V = \frac{\pi}{4} h D^2$$

Evaluando para diferentes diámetros, de manera tal que se optimice el material de la plancha de acero inoxidable al formar el cilindro y considerando el espacio disponible, se tiene que las dimensiones de los tanques a construir son las siguientes:

**TABLA 7**

**DIMENSIONES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>CAPACIDAD (ton)</b>	<b>VOLUMEN (m3)</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>ALTURA (mm)</b>
Tanque Ácido Sulfónico	75	72	3880	6089
Tanque Hidróxido de Sodio	50	33	3100	4370
Tanque Silicato de Sodio	15	10	2330	2345

Los tanques de ácido sulfónico y silicato de sodio, se los ubicará por el lado que se dispone para el acceso de los tanqueros, y el tanque de hidróxido de sodio, ocupará la posición actual como se mostrará en el layout de la planta.

**Cálculo de Espesor de Plancha**

Del apéndice S Tanques de Almacenamiento en Acero Inoxidable Austenítico de la norma API 650 para tanques soldados (mostrado en el Apéndice B), se tiene que para calcular el espesor mínimo de

la placa del cilindro ó casco se puede emplear la siguiente expresión:

Espesor del casco:

$$t = \frac{2.6D(H-1)G}{E(\sigma_{\text{máximo admisible del material}})} + C.A.$$

De la misma norma API 650, sección 3.10.5 se puede emplear la siguiente expresión para el cálculo del espesor del techado cónico:

Espesor de techado cónico:

$$t = \frac{D}{400 \text{sen} \theta}$$

$$t_{\text{min}} = 3/16 \text{ pulg}$$

$$t_{\text{máx}} = 1/2 \text{ pulg}$$

$$\theta_{\text{máxima}} = 37^\circ$$

$$\theta_{\text{mínima}} = 9^\circ 27' \text{ min}$$

Donde:

C.A.: margen por corrosión especificado por el comprador, pulg.

D: diámetro medio del tanque, pies

E: eficiencia de junta soldada, adimensional

G: densidad relativa del líquido a almacenar; nunca menor de 1

H: altura, pies

t: espesor mínimo requerido de la placa

$\theta$ : Ángulo del cono con la horizontal, grados

Para el cálculo, se definen los siguientes parámetros para los tres tanques de almacenamiento:

C.A. = 1/16 pulg. (1.5875 mm)

E = 0.85; de norma UW-12, junta a tope examinada por zonas.

$\theta = 10^\circ$

$\sigma_{\text{máximo admisible}} = 22500 \text{ lb/pulg}^2$  (155.13 Mpa) a temperatura no mayor de 200 °F, tomado de la tabla S-2 del apéndice S de la norma API 650

Para el caso del tanque de almacenamiento del ácido sulfónico se tiene:

Espesor del casco:

H = 20 pies (6089 mm)

$$t = \frac{2.6 * 12.73 * (20 - 1) * (1.05/1)}{0.85 * 22500} + 0.0625$$

$t = 9.69 \times 10^{-2}$  pulg. (2.46 mm)

Repitiendo el mismo procedimiento para las diferentes alturas, y considerando emplear planchas de acero de 1220 mm de altura se obtiene:

**TABLA 8**

**ESPEORES DE PLANCHA A DIFERENTES ALTURAS  
TANQUE DE ÁCIDO SULFÓNICO**

No ANILLO	ALTURA (mm)	ESPESOR (mm)
1	6089	2.46
2	4867.65	2.27
3	3649	2.09
4	2429	1.90
5	1209	1.72

Para el caso del primer anillo, se selecciona un espesor de plancha de 4 mm por aspectos de soldabilidad; segundo y tercer anillo se empleará plancha de 3 mm y para el cuarto y quinto anillo plancha de 2 mm, siendo estos los espesores de plancha disponibles en el mercado.

Espesor de techado cónico:

$$t = \frac{12.73}{400 * \text{sen}10}$$

$$t = 0.1832 \text{ pulg. (4.65 mm)}$$

Por lo tanto, el espesor de plancha para el techado cónico será de 6 mm.

Aplicando el mismo procedimiento para los dos tanques restantes se tiene:

**TABLA 9**

**ESPEORES DE PLANCHA A DIFERENTES ALTURAS  
TANQUE HIDRÓXIDO DE SODIO**

SECCIÓN	ALTURA (mm)	ESPEOR TEÓRICO(mm)	ESPEOR SELECCIONADO(mm)
Anillo 1	4370	2.3	4
Anillo 2	3150	2.08	3
Anillo 3	1930	1.87	2
Anillo 4	710	1.65	2
Techado	-	3.71	6

TABLA 10

**ESPEORES DE PLANCHA A DIFERENTES ALTURAS  
TANQUE SILICATO DE SODIO**

SECCIÓN	ALTURA (mm)	ESPEOR TEÓRICO(mm)	ESPEOR SELECCIONADO(mm)
Anillo 1	2345	1.86	4
Anillo 2	1125	1.70	2
Techado	-	2.79	6

El mismo apéndice S, de la norma API 650 recomienda para el fondo del tanque un espesor de placa mínima de 3/16 pulg., mismo que se aplicará para este diseño, pero con el espesor comercial de plancha de acero inoxidable que es de 6 mm.

#### **Diseño de los Pernos de Anclaje**

Los tanques se anclarán a un cimiento de concreto por medio de pernos de anclaje.

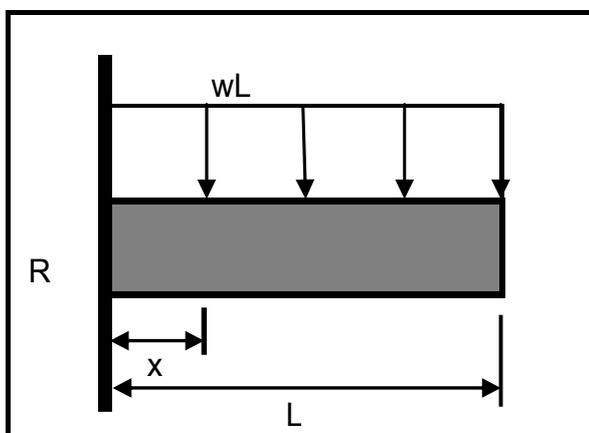
Se empleará un método aproximado para el cálculo del diámetro de los pernos; el método consiste en suponer un anillo continuo de diámetro igual al del círculo de los pernos.

El método requiere el mayor momento en la base del tanque debido a carga por viento o por carga sísmica.

A continuación se aplicará el método aproximado para el cálculo de los pernos de anclaje del Tanque de Ácido Sulfónico.

### Cálculo de Momento por Carga del Viento

El cálculo de la carga se basará en la norma A58.1-1982 de ANSI; se considera al tanque sometido a la carga por viento como una viga en voladizo con carga uniforme, ver Figura 3.3.



**FIGURA 3.3. VIGA EN VOLADIZO CON CARGA UNIFORME**

La presión de diseño del viento se determina para cualquier altura mediante la fórmula:

$$P = q_s C_e C_q$$

Donde:

P: presión de diseño del viento, lb/pie<sup>2</sup>

q<sub>s</sub>: presión de estancamiento del viento a la altura estándar de 30 pies; para este cálculo se empleará 45 Kg/m<sup>2</sup> (9.22 lb/pie<sup>2</sup>), valor tomado de Anexo E, Proyecto de Inversión y Gestión, Concesión de Servicio Público en los terminales de Contenedores y Multipropósito (TCM), Autoridad Portuaria de Guayaquil, noviembre de 2006.

C<sub>q</sub>: Coeficiente de presión (factor de forma) que toma los siguientes valores:

Torres Cuadradas ó Rectangulares: 1.4

Torres hexagonales u Octagonales: 1.1

Torres Redondas ó Elípticas: 0.8

C<sub>e</sub>: Altura combinada, exposición y coeficiente del factor por ráfagas, valores se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 11

VALORES TABULADOS DE  $C_e$  A DIFERENTES ALTURAS

ALTURA SOBRE EL PISO (pies)	COEFICIENTE $C_e$	
	EXPOSICIÓN C	EXPOSICIÓN B
0-20	1.2	0.7
20-40	1.3	0.8
40-60	1.5	1.0
60-100	1.6	1.1
100-150	1.8	1.3
150-200	1.9	1.4
200-300	2.1	1.6
300-400	2.2	1.8

La exposición C representa la más severa, en terreno plano y generalmente abierto, que se extiende media milla o más desde donde se localiza la torre. Las grandes plantas petroquímicas están en esta categoría. La exposición B es para un terreno en el cual hay construcciones, bosques o irregularidades en el suelo de 20 o más pies de altura que cubre 20 por ciento de área, extendiéndose una milla o más desde donde se ubica la torre.

Reemplazando valores se tiene:

$$P=9.22 \text{ lb/pie}^2 \cdot 0.8 \cdot 0.8$$

$$P=5.9 \text{ lb/pie}^2$$

A continuación, se presenta la fórmula para el momento que modela una viga en voladizo con carga constante:

$$M = \frac{wl^2}{2}$$

Donde:

M: momento debido a la carga, en este caso del viento, lb-pie.

w: es la carga del viento uniformemente distribuida sobre el tanque, lb/pie.

l: altura del recipiente (longitud de la viga)

Reemplazando valores se obtiene:

$$M = \frac{5.9 \text{ lb/pie}^2 * 12.7 \text{ pie} * (20 \text{ pie})^2}{2}$$

$$M = 14986 \text{ lb-pie} \quad (20322 \text{ N-m})$$

### **Cálculo de Momento por Carga Sísmica**

Para el cálculo del momento por cargas sísmicas, se empleará el procedimiento recomendado en el Apéndice E de la norma API 650 (Diseño Sísmico de Tanques de Almacenamiento). Al final de esta Tesis se muestra el apéndice de la norma aplicada. Ver Apéndice C.

El momento en la base del tanque debido a las fuerzas sísmicas, puede ser determinado por la siguiente fórmula:

$$M = ZI(C_1W_gX_g + C_1W_tH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Donde:

*M*: momento en la base del tanque, en lb-pie.

*Z*: factor de la zona sísmica, Tabla E-2 del apéndice de la misma norma puede ser usado para determinar este factor, valor adimensional.

*I*: factor de importancia; recomendado valor 1 y no debe de exceder de 1,25. Máximo valor se aplicará en tanques de almacenamiento de sustancias tóxicas ó explosivas y que deben prestar servicio después de un terremoto y que pueden ser considerados peligrosos para la seguridad pública, valor adimensional.

*C*<sub>1</sub>, *C*<sub>2</sub>: coeficiente de fuerza lateral, se determinan de acuerdo a E.3.3., valor adimensional.

*W*<sub>g</sub>: Peso total de membrana del tanque, en lb.

*X*<sub>g</sub>: altura desde el fondo del tanque hasta el centro de gravedad, en pies.

$W_t$ : peso total del techo del tanque (fijo ó flotante), sumar una porción de nieve o alguna otra especificación del comprador, en lb.

$H_t$ : altura total de membrana del tanque, en pies.

$W_1$ : peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve en unísono con la membrana del tanque, es determinado de acuerdo a E.3.2.1, en lb.

$X_1$ : altura desde el fondo de la membrana del tanque hasta el centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada por  $W_1$ , determinado de acuerdo a E.3.2.2, en pies.

$W_2$ : peso de la masa efectiva contenida en el tanque al moverse en el primer modo de resonancia; es determinado de acuerdo a E.3.2.1, en lb.

$X_2$ : altura desde el fondo de la membrana del tanque hasta el centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada por  $W_2$ , determinado de acuerdo a E.3.2.2, en pies.

Evaluando las fórmulas y empleando los valores recomendados en el procedimiento se tiene que:

$Z=0.2$ ; se considera zona tipo 2B

$I = 1$

$C_1 = 0.6$

$C_2 = \frac{0.75S}{T}$  ; sí  $T < 4.5$

$$C_2 = \frac{3.375S}{T^2}; \text{ sí } T > 4.5$$

Donde:

$S$ : coeficiente de perfil del suelo, se empleará 1.2; valor tomado de la Tabla E-3 del apéndice E.

$T$ : primer periodo natural de resonancia, en segundos; se determina por medio de la siguiente fórmula:

$T = k(D^{0.5})$ ; Donde  $k$  es un factor obtenido de la Figura E-4 mediante la relación  $D/H$  y  $D$  es el diámetro del tanque en pies.

$D/H = 3880\text{mm}/6089\text{mm} = 0.64$ ; con este valor se tiene que  $k = 0.58$ .

Evaluando se obtiene que:

$$T = 0.58(12.7^{0.5})$$

$$T = 2.06\text{s} < 4.5$$

Con este valor, se calcula  $C_2$  empleando la fórmula correspondiente de acuerdo al valor de  $T$  y se tiene que:

$$C_2 = \frac{0.75 * 1.2}{2.06}$$

$$C_2 = 0.44$$

$W_g = 3648 \text{ lb (1655 Kg)}$ ; valor aproximado calculado de acuerdo al espesor y cantidad de planchas de cada anillo o manto del tanque (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$X_g = 20\text{pies}/2 = 10 \text{ pies}$$

$W_t = 1746.06 \text{ lb}$  (792 Kg); (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$H_t = 20 \text{ pies}$$

$W_1$  y  $W_2$  se calculan a partir de la Figura E-2.

$$\frac{W_1}{W_T} = 0.9 \quad ; \quad \frac{W_2}{W_T} = 0.16$$

Donde  $W_T$  es el peso total del contenido del tanque, en lb.

$$W_T = 1050 \text{Kg} / \text{m}^3 * 72 \text{m}^3$$

$$W_T = 75600 \text{ Kg} (166669.5 \text{ lb.})$$

Evaluando se obtiene los valores de  $W_1$  y  $W_2$ :

$$W_1 = 150 \times 10^3 \text{ lb}$$

$$W_2 = 26667.12 \text{ lb}$$

$H_1$  y  $H_2$  se calculan a partir de la Figura E-3.

$$\frac{X_1}{H} = 0.45 \quad ; \quad \frac{X_2}{H} = 0.78$$

Donde,  $H$  es el máximo nivel de llenado del tanque;  $H = 20$  pies.

Evaluando se obtiene los valores de  $X_1$  y  $X_2$ :

$$X_1 = 9 \text{ pies}$$

$$X_2 = 15.6 \text{ pies}$$

Evaluando la fórmula del momento se tiene que:

$$M = 0.2 * 1(0.6 * 3648.65lb * 10pies + 0.6 * 1746.06lb * 20pies + 0.6 * 150x10^3lb * 9pies + 0.44 * 26667.12lb * 15.6pies)$$

$$M = 206761.53 \text{ lb-pie (280413.93 N-m)}$$

Siguiendo con el método aproximado para el cálculo de los pernos de anclaje, se emplean las siguientes fórmulas:

$$T = 12 \frac{M}{A_b} - \frac{W}{C_B}$$

$$B_A = \frac{TC_B}{S_B N}$$

Donde:

$T$ : tensión máxima, en lb/pulg.

$B_A$ : área requerida de un perno, en pulg<sup>2</sup>

$M$ : momento en la base del tanque

$W$ : peso del recipiente durante la instalación, en lb

$A_B$ : área dentro del círculo de pernos, pulg<sup>2</sup>

$C_B$ : circunferencia del círculo de pernos, en pulg

$N$ : número de pernos de anclaje.

$S_B$ : máximo esfuerzo permitido por el material de los tornillos, en lb/pulg<sup>2</sup>.

Primeramente, se asumirá un diámetro de círculo de pernos de 200 mm mayor que el diámetro interno del tanque, es decir el diámetro del círculo de pernos será 4080 mm.

Con este valor se calculan  $C_B$  y  $A_B$  de la siguiente manera:

$$C_B = 2\pi r$$

$$C_B = 2 * \pi * 80.31 \text{ pulg}$$

$$C_B = 504.63 \text{ pulg}$$

$$A_B = \pi r^2$$

$$A_B = \pi * (80.31 \text{ pulg})^2$$

$$A_B = 20262.31 \text{ pulg}^2$$

$W = 7348.51 \text{ lb}$  (3333.23 Kg) (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$S_B = 36000 \text{ lb/pulg}^2$ ; esfuerzo de fluencia del acero ASTM A307, acero recomendado por la norma API 650 en la sección 2.7 (Materiales)

Reemplazando valores se tiene que:

$$T = 12 \frac{206761.53lb - pie}{20262.31pulg^2} - \frac{7348.51lb}{504.63pulg}$$

$$T = 107.88 \text{ lb/pulg}$$

Asumiendo 8 pernos para el anclaje del tanque se tiene que:

$$B_A = \frac{(107.88lb / pulg)(504.63pulg)}{(36000lb / pulg^2)(8)}$$

$$B_A = 0.19 \text{ pulg}^2$$

$$0.19 = \pi r^2$$

Despejando tenemos  $r = 0.25 \text{ pulg}$

El método empleado, recomienda considerar un aumento de 1/8 pulg al diámetro del perno encontrado por margen de corrosión, de acuerdo a esto el diámetro del perno es:

$$D_{\text{perno}} = 0.625 \text{ pulg (15.87 mm)}$$

Para el Tanque de Ácido Sulfónico, se empleará 8 pernos de acero ASTM A307 de 5/8 pulg ó M16 de 100 mm de longitud mínima.

Se aplica el mismo método para el tanque de Hidróxido de Sodio y de Silicato de Sodio; en vista de que el procedimiento de cálculo es el mismo, a continuación sólo se presentaran los resultados parciales y totales.

### **Cálculo de Pernos de Anclaje para Tanque de Hidróxido de Sodio**

#### **Cálculo de Momento por Carga del Viento**

$$P = q_s C_e C_q$$

Reemplazando valores se tiene:

$$P = 9.22 \text{ lb/ pie}^2 * 0.8 * 0.7$$

$$P = 5.16 \text{ lb/ pie}^2$$

Como se indicó anteriormente, se empleará para el cálculo del momento la fórmula que modela una viga en voladizo con carga constante:

$$M = \frac{wl^2}{2}$$

Reemplazando valores se tiene que:

$$M = \frac{5.16 \text{ lb/ pie}^2 * 10.2 \text{ pie} * (14.3 \text{ pie})^2}{2}$$

$$M = 5384.69 \text{ lb-pie (7302.16 N-m)}$$

### **Cálculo de Momento por Carga Sísmica**

Aplicando la fórmula para el momento de acuerdo al procedimiento recomendado en el Apéndice E la norma API 650 (Diseño Sísmico de Tanques de Almacenamiento)

$$M = ZI(C_1W_gX_g + C_1W_tH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Donde:

$Z=0.2$ ; se considera zona tipo 2B

$$I = 1$$

$$C_1 = 0.6$$

$$C_2 = \frac{0.75S}{T} ; \text{ sí } T < 4.5$$

$$C_2 = \frac{3.375S}{T^2} ; \text{ sí } T > 4.5$$

Donde:

$S$ : coeficiente de perfil del suelo, se empleará 1.2; valor tomado de la Tabla E-3 del apéndice E.

$T$ : primer periodo natural de resonancia, en segundos; se determina por medio de la siguiente fórmula:

$T = k(D^{0.5})$  ; Donde  $k$  es un factor obtenido de la Figura E-4 mediante la relación  $D/H$  y  $D$  es el diámetro del tanque en pies.

$D/H = 3100mm/4370mm = 0.71$ ; Con este valor se tiene que  $k = 0.58$ .

Evaluando se tiene que:

$$T = 0.58(10.2^{0.5})$$

$$T = 1.85s < 4.5$$

Con este valor, se calcula  $C_2$  empleando la fórmula correspondiente de acuerdo al valor de  $T$  y se tiene que:

$$C_2 = \frac{0.75 * 1.2}{1.85}$$

$$C_2 = 0.48$$

$W_g = 2292.8$  lb (1040 Kg); valor aproximado calculado de acuerdo al espesor y cantidad de planchas de cada anillo o manto del tanque (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$X_g = 14.3\text{pies}/2 = 7.15 \text{ pies}$$

$W_t = 1111.12$  lb (504 Kg); (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$H_t = 14.3 \text{ pies}$$

$W_1$  y  $W_2$  se calculan a partir de la Figura E-2.

$$\frac{W_1}{W_T} = 0.87 \quad ; \quad \frac{W_2}{W_T} = 0.18$$

Donde  $W_T$  es el peso total del contenido del tanque, en lb.

$$W_T = 1540 \text{ Kg} / \text{m}^3 * 33 \text{m}^3$$

$$W_T = 50820 \text{ Kg} (112038.92 \text{ lb.})$$

Evaluando se obtienen los valores de  $W_1$  y  $W_2$ :

$$W_1 = 97473.86 \text{ lb}$$

$$W_2 = 20167 \text{ lb}$$

$H_1$  y  $H_2$  se calculan a partir de la Figura E-3.

$$\frac{X_1}{H} = 0.43 \quad ; \quad \frac{X_2}{H} = 0.77$$

Donde  $H$  es el máximo nivel de llenado del tanque;  $H = 14.3$  pies.

Evaluando tenemos los valores de  $X_1$  y  $X_2$ :

$$X_1 = 6.14 \text{ pies}$$

$$X_2 = 11.01 \text{ pies}$$

Evaluando la fórmula del momento se tiene:

$$M = 0.2 * 1(0.6 * 2292.8 \text{ lb} * 7.15 \text{ pies} + 0.6 * 1111.12 \text{ lb} * 14.3 \text{ pies} + 0.6 * 97473.86 \text{ lb} * 6.14 \text{ pies} + 0.48 * 20167 \text{ lb} * 11.01 \text{ pies})$$

$$M = 97008.35 \text{ lb-pie} (131564.57 \text{ N-m})$$

Para el cálculo de los pernos de anclaje, se emplean las siguientes formulas:

$$T = 12 \frac{M}{A_b} - \frac{W}{C_B}$$

$$B_A = \frac{TC_B}{S_B N}$$

Al igual que en la aplicación anterior, se asume un diámetro de círculo de pernos de 200 mm mayor que el diámetro interno del tanque, es decir el diámetro del círculo de pernos será 3300 mm.

$$C_B = 2\pi r$$

$$C_B = 2 * \pi * 64.96 \text{ pulg}$$

$$C_B = 408.15 \text{ pulg}$$

$$A_B = \pi r^2$$

$$A_B = \pi * (64.96 \text{ pulg})^2$$

$$A_B = 13256.89 \text{ pulg}^2$$

$W = 4694.96 \text{ lb}$  (2129.6 Kg) (ver Apéndice D Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$S_B = 36000 \text{ lb/pulg}^2$$

Reemplazando valores se tiene:

$$T = 12 \frac{97008.35lb - pie}{13256.89 pulg^2} - \frac{4694.96lb}{408.15 pulg}$$

$$T = 76.30 \text{ lb/pulg}$$

Asumiendo 6 pernos para el anclaje del tanque se tiene:

$$B_A = \frac{(76.86lb / pulg)(408.15 pulg)}{(36000lb / pulg^2)(6)}$$

$$B_A = 0.14 \text{ pulg}^2$$

$$0.14 = \pi r^2$$

Despejando se obtiene que  $r = 0.21 \text{ pulg}$

El método empleado, recomienda considerar un aumento de 1/8 pulg al diámetro del perno encontrado por margen de corrosión, de acuerdo a esto el diámetro del perno es:

$$D_{\text{perno}} = 0.55 \text{ pulg (14.09 mm)}$$

Para el Tanque de Hidróxido de Sodio, se emplearán 6 pernos de acero ASTM A307 de 5/8 pulg ó M16 de 100 mm de longitud mínima.

## Cálculo de Pernos de Anclaje para Tanque de Silicato de Sodio

### Cálculo de Momento por Carga del Viento

$$P = q_s C_e C_q$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$P = 9.22 \text{ lb/ pie}^2 * 0.8 * 0.7$$

$$P = 5.16 \text{ lb/pie}^2$$

Como se indicó anteriormente, se empleará para el cálculo del momento la fórmula que modela una viga en voladizo con carga constante:

$$M = \frac{wl^2}{2}$$

Reemplazando valores se encuentra que:

$$M = \frac{5.16 \text{ lb/ pie}^2 * 7.6 \text{ pie} * (7.7 \text{ pie})^2}{2}$$

$$M = 1162.55 \text{ lb-pie (1576.54 N-m)}$$

### Cálculo de Momento por Carga Sísmica

Aplicando la fórmula para el momento de acuerdo al procedimiento recomendado en el Apéndice E la norma API 650 (Diseño Sísmico de Tanques de Almacenamiento)

$$M = ZI(C_1W_gX_g + C_1W_tH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Donde:

$Z=0.2$ ; se considera zona tipo 2B

$I = 1$

$C_1 = 0.6$

$$C_2 = \frac{0.75S}{T} ; \text{ sí } T < 4.5$$

$$C_2 = \frac{3.375S}{T^2} ; \text{ sí } T > 4.5$$

Donde:

$S$ : coeficiente de perfil del suelo, se empleará 1.2; valor tomado de la Tabla E-3 del apéndice E.

$T$ : primer periodo natural de resonancia, en segundos; se determina por medio de la siguiente fórmula:

$T = k(D^{0.5})$  ; Donde  $k$  es un factor obtenido de la Figura E-4 mediante la relación  $D/H$  y  $D$  es el diámetro del tanque en pies.

$D/H = 2330mm/2345mm = 0.99$ ; Con este valor se encuentra que  $k = 0.58$ .

Evaluando se tiene que:

$$T = 0.58(7.6^{0.5})$$

$$T = 1.59s < 4.5$$

Con este valor, se calcula  $C_2$  empleando la fórmula correspondiente de acuerdo al valor de  $T$  y se tiene que:

$$C_2 = \frac{0.75 * 1.2}{1.59}$$

$$C_2 = 0.56$$

$W_g = 945.78$  lb (429 Kg); valor aproximado calculado de acuerdo al espesor y cantidad de planchas de cada anillo o manto del tanque (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$X_g = 7.7\text{pies}/2 = 3.85 \text{ pies}$$

$W_t = 634.93$  lb (288 Kg); (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$H_t = 7.7 \text{ pies}$$

$W_1$  y  $W_2$  se calculan a partir de la Figura E-2.

$$\frac{W_1}{W_T} = 0.8 \quad ; \quad \frac{W_2}{W_T} = 0.24$$

Donde  $W_T$  es el peso total del contenido del tanque, en lb.

$$W_T = 1600Kg / m^3 * 33m^3$$

$$W_T = 16000 \text{ Kg (35273.96 lb.)}$$

Evaluando se obtienen los valores de  $W_1$  y  $W_2$ :

$$W_1 = 28219.16 \text{ lb}$$

$$W_2 = 8465.75 \text{ lb}$$

$H_1$  y  $H_2$  se calculan a partir de la Figura E-3.

$$\frac{X_1}{H} = 0.4 \quad ; \quad \frac{X_2}{H} = 0.74$$

Donde  $H$  es el máximo nivel de llenado del tanque;  $H = 7.7$  pies.

Evaluando se encuentran los valores de  $X_1$  y  $X_2$ :

$$X_1 = 3.08 \text{ pies}$$

$$X_2 = 5.69 \text{ pies}$$

Evaluando la fórmula del momento se tiene que:

$$M = 0.2 * 1(0.6 * 945.78 \text{ lb} * 3.85 \text{ pies} + 0.6 * 634.93 \text{ lb} * 7.7 \text{ pies} + 0.6 * 28219.16 \text{ lb} * 3.08 \text{ pies} + 0.56 * 8465.75 \text{ lb} * 5.69 \text{ pies})$$

$$M = 16848.48 \text{ lb-pie (22850 N-m)}$$

Para el cálculo de los pernos de anclaje, se emplean las siguientes fórmulas:

$$T = 12 \frac{M}{A_b} - \frac{W}{C_B}$$

$$B_A = \frac{TC_B}{S_B N}$$

Al igual que en la aplicación anterior, se asume un diámetro de círculo de pernos de 200 mm mayor que el diámetro interno del tanque, es decir el diámetro del círculo de pernos será 2530 mm.

$$C_B = 2\pi r$$

$$C_B = 2 * \pi * 49.8 \text{ pulg}$$

$$C_B = 312.92 \text{ pulg}$$

$$A_B = \pi r^2$$

$$A_B = \pi * (49.8 \text{ pulg})^2$$

$$A_B = 7791.27 \text{ pulg}^2$$

$W = 2385.11 \text{ lb}$  (1081.87 Kg) (ver Apéndice D, Peso de Tanques de Almacenamiento)

$$S_B = 36000 \text{ lb/pulg}^2$$

Reemplazando valores se encuentra que:

$$T = 12 \frac{16848.48 \text{ lb} - \text{pie}}{7791.27 \text{ pulg}^2} - \frac{2385.11 \text{ lb}}{312.92 \text{ pulg}}$$

$$T = 18.32 \text{ lb/pulg}$$

Asumiendo 4 pernos para el anclaje del tanque se encuentra que:

$$B_A = \frac{(18.32 \text{ lb/pulg})(312.92 \text{ pulg})}{(36000 \text{ lb/pulg}^2)(4)}$$

$$B_A = 3.98 \times 10^{-2} \text{ pulg}^2$$

$$3.98 \times 10^{-2} = \pi r^2$$

Despejando, se encuentra que  $r = 0.11 \text{ pulg}$

El método empleado, recomienda considerar un aumento de 1/8 pulg al diámetro del perno encontrado por margen de corrosión, de acuerdo a esto el diámetro del perno es:

$$D_{\text{perno}} = 0.35 \text{ pulg (8.89 mm)}$$

Para el Tanque de Silicato de Sodio, se empleará 4 pernos de acero ASTM A307 de 1/2 pulg ó M12 de 100 mm de longitud mínima.

### **Cálculo del Serpentín de Calentamiento**

En ésta sección, se realizará el cálculo del serpentín de calentamiento de cada tanque; se contemplarán tres aspectos como la selección del material, diámetro y longitud total.

El medio para el calentamiento, será vapor saturado provisto por una caldera actualmente disponible y cuya factibilidad de uso en cuanto a la capacidad, será analizada en la sección 3.6 de este capítulo.

Basándose, en el análisis realizado para la selección de los materiales de los tanques, se puede emplear para la construcción de los serpentines acero inoxidable AISI 304.

Para el cálculo del diámetro y longitud total, se realizará las siguientes suposiciones de proceso aplicables para los tres serpentines:

- Temperatura inicial del fluido a calentar: 27°C
- Temperatura final del fluido para proceso: 50°C
- Presión manométrica de vapor: 70 lb/pulg<sup>2</sup> (448.15Mpa)
- Tiempo Elevación Temperatura: 10 minutos

Primeramente, se realiza el cálculo para el serpentín de calentamiento del Ácido Sulfónico, posteriormente se emplearon los mismos pasos para el cálculo del serpentín de los dos tanques restantes.

Como primer paso, se calculará la diferencia logarítmica de temperatura media (LMTD) para el calentador, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$LMTD = \frac{G - L}{\ln(G/L)}$$

Donde:

*G*: mayor diferencia de temperatura en el serpentín.

*L*: menor diferencia de temperatura en el serpentín.

La presión absoluta del vapor saturado es 84.69 lb/pulg<sup>2</sup> (*P*<sub>m</sub> + *P*<sub>atm</sub>); de las tablas de vapor a esta presión le corresponde una temperatura de 315.99 °F (157.77 °C)

Con este valor de temperatura, se podrá realizar el cálculo de la mayor y menor diferencias de temperaturas en el serpentín:

$$G = (315.99 - 80.6)^{\circ}F$$

$$G = 235.39^{\circ}F$$

$$L = (315.99 - 122)^{\circ}F$$

$$L = 193.99^{\circ}F$$

Aplicando la fórmula de LMTD, se tiene que:

$$LMTD = \frac{(235.39 - 193.99)^{\circ}F}{\ln(235.39^{\circ}F / 193.99^{\circ}F)}$$

$$LMTD = 214.02^{\circ}F \text{ (101.12 }^{\circ}C)$$

Ahora, se procede al cálculo de la cantidad de vapor por unidad de tiempo necesario para elevar la temperatura del Ácido Sulfónico en 10 minutos; para esto se emplea la siguiente fórmula:

$$^{\circ}Q = ^{\circ}m c \Delta T$$

Donde:

$^{\circ}Q$ : cantidad de calor por unidad de tiempo; en BTU/h

$^{\circ}m$ : flujo másico; en lb/h

$c$ : calor específico del Ácido Sulfónico; 0.2 BTU/lb $^{\circ}F$  (0.85 KJ/Kg $^{\circ}C$ )

$\Delta T$ : diferencia de temperaturas de entrada y salida del fluido; en °F

Vale la pena aclarar, que realmente el serpentín es un equipo auxiliar, que no va a ser usado de manera periódica en el proceso; se lo empleará solamente cuando se necesite acondicionar esta materia prima previo su incorporación al proceso, para este caso se diseñará el serpentín para ser capaz de calentar un 2% de la capacidad del tanque, es decir aproximadamente 1500 Kg de Ácido Sulfónico.

De acuerdo a esto, el flujo másico de **Ácido Sulfónico** a calentar es 150 Kg/min. (19800 lb/h)

Con esto se procede al cálculo de la cantidad de calor por unidad de tiempo requerida:

$$^{\circ}Q = 19800 \frac{lb}{h} * 0.2 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * (122 - 80.6)^{\circ}F$$

$$^{\circ}Q = 163944 \frac{BTU}{h}; (172.96 MJ / h)$$

Con la LMTD y  $^{\circ}Q$ , se puede calcular el área necesaria para transferencia de calor mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Q}{U * LMTD}$$

De donde:

A: área de transferencia de calor, en pie<sup>2</sup>

U: coeficiente total de transferencia de calor, en BTU/hpie<sup>2</sup>°F

En el Apéndice E, Guía para la Selección de Intercambiadores de Calor, muestra varios valores de U para ciertas combinaciones de fluidos, aplicaciones y equipos; se asemejará el nuestro tanque de almacenamiento como una olla de proceso, para este tipo de equipos los valores típicos de U están entre 100-500 BTU/hpie<sup>2</sup>°F.

Para efectos de nuestros cálculo se selecciona un valor de 200 BTU/hpie<sup>2</sup>°F.

Las demás abreviaturas siguen siendo igual que lo descrito anteriormente y con las unidades indicadas.

Con esto, se procede al cálculo del área de transferencia de calor requerida:

$$A = \frac{163944 BTU / h}{200 \frac{BTU}{hpie^2 \cdot F} * 214.02 F}$$

$$A = 3.83 \text{ pie}^2 (0.36 \text{ m}^2)$$

Para el cálculo del diámetro de tubo que se empleará en la construcción del serpentín, se requiere del flujo de vapor que pasará por el mismo; este flujo de vapor se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{Q}{h_{fg}}$$

de donde:

S: flujo de vapor, en lb/h.

$h_{fg}$ : calor latente de vaporización del vapor saturado, BTU/lb.

Para el vapor saturado a una presión de 84.69 lb/pulg<sup>2</sup>, el valor de  $h_{fg}$  es 898.01 BTU/lb.

Con esto se calcula el flujo de vapor requerido:

$$S = \frac{163944 \text{ BTU} / \text{h}}{898.01 \text{ BTU} / \text{lb}}$$

S: 182.56 lb/h (82.98 Kg/h)

Este valor luego servirá para determinar si el caldero disponible de generación de vapor disponible tiene la capacidad suficiente para satisfacer la demanda del proceso.

El cálculo del diámetro del tubo del serpentín, se determinará de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$a = 2.4 \frac{S * v_g}{V}$$

Donde:

$a$  : área interior del tubo, pulg<sup>2</sup>.

$v_g$ : volumen específico del vapor saturado a la presión de operación, en pie<sup>3</sup>/lb.

$V$ : velocidad del vapor, pie/min; para serpentines sumergidos en líquidos, la velocidad de vapor generalmente se selecciona para valores entre 4000-5000 pie/min. (20.3-25.4 m/s) Para este diseño se selecciona una velocidad de vapor de 4000 pie/min.

Reemplazando valores en la expresión anterior se tiene que:

$$a = 2.4 \frac{182.56 \text{ lb/h} * 5.19 \text{ pie}^3 / \text{lb}}{4000 \text{ pie} / \text{min}}$$

$$a = 0.57 \text{ pulg}^2 \text{ (367.74 mm}^2\text{)}$$

Consultando en la Tabla Propiedades del Tubo Comercial de Acero (ver Apéndice F) se encuentra que el valor encontrado se puede

relacionar de manera más próxima con un tubo de diámetro 1 pulg. cédula 40S.

En la misma tabla, para el tubo encontrado se tiene que el valor correspondiente que relaciona el área de la superficie exterior con la longitud:

Superficie exterior:  $0.344 \text{ pie}^2/\text{pie}$ .

Con esta relación y el valor del área de transferencia de calor determinada anteriormente, se puede encontrar la mínima longitud de tubo necesaria de la siguiente manera:

$$L = \frac{3.83 \text{ pie}^2}{0.344 \text{ pie}^2 / \text{pie}}$$

$$L = 11.5 \text{ pie (3.4 m)}$$

Para el caso del **Hidróxido de Sodio** se realizan los mismos pasos para el cálculo, pero con los valores correspondientes.

El valor de la LMTD es igual para el caso anterior, por cuanto son las mismas condiciones de proceso.

$$LMTD = 214.02 \text{ °F (101.12 °C)}$$

Se procede al cálculo de la cantidad de vapor por unidad de tiempo necesario para elevar la temperatura del Hidróxido de Sodio en 10 minutos:

El calor específico del Hidróxido de Sodio es 0.78 BTU/lb°F (3.27 KJ/Kg°C)

Se diseñará el serpentín para ser capaz de calentar un 2% de la capacidad del tanque, es decir aproximadamente 1000 Kg de Hidróxido de Sodio.

De acuerdo a esto, el flujo másico de Hidróxido de Sodio a calentar es 100 Kg/min. (13200 lb/h)

Luego, se realiza el cálculo de la cantidad de calor por unidad de tiempo requerida:

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 13200 \frac{lb}{h} * 0.78 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * (122 - 80.6)^{\circ}F$$

$$Q = 426254.4 \frac{BTU}{h}; (449.72 MJ / h)$$

Ahora, se procede a calcular el área necesaria para transferencia de calor, empleando el mismo valor de U que en el caso anterior:

$$A = \frac{Q}{U * LMTD}$$

$$A = \frac{426254.4 BTU / h}{200 \frac{BTU}{h pie^2 F} * 214.02 F}$$

$$A = 9.96 pie^2 (0.93 m^2)$$

Se calcula el flujo de vapor requerido:

$$S = \frac{Q}{h_{fg}}$$

$$S = \frac{426254.4 BTU / h}{898.01 BTU / lb}$$

$$S: 474.67 lb/h (215.30 Kg/h)$$

Para determinar el diámetro del tubo del serpentín, se calculará primeramente el área interior del tubo; se realiza el cálculo para una velocidad de vapor de 4000 pie/min.

$$a = 2.4 \frac{S * v_g}{V}$$

$$a = 2.4 \frac{474.67 lb/h * 5.19 pie^3 / lb}{4000 pie / min}$$

$$a = 1.48 pulg^2 (954.84 mm^2)$$

Con este valor, se procede a consultar en el Apéndice F, Propiedades del Tubo Comercial de Acero y se tiene que el valor encontrado corresponde aproximadamente a un tubo de diámetro 1 ¼", cédula 40S.

De la misma tabla para el tubo encontrado, se encuentra la siguiente relación:

Superficie exterior:  $0.434 \text{ pie}^2/\text{pie}$ .

Se calcula la mínima longitud de tubo necesaria para el serpentín:

$$L = \frac{9.96 \text{ pie}^2}{0.434 \text{ pie}^2 / \text{pie}}$$

$$L = 22.95 \text{ pie (7 m)}$$

Para el caso del **Silicato de Sodio**; siguiendo los mismos pasos, pero con los valores correspondientes.

$$LMTD = 214.02 \text{ °F (101.12 °C)}$$

Se calcula la cantidad de vapor por unidad de tiempo necesario para elevar la temperatura del Silicato de Sodio en 10 minutos:

El calor específico del Silicato de Sodio es 0.424 BTU/lb°F (1.77 KJ/Kg°C)

Se diseñará el serpentín para calentar un 2% de la capacidad del tanque, es decir aproximadamente 300 Kg de Silicato de Sodio.

De acuerdo a esto, el flujo másico de Silicato de Sodio a calentar es 30 Kg/min. (3960 lb/h)

Con esto se calcula la cantidad de calor por unidad de tiempo requerida:

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 3960 \frac{lb}{h} * 0.424 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * (122 - 80.6)^{\circ}F$$

$$Q = 359348.14 \frac{BTU}{h}; (379.11 MJ / h)$$

Se procede a calcular el área necesaria para la transferencia de calor, se emplea el mismo valor de U que en los dos casos anteriores:

$$A = \frac{Q}{U * LMTD}$$

$$A = \frac{359348.14 BTU / h}{200 \frac{BTU}{h pie^2 \circ F} * 214.02 \circ F}$$

$$A = 8.4 pie^2 (0.78 m^2)$$

Se calcula el flujo de vapor requerido:

$$S = \frac{Q}{h_{fg}}$$

$$S = \frac{359348.14 BTU / h}{898.01 BTU / lb}$$

$$S: 400.16 lb/h (181.89 Kg/h)$$

Calculando el área de sección interior del tubo; realizando el cálculo para una velocidad de vapor de 4000 pie/min.

$$a = 2.4 \frac{S * v_g}{V}$$

$$a = 2.4 \frac{400.16 lb/h * 5.19 pie^3 / lb}{4000 pie / min}$$

$$a = 1.25 pulg^2 (806.45 mm^2)$$

Consultando en el Apéndice F, Propiedades del Tubo Comercial de Acero, se tiene que el valor encontrado corresponde aproximadamente a un tubo de diámetro 1 ¼", cédula 40S.

De la misma tabla, para el tubo encontrado se tiene la siguiente relación:

Superficie exterior:  $0.434 \text{ pie}^2/\text{pie}$ .

Se calcula la mínima longitud de tubo necesaria para el serpentín:

$$L = \frac{8.4 \text{ pie}^2}{0.434 \text{ pie}^2 / \text{pie}}$$

$$L = 19.35 \text{ pie (5.9 m)}$$

Los cálculos realizados para cada uno de los tanques de almacenamiento y de acuerdo a los resultados obtenidos, permite estar en capacidad de elaborar las especificaciones técnicas de los mismos; se tratará en lo posible emplear el Sistema Internacional como unidad de medida, pero en caso de que en el mercado algún elemento o accesorio se lo consiga en unidad de medida diferente, esta será respetada.

**Especificaciones Técnicas de Tanque de Almacenamiento de Ácido Sulfónico.**

**Material:** plancha en acero inoxidable AISI 304, espesores variables, siendo de 4 mm el primer anillo, 3 mm el segundo y tercer anillo y de 2 mm el cuarto y quinto anillo; la altura de cada anillo será de 1220 mm en caso de emplear una plancha completa en cuanto a la altura.

Espesores de fondo y techado de 6mm.

**Forma:** cilíndrica vertical, techado de forma cónica; provisto de dos registros de inspección uno superior sobre el techo y uno inferior en la parte lateral.

La base con una pendiente de 3°.

**Capacidad:** 75000 Kg. (75 ton)

**Volumen:** 72 m<sup>3</sup>

**Dimensiones:** diámetro externo 3880 mm, altura menor cilindro 6089 mm.

**Accesorios y Conexiones:**

- Diámetro de ingreso: 101.6 mm (4 pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304; con característica antiespuma.
- Diámetro de descarga: 101.6 mm (4 pulg.), con codo y brida ANSI 150 en el fondo del tanque en acero inoxidable AISI 304.
- Diámetro del accesorio de venteo: 152.4 mm (6 pulg.) ubicado en el techo, con filtro de malla en acero inoxidable AISI 304.
- Diámetro de termopozo: 19.05 mm (3/4 pulg.), con neplo rosca tipo NPT en acero inoxidable AISI 304.
- Diámetro boca de hombre inferior y superior: 508 mm, tapa de diámetro 650 mm; en acero inoxidable AISI 304, espesor 6 mm. Sujeta con dieciséis pernos UNC M16X70.
- Serpentín: En tubo de acero inoxidable AISI 304 de diámetro 25.4 mm (1 pulg.), cédula 40S, con codos soldados, colocados sobre una base en tubo rectangular de acero inoxidable AISI 304.

La ubicación del serpentín es en la parte inferior al interior del tanque.

- Diámetro de ingreso de vapor: 25.4 mm (1 pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304.
- Diámetro de descarga de condensado: 25.4 mm (1 pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304.

**Parámetros de proceso:**

- Presión de trabajo tanque: Atmosférica, carga hidrostática.
- Presión de trabajo para la tubería del Serpentín: 448.15 MPa (70 psi)
- Temperatura de Trabajo: 27° a 50° C.

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas esmeriladas y pulidas a 180 grit.
- Acabado superficial interior, pulido brillante 240 grit y exterior 180 grit.

Ver Plano 2 Tanque de Almacenamiento de Ácido Sulfónico

### **Especificaciones Técnicas de Tanque de Almacenamiento de Hidróxido de Sodio**

**Material:** plancha en acero inoxidable AISI 304, espesores variables, siendo de 4 mm el primer anillo, 3 mm el segundo, 2 mm el tercer y cuarto anillo; la altura de cada anillo será de 1220 mm en caso de emplear una plancha completa en cuanto a la altura. Espesores de fondo y techado de 6mm.

**Forma:** cilíndrica vertical, techado de forma cónica; provisto de dos registros de inspección uno superior sobre el techo y uno inferior en la parte lateral.

La base con una pendiente de 3°.

**Capacidad:** 50000 Kg. (50 ton)

**Volumen:** 33 m<sup>3</sup>

**Dimensiones:** diámetro externo 3100 mm, altura menor cilindro 4370 mm

**Accesorios y Conexiones:**

- Diámetro de ingreso: 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304; con característica antiespuma.
  
- Diámetro de descarga: 101.6 mm (4 pulg.), con codo y brida ANSI 150 en el fondo del tanque en acero inoxidable AISI 304.
  
- Diámetro del accesorio de venteo: 152.4 mm (6 pulg.) mm ubicado en el techo, con filtro de malla en acero inoxidable AISI 304.
  
- Diámetro de termopozo: 19.05 mm (¾ pulg.), con neplo rosca tipo NPT de acero inoxidable AISI 304.
  
- Diámetro boca de hombre Inferior y superior: 508 mm, tapa de diámetro 650 mm; en acero inoxidable AISI 304, espesor 6 mm. Sujeta con dieciséis pernos UNC M16X70.
  
- Serpentín: En tubo de acero inoxidable AISI 304 de diámetro 31.75 mm (1 ¼ pulg.), cédula 40S, con codos soldados, colocados sobre una base en tubo rectangular de acero inoxidable AISI 304.

La ubicación del serpentín es en la parte inferior al interior del tanque.

- Diámetro de ingreso de vapor: 31.75 mm (1 ¼ pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304.
- Diámetro de descarga de condensado: 31.75 mm (1 ¼ pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304.

**Parámetros de proceso:**

- Presión de trabajo tanque: Atmosférica, carga hidrostática.
- Presión de trabajo para la tubería del Serpentín: 448.15 Mpa (70 psi)
- Temperatura de Trabajo: 27° a 50° C.

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas esmeriladas y pulidas a 180 grit.
- Acabado superficial interior pulido brillante 240 grit y exterior 180 grit.

Ver Plano 3 Tanque de Almacenamiento de Hidróxido de Sodio

### **Especificaciones Técnicas de Tanque de Almacenamiento de Silicato de Sodio**

**Material:** plancha en acero inoxidable AISI 304, espesores variables, siendo de 4 mm el primer anillo, 2 mm el segundo; altura de cada anillo será de 1220 mm en caso de emplear una plancha completa en cuanto a la altura.

Espesores de fondo y techado de 6mm.

**Forma:** cilíndrica vertical, techado de forma cónica; provisto de dos registros de inspección uno superior sobre el techo y uno inferior en la parte lateral.

La base con una pendiente de 3°.

**Capacidad:** 15000 Kg. (15ton)

**Volumen:** 10 m<sup>3</sup>

**Dimensiones:** diámetro externo 2330 mm, altura menor cilindro 2345 mm

**Accesorios y Conexiones:**

- Diámetro de ingreso: 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304; con característica antiespuma.
  
- Diámetro de descarga: 101.6 mm (4 pulg.), con codo y brida ANSI 150 en el fondo del tanque en acero inoxidable AISI 304.
  
- Diámetro del accesorio de venteo: 152.4 mm (6 pulg.) mm ubicado en el techo, con filtro de malla en acero inoxidable AISI 304.
  
- Diámetro de termopozo: 19.05 mm (¾ pulg.), con neplo rosca NPT de acero inoxidable AISI 304.
  
- Diámetro boca de hombre Inferior y superior: 508 mm, tapa de diámetro 650 mm; en acero inoxidable AISI 304, espesor 6 mm. Sujeta con dieciséis pernos UNC M16X70.
  
- Serpentín: En tubo de acero inoxidable AISI 304 de diámetro 31.75 mm (1 ¼ pulg.), cédula 40s, con codos soldados, colocados sobre una base en tubo rectangular de acero inoxidable AISI 304.

La ubicación del serpentín es en la parte inferior al interior del tanque.

- Diámetro de ingreso de vapor: 31.75 mm (1 ¼ pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304.
- Diámetro de descarga de condensado: 31.75 mm (1 ¼ pulg.), con brida ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304.

**Parámetros de proceso:**

- Presión de trabajo tanque: Atmosférica, carga hidrostática.
- Presión de trabajo para la tubería del Serpentín: 448.15 Mpa (70 lb/pulg<sup>2</sup>)
- Temperatura de Trabajo: 27° a 50° C.

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas esmeriladas y pulidas a 180 grit.
- Acabado superficial interior, pulido brillante 240 grit y exterior 180 grit.

Ver Plano 4 Tanque de Almacenamiento de Silicato de Sodio

### 3.3. Especificaciones de Tanques Bástula y Reactores de Proceso

En la sección 3.1 se detalló cual va ser la función de los tanques bástulas y reactores dentro del proceso, por lo que ahora se va a describir las especificaciones de cada uno de estos equipos no sin antes realizar el cálculo de la potencia del agitador, selección del tipo de material a emplear, cálculo de capacidades y espesor de materiales.

#### **Agitación de Líquidos**

**Finalidades de la agitación:** los líquidos se agitan con diversos fines, dependiendo de los objetivos de la etapa del proceso. Dichos fines comprenden:

- Suspensión de partículas sólidas.
- Mezclado de líquidos miscibles, por ejemplo, alcohol metílico y agua.
- Dispersión de un gas en un líquido en forma de pequeñas burbujas.
- Dispersión de un segundo líquido, inmiscible con el primero, para formar una emulsión ó suspensión de gotas diminutas.
- Promoción de la transformación de calor entre el líquido y un serpentín ó encamisado.

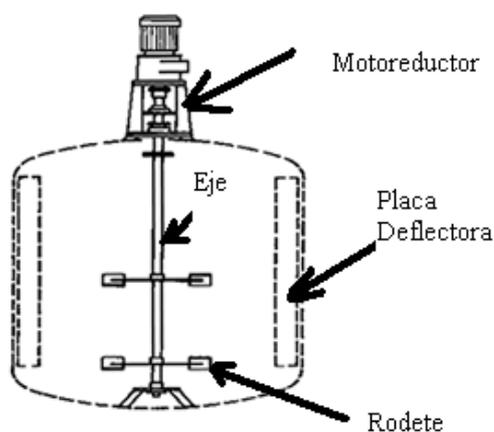
**Equipo de Agitación:** los líquidos se agitan con más frecuencia en tanques ó recipientes, generalmente de forma cilíndrica y provista de un eje vertical. La parte superior del recipiente puede estar abierta ó cerrada. Las proporciones del tanque varían bastante dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la Figura 3.4. El fondo del tanque puede ser redondeado (nunca plano), con el fin de eliminar rincones escarpado o regiones en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. El rodete va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje soportado en la parte superior. El eje está accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero más frecuentemente acoplado al eje a través de una caja reductora de velocidad.

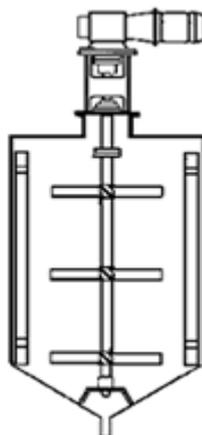
Generalmente lleva incorporados también accesorios tales como tubuladuras de entrada y salida, serpentines, encamisados y vainas para termómetros u otros instrumentos de medida de la temperatura.

El rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido circule a través del tanque y eventualmente retorne al rodete.

**Rodetes:** los agitadores de rodete se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del rodete, y aquellos que generan corrientes en dirección tangencial ó radial. Los primeros reciben el nombre de rodetes de flujo axial y los segundos rodetes de flujo radial.

Los tres tipos principales de rodetes son hélices, palas y turbinas. Cada uno de ellos comprende muchas variantes y subtipos que no se considerarán aquí. Existen otro tipo de rodetes especiales, pero los tres tipos principales mencionados resuelven tal vez el 95% de todos los problemas de agitación de líquidos.





**FIGURA 3.4. TANQUES TÍPICOS DE PROCESO DE AGITACIÓN**

### **Cálculo de la Potencia de Agitación**

Para estimar la potencia que se requiere para hacer girar un rodete dado con una velocidad determinada, es preciso disponer de correlaciones empíricas de la potencia (ó del número de potencia) en función de otras variables del sistema. La forma de tales correlaciones puede encontrarse por análisis dimensional, en función de las medidas importantes del tanque y del rodete, la distancia del rodete al fondo del tanque, la profundidad del líquido, así como las dimensiones de las placas deflectoras cuando se utilizan. También deben estar definidos el número y disposición de las placas deflectoras, así como el número de palas del rodete. Las variables que intervienen en el análisis son las medidas importantes del tanque y del rodete, la viscosidad dinámica ó

absoluta, la densidad del fluido, la velocidad de giro y puesto que se aplica la ley de Newton, la constante adimensional  $g_c$ . Algo de líquido se elevará por encima del nivel medio de la superficie del líquido, correspondiente al tanque no agitado, y esta elevación tiene que vencer la fuerza de la gravedad. Por tanto, hay que introducir la aceleración de la gravedad  $g$  como un factor en el análisis.

La potencia comunicada al líquido se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = N_p * n^3 * D_a^5 * \rho$$

Donde:

P: potencia transmitida al líquido, en watt

$N_p$ : número de potencia, que es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento. Es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del rodete y la fuerza inercial. La fuerza inercial a su vez, está relacionada con el flujo de cantidad de movimiento correspondiente al movimiento global del líquido. Es un número adimensional.

$D_a$ : diámetro del rodete, en metros.

$\rho$ : densidad del líquido, en Kg/m<sup>3</sup>.

Para bajos número de Reynolds ( $N_{Re}$ ), las líneas de  $N_p$  vs  $N_{Re}$  coinciden para un tanque con y sin placas deflectoras, y la pendiente de la línea en coordenadas logarítmicas es 1. En este intervalo el flujo es laminar, la densidad no influye y la potencia se puede calcular con la siguiente expresión:

$$P = K_L * n^2 * D_a^3 * \nu$$

Donde:

$\nu$ : es la viscosidad dinámica del líquido, en Pa\*seg.

Esta ecuación se puede utilizar para valores de Reynolds menores que 10.

Para tanques con números de Reynolds superiores a aproximadamente 10000 (como por ejemplo tanques con placas deflectoras), el número de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad ya no influye. En este intervalo el flujo es totalmente turbulento y la potencia se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$P = K_T * n^3 * D_a^5 * \rho$$

$K_L$  y  $K_T$  son constantes y en la Tabla 12 se encuentran valores tabulados para diferentes tipos de rodetes.

**TABLA 12**

**VALORES PARA CONSTANTE  $K_L$  Y  $K_T$**

Tipo de Rodete	$K_L$	$K_T$
Hélice, paso cuadrado, tres palas	41	0.32
Paso de 2, tres palas	43.5	1
Turbina, seis palas planas	71	6.3
Seis palas curvas	70	4.8
Turbina de ventilador, seis palas	70	1.65
Palas planas, dos palas	36.5	1.70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97.2	1.08
Con estator, sin deflectores	172.5	1.12

El número de Reynolds, se lo determina por medio de la expresión:

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 * n * \rho}{\nu}$$

De donde, la descripción de la simbología es la misma empleada en esta sección.

Ahora, se procede al cálculo de la potencia para los agitadores de los tanques báscula para este diseño.

### Agitador de Tanque Báscula de Silicato de Sodio

Datos:

Tipo de rodete: de dos paletas

$\rho$ : 1600 Kg/m<sup>3</sup>

$\nu$ : 1800 cp (1.8 Pa\*seg)

$n$ : 20 a 150 rpm; para efecto de cálculo se usa 150 rpm (2.5 rev/seg)

$D_a$ : 340 mm (0.34 m)

Se encuentra el número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{(0.34m)^2 * 2.5rev/seg * 1600Kg/m^3}{1.8Pa * seg}$$

$$N_{Re} = 256.9$$

Usando la expresión:

$$P = N_p * n^3 * D_a^5 * \rho$$

El factor de potencia  $N_p$ , se determina de la Figura 3.5. donde se muestran valores de  $N_{Re}$  vs  $N_p$  para varios tipos de rodetes.



Para entrar en la citada figura, y de acuerdo a las dimensiones del agitador, para un tipo de rodete de dos paletas, ancho  $0.17 \cdot D_a$ , referencia 10 y  $N_{Re}$  de 256.9 el  $N_p$  correspondiente es de 1.7; reemplazando los valores en la fórmula se encuentra que:

$$P = 1.7 * (2.5 \text{ rev/seg})^3 * (0.34 \text{ m})^5 * 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = 193.1 \text{ watt}$$

$$P = 0.193 \text{ Kw}$$

Considerando un factor de seguridad de 1.25, se selecciona un motorreductor de potencia más próxima en el mercado, que sería uno de 0.25 Kw. (1/3 Hp).

### **Agitador de Tanque Báscula de Ácido Sulfónico**

Datos:

Tipo de rodete: de dos paletas

$\rho$ : 1050 Kg/m<sup>3</sup>

$\nu$ : 15000 cp (15 Pa\*seg)

$n$ : 20 a 150 rpm; para efecto de cálculo se usa 150 rpm (2.5 rev/seg)

$D_a$ : 600 mm (0.6 m)

Desarrollo:

$$N_{Re} = \frac{(0.6m)^2 * 2.5rev/seg * 1050Kg/m^3}{15Pa * seg}$$

$$N_{Re} = 63$$

De la Figura 3.5, para un tipo de rodete de dos paletas, ancho  $0.17 * D_a$ , referencia 10 y  $N_{Re}$  de 63 el  $N_p$  correspondiente es de 1.9; reemplazando los valores en la fórmula se obtiene:

$$P = 1.9 * (2.5rev/seg)^3 * (0.6m)^5 * 1050Kg/m^3$$

$$P = 2424watt$$

$$P = 2.42Kw$$

Se selecciona un motorreductor de potencia más próxima en el mercado y considerando un factor de seguridad de 1.25, el motorreductor sería uno de 3 Kw. (4 Hp).

### **Agitador de Tanque Báscula de Slurry**

Datos:

Tipo de rodete: de dos paletas

$\rho$ : 1317 Kg/m<sup>3</sup>

$\nu$ : 1 cp (0.001 Pa\*seg); se toma la viscosidad del agua por cuanto el carbonato de calcio no afecta la viscosidad de la mezcla.

$n$ : 20 a 150 rpm; para efecto de cálculo se usa 150 rpm (2.5 rev/seg)

$D_a$ : 460 mm (0.46 m)

Desarrollo:

$$N_{Re} = \frac{(0.46m)^2 * 2.5rev/seg * 1317Kg/m^3}{0.001Pa * seg}$$

$$N_{Re} = 696693$$

Como el  $N_{Re}$  es mayor de 10000 se emplea la fórmula correspondiente:

$$P = K_T * n^3 * D_a^5 * \rho$$

De donde  $K_T$  toma el valor de 1.70; para un tipo de rodete de dos palas planas (ver Tabla 12)

Reemplazando valores se obtiene:

$$P = 1.7 * (2.5rev/seg)^3 * (0.46)^5 * 1317Kg/m^3$$

$$P = 720.51 \text{ watt}$$

$$P = 0.72 \text{ Kw}$$

Incluyendo un factor de seguridad de 1.25, se selecciona un motorreductor de 1.1 Kw de potencia (1 ½ Hp).

### **Agitador de Tanque Báscula de Hidróxido de Sodio**

Este tanque báscula, como se menciona más adelante, se construirá con las mismas dimensiones que el de silicato de sodio.

Datos:

Tipo de rodete: de dos paletas

$$\rho: 1540 \text{ Kg/m}^3$$

$$\nu: 78 \text{ cp (0.078 Pa*seg)}$$

$n$ : 20 a 150 rpm; para efecto de cálculo se usa 150 rpm (2.5 rev/seg)

$$D_a: 340 \text{ mm (0.34 m)}$$

Desarrollo:

$$N_{Re} = \frac{(0.34\text{m})^2 * 2.5\text{rev/seg} * 1540\text{Kg/m}^3}{0.078\text{Pa} * \text{seg}}$$

$$N_{Re} = 5706$$

De la Figura 3.5, para un tipo de rodete de dos paletas, ancho  $0.17 \cdot D_a$ , referencia 10 y  $N_{Re}$  de 5706 el  $N_p$  correspondiente es de 1.9; reemplazando los valores en la fórmula se tiene:

$$P = 1.9 * (2.5 \text{ rev / seg})^3 * (0.34 \text{ m})^5 * 1540 \text{ Kg / m}^3$$

$$P = 207.7 \text{ watt}$$

$$P = 0.207 \text{ Kw}$$

Se selecciona un motorreductor de potencia más próxima en el mercado, considerando un factor de seguridad de 1.25, el motorreductor sería uno de 0.25 Kw. (1/3 Hp).

### **Agitadores de Reactor de Proceso**

Como se estableció, el reactor de proceso dispondrá de dos agitadores, uno central y otro lateral con raspadores de pared.

#### **Agitador Central**

Datos:

Tipo de rodete: de cuatro paletas

$\rho$ : 1200 Kg/m<sup>3</sup>

$\nu$ : 8000 cp (8 Pa\*seg)

$n$ : 20 a 150 rpm; por efectos de cálculo se empleará 150 rpm (2.5 rev/seg)

$D_a$ : 600 mm (0.6 m)

Desarrollo:

$$N_{Re} = \frac{(0.6m)^2 * 2.5rev/seg * 1200Kg/m^3}{8Pa * seg}$$

$$N_{Re} = 135$$

De la Figura 3.5, para un tipo de rodete de cuatro paletas, referencia 2 y  $N_{Re}$  de 135 el  $N_p$  correspondiente es de 3.8; reemplazando los valores en la fórmula se obtiene:

$$P = 3.8 * (2.5rev/seg)^3 * (0.6m)^5 * 1200Kg/m^3$$

$$P = 5540.4watt$$

$$P = 5.54Kw$$

Se selecciona un motorreductor de potencia más próxima en el mercado, considerando un factor de seguridad de 1.25, el motorreductor sería uno de 7.5 Kw. (10 Hp).

**Agitador Lateral (con raspadores)**

Datos:

Tipo de rodete: de dos paletas (asumido)

$\rho$ : 1200 Kg/m<sup>3</sup>

$\nu$ : 8000 cp (8 Pa\*seg)

$n$ : 20 a 50 rpm; para efecto de cálculo se usará 50 rpm (0.83 rev/seg)

$D_a$ : 1480 mm (1.48 m); considerando el diámetro mayor del agitador lateral.

Desarrollo:

$$N_{Re} = \frac{(1.48m)^2 * 0.83rev/seg * 1200Kg/m^3}{8Pa * seg}$$

$$N_{Re} = 272.70$$

De la Figura 3.5, para un tipo de rodete de dos paletas, referencia 7 y  $N_{Re}$  de 272.70 el  $N_p$  correspondiente es de 2.5; reemplazando los valores en la fórmula se obtiene:

$$P = 2.5 * (0.83rev/seg)^3 * (1.48m)^5 * 1200Kg/m^3$$

$$P = 12180watt$$

$$P = 12.18Kw$$

Se selecciona un motorreductor de potencia más próxima en el mercado, considerando un factor de seguridad de 1.25, el motorreductor sería uno de 15 Kw. (20 Hp).

### **Material, Capacidad y Espesor de Plancha de Tanques Báscula**

**Selección de Material:** la selección se basa en el análisis realizado para la selección de los materiales para los tanques de almacenamiento, esto en vista de que son las mismas materias primas y de acuerdo al criterio para garantizar la blancura de la crema detergente. Según esto, el material general de los tanques básculas será acero inoxidable AISI 304.

**Cálculo de Capacidades:** se realiza en base al porcentaje que demandará la materia prima, según la capacidad del reactor de proceso que es de 2500 Kg.

Para el caso del **Hidróxido de Sodio**, su porcentaje en la fórmula es del 5.5% de acuerdo a esto la cantidad requerida de esta materia prima es de:

$$m = 2500\text{Kg} * 5.5\%$$

$$m = 137.5\text{Kg}$$

Con el dato de la densidad de esta materia prima ( $1540\text{ Kg/m}^3$ ), se obtiene el volumen de acuerdo a la siguiente relación:

$$V = m / \rho$$

$$V = 137.5\text{Kg} / 1540\text{Kg} / \text{m}^3$$

$$V = 0.0892\text{m}^3$$

Si se le da un 30% adicional de capacidad al recipiente para efecto de evitar derrames en la agitación, se obtiene que el volumen mínimo del recipiente debe de ser  $0.12\text{ m}^3$ .

Se definirá la forma del recipiente cilíndrica con fondo cónico, en base con esta forma, las dimensiones del recipiente o tanque báscula serán:

Altura cilindro: 900 mm

Altura cono: 300 mm

Diámetro interno: 400 mm

Repitiendo los mismos cálculos para el caso del **Ácido Sulfónico** y considerando que su participación dentro de la fórmula es del 19.8% se tiene que:

$$V = 0.64m^3$$

Altura cilindro: 1320 mm

Altura cono: 500 mm

Diámetro interno: 740 mm

De la misma manera para el **Slurry**, considerando que está compuesto de un 19% de carbonato de calcio y un 30% de agua (de un total de 42.3% de agua) se tiene que:

$$V = 1.2m^3$$

Altura cilindro: 1350 mm

Altura cono: 500 mm

Diámetro interno: 1000 mm

El **Silicato de Sodio** tiene una participación en la fórmula del 2.5%, esto representa 62.5 Kg, sin ningún perjuicio al proceso, se diseñará este tanque báscula con las mismas dimensiones que las del tanque báscula de Hidróxido de Sodio.

### **Cálculo de Espesores de Plancha:**

Para el cálculo del espesor de la plancha de acero, de la cual se deben construir los tanques báscula, se emplearán fórmulas para el espesor en función de las dimensiones internas para un recipiente sometido a presión interna.

Para el casco cilíndrico:

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

Para el cono:

$$t = \frac{PD}{2\cos\alpha(SE - 0.6P)}$$

De donde:

P: presión de diseño ó presión máxima de trabajo permitida;

lb/pulg<sup>2</sup>

S: valor de esfuerzo del material; lb/pulg<sup>2</sup>

E: eficiencia de la junta

R: radio interior; pulgadas

D: diámetro interior: pulgadas

$\alpha$ : la mitad del ángulo en el vértice; grados

t: espesor de pared; pulgadas

Para este caso, la presión interna a la que estarán sometidos los tanques báscula será la suma de la presión hidrostática del fluido y la presión atmosférica.

Realizando los cálculos para el caso del **Tanque Báscula de Hidróxido de Sodio** se tiene:

$R_{\text{tanque báscula}}$ : 200 mm (7.874 pulg.)

$P_{\text{atm}}$ :  $1.013 \times 10^5$  Pa (14.7 lb/pulg<sup>2</sup>)

S: 155.13 MPa (22500 lb/pulg<sup>2</sup>)

E: 0.85

$\rho$ : 1540 Kg/m<sup>3</sup>

$\alpha$ : 30°

Cálculo de la Presión interna:

$$P_{\text{int}} = P_{\text{hidrostática}} + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{int}} = \rho g h + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{int}} = \frac{1540 \text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.2 \text{m} + 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$P_{\text{int}} = 119410.4 \text{Pa} (17.31 \text{lb/pulg}^2)$$

Aplicando la fórmula descrita para determinar el espesor, en el caso del cilindro se tiene:

$$t = \frac{17.31 \text{ lb/pulg}^2 * 7.874 \text{ pulg}}{22500 \text{ lb/pulg}^2 * 0.85 - 0.6 * 17.31 \text{ lb/pulg}^2}$$

$$t = 0.0071 \text{ pulg}$$

$$t = 0.18 \text{ mm}$$

Para el caso de la parte cónica se obtiene:

$$t = \frac{17.31 \text{ lb/pulg}^2 * 15.74 \text{ pulg}}{2 \cos 30^\circ (22500 \text{ lb/pulg}^2 * 0.85 - 0.6 * 17.31 \text{ lb/pulg}^2)}$$

$$t = 0.0082 \text{ pul}$$

$$t = 0.21 \text{ mm}$$

Repitiendo los cálculos para el caso del **Tanque Báscula de Ácido Sulfónico** se tiene:

$$R_{\text{tanque báscula}}: 370 \text{ mm (14.56 pulg.)}$$

$$P_{\text{atm}}: 1.013 \times 10^5 \text{ Pa (14.7 lb/pulg}^2)$$

$$S: 155.13 \text{ MPa (22500 lb/pulg}^2)$$

E: 0.85

$\rho$ : 1050 Kg/m<sup>3</sup>

Cálculo de la Presión interna:

$$P_{\text{int}} = P_{\text{hidrostática}} + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{int}} = \rho g h + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{int}} = \frac{1050 \text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.82 \text{m} + 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$P_{\text{int}} = 120027.8 \text{Pa} (17.4 \text{ lb/pulg}^2)$$

Con esto se calcula el espesor, en el caso del cilindro se tiene:

$$t = \frac{17.40 \text{ lb/pulg}^2 * 14.56 \text{ pulg}}{22500 \text{ lb/pulg}^2 * 0.85 - 0.6 * 17.40 \text{ lb/pulg}^2}$$

$$t = 0.0132 \text{ pulg}$$

$$t = 0.33 \text{ mm}$$

Asimismo, para el caso del **Tanque Báscula de Slurry** (mezcla de agua y polvo) se tiene:

$R_{\text{tanque báscula}}: 500 \text{ mm (19.68 pulg.)}$

$P_{\text{atm}}: 1.013 \times 10^5 \text{ Pa (14.7 lb/pulg}^2\text{)}$

$S: 155.13 \text{ MPa (22500 lb/pulg}^2\text{)}$

$E: 0.85$

$\rho: 1317 \text{ Kg/m}^3$

Cálculo de la Presión interna:

$$P_{\text{int}} = P_{\text{hidrostática}} + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{int}} = \rho g h + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{int}} = \frac{1317 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.85 \text{ m} + 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{int}} = 125177.21 \text{ Pa (18.15 lb/pulg}^2\text{)}$$

Con esto se determina el espesor, en el caso del cilindro se tiene:

$$t = \frac{18.15 \text{ lb/pulg}^2 * 19.68 \text{ pulg}}{22500 \text{ lb/pulg}^2 * 0.85 - 0.6 * 18.15 \text{ lb/pulg}^2}$$

$$t = 0.0186 \text{ pulg}$$

$$t = 0.47 \text{ mm}$$

De los espesores encontrados para los tanques báscula, todos son menores de 0.5mm, por lo que para las especificaciones de estos equipos se definirán de 2 mm de espesor por efectos de soldabilidad, conferirle mayor resistencia ante un impacto, desgaste y corrosión.

### **Reactores de Proceso**

**Selección de Material:** se selecciona un acero inoxidable AISI 316, a parte de las características técnicas del material, se justifica su selección sobre el acero AISI 304, por las mayores alternativas para fabricación de productos que se pueden realizar en un reactor con este tipo de acero; si bien la empresa para la cual se desarrollo este proyecto, no fabrica productos alimenticios, si lo hace en productos que van a estar en contacto con la piel del ser humano, lo cual justifica la selección de este acero ya que le da flexibilidad para producción al reactor.

**Características de Forma y Funcionales:** la forma del reactor será cilíndrica en el cuerpo y el fondo semielíptico; tapa abatible con rejilla, con un puente central para el montaje de motoreductores de agitadores.

Conexiones de carga y descarga tipo clamp para facilitar el desmontaje para limpieza.

Camisa o chaqueta para circulación de agua fría ó vapor saturado para operaciones de enfriamiento ó calentamiento respectivamente.

Se justifica el empleo de un sistema de agitación para conseguir la mezcla de los componentes y favorecer la transferencia de calor en el proceso. El sistema de agitación estará compuesto por una agitador central de palas y uno lateral con raspadores de nylon para raspar las paredes y evitar que la crema se quede pegada a las paredes y se quemé, adicionalmente los raspadores servirán para la operación de evacuación ó vaciado del reactor.

Los agitadores operarán en contrarrotación, ambos a bajas velocidades (entre 20 rpm y 150 rpm) reguladas por un variador de velocidad electrónico.

El equipo contará con cuatro cartelas para montaje sobre una estructura.

### **Cálculo de Espesor de Plancha Interna:**

Se considera la olla interna sometida bajo presión externa para realizar el cálculo del espesor de plancha requerido.

Se consideran los siguientes parámetros de diseño:

**Presión de diseño:** 50 psi

**Temperatura de diseño:** 204 °C (400 °F)

**Tipo de Acero:** inoxidable AISI 316

**Diámetro interno:** 1500 mm

**Altura cilindro:** 1300 mm

**Altura cabeza elipsoidal:** 250 mm

Para el casco cilíndrico sin costura ó con juntas a tope, cuando  $D_o/t$  es igual o mayor que 10, la presión máxima permitida es:

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

Donde:

$P_a$ : presión máxima de trabajo permitida, en lb/pulg<sup>2</sup> (manométrica)

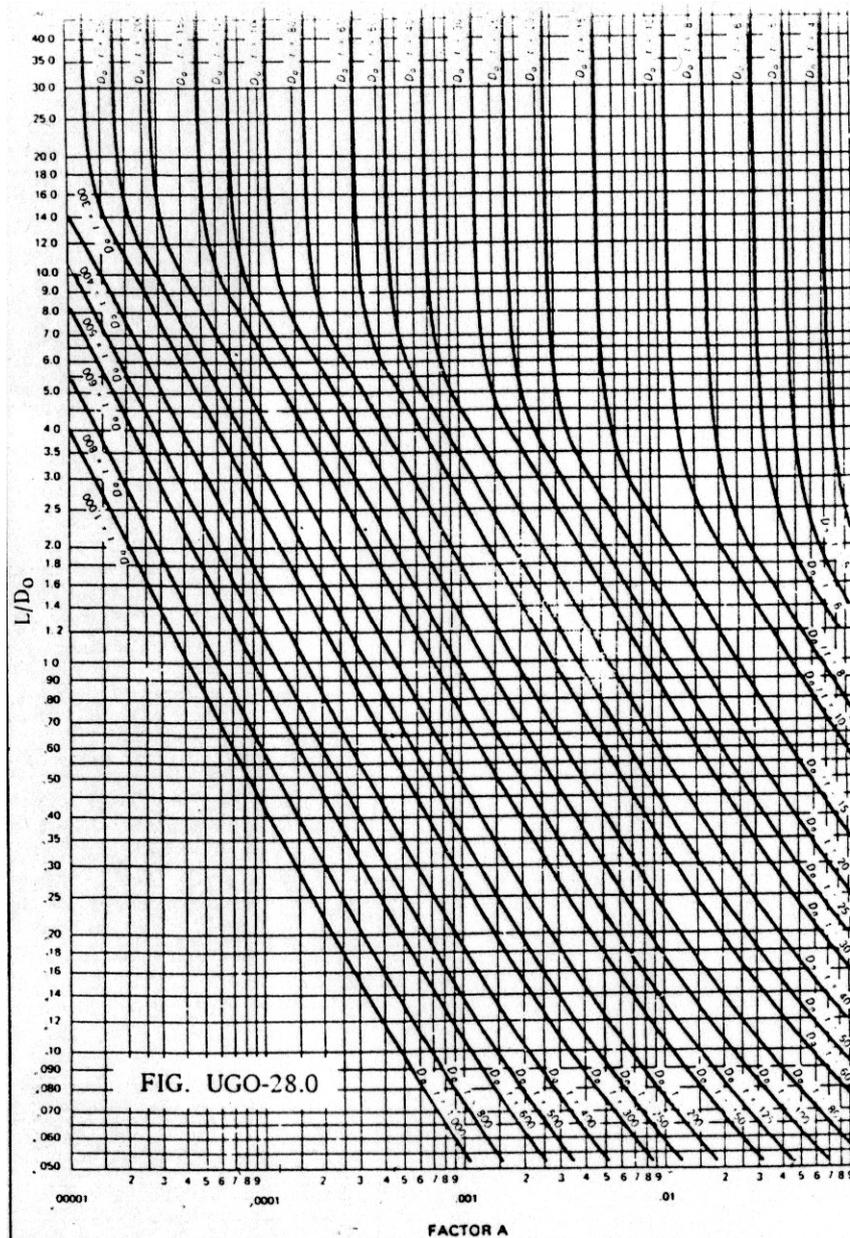
$D_o$ : diámetro exterior, en pulg.

$L$ : longitud de una sección del recipiente, para este caso es la distancia entre las tangentes de las cabezas más un tercio de la profundidad de las mismas si no se emplean anillos de atiesamiento.

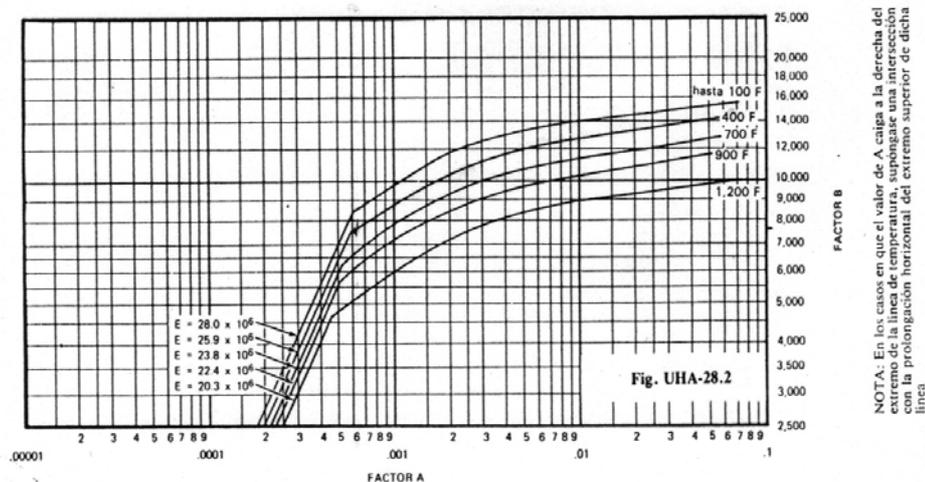
$t$ : espesor de pared mínimo requerido, en pulg.

El valor de B deberá determinarse por el siguiente procedimiento:

- a. Supóngase un valor para  $t$ ; determínese  $L/D_o$  y  $D_o/t$ .
- b. Entre a la Figura 3.6. UGO-28.0 con el valor de  $L/D_o$ . Entre a 50 cuando  $L/D_o$  sea mayor de 50, y a 0.05 cuando  $L/D_o$  sea menor de 0.05.
- c. Siga horizontalmente hasta la línea que representa a  $D_o/t$ . Desde el punto de intersección siga verticalmente hasta determinar el valor del factor A.
- d. Entre con el valor de A a la gráfica del material aplicable (en este caso el acero inoxidable AISI 316). Siga verticalmente hasta la línea de temperatura aplicable. **Ver Figura 3.7.**
- e. Desde la intersección, siga horizontalmente y lea el valor de B. Calcule la presión máxima de trabajo permitida  $P_a$ .



**FIGURA 3.6. VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERNA**



**FIGURA 3.7. VALORES DEL FACTOR B QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN EXTERNA (CASO ACERO AUSTENÍTICO 316)**

Si la presión máxima de trabajo permitida es menor que la presión de diseño, debe de repetirse el procedimiento de diseño aumentando el espesor del recipiente ó disminuyendo  $L$  por medio de anillos atiesadores.

Siguiendo el procedimiento descrito se tiene:

Asumiendo un espesor de pared de 8mm.

$$L = 1300mm + \frac{250mm}{3}$$

$$L = 1383.33mm$$

$$D = (8 + 1500 + 8)mm$$

$$D = 1516mm$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1383.33mm}{1516mm} = 0.91$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{1516mm}{8mm} = 189.5$$

De la Figura 3.6. (UGO-28.0), se determina que el valor de A es aproximadamente igual a 0.00059.

Con el valor de A y la temperatura de diseño de 400 °F se pasa a la Figura 3.7. que es para el caso del acero inoxidable AISI 316 y se tiene que corresponde a un valor de B de 7700.

Con lo valores encontrados se calcula  $P_a$ :

$$P_a = \frac{4 * 7700}{3(189.5)}$$

$$P_a = 54.17 \text{ psi}$$

El espesor asumido de 8 mm para la parte cilíndrica es satisfactorio, por cuanto cumple con la condición establecida en el procedimiento ( $P_a > P_{\text{diseño}}$ ).

Para el caso de la cabeza del reactor, la se asemejará a una cabeza elipsoidal y el espesor requerido será el mayor de los siguientes espesores:

- a. El espesor calculado por formulas dadas para presión interna usando una presión de diseño de 1.67 veces la presión externa y una eficiencia de junta  $E=1.0$
- b. El espesor comprobado por la formula  $P_a=B/(R_o/t)$ , en la cual  $R_o=0.9D_o$ , y  $B$  determinada de la siguiente manera:
  - Suponer un valor para  $t$  y calcular el valor de  $A$  usando la formula  $A=0.125/(R_o/t)$
  - Con el valor se entra a la grafica de la Figura 3.7. Siga verticalmente hasta la línea de temperatura aplicable.
  - Desde la intersección, desplazarse horizontalmente y lea el valor de  $B$ .

Si la presión máxima de trabajo permitida  $P_a$  calculada es menor que la presión de diseño, debe tomarse un valor más grande para  $t$  y repetir el procedimiento de cálculo.

Determinando el espesor para el primer caso se tiene:

$$P_{\text{diseño}} = 1.67 * P_{\text{externa}}$$

$$P_{\text{diseño}} = 1.67 * 50 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_{\text{diseño}} = 83.5 \text{ lb/pulg}^2$$

Aplicando la fórmula para determinar el espesor sometido a presión interna:

$$t = \frac{PD}{(2SE - 0.2P)}$$

De donde:

P: presión de diseño ó presión máxima de trabajo permitida;  
lb/pulg<sup>2</sup>

S: valor de esfuerzo del material; lb/pulg<sup>2</sup>; 18800 lb/pulg<sup>2</sup>

E: eficiencia de la junta; 1

D: diámetro interior, 59.06 pulg (1500 mm)

t: espesor de pared; pulgadas

Reemplazando valores:

$$t = \frac{83.5 \text{ lb / pulg}^2 * 59.06 \text{ pulg}}{(2 * 18800 \text{ lb / plug}^2 * 1) - (0.283.5 \text{ lb / pulg}^2)}$$

$t = 0.13 \text{ pulg}$  Equivale a:

$$t = 3.3 \text{ mm}$$

Se procede al cálculo del espesor para el segundo caso:

Asumiendo un espesor de plancha de 8mm

$$R_o = 0.9 * D_o$$

$$R_o = 0.9 * (8mm + 1500mm + 8mm)$$

$$R_o = 1364.4mm$$

$$\frac{R_o}{t} = \frac{1364.4mm}{8mm} = 170.55$$

Se calcula A:

$$A = \frac{0.125}{R_o / t}$$

$$A = \frac{0.125}{170.55}$$

$$A = 0.000733$$

Con el valor de A, se entra a la Figura 3.7. y se determina B, cuyo valor es 8500.

Con los valores encontrados, se puede calcular la presión máxima de trabajo permitida:

$$Pa = \frac{B}{R_o / t}$$

$$Pa = \frac{8500}{170.55}$$

$$Pa = 49.83lb / pulg^2 \sim 50 lb/pulg^2.$$

Por lo que se considera válido el cálculo con el espesor asumido de 8mm.

De acuerdo al procedimiento aplicado, se selecciona el mayor valor de los valores de t encontrados, por lo tanto la cabeza elipsoidal tendrá un espesor de 8mm.

### **Especificaciones Técnicas de Tanque Báscula de Hidróxido de Sodio y Silicato de Sodio**

**Material:** plancha de acero inoxidable AISI 304, espesor de 2 mm.

**Forma:** fondo cónico, cuerpo cilíndrico vertical con tapa abisagrada a un puente central sobre el cual se instalará el agitador.

Autosoportado, con tres soportes laterales en plancha de ocho milímetros, que servirán también para montaje de las celdas de carga.

**Volumen:** 0.12 m<sup>3</sup>

**Dimensiones:** diámetro interno 400 mm, altura cilindro 900 mm y altura del cono 300 mm.

**Accesorios y Conexiones:**

- Descarga en diámetro de 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida en el fondo del tanque de acero inoxidable AISI 304.
  
- Toma para ingreso de producto, antiespuma, en diámetro 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida en acero inoxidable AISI 304.
  
- Agitador de dos palas, en acero inoxidable AISI 304, con motorreductor axial de 0.25 Kw (1/3 Hp), 150 r.p.m. de salida, 220/440 V, 60 Hz, 3P.

**Diseño:**

- Presiones de diseño: carga hidrostática y presión atmosférica.
  
- Presión de trabajo: carga hidrostática y presión atmosférica.
  
- Temperatura de Trabajo: 35° a 60° C.

- Sistema de Soldadura; TIG con material de aportes de Acero Inoxidable AISI 304.

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas esmeriladas y pulidas a 180 grit.
- Acabado superficial interior y exterior pulido brillante 240 grit.

Ver Plano 5 Tanque Báscula Hidróxido de Sodio/Silicato de Sodio

**Especificaciones Técnicas de Tanque Báscula de Ácido Sulfónico**

**Material:** plancha de acero inoxidable AISI 304, espesor de 2 mm.

**Forma:** fondo cónico, cuerpo cilíndrico vertical con tapa abisagrada a un puente central sobre el cual se instalará el agitador.

Autosoportado, con tres soportes laterales en plancha de ocho milímetros, que servirán también para montaje de las celdas de carga.

**Volumen:** 0.64 m<sup>3</sup>

**Dimensiones:** diámetro interno 740 mm, altura cilindro 1320 mm y altura del cono 500 mm.

**Accesorios y Conexiones:**

- Descarga en diámetro de 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida en el fondo del tanque de acero inoxidable AISI 304.
  
- Toma para ingreso de producto, antiespuma, en diámetro 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida en acero inoxidable AISI 304.
  
- Agitador de dos palas, en acero inoxidable AISI 304, con motorreductor axial de 3 Kw (4 Hp), 150 r.p.m. de salida, 220/440 V, 60 Hz, 3P.

**Diseño:**

- Presiones de diseño: carga hidrostática y presión atmosférica.
  
- Presión de trabajo: carga hidrostática y presión atmosférica.

- Temperatura de Trabajo: 35° a 60° C.
- Sistema de Soldadura: TIG con material de aportes de Acero Inoxidable AISI 304.

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas esmeriladas y pulidas a 180 grit.
- Acabado superficial interior pulido y exterior brillante 240 grit.

Ver Plano 6 Tanque Báscula Ácido Sulfónico

**Especificaciones Técnicas de Tanque Báscula de Slurry**

**Material:** plancha de acero inoxidable AISI 304, espesor de 2 mm.

**Forma:** fondo cónico, cuerpo cilíndrico vertical con tapa abisagrada a un puente central sobre el cual se instalará el agitador.

Autosoportado, con tres soportes laterales en plancha de ocho milímetros, que servirán también para montaje de las celdas de carga.

**Volumen:** 1.2 m<sup>3</sup>

**Dimensiones:** diámetro interno 1000 mm, altura cilindro 1350 mm y altura del cono 500 mm.

**Accesorios y Conexiones:**

- Descarga en diámetro de 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida en el fondo del tanque de acero inoxidable AISI 304.
  
- Toma para ingreso de producto, antiespuma, en diámetro 63.5 mm (2 ½ pulg.), con brida en acero inoxidable AISI 304.
  
- Agitador de dos palas, en acero inoxidable AISI 304, con motorreductor axial de 1.1 Kw (1 ½ Hp), 150 r.p.m. de salida, 220/440 V, 60 Hz, 3P.

**Diseño:**

- Presiones de diseño: carga hidrostática y presión atmosférica.
- Presión de trabajo: carga hidrostática y presión atmosférica.
- Temperatura de Trabajo: 35° a 60° C.
- Sistema de Soldadura: TIG con material de aportes de Acero Inoxidable AISI 304.

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas esmeriladas y pulidas a 180 grit.
- Acabado superficial interior y exterior pulido brillante 240 grit.

Ver Plano 7 Tanque de Slurry

**Especificaciones Técnicas de Reactores de Proceso**

**Material:** en acero inoxidable AISI 316, en plancha con los siguientes espesores:

- Tanque interno, la envolvente, fondo, tapas, puente central, soporte para motorreductor en espesor de 8 mm.
  
- Camisa envolvente, espiral, sobreenvolvente y fondo del tanque interno en espesor de 4 mm. Fondo espesor de 6 mm. Forro, envolvente y fondo espesor de 2.5 mm
  
- Soportes laterales en acero inoxidable AISI 304, placa de espesor de 8 mm, con dimensiones 300 X 300 mm, con placas laterales de refuerzo; agujeros de soportes de diámetro 2 mm.

**Forma:** cilíndrica vertical, fondo toricónico y tapas abisagradas a un puente central sobre el cual será instalado el sistema de agitación.

**Camisa para calentamiento:** tipo espiral sobre envolvente y fondo. La camisa que rodea a la envolvente será fabricada en dos secciones, cada una con un ingreso de vapor y una salida de condensado.

**Aislamiento:** con lana de vidrio de 50 mm de espesor sobre la envolvente y el fondo.

**Accesorios:**

- Rejilla de protección en acero inoxidable AISI 304 ubicada por debajo del puente.
  
- Cuatro unidades de ingreso de producto, antiespuma, con bridas ANSI 150 en acero inoxidable AISI 304. Diámetros 63.5 mm (2 ½ pulg.)
  
- Una descarga inferior con brida ANSI 150, diámetro 63.5 mm (2 ½ pulg.)
  
- Una válvula de bola para descarga, en acero inoxidable AISI 304, diámetro 63.5 mm (2 ½ pulg.)
  
- Dos termopozos, uno para la camisa ó chaqueta de calentamiento y el otro para el producto, diámetro 6.35 mm (¼ pulg.)

- Una válvula de seguridad ó de alivio de presión (especificación mostrada en sección 3.9 de esta Tesis)

### **Sistema de agitación:**

Cada reactor, constará de:

- Un motorreductor coaxial de 7.5 Kw (10 Hp), 150 r.p.m. de salida, 60 Hz, 220V/440, 3P; el motoreductor dará la potencia para agitación del sistema central compuesta del eje central con cuatro niveles de aspas con inclinación de 45° sobre la horizontal.
- Un motorreductor coaxial de 15 Kw (20 Hp), 50 r.p.m. de salida, 60 Hz, 220V/440, 3P; el motoreductor dará la potencia para agitación del sistema lateral compuesta por estructura de cuatro niveles de aspas y rascadores de nylon para la envolvente cilíndrica y el fondo.
- Sentido de giro del agitador central horario y el agitador lateral antihorario.

- Tablero de control para arranque y paro de sistema en su totalidad.
- Soporte de motorreductor (puente central)
- Variador electrónico de velocidad para motorreductor de 7.5 Kw y 15 Kw.

**Diseño:**

- Tanque ó envolvente interior apto para trabajar a presión atmosférica bajo carga hidrostática.
- Camisas o chaqueta de calentamiento diseñadas para trabajar con vapor hasta 50 psig.

**Dimensiones:**

- Diámetro interno: 1500mm
- Diámetro externo: 1650mm
- Altura de la envolvente cilíndrica interna: 1300 mm
- Altura de fondo toricónico: 250 mm

**Acabados:**

- Soldaduras internas y externas, esmeriladas y pulidas 150 grit.
- Acabado superficial interior y exterior pulido brillante 240 grit.

Ver Plano 8 Reactor de Proceso

**3.4. Layout de la Planta**

En esta sección, se exponen los criterios empleados para el ordenamiento físico de todos los elementos de la planta dentro del espacio disponible para el proceso productivo.

Los objetivos básicos que se definen para el diseño de la planta de detergente en crema son:

- Menor distancia recorrida entre operaciones
- Adecuado flujo de materiales
- Utilización óptima del espacio cúbico disponible

- Seguridad y comodidad en el ambiente de trabajo.
- Facilidad ó flexibilidad a los cambios de condiciones en las operaciones.

De acuerdo a lo establecido en la sección 2.2. Diagrama de Flujo del Proceso, resulta evidente que el proceso productivo se desarrolla de manera continua; en base a este esquema se adoptará un criterio de distribución de planta en línea.

Es decir, se organizarán los procesos productivos de tal manera que las operaciones sean secuenciales; el producto fluirá o se movilizará en la línea de producción según vaya sufriendo las operaciones de transformación necesarias.

A continuación, se va a clasificar por el tipo de operación las máquinas, equipos de servicio e instalaciones que forman la unidad productiva:

**Recepción y almacenamiento de materias primas:** los tanques de recepción y almacenamiento de Ácido Sulfónico (75 ton), Silicato de Sodio (15 ton) e Hidróxido de Sodio (50 ton) se ubicarán en la parte posterior de la planta: los dos primeros se ubicarán

juntos en la parte final del corredor destinado para el acceso de los tanqueros con materias primas, el área disponible para esto es de 62,88m<sup>2</sup>.

El tanque de Hidróxido de Sodio (soda cáustica), se lo ubicará en la posición que ocupa actualmente previo el retiro del tanque plástico de 20 ton, para este tanque se dispone de 35,4 m<sup>2</sup>.

No se contempló cambiarlo de lugar, por cuanto ocupa una buena posición y se aprovecha la bomba de recepción y las tuberías de recepción y distribución hacía los puntos de procesamiento de jabón y detergente en crema.

Para la recepción del ácido sulfónico y silicato de sodio, se emplearán bombas adecuadas para cada fluido; para la recepción del tanquero a la bomba, se empleará la manguera provista en el mismo y de la bomba hacia los tanques o silos se instalará una red de tuberías.

Para las materias primas en polvo y líquidas en menores cantidades (carbonato de calcio, tripolifosfato de sodio, sulfato de sodio, carbonato de sodio, carboximetilcelulosa, glicerina, abrillantador óptico y perfume), se requerirá de una bodega denominada de tránsito para la recepción en las cantidades

necesarias para un día de producción. El área que ocupará esta bodega será de 26.8 m<sup>2</sup>.

Por restricción de espacio, no se puede disponer de una bodega para la recepción de toda la compra de estas materias primas, por lo que se aprovechará la bodega principal con la que cuenta la empresa y la logística a emplear será los despachos diarios hacia la bodega de tránsito descrita.

En esta área, se colocará la balanza tipo plataforma para la recepción de las materias primas desde la bodega principal y para su despacho fraccionado hacia el proceso de fabricación.

**Torre de Fabricación de la Crema Detergente:** para la distribución de las máquinas y equipos para fabricación, se hará énfasis en el criterio de optimización del espacio cúbico disponible.

En esta área se ubicarán los siguientes equipos:

- Dos reactores de proceso
- Cuatro tanques báscula (pesado de líquidos)

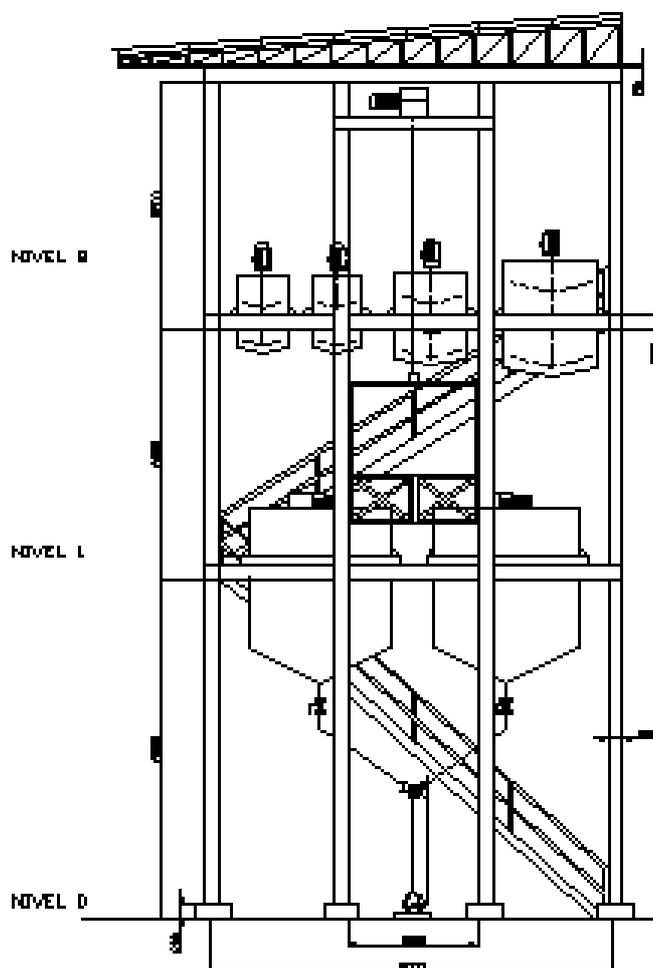
- Bomba de proceso (alimentación de detergente en crema hacia los tanques pulmones de envasamiento)

Para una adecuada ubicación de estos equipos, considerando las menores distancias recorridas y operaciones seguras de fabricación, se estima un área necesaria de 100 m<sup>2</sup>; la única opción sería montar estos equipos dentro del galpón, pero esto restaría el espacio para las operaciones de envasado y de almacenamiento de producto terminado, tanto de crema detergente como de jabón.

En vista de este inconveniente, se opta por una disposición vertical de los equipos; para ello será necesaria una torre de dos niveles de área transversal de 36 m<sup>2</sup>, el área disponible para esta torre se encuentra en la parte posterior de la planta.

En el nivel 2, se montarán los cuatro tanques báscula, en el nivel 1 los dos reactores de proceso y en el nivel cero la bomba de proceso, justo debajo de los reactores.

La estructura de la torre debe ser en perfiles laminados HEB 200 de acero al carbono ASTM A36, piso en plancha corrugada de acero al carbono ASTM A36 de 4 mm de espesor, cada nivel de 3500 mm de altura.



**FIGURA 3.8. ESQUEMA DE TORRE FABRICACIÓN**

Se dispondrá de una bomba de alimentación para cada tanque báscula (ácido sulfónico, silicato de sodio, hidróxido de sodio); la bomba se montará a la salida de cada tanque ó silo de almacenamiento de la respectiva materia prima. Se instalarán tuberías respectivas que se conectarán con los tanques básculas.

Para el caso del tanque báscula de slurry, el agua se bombeará desde la cisterna de recepción de agua.

El resto de materias primas, se transportarán a cada nivel de la torre mediante un ascensor de carga.

En el Plano 9 se muestra un esquema de la Torre para Proceso.

**Envasado y Almacenamiento de la Crema Detergente:** como se definió dentro de los requerimientos del proceso, se dispondrán de dos tanques pulmones para la crema detergente, mismos que recibirán el semielaborado para el envasado; estos tanques se colocarán uno sobre cada máquina de envasado.

Los tanques serán soportados por una estructura de acero ASTM A 36 (vigas en perfil laminado IPE 160 y columnas en IPE 200) que ocupará un área de 11 m<sup>2</sup> (Ver Plano 10 Estructura para Tanques Pulmón), la posición de este espacio se definirá al interior del galpón junto a la pared adyacente a la Torre de Fabricación.

El área que se define, tanto para el envasado y el sistema de almacenamiento que se seleccione será dentro los 324,58 m<sup>2</sup>.

**Equipos Auxiliares de Producción:** definiéndose como equipos auxiliares al compresor de aire comprimido, caldero, banco de transformadores y tablero eléctrico; en cuanto a los dos primeros

estos ya ocupan una posición dentro de la planta. En la sección 3.6, se determinará si se requieren de equipos adicionales ó si los actuales satisfacen la nueva demanda. De necesitarse nuevos equipos se indicará su posición dentro de la planta.

Se ubicará el nuevo banco de transformadores en la posición que ocupa el actual, y el tablero de distribución eléctrica a un costado bajo la torre de fabricación.

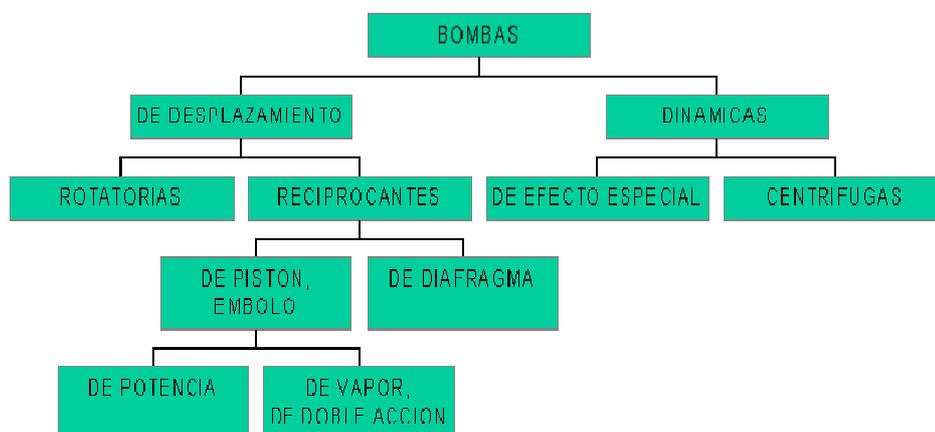
Se muestra el layout descrito en el Plano 11, se incluye las áreas complementarias como oficinas y control de calidad.

### **3.5. Cálculo y Selección de Equipos de Bombeo**

Las bombas requeridas, según lo determinado en el layout de la planta, realizarán las operaciones de recepción de las materias primas líquidas como el caso del ácido sulfónico, silicato de sodio; carga de tanques báscula de hidróxido de sodio, silicato de sodio, ácido sulfónico, agua para la preparación del slurry y crema detergente.

Debe recordarse que según lo señalado en la sección 2.5 la planta ya cuenta con una línea de tubería para recepción del hidróxido de sodio con su respectiva bomba.

Según la clasificación general de las bombas, para este proyecto se puede seleccionar de entre las bombas tipo dinámicas (centrífugas y periféricas) y de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias). En la Figura 3.9., se presenta un diagrama de bloques mostrando la clasificación de las bombas.



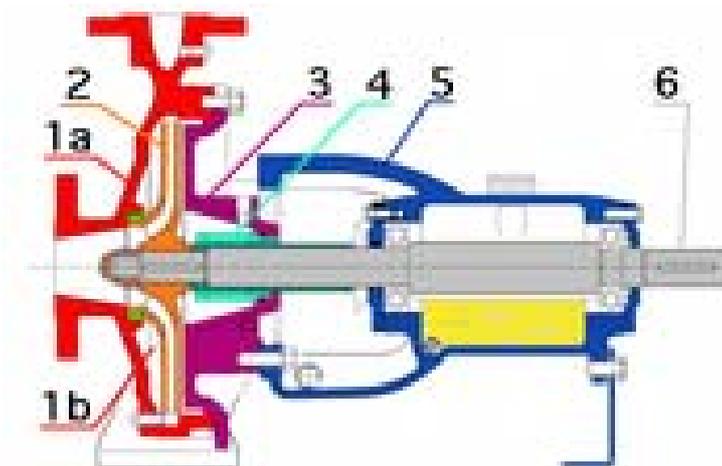
**FIGURA 3.9. CLASIFICACIÓN DE BOMBAS**

No es de interés de esta Tesis, describir cada uno de los tipos de bombas disponibles, para eso se proporcionará la bibliografía necesaria; sin embargo, para efecto de justificar el criterio para selección del tipo de bomba, se mencionará las características de las que se van a emplear.

**Bombas Centrífugas:** son del tipo dinámicas, en este tipo de bombas se aplica energía al líquido que se bombea con un impulsor o una hélice que gira en un eje. La energía de velocidad aplicada al fluido por el impulsor se convierte en energía de presión cuando el líquido sale del impulsor y avanza a lo largo de una voluta o carcasa de difusor estacionaria, ver Figura 3.10.

Se caracterizan por su alta cabeza y bajo caudal.

**Aplicaciones:** sus aplicaciones son muy diversas, su alto cabezal le permite un transporte de fluidos a elevadas alturas y distancia muy largas, se pueden usar para productos químicos corrosivos, en aplicaciones alimenticias. No son recomendables para fluidos de viscosidad elevada.



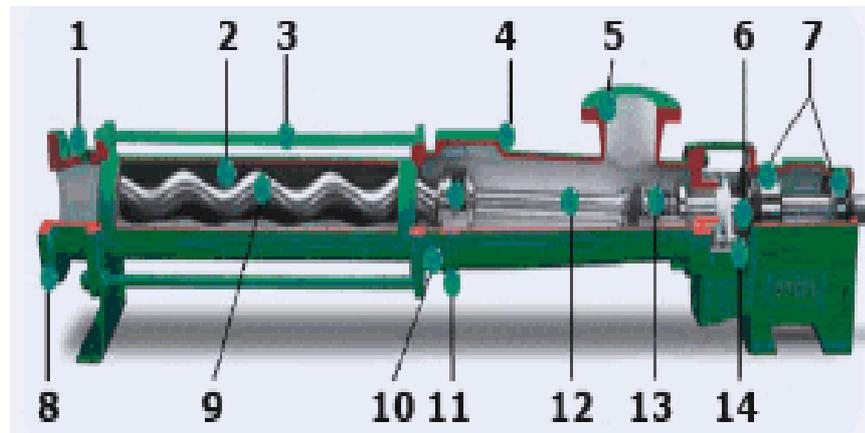
**FIGURA 3.10. CORTE ESQUEMÁTICO DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.**

1a carcasa, 1b cuerpo de bomba, 2 rodete, 3 tapa de impulsión, 4 cierre del eje, 5 soporte de cojinetes, 6 eje. Tomado de Wikipedia

**Bomba de Tornillo:** son del tipo rotatorias de desplazamiento positivo, en este tipo de bombas, el fluido se transporta entre las cuerdas de tornillo de uno ó más rotores y se desplaza axialmente a medida que giran engranados (ver Figura 3.11).

Son de autocebado y tienen una característica de flujo que es independiente de la presión. Son de alto costo.

**Aplicaciones:** las aplicaciones son muy variadas en los diversos campos de la industria como petroquímica, alimentos, químicas, pintura, etc.; este tipo de bombas puede aplicarse para el transporte de fluidos en una amplia gama de viscosidades y presiones. Dependiendo del material de sus componentes, pueden manejar fluidos corrosivos.



**FIGURA 3.11. PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA BOMBA DE TORNILLO**

1. Conexión para accesorios, 2. Estator, 3. Pernos, 4. Puerto de Limpieza, 5. Brida carcasa succión, 6. Eje sólido del impulsor, 7. Cojinetes de bolas, 8. Brida de descarga, 9. Rotor, 10. Carcasa de succión, 11. Tapones de desagüe, 12. Barra de conexión, 13 Eje impulsor, 14. Sello del eje. Tomado de Quiminet

**Bomba Neumática:** son del tipo de diafragma de desplazamiento positivo, en este tipo de bombas el movimiento de sus piezas se debe a la acción del aire comprimido suministrado por un equipo compresor. El aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas (membranas ó diafragmas) que varían el volumen de la cámara aumentándolo y disminuyéndolo

alternativamente. Unas válvulas de retención, normalmente de bolas de elastómero, controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión. Son autocebantes, ver Figura 3.12.

**Aplicaciones:** en líquidos altamente corrosivos y viscosos, su capacidad autocebante permite transportar cualquier tipo de líquidos.



**FIGURA 3.12. BOMBA NEUMÁTICA**

### **Selección del Tipo de Bomba**

De la información expuesta, el tipo de material y las condiciones de operación, el tipo de bomba seleccionada para cada aplicación es la siguiente:

**Recepción de Ácido Sulfónico:** se selecciona una bomba de desplazamiento positivo, rotatoria de engranes externo, no sanitaria, en acero inoxidable; se justifica su selección con estas características por la alta viscosidad y grado corrosivo del ácido sulfónico.

**Recepción de Silicato de Sodio:** se selecciona una bomba de desplazamiento positivo, tipo reciprocante de doble diafragma accionamiento neumático, no sanitaria. Otra alternativa válida es una bomba centrífuga, pero para este diseño se selecciona una bomba neumática.

**Carga de Ácido Sulfónico:** se selecciona una bomba de desplazamiento positivo, rotatoria de lóbulos, característica sanitaria; se justifica su selección con característica sanitaria por cuanto va formar parte directa de la línea de fabricación.

**Carga de Hidróxido de Sodio y Silicato de Sodio:** se selecciona una bomba de desplazamiento positivo, tipo reciprocante de doble diafragma accionamiento neumático, con característica sanitaria. Una bomba para cada tipo de material. Debe tenerse presente que

la bomba tipo centrífuga es una opción igual de válida, pero para el presente diseño se escoge la alternativa neumática.

**Carga de Agua (para Slurry):** se selecciona una bomba dinámica, tipo centrífuga, no sanitaria.

**Carga de Crema Detergente:** se selecciona una bomba de desplazamiento positivo, rotatoria de un tornillo, característica sanitaria; se justifica su selección con característica sanitaria por cuanto va a transportar el semielaborado para envasado. Por su óptima operación con productos de alta viscosidad, la bomba de tornillos es adecuada para el transporte del detergente en crema.

### **Cálculo de la Cabeza Total Dinámica (TDH)**

En esta sección, se realizará el cálculo de la cabeza total dinámica del sistema para la cual será necesaria la bomba.

La cabeza total dinámica consiste en la suma de tres factores:

$$TDH = Z + P + F_t$$

De donde:

Z: cabeza estática a levantar desde la succión (pie)

P: cabeza estática de descarga (pie)

$F_t$ : la cabeza en pies de líquido, necesaria para vencer la resistencia de la fricción de tuberías y conexiones en ambos lados, succión y descarga.

En vista que el sistema descarga a la atmósfera, el factor P es igual a cero.

Con los datos necesarios, se procede al cálculo del TDH para cada una de las bombas requeridas.

### **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Recepción de Ácido Sulfónico**

Para el cálculo, se parte de los siguientes datos:

Caudal: 40 GPM

Diámetro Tubería: 4 pulg.

Viscosidad: 15000 cps

Densidad relativa: 1.05

Z: 7 m (22.97 pie)

Válvula de compuerta: 2 unds

Codos: 3 unds

Longitud horizontal del tubo descarga: 12 m (39.37 pie)

A partir de la viscosidad absoluta, se calcula la viscosidad cinemática en Segundos Universales Saybolt (SSU).

$$\nu_{cinemática} = \frac{\nu_{absoluta} (\text{centipoises})}{\rho_{relativa}}$$

$$\nu_{cinemática} = \frac{15000cps}{1.05}$$

$$\nu_{cinemática} = 14285.7 \text{ centistokes}$$

$$SSU = \text{centistokes} * 4.635$$

$$SSU = 14285.7 * 4.635$$

$$SSU = 66214.2$$

De la Tabla de Longitudes Equivalentes para Accesorios de Tuberías (ver Tabla en el Apéndice G), se tiene que para una tubería de acero de 4 pulg. de diámetro, la longitud equivalente para un codo es de 13 pie y para una válvula de compuerta es de 2.5 pie.

Con estos datos, se calcula las pérdidas por fricción ( $F_f$ ) de la bomba de la siguiente manera:

$$F_f = \text{long}_{\text{total tubos y accesorios}} + \text{long}_{\text{equiv}}$$

$$F_f = (22.97 + 39.37 \text{ pie} + 3 * (13) \text{ pie} + 2 * (2.5) \text{ pie})$$

$$F_f = 106.34 \text{ pie}$$

El factor de corrección por viscosidad, se obtiene de la Tabla Pérdida de Cabeza por Fricción para Líquidos Viscosos (Ver Tabla en el Apéndice H), se entra con los GPM, el diámetro de 4 pulg. de la tubería y los SSU.

El factor de corrección por viscosidad encontrado es 140.5 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40.

Con este valor se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{140.5 \text{ pie}}{100 \text{ pie tubería}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 106.34 \text{ pie} \frac{140.5 \text{ pie}}{100 \text{ pie}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 149.4 \text{ pie}$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad se obtiene:

$$F_t(\text{corregido}) = 197.2 \text{ pie}$$

Reemplazando valores se encuentra el TDH:

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 22.97 pie + 197.2 pie$$

$$TDH = 220.17 pie$$

Con el diagrama Factor de Corrección para Bombas (Caudal) para Líquidos Viscosos (Ver Apéndice I), se procede a realizar la corrección del caudal para la bomba.

Del diagrama el factor es 0.3, por lo que el caudal rectificado es:

$$Q_{rectificado} = \frac{40GPM}{0.3}$$

$$Q_{rectificado} = 133.33GPM$$

Para el cálculo de la potencia hidráulica, se emplea la siguiente expresión:

$$Pot = \frac{8.33 * Q * TDH * SG}{33000 * \eta}$$

Donde:

Q: caudal, en este caso el rectificado (GPM)

TDH: cabezal de descarga (pies)

SG: gravedad específica

$\eta$ : eficiencia de la bomba; 0.8

Reemplazando valores se tiene que:

$$Pot = \frac{8.33 * 133.33 * 220.17 * 1.05}{33000 * 0.8}$$

$$Pot = 9.72Hp (7.25 Kw)$$

Se selecciona una bomba de caudal 133.33 GPM ( $0.50 \text{ m}^3/\text{min}$ ), cabeza de 220.17 pies (67.11 m), y potencia hidráulica de 9.72 Hp (7.5 Kw); la potencia disponible en el mercado es de 10 Hp (7.5 Kw). Ver curvas de la bomba seleccionada en el Apéndice J.

Se aplica el mismo procedimiento para el cálculo del TDH de las bombas restantes.

### **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Recepción de Silicato de Sodio**

Para el cálculo, se parte de los siguientes datos:

Caudal: 60 GPM

Diámetro Tubería: 2.5 pulg.

Viscosidad: 1800 cps

Densidad relativa: 1.6

Z: 5 m (16.40 pie)

Válvula de compuerta: 2 unds

Codos: 3 unds

Longitud horizontal del tubo descarga: 7 m (22.97 pie)

A partir de la viscosidad absoluta, se calcula la viscosidad cinemática en Segundos Universales Saybolt (SSU).

$$v_{cinemática} = \frac{1800cps}{1.6}$$

$$v_{cinemática} = 1125centistokes$$

$$SSU = 1125 * 4.635$$

$$SSU = 5214.37$$

Por Tabla de Longitudes Equivalentes para Accesorios de Tuberías (ver Tabla en el Apéndice G), se tiene que para una tubería de acero de 2.5 pulg. de diámetro, la longitud equivalente para un codo es de 9.3 pie y para una válvula de compuerta es de 1.7 pie.

Con estos datos, se calcula las pérdidas por fricción ( $F_f$ ) de la bomba de la siguiente manera:

$$F_t = long_{total\ tubo\ desc\ arg\ a} + long_{equiv}$$
$$F_t = (16.40 + 22.97) pie + 3 * (9.3) pie + 2 * (1.7) pie$$
$$F_t = 70.67 pie$$

El Factor de Corrección por Viscosidad para tubería de 2.5 pulg es 114.26 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40. (Apéndice H )

Con este valor, se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{114.26 pie}{100 pie\ tubería}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 70.67 pie \frac{114.26 pie}{100 pie}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 80.74 pie$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad se obtiene:

$$F_t(\text{corregido}) = 106.57 pie$$

Reemplazando valores se encuentra el TDH:

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 16.40 pie + 106.57 pie$$

$$TDH = 123 pie$$

Con el diagrama Factor de Corrección Para Bombas (Caudal) para Líquidos Viscosos (Ver Apéndice I), se procede a realizar la corrección del caudal para la bomba.

Del diagrama el factor es 0.9, por lo que el caudal rectificado es:

$$Q_{\text{rectificado}} = \frac{60\text{GPM}}{0.9}$$

$$Q_{\text{rectificado}} = 66.7\text{GPM}$$

Se selecciona una bomba de caudal 66.7 GPM (0.25 m<sup>3</sup>/min), cabeza de 123 pies (37.49 m), requerimiento de presión de operación de aire comprimido 90 lb/pulg<sup>2</sup> (6.2 BAR) y caudal de aire comprimido 50 cfm (1.42 m<sup>3</sup>/min). Ver Curva de Operación de la bomba seleccionada en el Apéndice K.

### **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Carga de Ácido Sulfónico**

Para el cálculo, se parte de los siguientes datos:

Caudal: 30 GPM

Diámetro Tubería: 4 pulg.

Viscosidad: 15000 cps

Densidad relativa: 1.05

Z: 10 m (32.81 pie)

Válvula de compuerta: 2 unds

Codos: 4 unds

Longitud horizontal del tubo de descarga: 15 m (49.21 pie)

Del cálculo de la bomba de recepción de ácido sulfónico, la viscosidad cinemática en Segundos Universales Saybolt (SSU) es:

$$SSU = 66214.2$$

Para la tubería de 4 pulg. la longitud equivalente para un codo es de 13 pie y para una válvula de compuerta es de 2.5 pie.

Con estos datos, se calcula las pérdidas por fricción ( $F_t$ ):

$$\begin{aligned} F_t &= long_{total tubodescarga} + long_{equiv} \\ F_t &= (32.81 + 49.21) pie + 4 * (13) pie + 2 * (2.5) pie \\ F_t &= 139.02 pie \end{aligned}$$

El Factor de Corrección por Viscosidad para Tubería de 4 pulg es 105.15 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40.

Con este valor se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{105.15 pie}{100 pie tubería}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 139.02 \text{ pie} \frac{105.15 \text{ pie}}{100 \text{ pie}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 146.18 \text{ pie}$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad se obtiene:

$$F_t(\text{corregido}) = 192.95 \text{ pie}$$

Reemplazando valores se encuentra el TDH:

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 32.81 \text{ pie} + 192.95 \text{ pie}$$

$$TDH = 225.76 \text{ pie}$$

Con el diagrama Factor de Corrección Para Bombas (Caudal) para Líquidos Viscosos (Ver Apéndice I), se procede a realizar la corrección del caudal para la bomba.

Del diagrama el factor es 0.3, por lo que el caudal rectificado es:

$$Q_{\text{rectificado}} = \frac{30 \text{ GPM}}{0.3}$$

$$Q_{\text{rectificado}} = 100 \text{ GPM}$$

Realizando el cálculo de la potencia hidráulica empleando la fórmula correspondiente, se tiene que para la bomba de carga de ácido sulfúrico la potencia es:

$$Pot = \frac{8.33 * 100 * 225.76 * 1.05}{33000 * 0.8}$$

$$Pot = 7.48Hp (5.58 Kw)$$

Se selecciona una bomba de caudal 100 GPM (0.38 m<sup>3</sup>/min), cabeza de 225.76 pies (68.81 m), y potencia hidráulica de 7.48 Hp (5.58 Kw); esta potencia corresponde a un motor eléctrico comercial de 7.5 Hp (5.59 Kw). Ver curva de operación de bomba seleccionada en el Apéndice L.

### **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Carga de Silicato de Sodio**

Para el cálculo, se parte de los siguientes datos:

Caudal: 30 GPM

Diámetro Tubería: 2.5 pulg.

Viscosidad: 1800 cps

Densidad relativa: 1.6

Z: 10 m (32.81 pie)

Válvula de compuerta: 2 unds

Codos: 4 unds

Longitud horizontal del tubo de descarga: 10 m (32.81 pie)

La viscosidad cinemática en Segundos Universales Saybolt (SSU)

es:

$$SSU = 5214.37$$

Para una tubería de acero de 2.5 pulg. de diámetro, la longitud equivalente para un codo es de 9.3 pie y para una válvula de compuerta es de 1.7 pie.

Se calcula las pérdidas por fricción ( $F_t$ ) de la bomba:

$$F_t = long_{totaltubodescarga} + long_{equiv}$$

$$F_t = (32.81 + 32.81) pie + 4 * (9.3) pie + 2 * (1.7) pie$$

$$F_t = 106.22 pie$$

El Factor de Corrección por Viscosidad para Tubería de 2.5 pulg es

56.78 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40.

Con este valor se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{56.78 \text{ pie}}{100 \text{ pie tubería}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 106.22 \text{ pie} \frac{56.78 \text{ pie}}{100 \text{ pie}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 60.31 \text{ pie}$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad se obtiene:

$$F_t(\text{corregido}) = 79,61 \text{ pie}$$

Reemplazando valores se encuentra el TDH:

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 32.81 \text{ pie} + 79,61 \text{ pie}$$

$$TDH = 112.42 \text{ pie}$$

Con el diagrama Factor de Corrección Para Bombas (Caudal) para Líquidos Viscosos (Ver Apéndice I), se procede a realizar la corrección del caudal para la bomba.

Del diagrama el factor es 0.9, por lo que el caudal rectificado es:

$$Q_{\text{rectificado}} = \frac{30 \text{ GPM}}{0.9}$$

$$Q_{\text{rectificado}} = 33.3 \text{ GPM}$$

Se selecciona una bomba de caudal 33.3 GPM (0.13 m<sup>3</sup>/min), cabeza de 112.42 pies (34.27 m), requerimiento de presión de operación de aire comprimido 67.5 lb/pulg<sup>2</sup> (4.65 BAR) y caudal de aire comprimido 44 cfm (1.25 m<sup>3</sup>/min). Ver Curva de Operación de la bomba seleccionada en el Apéndice K.

### **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Carga de Hidróxido de Sodio**

Se inicia con los siguientes datos:

Caudal: 30 GPM

Diámetro Tubería: 2.5 pulg.

Viscosidad: 78.3 cps

Densidad relativa: 1.54

Z: 10 m (32.81 pie)

Válvula de compuerta: 2 unds

Codos: 4 unds

Longitud horizontal del tubo de descarga: 31 m (101.71 pie)

La viscosidad cinemática en Segundos Universales Saybolt (SSU) es:

$$v_{\text{cinemática}} = \frac{78.3\text{cps}}{1.54}$$

$$v_{\text{cinemática}} = 50.84\text{centistokes}$$

$$SSU = 50.84 * 4.635$$

$$SSU = 235.64$$

Para una tubería de acero de 2.5 pulg. de diámetro, la longitud equivalente para un codo es de 9.3 pie y para una válvula de compuerta es de 1.7 pie.

Se calcula las pérdidas por fricción ( $F_t$ ) de la bomba:

$$F_t = \text{long}_{\text{total tubos descarga}} + \text{long}_{\text{equiv}}$$

$$F_t = (32.81 + 101.71)\text{pie} + 4 * (9.3)\text{pie} + 2 * (1.7)\text{pie}$$

$$F_t = 175.12\text{pie}$$

El Factor de Corrección por Viscosidad para Tubería de 2.5 pulg es 2.54 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40.

Con este valor se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{56.78\text{pie}}{100\text{pie tubería}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 175.12 \text{ pie} \frac{2.54 \text{ pie}}{100 \text{ pie}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 4.45 \text{ pie}$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad obtenemos:

$$F_t(\text{corregido}) = 5.87 \text{ pie}$$

Reemplazando todos los valores encontrados en la fórmula del TDH obtenemos:

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 32.81 \text{ pie} + 5.87 \text{ pie}$$

$$TDH = 38.68 \text{ pie}$$

Se selecciona una bomba de caudal 30 GPM (0.11 m<sup>3</sup>/min), cabeza de 38.68 pies (11.79 m), requerimiento de presión de operación de aire comprimido 60 lb/pulg<sup>2</sup> (4.13 BAR) y caudal de aire comprimido 20 cfm (0.57 m<sup>3</sup>/min). Ver Curva de Operación de la bomba seleccionada en el Apéndice M.

### **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Carga de Agua (Para Slurry)**

Para el cálculo se parte de los siguientes datos:

Caudal: 100 GPM

Diámetro Tubería: 2.5 pulg.

Densidad relativa: 1

Z: 10 m (32.81 pie)

Válvula de compuerta: 4 unds

Codos: 7 unds

Longitud horizontal del tubo de descarga: 100 m (328.08 pie)

Por Tabla de Longitudes Equivalentes para Accesorios de Tuberías (ver Tabla en el Apéndice G), se tiene que para una tubería de acero de 2.5 pulg. de diámetro, la longitud equivalente para un codo es de 9.3 pie y para una válvula de compuerta es de 1.7 pie.

Con estos datos, se calcula las pérdidas por fricción ( $F_t$ ) de la bomba:

$$F_t = long_{total\ tubo\ descarga} + long_{equiv}$$

$$F_t = (32.81 + 328.08) pie + 7 * (9.3) pie + 4 * (1.7) pie$$

$$F_t = 432.8 pie$$

El Factor de Corrección por Viscosidad, se obtiene de la Tabla Pérdidas por Fricción por cada 100 pies de Agua en Tubería Nueva de Acero cédula 40; ver Apéndice N.

El factor de corrección por viscosidad encontrado es 7.11 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40.

Con el este valor se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{7.11 \text{ pie}}{100 \text{ pie tubería}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 432.8 \text{ pie} \frac{7.11 \text{ pie}}{100 \text{ pie}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 30.77 \text{ pie}$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad obtenemos:

$$F_t(\text{corregido}) = 40.61 \text{ pie}$$

Reemplazando valores encontramos el TDH

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 32.81 \text{ pie} + 40.61 \text{ pie}$$

$$TDH = 73.42 \text{ pie}$$

Se calcula la potencia hidráulica según la expresión:

$$Pot = \frac{8.33 * Q * TDH * SG}{33000 * \eta}$$

Donde:

Q: caudal (GPM)

TDH: cabezal de descarga (pies)

SG: gravedad específica

$\eta$ : eficiencia de la bomba; 0.8

Reemplazando valores se tiene:

$$Pot = \frac{8.33 * 100 * 73.42 * 1}{33000 * 0.8}$$

$$Pot = 2.31Hp (1.72 Kw)$$

Se selecciona una bomba de caudal 100 GPM (0.38 m<sup>3</sup>/min), cabeza de 73.42 pies (22.38 m), y potencia hidráulica de 2.31 Hp (1.72 Kw); el motor será de 3 Hp (2.24 Kw) que es la potencia eléctrica disponible en el mercado. Ver curvas de operación en el Apéndice O.

## **Cabeza Total Dinámica de Bomba de Carga de Crema Detergente**

Para el cálculo, se parte de los siguientes datos:

Caudal: 15 GPM

Diámetro Tubería: 3 pulg.

Viscosidad: 8000 cps

Densidad relativa: 1.2

Z: 7 m (22.97 pie)

Válvula Compuerta: 3 unds

Codos: 4 unds

Tee: 1 und

Longitud horizontal del tubo descarga: 15 m (49.21 pie).

En lo que se refiere al tramo horizontal, se diseña el sistema para una longitud de 15 m, en prevención de posibles movimientos de maquinaria; lo real del tramo a transportar la crema es 7.5 m.

Del dato de la viscosidad absoluta, se calcula la viscosidad cinemática en Segundos Universales Saybolt (SSU).

$$v_{cinemática} = \frac{v_{absoluta} \text{ (centipoises)}}{\rho_{relativa}}$$

$$v_{\text{cinemática}} = \frac{8000\text{cps}}{1.2}$$

$$v_{\text{cinemática}} = 6666.67\text{centistokes}$$

$$SSU = \text{centistokes} * 4.635$$

$$SSU = 6666.67 * 4.635$$

$$SSU = 30900.01$$

Por Tabla de Longitudes Equivalentes para Accesorios de Tuberías (ver Tabla en el Apéndice G), tenemos, que para una tubería de acero de 3 pulg. de diámetro, la longitud equivalente para un codo es de 11 pie, para una válvula de compuerta es de 19 pie y una tee es de 17 pie.

Con los valores encontrados, se procede a realizar el cálculo de las pérdidas por fricción ( $F_t$ ) de la bomba:

$$F_t = \text{long}_{\text{total tubos carga}} + \text{long}_{\text{equiv}}$$

$$F_t = (22.97 + 42.21)\text{pie} + 4 * (11)\text{pie} + 3 * (1.9)\text{pie} + 1 * (17)\text{pie}$$

$$F_t = 131.88\text{pie}$$

El factor de corrección por viscosidad para tubería de diámetro de 3 pulg, caudal de 15 GPM, y 30900.01 SSU de la crema es 71.59 pie/100 pie de tubería nueva cédula 40.

Con este valor se procede a la corrección del  $F_t$

$$F_t(\text{corregido}) = F_t * \frac{71.59 \text{ pie}}{100 \text{ pietubería}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 131.88 \text{ pie} \frac{71.59 \text{ pie}}{100 \text{ pie}}$$

$$F_t(\text{corregido}) = 94.41 \text{ pie}$$

Multiplicando por un 20% considerando las pérdidas por succión y un 10% por seguridad se obtiene:

$$F_t(\text{corregido}) = 124.62 \text{ pie}$$

Reemplazando valores se encuentra el TDH:

$$TDH = Z + P + F_t$$

$$TDH = 22.97 \text{ pie} + 124.62 \text{ pie}$$

$$TDH = 147.6 \text{ pie}$$

Del diagrama Factor de Corrección Para Bombas (Caudal) para Líquidos Viscosos (Ver Apéndice I), se obtiene un factor de 0.5; por lo que el caudal rectificado es:

$$Q_{\text{rectificado}} = \frac{15 \text{ GPM}}{0.5}$$

$$Q_{\text{rectificado}} = 30\text{GPM}$$

Calculando la potencia hidráulica con la expresión anterior, se obtiene:

$$Pot = \frac{8.33 * 30 * 147.6 * 1.2}{33000 * 0.8}$$

$$Pot = 1.68\text{Hp} (1.25 \text{ Kw})$$

Se selecciona una bomba de caudal 30 GPM (0.11 m<sup>3</sup>/min), cabeza de 147.6 pies (45 m), y potencia hidráulica de 1.68 Hp (1.25 Kw); el motor eléctrico para la bomba será de 2 Hp (1.5 Kw) que es la potencia disponible en el mercado. Ver curvas de operación en Apéndice P.

### 3.6. Capacidad Requerida en Equipos de Aire Comprimido y Vapor

En esta sección, se mostrará cada una de las necesidades de aire comprimido y vapor que requiere la planta de detergente en crema; se sumaran con los consumos de la planta de jabón y en base a los consumos totales, se podrá determinar si con los equipos con los que se cuenta satisfacen la nueva demanda, de lo contrario se

establecerá una recomendación para aumento de capacidad en ese sentido.

### Servicio de Aire Comprimido

La planta de jabón tiene una capacidad instalada de 266 cfm (7.55 m<sup>3</sup>/min) de generación de aire comprimido; capacidad suministrada por los equipos descritos en la Tabla 13.

**TABLA 13**

**CAPACIDAD INSTALADA DE EQUIPOS DE GENERACIÓN DE  
AIRE COMPRIMIDO**

ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA	POTENCIA (Kw)	CAPACIDAD (a 8.6 BAR)	
				CFM	m3/min
1	Compresor de Tornillo	Sullair	5.6	28	0.8
2	Compresor de Tornillo	Sullair	5.6	28	0.8
3	Compresor de Tornillo	Sullair	37.3	210	5.95
<b>CAPACIDAD INSTALADA</b>			<b>48.5</b>	<b>266</b>	<b>7.55</b>

Los consumos de la Planta de Jabón son del orden de los 21.1 cfm (0.60 m<sup>3</sup>/min), el detalle del consumo se lo muestra en la siguiente tabla:

**TABLA 14**

**CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO DE PLANTA DE JABÓN**

ITEM	MÁQUINA/EQUIPO	CONSUMO		PRESIÓN (BAR)
		CFM	m3/min	
1	Troqueladora	5.3	0.15	6.0
2	Cortadora	3.6	0.10	6.0
3	Envolvedora	3.6	0.10	1.5
4	Codificadora (Video Jet)	0.7	0.02	4.0
5	Grapadora neumática	0.7	0.02	4.0
6	Reactores	3.6	0.1	4.0
<b>CONSUMO ACTUAL</b>		<b>17.5</b>	<b>0.50</b>	

Los requerimientos aire comprimido para las máquinas de envasado y las bombas neumáticas es de 139 cfm (3.9 m<sup>3</sup>/min), los datos obtenidos son proporcionados por el fabricante respectivo.

En la Tabla 15 se detallan los requerimientos de este servicio:

TABLA 15

**REQUERIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO DE PLANTA DE  
DETERGENTE EN CREMA**

ITEM	MÁQUINA/EQUIPO	REQUERIMIENTO		PRESIÓN (BAR)
		CFM	m <sup>3</sup> /min	
1	Envasadora 100-200g	12.5	0.35	6.0
2	Envasadora 200-400g	12.5	0.35	6.0
3	Bomba de Recepción de Silicato de Sodio	50.0	1.42	6.2
4	Bomba de Carga de Silicato de Sodio	44.0	1.25	4.7
5	Bomab de Carga de Hidróxido de Sodio	20.0	0.57	4.14
<b>REQUERIMIENTO</b>		<b>139.0</b>	<b>3.9</b>	

El requerimiento de total de aire comprimido es de 156.5 cfm (4.43 m<sup>3</sup>/min); pero por cuestiones de acceso de tanqueros con materias primas como el ácido sulfónico, hidróxido de sodio y silicato de sodio consideraremos un factor de coincidencia de 0.6 en vista de que sólo puede ingresar un tanquero a la vez, por lo que el real requerimiento de aire comprimido es de 93.9 cfm (2.66 m<sup>3</sup>/min), esto demuestra que la capacidad instalada de generación de aire comprimido satisface la actual y nueva demanda y con capacidad suficiente para expansiones futuras.

### **Servicio de Vapor Saturado**

La planta de jabón, tiene un consumo de vapor de aproximadamente 100 lb/hora; para el proceso de fabricación de detergente en crema se empleará vapor para el calentamiento en los tanques de almacenamiento de materia prima y en los reactores de proceso. En la sección 3.2, en el cálculo de los serpentines de calentamiento, se determinó la cantidad de vapor por hora que se requerirá para el calentamiento previo en caso de requerirse del ácido sulfónico, hidróxido de sodio y silicato de sodio, por lo que para conocer el requerimiento total de vapor, se debe calcular el consumo de vapor en los reactores de proceso; los cálculos se muestran a continuación:

### **Requerimiento de Vapor Saturado para Reactores de Proceso**

Se parte de los siguientes datos:

- Temperatura inicial de masa a calentar: 27°C (80.6 °F)
- Temperatura final masa para proceso: 50°C (122 °F)
- Presión manométrica de vapor: 50 lb/pulg<sup>2</sup> (344.74 Mpa)

- Tiempo de Suministro Vapor: 4 horas
- Masa crema detergente: 5000 Kg, los dos reactores;  
(11023.11 lb)

Se calcula el flujo de calor mediante la siguiente expresión:

$$^{\circ}Q = ^{\circ}mc\Delta T$$

Donde:

$^{\circ}Q$ : cantidad de calor por unidad de tiempo; en BTU/h

$^{\circ}m$ : flujo másico; en lb/h

c: calor específico de la crema detergente 2.25 Kcal/Kg°C (2.25 BTU/lb°F)

Desarrollando para los datos planteados:

$$^{\circ}m = \frac{11023.11lb}{4}$$

$$^{\circ}m = 2755.8lb/h$$

$$^{\circ}Q = 2755.8 \frac{lb}{h} * 2.25 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * (122 - 80.6)^{\circ}F$$

$$\dot{Q} = 2755.8 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 2.25 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} * (122 - 80.6)^\circ\text{F}$$

$$\dot{Q} = 256702.8 \text{BTU} / \text{h}$$

Para el vapor saturado a una presión de 50 lb/pulg<sup>2</sup> corresponde una entalpía  $h_{fg}$  de 924 BTU/lb, con esto se calcula el flujo másico de vapor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\dot{Q}}{h_{fg}}$$

$$S = \frac{256702.8 \text{BTU} / \text{h}}{924 \text{BTU} / \text{lb}}$$

$$S = 277 \text{ lb/h} \text{ (126 Kg/h)}$$

Los requerimientos totales de vapor saturado, tanto de la planta de jabón como de detergente en crema se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 16

## REQUERIMIENTO TOTAL DE VAPOR SATURADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CONSUMO	
		lb/hora	Kg/hora
1	Planta de Jabón	100.00	45.37
2	Tanque Almacenamiento Ácido Sulfónico	182.56	82.98
3	Tanque Almacenamiento Hidróxido de Sodio	474.67	215.30
4	Tanque Almacenamiento Silicato de Sodio	400.16	181.89
5	Dos Reactores Detergente en Crema	277.0	126.0
<b>TOTAL</b>		<b>1434.4</b>	<b>651.5</b>
<b>FACTOR DE COINCIDENCIA</b>		<b>60%</b>	<b>60%</b>
<b>REQUERIMIENTO TOTAL</b>		<b>860.6</b>	<b>390.9</b>

Con esto se demuestra, que el caldero disponible es suficiente para satisfacer la nueva demanda de vapor saturado para la fabricación del detergente en crema.

### 3.7. Diseño de Instalaciones Mecánicas

Como se citó en la sección 2.5, se tiene disponible una red primaria, tanto para aire comprimido como para vapor y condensado, por lo que en esta sección corresponde calcular los diámetros de tuberías y describir los accesorios que componen las líneas secundarias o de alimentación a los equipos que los demandan.

### **Línea de Vapor**

Los equipos que requieren vapor dentro del proceso son: Tanque de Almacenamiento de Ácido Sulfónico, Tanque de Almacenamiento de Hidróxido de Sodio, Tanque de Almacenamiento de Silicato de Sodio y los dos Reactores de Proceso.

### **Cálculo de Diámetro de Tubería de Vapor para Línea Secundaria**

El dimensionamiento de las tuberías debe ser el idóneo, para garantizar que el vapor llegue al punto de consumo en las condiciones requeridas.

Los parámetros para el dimensionamiento son:

**Flujo Másico:** se refiere a la cantidad de vapor que va a demandar el equipo y que va a fluir a través de la tubería que se va a dimensionar.

**Presión de Vapor:** presión a la entrada de tubería a dimensionar.

**Caída de Presión Admisible:** es la máxima caída de presión que se puede permitir en el tramo de tubería a dimensionar.

**Longitud de Tubería:** es la longitud total de la tubería horizontal, más la longitud equivalente por accesorios como válvulas, codos, uniones etc.

En el Plano 12, se muestra el Esquema Unifilar de Vapor y Condensado; para el dimensionamiento de la tubería de vapor se va a emplear gráficas experimentales (Figura 3.13. y 3.14.); las velocidades recomendadas para tuberías de vapor están en el orden del los 2000 y 12000 pie/min. Para los tramos primarios se recomienda velocidades de entre 5000 hasta 12000 pie/min y para tramos secundarios (conexión a equipos) entre 2000 hasta 5000 pie/min.

La tubería que se empleará tanto para el flujo de vapor saturado como del retorno del condensado será de acuerdo a norma ASTM A-53, grado B, cédula 40.

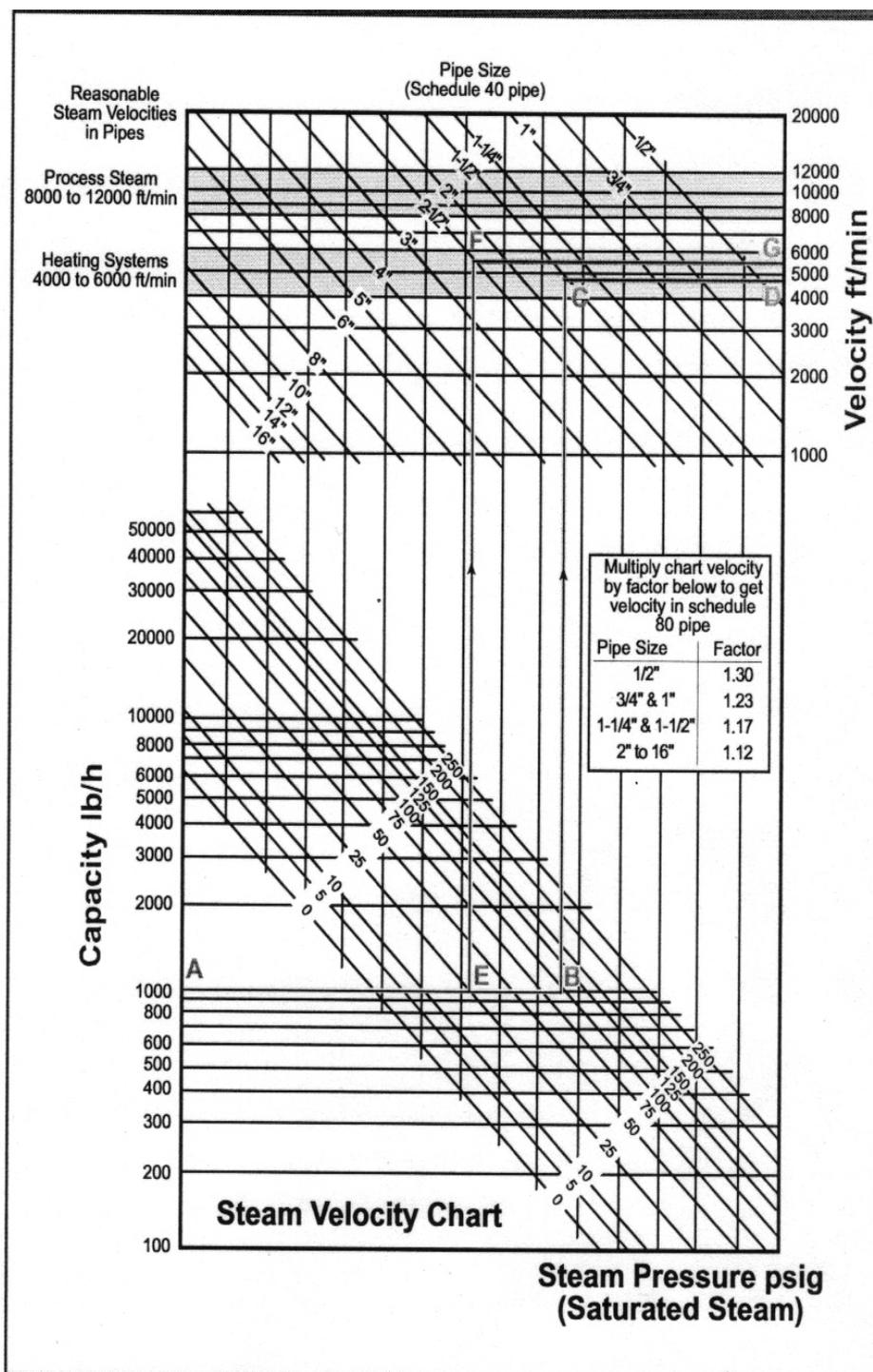
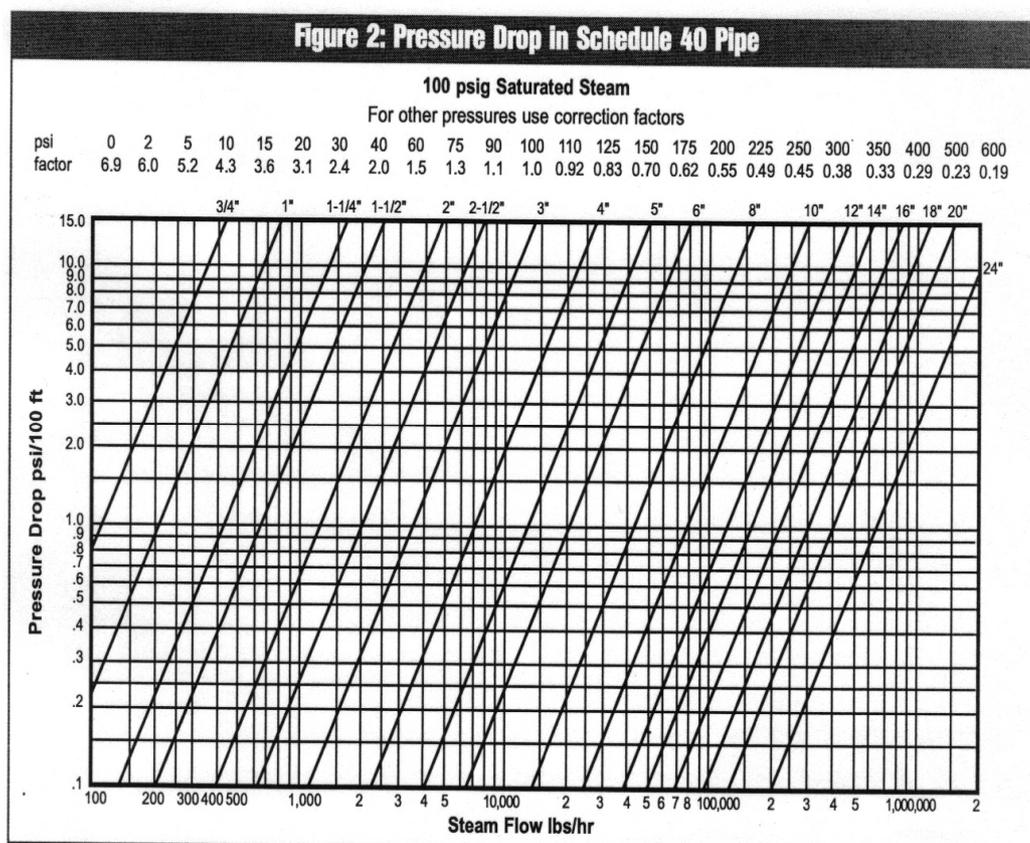


FIGURA 3.13. DIAGRAMA VELOCIDAD DE VAPOR



**FIGURA 3.14. CAÍDAS DE PRESIÓN EN TUBERÍA DE VAPOR  
CÉDULA 40**

**Tramo Serpentin Tanque Almacenamiento Ácido Sulfónico:**

Presión de Vapor: 125 lb/pulg<sup>2</sup>

Caudal de Vapor: 182.56 lb/h

Velocidad Permisible: 2000 a 5000 pie/min

Longitud de tramo: 4 m

De la Figura 3.13, se obtiene:

Diámetro de Tubería:  $\frac{3}{4}$  pulg

Velocidad de Vapor: 2500 pie/min

De la Figura 3.14, se obtiene:

Factor de corrección: 0.83

Caída de presión:

$$\text{Caída Presión} = \frac{2.5 \text{ lb/pulg}^2}{30.48 \text{ m}} * 0.83$$

$$\text{Caída Presión} = 0.068 \text{ lb/pulg}^2/\text{m}$$

Presión final de vapor:

$$\text{Presión Final Vapor} = (125 \text{ lb/pulg}^2) - \left( \frac{0.068 \text{ lb/pulg}^2}{\text{m}} \right) * (4 + 0.4) \text{ m}$$

$$\text{Presión Final Vapor} = 124.7 \text{ lb/pulg}^2$$

### **Tramo Serpentin Tanque Almacenamiento Silicato de Sodio:**

Presión de Vapor: 125 lb/pulg<sup>2</sup>

Caudal de Vapor: 400.16 lb/h

Velocidad Permisible: 2000 a 5000 pie/min

Longitud de tramo: 4m

De la Figura 3.13, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 1 ¼ pulg

Velocidad de Vapor: 2000 pie/min

De la Figura 3.14, se obtiene:

Factor de corrección: 0.83

Caída de presión:

$$\text{Caída Presión} = \frac{0.85 \text{ lb/pulg}^2}{30.48 \text{ m}} * 0.83$$

$$\text{Caída Presión} = 0.0231 \text{ lb/pulg}^2/\text{m}$$

Presión final de vapor:

$$\text{Presión Final Vapor} = (125 \text{ lb/pulg}^2) - \left( \frac{0.0231 \text{ lb/pulg}^2}{\text{m}} \right) * (4 + 0.4) \text{ m}$$

$$\text{Presión Final Vapor} = 124.9 \text{ lb/pulg}^2$$

**Tramo Serpentin Tanque de Almacenamiento de Hidróxido de Sodio:**

Presión de Vapor: 125 lb/pulg<sup>2</sup>

Caudal de Vapor: 474.67 lb/h

Velocidad Permisible: 2000 a 5000 pie/min

Longitud de tramo: 3.5 m

De la Figura 3.13, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 1 ¼ pulg.

Velocidad de Vapor: 2400 pie/min

De la Figura 3.14, se obtiene:

Factor de corrección: 0.83

Caída de presión:

$$\text{Caída Presión} = \frac{1.25 \text{ lb / pulg}^2}{30.48 \text{ m}} * 0.83$$

$$\text{Caída Presión} = 0.0341 \text{ lb / pulg}^2 / \text{m}$$

Presión final de vapor:

$$\text{Presión Final Vapor} = (125 \text{ lb / pulg}^2) - \left( \frac{0.0341 \text{ lb / pulg}^2}{\text{m}} \right) * (3 + 0.35) \text{ m}$$

$$\text{Presión Final Vapor} = 124.9 \text{ lb / pulg}^2$$

**Tramo Secundario a Reactores 1 y 2:**

Presión de Vapor: 125 lb/pulg<sup>2</sup>

Caudal de Vapor: 277 lb/h

Velocidad Permisible: 2000 a 5000 pie/min

Longitud de tramo: 28 m

De la Figura 3.13, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 1 pulg.

Velocidad de Vapor: 2500 pie/min

De la Figura 3.14, se obtiene:

Factor de corrección: 0.83

Caída de presión:

$$\text{Caída Presión} = \frac{1.75 \text{ lb/pulg}^2}{30.48 \text{ m}} * 0.83$$

$$\text{Caída Presión} = 0.0471 \text{ lb/pulg}^2/\text{m}$$

Presión final de vapor:

$$\text{Presión Final Vapor} = (125 \text{ lb/pulg}^2) - \left( \frac{0.0471 \text{ lb/pulg}^2}{\text{m}} \right) * (28 + 2.8) \text{ m}$$

$$\text{Presión Final Vapor} = 123.55 \text{ lb/pulg}^2$$

En la Tabla 17, se muestran los resultados obtenidos del cálculo de diámetros de tuberías de vapor saturado.

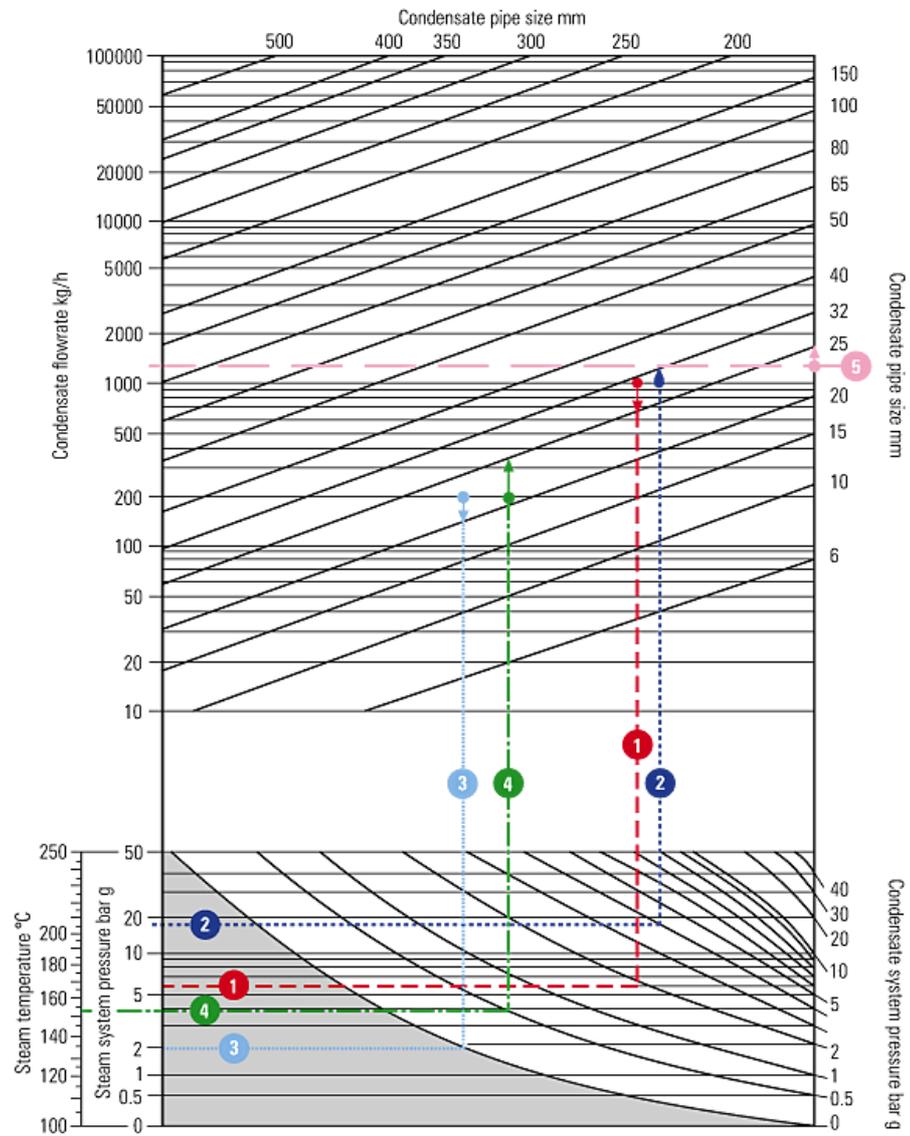
**TABLA 17**

**DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE VAPOR SATURADO**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CAUDAL VAPOR		DIÁMETRO TUBERÍA		LONGITUD (m)
		lb/hora	Kg/hora	(pulg)	(mm)	
1	Serpentín Tanq. Almacenamiento Ácido Sulfó	182.56	82.98	3/4	19,05	4
2	Serpentín Tanq. Almacenamiento Hidróxido d	474.67	215.30	1 1/4	31,75	4
3	Serpentín Tanq. Almacenamiento Silicato de	400.16	181.89	1 1/4	31,75	3.5
4	Dos Reactores Detergente en Crema	277.0	126.0	1	25,4	28

**Cálculo de Diámetro de Tubería de Condensado para Línea Secundaria**

Para el cálculo del diámetro de la tubería de condensado, se empleará el diagrama de la Figura 3.15; se requieren los siguientes datos: presión de sistema de vapor, presión de sistema de condensado y el flujo de condensado.



**FIGURA 3.15. DIAGRAMA PARA DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍA DE CONDENSADO**

**Tramo Serpentín Tanque Almacenamiento Ácido Sulfónico:**

Presión de Vapor: 72.52 lb/pulg<sup>2</sup> (5 Bar)

Presión de Retorno: 14.5 lb/pulg<sup>2</sup> (1 Bar)

Caudal de Vapor: 182.56 lb/h x 2 = 365.12 lb/h (165.7 Kg/h)

De la Figura 3.15, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 20 mm (3/4 pulg.)

**Tramo Serpentín Tanque Almacenamiento Silicato de Sodio:**

Presión de Vapor: 72.52 lb/pulg<sup>2</sup> (5 Bar)

Presión de Retorno: 14.5 lb/pulg<sup>2</sup> (1 Bar)

Caudal de Vapor: 400.16 lb/h x 2 = 800.32 lb/h (363.12 Kg/h)

De la Figura 3.15, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 25 mm (1 pulg.)

**Tramo Serpentín Tanque de Almacenamiento de Hidróxido de Sodio:**

Presión de Vapor: 72.52 lb/pulg<sup>2</sup> (5 Bar)

Presión de Retorno: 14.5 lb/pulg<sup>2</sup> (1 Bar)

Caudal de Vapor: 474.67 lb/h x 2 = 949.34 lb/h (430.74 Kg/h)

De la Figura 3.15, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 25 mm (1 pulg.)

**Tramo Secundario a Reactores 1 y 2:**

Presión de Vapor: 72.52 lb/pulg<sup>2</sup> (5 Bar)

Presión de Retorno: 14.5 lb/pulg<sup>2</sup> (1 Bar)

Caudal de Vapor: 138.5 lb/h x 2 = 277 lb/h (125.7 Kg/h)

De la Figura 3.15, se obtiene:

Diámetro de Tubería: 15 mm (3/4 pulg, diámetro de tubería más próximo en el mercado).

En la Tabla 18, se consolidan todos los resultados obtenidos del cálculo de diámetros de tuberías de vapor saturado, se muestra además las longitudes correspondientes a cada tramo.

TABLA 18

## DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE CONDENSADO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CAUDAL CONDENSADO		DIÁMETRO TUBERÍA	
		lb/hora	Kg/hora	(pulg)	(mm)
1	Serpentín Tanq. Almacenamiento Ácido Sulfó	365,12	165,70	3/4	20
2	Serpentín Tanq. Almacenamiento Hidróxido d	800,32	363,12	1	25
3	Serpentín Tanq. Almacenamiento Silicato de s	400,16	430,74	1	25
4	Dos Reactores Detergente en Crema	277,0	125,70	3/4	15

**Selección de Trampa de Vapor**

Como toda instalación de vapor, se considerarán trampas para recuperación de vapor y evitar las pérdidas económicas por omisión de las mismas.

De la Guía de Selección de Trampas de Vapor (ver Apéndice Q), para los procesos de calentamiento por medio de serpentines de tubo y para equipos de procesos generales en este caso los reactores la primera opción de selección de trampas de vapor es del tipo flotador termostáticas y como segunda opción las del tipo balde invertido.

Los parámetros para selección son:

- Caudal de condensado a separar
- Presión máxima permitida
- Presión diferencial a la entrada y salida de la trampa
- Factor de seguridad

A continuación, se detallan los datos para su selección en base a los parámetros establecidos.

**Serpentín Tanque Almacenamiento Ácido Sulfónico:**

Presión de vapor máxima permitida: 125 lb/pulg<sup>2</sup> (8.62 Bar)

Caudal de vapor: 182.56 lb/h x 2 = 365.12 lb/h (165.7 Kg/h)

Presión diferencial: 125 lb/pulg<sup>2</sup> – 10 lb/pulg<sup>2</sup> = 115 lb/pulg<sup>2</sup> (7.92 Bar)

Factor de seguridad: 2

**Serpentín Tanque Almacenamiento Silicato de Sodio:**

Presión de vapor máxima permitida: 125 lb/pulg<sup>2</sup> (8.62 Bar)

Caudal de vapor: 400.16 lb/h x 2 = 800.32 lb/h (363.12 Kg/h)

Presión diferencial: 125 lb/pulg<sup>2</sup> – 10 lb/pulg<sup>2</sup> = 115 lb/pulg<sup>2</sup> (7.92 Bar).

Factor de seguridad: 2

**Serpentín Tanque de Almacenamiento de Hidróxido de Sodio:**

Presión de vapor máxima permitida: 125 lb/pulg<sup>2</sup> (8.62 Bar)

Caudal de vapor: 474.67 lb/h x 2 = 949.34 lb/h (430.74 Kg/h)

Presión diferencial: 125 lb/pulg<sup>2</sup> – 10 lb/pulg<sup>2</sup> = 115 lb/pulg<sup>2</sup> (7.92 Bar)

Factor de seguridad: 2

**Reactores 1 y 2:**

Presión de vapor máxima permitida: 125 lb/pulg<sup>2</sup> (8.62 Bar)

Caudal de vapor: 138.5 lb/h x 2 = 277 lb/h (125.7 Kg/h)

Presión diferencial: 125 lb/pulg<sup>2</sup> – 10 lb/pulg<sup>2</sup> = 115 lb/pulg<sup>2</sup> (7.92 Bar)

Factor de seguridad: 2

**Aislamiento de Tubería**

Para el aislamiento térmico de las tuberías, se empleará lana de vidrio rígida para tuberías con recubrimiento en lámina de aluminio; las especificaciones de la lana de vidrio son:

Conductividad térmica: 0.035 W/m°C

Temperatura de Operación: -84 °C a 454 °C

Los espesores recomendados para el aislante de la tubería son los siguientes:

Tubería  $\frac{3}{4}$  pulg.: espesor aislamiento 1 pulg.

Tubería de 1 a  $1\frac{1}{4}$  pulg.:  $1\frac{1}{2}$  pulg.

### **Línea de Aire Comprimido**

Para el cálculo del diámetro de tubería de alimentación de aire comprimido, se empleará el diagrama de la Figura 3.16.

Este diagrama, puede determinar cualquiera de los datos precedentes, siempre y cuando tres de ellos sean conocidos.

Es importante para el empleo de este diagrama, determinar primero la intersección rectangular relativa a presión y caudal o la intersección rectangular relativa al diámetro de la tubería y pérdida de carga (depende de los factores dados) antes de usar la línea diagonal.

En este caso, los parámetros conocidos serán, caudal de aire, presión manométrica y la pérdida de carga por cada 10 metros de tubería.

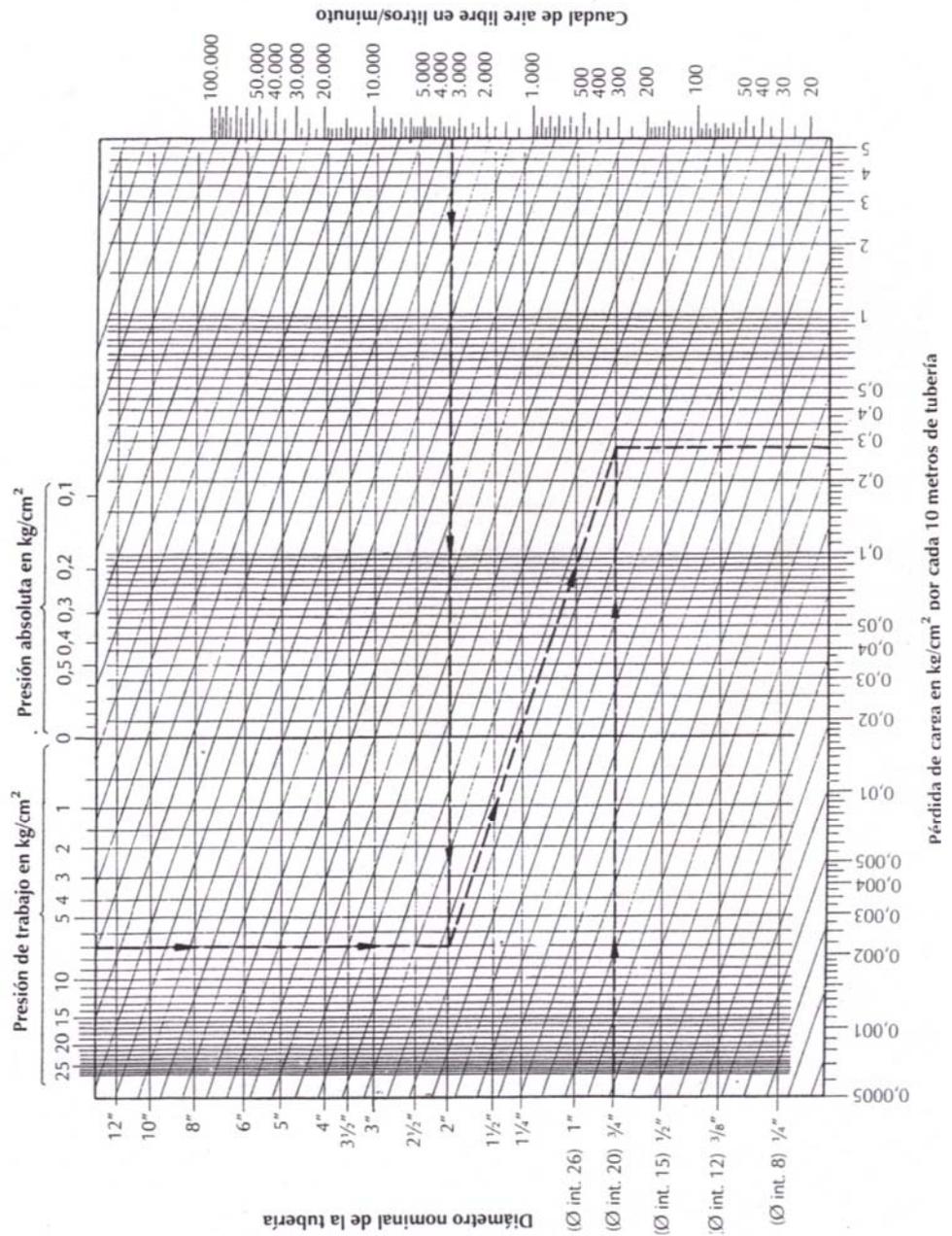


FIGURA 3.16. CÁLCULO DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO

**Cálculo de Diámetro Tubería para Máquinas Envasadoras**

Presión de trabajo: 6 Bar (6.12 Kg/m<sup>2</sup>)

Caudal de aire: 0.35 m<sup>3</sup>/min (350 l/min)

Pérdida de carga por cada 10 m: 0.05 Kg/m<sup>2</sup>

De la Figura 3.16, el diámetro de la tubería es:

Diámetro de Tubería: ½ pulg. (12.7 mm)

**Cálculo de Diámetro Tubería para Bomba de Recepción de****Silicato de Sodio**

Presión de trabajo: 6.2 Bar (6.32 Kg/m<sup>2</sup>)

Caudal de aire: 1.42 m<sup>3</sup>/min (1420 l/min)

Pérdida de carga por cada 10 m: 0.05 Kg/m<sup>2</sup>

De la Figura 3.15, el diámetro de la tubería es:

Diámetro de Tubería: 1 pulg. (25.4 mm)

**Cálculo de Diámetro Tubería para Bomba de Carga de****Silicato de Sodio**

Presión de trabajo: 4.7 Bar (4.8 Kg/m<sup>2</sup>)

Caudal de aire: 1.25 m<sup>3</sup>/min (1250 l/min)

Pérdida de carga por cada 10 m: 0.05 Kg/m<sup>2</sup>

De la Figura 3.16, el diámetro de la tubería es:

Diámetro de Tubería: ¾ pulg. (19.05 mm)

### **Cálculo de Diámetro Tubería para Bomba de Carga de**

#### **Hidróxido de Sodio**

Presión de trabajo: 4.14 Bar (4.22 Kg/m<sup>2</sup>)

Caudal de aire: 0.57 m<sup>3</sup>/min (570 l/min)

Pérdida de carga por cada 10 m: 0.05 Kg/m<sup>2</sup>

De la Figura 3.16, el diámetro de la tubería es:

Diámetro de Tubería: ½ pulg. (12.7 mm)

Los requerimientos de diámetro para tuberías de aire comprimido para máquinas envasadoras y bombas neumáticas se consolidan en la tabla 19; se muestra además el flujo de aire comprimido que pasará por cada uno de los tramos.

TABLA 19

## DIÁMETRO DE TUBERÍAS DE AIRE COMPRIMIDO

ITEM	MÁQUINA/EQUIPO	CAUDAL DE AIRE		DIÁMETRO TUBERÍA	
		CFM	m <sup>3</sup> /min	(pulg)	(mm)
1	Envasadora 100-200g	12.5	0.35	1/2	12,7
2	Envasadora 200-400g	12.5	0.35	1/2	12,7
4	Bomba de Recepción de Silicato de Sodio	50.0	1.42	1	25,4
5	Bomba de Carga de Silicato de Sodio	44.0	1.25	3/4	19,1
6	Bomab de Carga de Hidróxido de Sodio	20.0	0.57	1/2	12,7

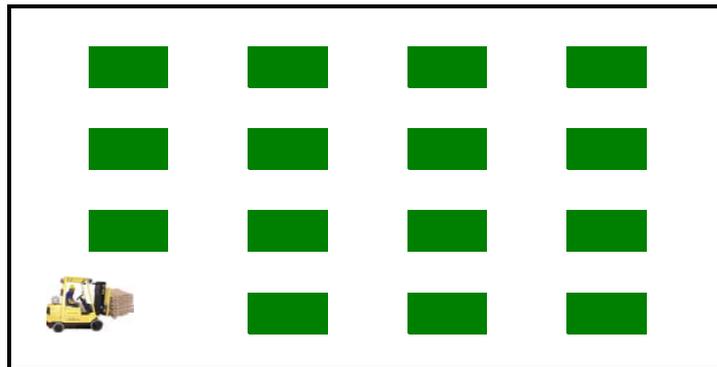
### 3.8. Selección de Sistema para Almacenamiento de Producción

En este subcapítulo, se procede a seleccionar el sistema y equipo de almacenamiento para la producción diaria del detergente en crema; debe tenerse presente que en los antecedentes se citó que este sistema también se empleará para la producción existente, por lo que la cantidad de está producción será un dato para el dimensionamiento del equipo de almacenamiento.

Los sistemas de almacenamiento disponibles son:

**Almacenamiento Paletizado:** En este sistema los pallets son puestos directamente en el piso y son apilados en bloques de 3 ó 5 unidades de altura sin pasillos, en fila. Idealmente, cualquier fila de

pallets sólo debería contener pallets del mismo producto para evitar doble manejo y simplificar los registros de localización.



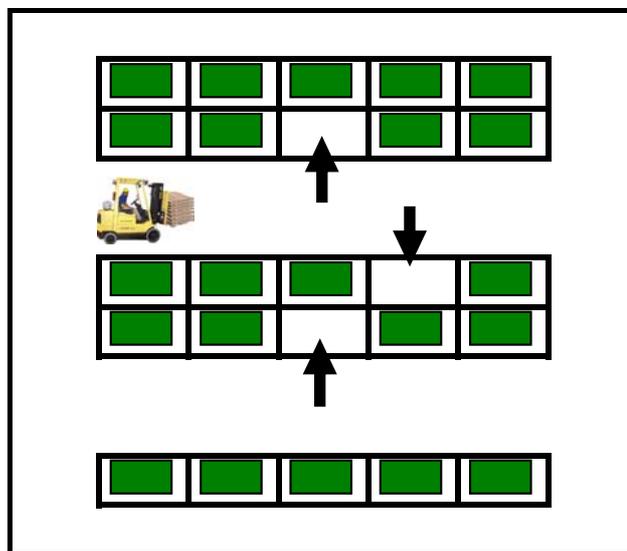
**FIGURA 3.17. ALMACENAMIENTO PALETIZADO**

Ventajas: bajo costo de capital, no se necesita de equipo de almacenamiento, buen uso del área, simple de controlar, apropiado para altas ventas / salidas.

Desventajas: limitación en la altura de apilamiento, LIFO en vez de FIFO, acceso libre es solo para los pallets de al frente y arriba de cada fila, riesgo de fuego.

**Estanterías Estáticas Ajustables:** estas estanterías son las más usadas como equipo de almacenamiento. El alto de las estanterías

puede ser ajustado al alto de la carga del pallet que va a ser almacenado. Generalmente, cuando son accedidas por montacargas de alcance, la estantería estática ajustable puede tener altura de 8 metros.



**FIGURA 3.18. ESTANTERÍAS ESTÁTICAS AJUSTABLES**

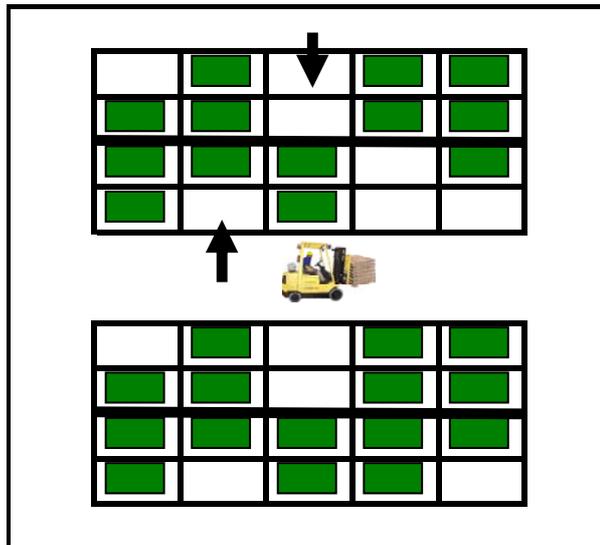
Ventajas: bajo costo de capital y mantenimiento, la altura es ajustable para diferentes alturas de carga, flexibilidad, puede ser desmantelado y reubicado, puede tener un acceso aleatorio para cada ubicación de pallet, partes dañadas son fácilmente

reemplazadas, un simple sistema de localización puede ser usado, buen acceso a todas las piezas almacenadas.

Desventajas: baja utilización de espacio, porque se debe aumentar el espacio para los pasillos (mayor número de pasillos, porque un solo pasillo da acceso a solo dos filas de estanterías).

**Estanterías de Doble Profundidad:** convencionales estanterías estáticas ajustables proveen una pobre utilización del espacio porque se necesita un pasillo para cada segunda fila de estantería.

Si la pérdida de un poco de acceso aleatorio es aceptable, la utilización del espacio puede ser mejorado utilizando estantería de doble profundidad. Para este tipo de estantería se utilizan montacargas de doble alcance o de horquilla extensibles.



**FIGURA 3.19. ESTANTERÍAS DE DOBLE PROFUNDIDAD**

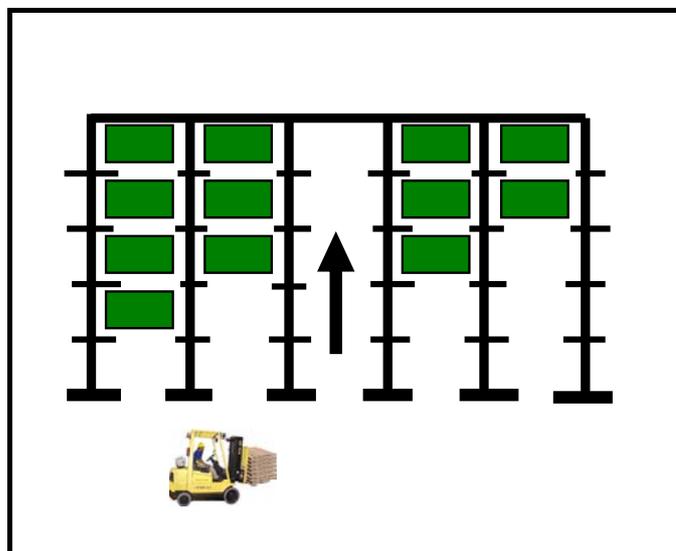
Ventajas: mejor uso de espacio que en la EEA de una sola profundidad.

Desventajas: necesidad de tener montacargas de horquillas extensibles, pérdida de un absoluto FIFO, poca visibilidad para los chóferes de montacargas cuando están accediendo a las piezas del fondo, disminución de la facilidad de acceso.

**Estantería con Acceso de un Solo Sentido:** este tipo de sistema tiene pasillos estrechos con soportes de pallets a los lados, el

acceso a los artículos es por un solo lado, por lo tanto, es un sistema LIFO.

Como los pallets solo son soportados por los lados, la condición del pallet es de suma importancia y el tipo de pallet apropiado para este tipo de almacenamiento también es limitado.

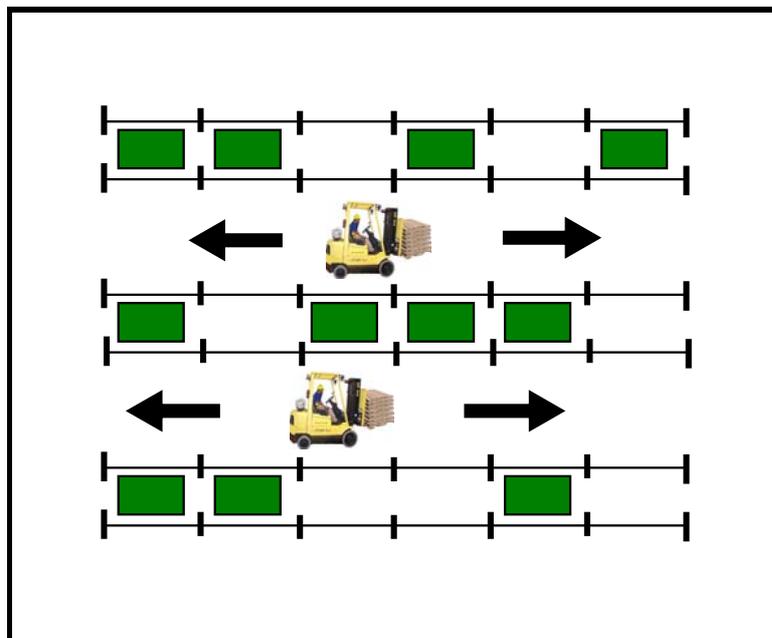


**FIGURA 3.20. ESTANTERÍA CON ACCESO EN UN SOLO SENTIDO**

Como no están rígidos que el EEA, su estructura puede resultar dañada. Puede ser construido hasta 10m de alto y su profundidad para una operación segura debe ser de 6 pallets.

**Estantería con Acceso en Ambos Sentidos:** este sistema es similar al que tiene acceso en un solo sentido, pero el carril está abierto en ambos extremos.

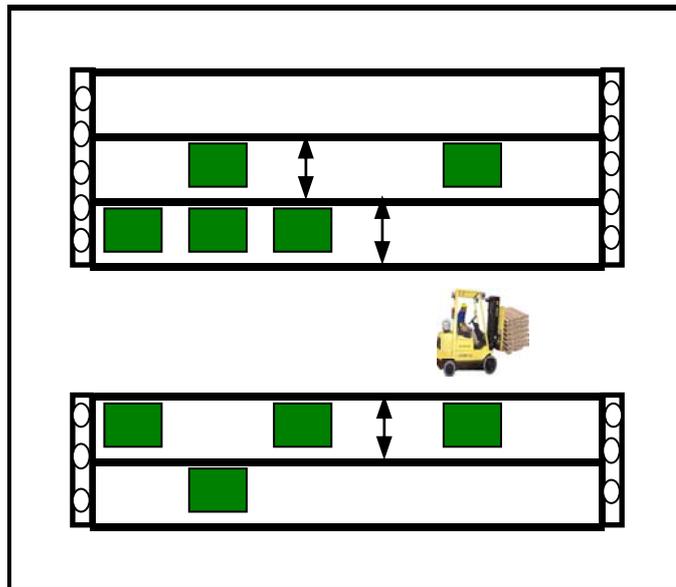
Este sistema puede ser LIFO ó FIFO, tiene las mismas características que el de un solo sentido excepto que puede tener una profundidad de 12 pallets (6 de cada lado)



**FIGURA 3.21. ESTANTERÍA CON ACCESO EN AMBOS SENTIDOS**

**Estantería Móvil:** este sistema consiste en secciones de EEA que se encuentran colocadas en unas bases eléctricas/mecánicas que se mueven a través de rieles puestos en el piso.

Se necesita espacio sólo para un corredor y las estanterías se mueven para abrir el corredor requerido para acceder un pallet específico.



**FIGURA 3.22. ESTANTERÍA MÓVIL**

Ventajas: buena utilización del espacio, apropiado para stock que no tenga rápida salida, buen acceso aleatorio para cada pallet.

Desventajas: alto costo capital, el control del movimiento es crítico para evitar colas cuando se trabaja con más de un montacargas.

**Estanterías de Gran Altura con Pasillos Angostos:** es un sistema de paletizado ajustable, se accede a él por medio de un angosto pasillo, equipado con mecanismos de agarre deslizantes o rotacionales, los cuales no tienen que rotar 90 grados en el pasillo para recoger un pallet de carga; los pasillos son más angostos que para instalaciones que permiten el acceso por medio de montacargas.



**FIGURA 3.23. ESTANTERÍAS DE GRAN ALTURA CON PASILLOS ANGOSTOS**

Ventajas: los montacargas (turret trucks) pueden operar hasta 12 metros de altura, la utilización del espacio es muy buena.

Desventajas: los turret trucks son muy costosos, dos o más veces que un montacargas de alcance de la misma capacidad, un camino libre para montacargas trabajando hasta 12m de altura necesita una alta calidad en la superficie de los pisos, se necesita rieles guías o guías por medio de conexiones eléctricas para guiar los montacargas.

### **Selección y Dimensión del Sistema de Almacenamiento**

El sistema de almacenamiento con el que cuenta la planta de jabón es de tipo paletizado, donde los pallets son apilados directamente sobre el piso, por cuestiones de seguridad física sólo se puede apilar un solo nivel de pallets de 1000 Kg. de capacidad; de manera evidente este sistema desaprovecha la altura disponible.

En la Figura 3.24., se puede observar el sistema de paletizado que disponía la planta de jabón.



**FIGURA 3.24. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PALETIZADO  
DE PLANTA DE JABÓN**

Con este sistema, sólo se pueden almacenar hasta 65000 Kg (65 posiciones de pallets de 1000 Kg), para este diseño se selecciona un sistema de Estantería con Acceso de un solo Sentido, los motivos que justifican su selección son los siguientes:

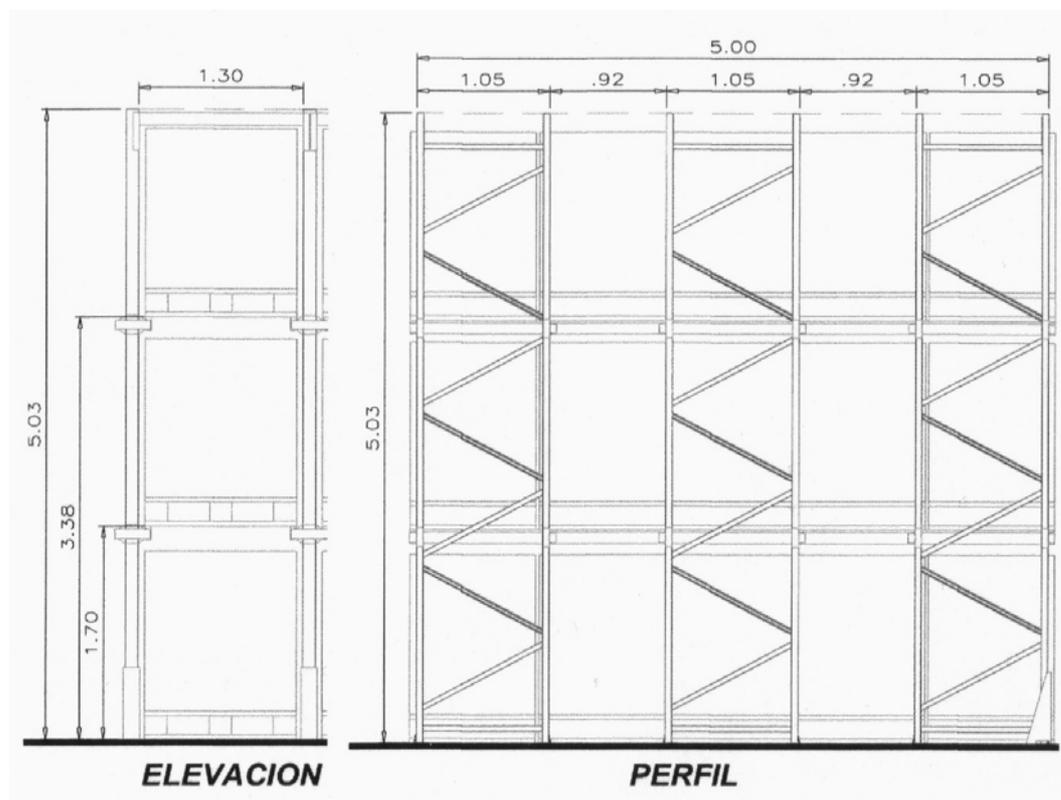
- Mejorar orden en el almacenamiento.
- Se optimiza el área disponible de almacenamiento y se aprovecha la altura, lo que aumenta la capacidad de almacenaje.

Se dimensiona para una capacidad de 255 posiciones para pallets de 1000 Kg cada uno, distribuidos en 3 niveles (nivel 0 ó piso, nivel

1 y nivel 2) cada nivel esta conformado por 85 posiciones (5 posiciones en profundidad y 17 posiciones en el ancho).

Las dimensiones de cada posición son 1.30 m en el ataque, 1.05 m en el fondo y 1.70 m en altura. Ver Figura 3.25.

La capacidad total del sistema seleccionado es de 255000 Kg; la unidad de almacenamiento será un pallet de 1.20 m en el ataque, 1.0 m en la profundidad y 1.50 en altura.



**FIGURA 3.25. ESQUEMA DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO SELECCIONADO**

El material de las estanterías debe ser en acero al carbono ASTM A36, con protección anticorrosiva de pintura epóxica, la estructura debe ser completamente desmontable, ensamblada con pernos y tuercas bajo la norma ASTM A193, grado 2.

Con este sistema se trabajará bajo el esquema LIFO, el primero en salir es el último en entrar.

### **3.9. Instrumentación para Tanques y Reactores**

En este subcapítulo, se definirán los equipos de control para tanques ó silos de almacenamiento, tanques báscula, reactores y tanques pulmón.

A continuación, se describirán los dispositivos de control que requieren los equipos citados, según las variables de control a necesitar para el proceso.

- **Tanques o Silos de Almacenamiento:** se instalarán dispositivos de control de nivel (para medir contenido) y de nivel alto; el dispositivo para medir el contenido, servirá para medir la cantidad de la materia prima en el silo, esto para efectos de control de inventarios.

La función del dispositivo para control del nivel alto, será para evitar cualquier situación de rebose en el momento de recepción o carga en el silo, básicamente su instalación será para brindar seguridad física y a la infraestructura en el proceso de recepción de la materia prima.

- **Tanques Báscula:** el proceso requiere dispositivos de control del peso y del nivel alto; la función del dispositivo de control de peso, será para dosificar la cantidad de materia prima requerida según la fórmula para la fabricación de la crema detergente en los reactores.

El dispositivo de control de nivel alto, será para evitar algún tipo de rebose al cargar el tanque báscula, esto ante el evento de falla del dispositivo de control de peso.

- **Reactores de Proceso:** el proceso requiere la regulación de la presión de vapor saturado y de la temperatura; el dispositivo de regulación de presión, evitará un exceso de presión de vapor saturado para calentamiento que ingresará a la chaqueta del reactor.

El dispositivo de regulación de temperatura, controlará la temperatura de la crema detergente en el proceso de fabricación,

básicamente regulará la válvula que permite el flujo de vapor saturado a la chaqueta de los reactores.

- **Tanques Pulmón:** se requiere controlar el nivel alto, el criterio de aplicación es el mismo que para los casos anteriormente citados; no se considera dispositivo de nivel bajo, por cuanto las máquinas de envasado los traen incorporados de fábrica en las tolvas de recepción.

### **Selección de los Dispositivos de Control**

A continuación, se describirá el tipo de dispositivo seleccionado, indicando sus especificaciones técnicas y en el Apéndice R se dará una referencia comercial.

**Dispositivo de Control de Nivel:** de los varios tipos disponibles, se selecciona uno que mide el nivel aprovechando la presión hidrostática; de manera específica un medidor de presión diferencial. El aparato consiste en un diafragma en contacto con el fluido contenido en el silo; se instalará en el fondo de los tanques de almacenamiento y medirá la presión hidrostática en un punto en el fondo del mismo. Se aprovecha la proporcionalidad de la presión

hidrostática con la altura y el peso específico de la columna del fluido.

La expresión matemática es la siguiente:

$$P = H\gamma g$$

En la que:

P = presión hidrostática

H = altura de la columna de líquido sobre el dispositivo

$\gamma$  = densidad del líquido

g = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Para este caso, el diafragma formará parte de un transmisor electrónico donde la precisión del instrumento estará entre el +/-0.2 % a +/-0.3 %. El diafragma será de acero inoxidable AISI 316, señal de salida de 4 a 20 mA.

Se selecciona para los tanques de almacenamiento un dispositivo sensor de marca Endress + Hauser, modelo Deltapilot S DB 50 con cubierta en acero inoxidable AISI 304, conexión roscada NPT, 63.5 mm (1 ½ pulg.)

**Dispositivo de Control de Nivel Alto:** para esta aplicación se seleccionan sensores de tipo electromecánicos, que consisten básicamente en interruptores de nivel de horquilla vibratoria.

La aplicación de este tipo de sensores es para la detección de nivel máximo ó mínimo en tanques ó tuberías. Un cambio en la frecuencia activa el sensor, esto ocurre cuando el sensor entra en contacto con el líquido.

Para los tanques de almacenamiento, tanques báscula y tanques pulmón se selecciona un sensor Liquiphant T FTL 20 con cubierta en acero inoxidable AISI 316L, conexión roscada NPT, 19.05 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg.), con señal de salida a relay.

En el Plano 13, se muestra un Diagrama de Control del Nivel.

**Dispositivo de Medición de Peso:** para los tanques báscula, se empleará un kit de pesaje compuesto de celdas de carga, display indicador de peso y un tablero de control.

Celdas de Carga: se emplearán tres celdas de carga por cada tanque báscula, la capacidad de la celda de carga a seleccionar se

dará por la suma del peso del tanque (incluye agitador con motor) y la capacidad del tanque.

En la siguiente tabla, se muestra la capacidad de la celda de carga seleccionada según el tanque báscula:

**TABLA 20**

**CAPACIDAD DE CELDAS DE CARGA SELECCIONADA**

TANQUE BÁSCULA	PESO TANQUE (Kg)	CAPACIDAD (Kg)	CANTIDAD DE CELDAS	CAPACIDAD CADA CELDA (Kg)
Ácido Sulfónico	340	500	3	453.6
Hidróxido de Sodio	215	200	3	226.8
Silicato de Sodio	215	200	3	226.8
Slurry	850	1500	3	1134

Se seleccionan la marca Mettler Toledo, módulos de peso o celdas modelo VML2 Value Line, montados en cajas de acero inoxidable, en este modelo las capacidades de la celda de carga van de 113.4 Kg a 1134 Kg.



**FIGURA 3.26. CELDA DE CARGA**

Indicador de Peso (display): se selecciona un indicador de peso industrial modelo Panther que puede ser calibrado en kilogramos ó libras. Dispone de pórtico serial para conexión a una impresora ó computador, filtro para vibración por ruido eléctrico y/ó e tanques (bombas, agitador, etc.)

Tablero de Control: consiste en un panel o caja en acero al carbono que contiene los elementos para el control del pesaje, como tarjeta de montaje de relays, relays optoelectrónicos de voltaje alto (I/O), controlador de conmutación de estado sólidos y botoneras demando, arranque y parada.



**FIGURA 3.27. PANEL DE CONTROL PESAJE DE TANQUE  
BÁSCULA**

La operación de pesaje se desarrollará de la siguiente manera:

- a) Una vez que el operador defina el setpoint en el Panther, presionará el botón de arranque para iniciar el llenado. Este botón no se activará si el peso del tanque báscula es igual ó mayor al definido en el setpoint.
- b) El circuito se apagará una vez se alcance el peso en el tanque báscula ingresado en el indicador Panther. La señal de salida mandará a apagar la bomba de alimentación del tanque báscula.

El sistema podrá ser apagado en cualquier momento al presionar la botonera de emergencia.

Para reiniciar el proceso el operador deberá regresar al literal a.

**Dispositivo de Regulación de Presión:** para evitar el exceso de presión de vapor que ingresa a la camisa del reactor, se selecciona una válvula de seguridad o de alivio; este tipo de válvulas están reguladas para una determinada presión de apertura. Son normalmente cerradas y se abren de un salto liberando el exceso si el fluido sobrepasa la presión establecida.

Para esta aplicación se emplea una válvula de seguridad en cuerpo de bronce, tamaño 19.05 mm X 19.05mm ( $\frac{3}{4}$  pulg. X  $\frac{3}{4}$  pulg.), seteo máximo de presión 17 barg (250psig), temperatura máxima de operación 208°C (406 °F), marca sugerida Spirax Sarco, modelo 211.

**Dispositivo de Regulador de Temperatura:** para esta aplicación se seleccionará una válvula pilotada con las siguientes características:

Tamaño: 1  $\frac{1}{4}$  pulg.

Conexión: rosca NPT

Máxima presión de operación: 250 psig (17 barg)

Máxima temperatura de operación: 450 °F (232 °C)

Marca sugerida Spirax Sarco, modelo 25T

# CAPÍTULO 4

## 4. COSTOS

El diseño de la planta, contempla tres tipos de obras, que son mecánicos, eléctricos y civiles. En ésta Tesis, se desarrolla la parte mecánica del proyecto, y lo referente a los dos tipos de obras restantes, sólo se limitará a citarlos y mostrar un costo aproximado en el resumen de costo total del proyecto.

Adicionalmente, se mostrará el costo de los equipos complementarios para operación, como son codificadoras y balanzas para control de peso del producto terminado.

#### **4.1. Cronograma de Trabajos**

Se establece como plazo de entrega de 120 días calendario para la ejecución de las obras de construcciones mecánicas, civiles y eléctricas.

Se trata en lo posible de ejecutar los trabajos de manera paralela, como por ejemplo la construcción de las bases de hormigón para los tanques de almacenamiento y la torre de fabricación.

Paralelo a ese plazo establecido, se debe de programar la adquisición de los de más equipos como las bombas de proceso, celdas de carga y máquinas de envasado.

La acción que toma el período de tiempo más largo es la importación de las máquinas de envasado; se destina la última semana del plazo establecido para las pruebas de la planta en vacío y con carga.

A continuación, se presenta el cronograma de trabajos de importación de máquinas y equipos, construcción y montaje.



## **4.2. Costos de Construcción y Montaje**

En esta sección, se presentará un consolidado aproximado de los costos por construcción de los tanques de almacenamiento, tanques báscula, reactores de proceso, instalaciones mecánicas y adquisición de máquinas y equipos, todo según las especificaciones descritas.

Adicionalmente, se muestra el costo de ciertos equipos necesarios como balanza de mesa, para control de peso de producto, codificadoras para impresión en el producto de la información relacionada con la producción (lote, fecha de elaboración, vencimiento), información exigida por los entes de control sanitario.

El resumen de costos de los elementos descritos se presenta en la Tabla 22.

**TABLA 22**  
**COSTOS DE MÁQUINAS, EQUIPOS E INSTALACIONES**  
**MECÁNICAS**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANT</b>	<b>P.U. (\$)</b>	<b>P.T. (\$)</b>
<b>SILOS, TANQUES BÁSCULA Y REACTORES</b>				
1	Tanque de Ácido Sulfónico 72 m3	1	43693,03	43693,03
2	Tanque de Hidróxido de Sodio 33 m3	1	32618,25	32618,25
3	Tanque de Silicato de Sodio 10 m3	1	20028,74	20028,74
4	Tanq. Báscula de Hidróxido de Sodio 0,12 m3	1	3983,80	3983,80
5	Tanq. Báscula de Silicato de Sodio 0,12 m3	1	3754,55	3754,55
6	Tanq. Báscula de Ácido Sulfónico 0.64 m3	1	5754,16	5754,16
7	Tanq. Báscula de Slurry 1.2 m3	1	4352,70	4352,70
8	Reactor de Proceso 2.5 m3	2	37569,81	75139,62
9	Tanque Pulmón 1 m3	2	3196,86	6393,72
<b>SUBTOTAL</b>				<b>195718,56</b>
<b>BOMBAS DE PROCESO</b>				
10	Recepción a Tanq de Ácido Sulfónico 72 m3	1	14182,48	14182,48
11	Recepción a Tanq de Silicato de Sodio de 10 m3	1	3294,77	3294,77
12	Carga a Tanq. Báscula de Hidróxido de Sodio 0,12 m3	1	1429,61	1429,61
13	Carga a Tanq. Báscula de Silicato de Sodio 0,12 m3	1	7066,93	7066,93
14	Carga a Tanq. Báscula de Ácido Sulfónico 0.64 m3	1	10063,91	10063,91
15	Carga a Tanq. Báscula de Slurry 1.2 m3	1	884,00	884,00
16	Carga de Crema Detergente a Tanq. Pulmón 1 m3	1	12029,03	12029,03
<b>SUBTOTAL</b>				<b>48950,73</b>
<b>MÁQUINAS DE ENVASADO</b>				
17	Máquina Envasado Formato 100 y 200g	1	118300,00	118300,00
18	Máquina Envasado Formato 400 y 1000g	1	118300,00	118300,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>236600,00</b>
<b>INSTALACIONES MECÁNICAS</b>				
19	Tubería de Carga a Tanq. Báscula de Hidróxido de Sodio	1	5328,90	5328,90
20	Tubería de Carga a Tanq. Báscula de Silicato de Sodio	1	5377,06	5377,06
21	Tubería de Carga a Tanq. Báscula de Ácido Sulfónico	1	8164,76	8164,76
22	Tubería de Carga a Tanq. Báscula de Slurry	1	2889,73	2889,73
23	Reactor	1	3179,62	3179,62
24	Tubería de Descarga Tanq. Bás. Silicato de Sodio a Reactor	1	3179,62	3179,62
25	Tubería de Descarga Tanq. Bás. Ácido Sulfónico a Reactor	1	3179,62	3179,62
26	Tubería de Descarga Tanq. Bás. Slurry a Reactor	1	3179,62	3179,62
27	Tubería de Carga de Reactor a Tanque Pulmón	2	7496,01	14992,02
28	Torre de Proceso, tres niveles (0, 1, 2)	1	67595,99	67595,99
29	Plataforma Montaje Tanques Pulmón	1	6500,00	6500,00
30	Ascensor de Carga 1000 Kg	1	6091,28	6091,28
31	Estantería de Almacenamiento 255 posiciones pallets	1	19800,00	19800,00
32	Tubería Aire Comp. a Máq. Envasado y Bombas Neumáticas	1	1647,15	1647,15
33	Tubería de Vapor y Condensado	1	9906,97	9906,97
<b>SUBTOTAL</b>				<b>161012,34</b>
<b>MONTAJE DE MÁQUINAS Y EQUIPOS</b>				
34	Tanque de Ácido Sulfónico 72 m3	1	1333,29	1333,29
35	Tanque de Hidróxido de Sodio 33 m3	1	851,84	851,84
36	Tanque de Silicato de Sodio 10 m3	1	432,75	432,75
37	Tanq. Báscula de Hidróxido de Sodio 0,12 m3	1	115,20	115,20
38	Tanq. Báscula de Silicato de Sodio 0,12 m3	1	115,20	115,20
39	Tanq. Báscula de Ácido Sulfónico 0.64 m3	1	333,60	333,60
40	Tanq. Báscula de Slurry 1.2 m3	1	718,00	718,00
41	Reactor de Proceso 2.5 m3	2	1734,40	3468,80
42	Tanque Pulmón 1 m3	2	59,80	119,60
<b>SUBTOTAL</b>				<b>7488,28</b>
<b>EQUIPOS DE PESAJE Y CODIFICACIÓN</b>				
43	Balanza Tipo Plataforma 500Kg+/-0.5Kg	1	2350,00	2350,00
44	Celdas de Carga, juego, incluye indicador (3 unds/juego)	3	17518,00	52554,00
45	Balanza de mesa, hasta 4000 g	2	1200,00	2400,00
46	Codificadora tipo inject	2	9870,00	19740,00
47	Sensor de Nivel alto	9	300,00	2700,00
48	Sensor de Control de Nivel (inventario)	3	1200,00	3600,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>83344,00</b>
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>733113,91</b>

En la Tabla 23, se muestra el costo total del proyecto considerando los trabajos eléctricos, civiles y demás equipos complementarios.

**TABLA 23**

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO (\$)</b>
1	Tanques Almacenamiento, Tanq. Báscula y	195.718,56
2	Bombas de Proceso	48.950,73
3	Máquina de Envasado	236.600,00
4	Instalaciones Mecánicas	161.012,34
5	Montaje de Máquinas y Equipos	7.488,28
6	Equipos de Pesaje y Codificación	83.344,00
7	Tablero e Instalaciones Eléctricas	33.860,52
8	Obras Civiles (Cimientos, bodega, baños)	31.240,64
	<b>GRAN TOTAL</b>	<b>798.215,07</b>

#### **4.3. Costos de Arranque y Operación**

En esta sección, se presentan un estimado de los costos que se generan por el arranque de la planta y su posterior operación.

##### **Costo de Arranque de la Planta**

El costo de arranque de la planta, estará compuesto de las siguientes variables:

- Costo Primo: costo de la materia prima directa e indirecta más el costo por mano de obra directa.
  
- Costo indirecto por servicio de energía eléctrica.

Adicionalmente, otro factor que interviene en el costo por arranque de la planta, es el tiempo que se emplee para tal efecto, mismo que está ligado a las condiciones operativas en que se reciban las máquinas y equipos; no se considera el costo por la prueba en vacío, puesto que se asume que la planta se encuentra lista para operar.

Se estima que con dos lotes de 500 Kg, fabricados en cada reactor es suficiente para probar los procesos de la planta.

En la Tabla 24, se muestra en resumen de los costos que se generan por el arranque de la Planta de Detergente en Crema Detergente.

TABLA 24

**COSTOS DE ARRANQUE DE PLANTA DE DETERGENTE EN  
CREMA**

DESCRIPCIÓN	DETALLE	COSTO (\$)	%
Materia Prima (Formula)	1000 Kg	592.90	78.7%
Material Empaque	22,46 Kg	120.14	15.9%
Mano Obra Fabricación	16 horas	28.13	3.7%
Mano Obra Envasamiento	5,6 horas	9.16	1.2%
Energía Eléctrica	40.78 Kw	3.12	0.4%
<b>COSTO ARRANQUE</b>		<b>753.45</b>	<b>100,0%</b>

### Costo de Operación

En esta parte, se presenta la valorización del flujo de caja necesario para la operación mensual en términos normales de la planta de producción; la descripción de los componentes, como su respectivo valor se muestra en la Tabla 25.

No se considera el valor por depreciación de máquinas.

TABLA 25

**COSTOS DE OPERACIÓN DE PLANTA DE DETERGENTE EN  
CREMA**

<b>COSTOS</b>	<b>VALOR (\$)</b>	<b>%</b>
Materia Prima	266805	72.5%
Material de Empaque	52249	14.2%
Mantenimiento	26481.25	7.2%
Mano de Obra Indirecta	9990	2.7%
Material Indirecto	5336.1	1.5%
Mano de Obra Directa	4995	1.4%
Energía Eléctrica	1776.71	0.5%
Agua potable	371.18	0.1%
<b>Total Mes (\$)</b>	<b>368004.23</b>	<b>100.0%</b>

Debe considerarse que el costo presentado, se alcanzará siempre y cuando se cumplan las metas en las ventas.

# **CAPÍTULO 5**

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Una vez concluidos los objetivos propuestos en esta Tesis de Grado, se exponen las siguientes conclusiones y recomendaciones basadas en el desarrollo de la misma.

### **CONCLUSIONES**

1. Para un adecuado diseño de una planta de producción, es importante una buena definición de la necesidad, esto con la finalidad de que se pueda diseñar un buen proceso para la realización del producto. Un diagrama de flujo bien estructurado, es la clave para un buen diseño.

2. Debe de recopilarse toda la información posible sobre las materias primas componentes del producto, esto con el fin de realizar una correcta selección de los materiales para construcción y selección de los equipos de la planta de producción.
3. Debe existir una adecuada comunicación entre todos los departamentos involucrados en el proyecto; como por ejemplo para dimensionar los tanques de almacenamiento, fue necesario conocer la programación de compra de las principales materias primas líquidas, información necesaria para determinar la capacidad de almacenamiento para estos tanques.
4. De manera particular para este caso, en que se disponía de ciertos servicios como vapor saturado y aire comprimido, se debió evaluar su capacidad de generación con el fin de determinar si pueden satisfacer la nueva demanda; el resultado fue satisfactorio por lo que no se incurrió en compra de nuevos equipos.
5. Se logró un adecuado flujo de las operaciones de la planta, teniendo como resultado, que las distancias recorridas por los materiales entre cada operación sean las mínimas posibles.

6. Se cumplió con el objetivo de que la planta de producción sea segura en su operación para los trabajadores, esto se refleja en las operaciones de manipulación del ácido sulfónico e hidróxido de sodio, ya que estas entran al proceso por tuberías.
  
7. Con el sistema de almacenaje seleccionado, se optimizó el espacio cúbico disponible para el producto terminado.
  
8. El costo estimado de la Planta de Crema Detergente, es de aproximadamente \$800.000, esto considerando todos los aspectos señalados para una adecuada operación, obras civiles y de instalaciones eléctricas. Esta es una inversión significativa, teniendo presente que se trata de un nuevo producto que se pretende introducir en el mercado, por lo que se desprende la importancia de que se haya hecho un buen estudio de mercado como base para factibilidad del proyecto.

## RECOMENDACIONES

1. Debe tenerse especial cuidado en la selección de máquinas y equipos de proceso, debe elaborarse un documento con el mayor detalle posible de las características ó especificaciones técnicas que debe cumplir el bien a seleccionar.
2. En la medida de lo posible, debe primar el criterio técnico del diseñador de la planta ante alguna decisión de carácter económico en la selección de materiales, máquinas ó equipos.
3. Se debe de dotar de los equipos de seguridad industrial a los trabajadores, con el objeto de salvaguardar su integridad física; es necesario una adecuada señalización de la planta orientada en este sentido.
4. Para asegurar una correcta operación de la planta y por ende la calidad del producto, se deben de elaborar y difundir los procedimientos e instructivos necesarios para tal efecto. Debe asegurarse que el personal responsable de la producción comprenda y cumpla todas las instrucciones.

5. Es necesario que se realicen evaluaciones ó auditorias periódicas al proceso, con el fin de encontrar posibles mejoras.

## **APÉNDICES**

# APÉNDICE A

## CAPACIDAD DE EQUIPOS DE FABRICACIÓN Y ENVASADO

APÉNDICE A														
CAPACIDAD DE EQUIPOS DE FABRICACIÓN Y ENVASADO														
FABRICACIÓN : 5400 ton/año														
REACTOR														
CAPACIDAD (Kg)	CICLO (h)	Kg/hora	EFICIENCIA A	CAPACIDAD REAL (Kg/h)	TURNOS DE 8 HORAS TONELADAS			TURNOS DE 12 HORAS TONELADAS			1 Turno+S	2 Turno+S		
					1 Turno	2 Turno	3 Turno	1 Turno	2 Turno	3 Turno+S+D				
5.000,00	4,00	1.250,00	90%	1.125,00	2.034,00	4.068,00	6.102,00	3.051,00	6.102,00	8.910,00	3.753,00	7.506,00		
ENVASADO : 5400 ton/año														
PRODUCTO	PESO (Kg)	UNDS/min	Kg/hora	EFICIENCIA A	CAPACIDAD DISP (Kg/h)	TURNOS DE 8 HORAS TONELADAS			TURNOS DE 12 HORAS TONELADAS			1 Turno+S	2 Turno+S	
						1 Turno	2 Turno	3 Turno	1 Turno	2 Turno	3 Turno+S+D			
DOY PACK 100g - 200g	0,10	100,00	600,00	80%	480,00	867,84	1.735,68	2.603,52	3.202,56	3.801,60	1.301,76	2.603,52	1.601,28	3.202,56
DOY PACK 400g - 1000g	0,40	60,00	960,00	80%	768,00	1.388,54	2.777,09	4.165,63	5.124,10	6.082,56	2.082,82	4.165,63	2.962,05	5.124,10
	1,00	10,00	600,00	80%	480,00	867,84	1.735,68	2.603,52	3.202,56	3.801,60	1.301,76	2.603,52	1.601,28	3.202,56
					5207	10414	15621	19215	22810	28110	7811	15621	9608	19215
PRESENTACIONES DE DETERGENTE EN CREMA														
PRODUCTO	TONAÑO	TON/IMES	TON/DIA	%										
DOY PACK 100g	1080	90	3	20%										
DOY PACK 200g	1080	90	3	20%										
DOY PACK 400g	1620	135	4,5	30%										
DOY PACK 1000g	1620	135	4,5	30%										
	5400	450	15	100%										
CAPACIDAD DE MÁQUINAS														
PRODUCTO	PESO (Kg)	NOMINAL		REAL										
		UNDS/min	EFICIENCIA	UNDS/min	CAPACIDAD DISP (Kg/h)									
DOY PACK 100g	0,10	100,00	80%	80,00	480,00									
DOY PACK 200g	0,20	80,00	80%	64,00	768,00									
DOY PACK 400g	0,40	60,00	80%	48,00	1.152,00									
DOY PACK 1000g	1,00	10,00	80%	8,00	480,00									

Al año la envasadora de formato 100-200g debe envasar: 2160 ton  
 Al año la envasadora de formato 400-1000g debe envasar: 3240 ton  
**5400**

# APÉNDICE B

## NORMA API 650, APENDICE S, TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

### APPENDIX S—AUSTENITIC STAINLESS STEEL STORAGE TANKS

#### S.1 Scope

**S.1.1** This appendix covers materials, design, fabrication, erection, and testing requirements for vertical, cylindrical, aboveground, closed- and open-top, welded, austenitic stainless steel storage tanks constructed of material grades 304, 304L, 316, 316L, 317, and 317L. This appendix does not cover stainless steel clad plate or strip lined construction.

**S.1.2** This appendix applies only to tanks in nonrefrigerated services with a maximum operating temperature not exceeding 500°F. For the purposes of this appendix, the design temperature shall be the maximum operating temperature as specified by the purchaser. Ambient temperature tanks (non-heated) shall have a design temperature of 100°F. It is cautioned that exothermic reactions occurring inside unheated storage tanks can produce temperatures exceeding 100°F.

**S.1.3** This appendix is intended to provide the petroleum industry, chemical industry, and other users with tanks of safe design for containment of fluids within the design limits.

**S.1.4** The minimum thicknesses in this appendix do not contain any allowance for corrosion.

**S.1.5** This appendix states only the requirements that differ from the basic rules in this standard. For requirements not stated, the basic rules must be followed.

#### S.2 Materials

##### S.2.1 SELECTION AND ORDERING

**S.2.1.1** Materials shall be in accordance with Table S-1.

**S.2.1.2** Selection of the type/grade of stainless steel depends on the service and environment to which it will be exposed and the effects of fabrication processes. (See S.4.3.2 and S.4.4.3) The purchaser shall select the type/grade.

**S.2.1.3** External structural attachments may be carbon steels meeting the requirements of Section 2 of this standard, providing they are protected from corrosion and the design and details consider the dissimilar properties of the materials

Table S-1—ASTM Materials for Stainless Steel Components

Plates and Structural Members (Note 1)	Piping and Tubing Seamless or Welded (Note 2)	Forgings (Notes 2, 3)	Bolting and Bars (Notes 4, 5)
A240, Type 304	A213, Grade TP 304	A182, Grade F 304	A193, Class 1, Grades PR, B8A, and B8M
A240, Type 304L	A213, Grade TP 304L	A182, Grade F 304L	A194, Grades 8, 8A, 8M, and 8MA
A240, Type 316	A213, Grade TP 316	A182, Grade F 316	A320, Grades B8, B8A, B8M, and B8MA
A240, Type 316L	A213, Grade TP 316L	A182, Grade F 316L	A479, Type 304
A240, Type 317	A213, Grade TP 317	A182, Grade F 317	A479, Type 304L
A240, Type 317L	A213, Grade TP 317L	A182, Grade F 317L	A479, Type 316
A276, Type 304	A312, Grade TP 304	A182, Grade F 317L	A479, Type 316L
A276, Type 304L	A312, Grade TP 304L		A479, Type 317
A276, Type 316	A312, Grade TP 316		
A276, Type 316L	A312, Grade TP 316L		
A276, Type 317	A312, Grade TP 317		
	A312, Grade TP 317L		
	A358, Grade 304		
	A358, Grade 304L		
	A358, Grade 316		
	A358, Grade 316L		
	A403, Class WP 304		
	A403, Class WP 304L		
	A403, Class WP 316		
	A403, Class WP 316L		
	A403, Class WP 317		
	A403, Class WP 317L		

- Notes:**
1. Unless otherwise specified by the purchaser, plate, sheet, or strip shall be furnished with a No. 1 finish and shall be hot rolled, annealed, and descaled.
  2. Carbon steel flanges and/or stub ends may be used by agreement between the purchaser and manufacturer, providing the design and details consider the dissimilar properties of the materials used and are suitable for the intended service.
  3. Castings shall not be used unless specified by the purchaser. If specified, castings shall meet ASTM A 351 and shall be inspected in accordance with ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, Appendix 7.
  4. All bars in contact with the product shall be furnished in the hot-rolled, annealed, and descaled condition.
  5. Other bolting materials may be used by agreement between the purchaser and manufacturer.

## APÉNDICE B (CONTINUACIÓN)

### NORMA API 650, APENDICE S, TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

S-2

API STANDARD 650

used. (This does not include shell, roof, or bottom openings and their reinforcement.) Carbon steel attachments (e.g., clips for scaffolding) shall not be welded directly to any internal surface of the tank.

#### S.2.2 PACKAGING

Packaging stainless steel for shipment is important to its corrosion resistance. Precautions to protect the surface of the material will depend on the surface finish supplied and may vary among manufacturers. Normal packaging methods may not be sufficient to protect the material from normal shipping damage. If the intended service requires special precautions, special instructions should be specified by the purchaser.

#### S.2.3 IMPACT TESTING

Impact tests are not required for austenitic stainless steel base metals.

#### S.3 Design

##### S.3.1 BOTTOM PLATES

All bottom plates shall have a minimum nominal thickness of  $\frac{3}{16}$  inch, exclusive of any corrosion allowance.

##### S.3.2 SHELL DESIGN

The required minimum thickness of shell plates shall be the greater of the values computed by the following formulas:

$$t_d = \frac{2.6D(H-1)G+CA}{(S_d)(E)}$$

$$t_h = \frac{2.6D(H-1)}{(S_h)(E)}$$

Where:

- $t_d$  = design shell thickness, in inches.
- $t_h$  = hydrostatic test shell thickness, in inches.
- $D$  = nominal diameter of tank, in feet (see 3.6.1.1).
- $H$  = design liquid level, in feet (see 3.6.3.2).
- $G$  = specific gravity of the liquid to be stored, as specified by the purchaser.
- $E$  = joint efficiency, 1.0, 0.85, or 0.70 (see Table S-4).
- $CA$  = corrosion allowance, in inches, as specified by the purchaser (see 3.3.2).
- $S_d$  = allowable stress for the design condition, in pounds per square inch (see Table S-2).
- $S_h$  = allowable stress for hydrostatic test condition, in pounds per square inch (see Table S-2).

Note: The allowable stresses recognize the increased toughness of stainless steels over carbon steels and the relatively low yield/tensile ratios of the stainless steels. The increased toughness permits designing to a higher proportion of the yield strength, however, the manufacturer and purchaser shall be aware that this may result in permanent strain (see Table S-2).

##### S.3.3 SHELL OPENINGS

S.3.3.1 The minimum nominal thickness of connections and openings shall be as follows:

Size of Nozzle	Minimum Nominal Neck Thickness
2" and less	Schedule 80S
3" and 4"	Schedule 40S
Over 4"	0.25"

Note: Reinforcement requirements of 3.7 must be maintained.

S.3.3.2 Thermal stress relief requirements of 3.7.4 are not applicable.

S.3.3.3 Shell manholes shall be in conformance with 3.7.5 except that the minimum thickness requirements shall be multiplied by the greater of (a) the ratio of the material yield strength at 100°F to the material yield strength at the design temperature or (b) the ratio of 30,000 to the material yield strength at the design temperature.

S.3.3.4 As an alternative to S.3.3.3, plate ring flanges may be designed in accordance with API Standard 620 rules using the allowable stresses given in Table S-3.

##### S.3.4 ROOF MANHOLES

All stainless steel components of the roof manhole shall have a minimum thickness of  $\frac{1}{16}$  inch.

##### S.3.5 APPENDIX F—MODIFICATIONS

S.3.5.1 In F.4.1 and F.5.1, the value of 30,800 shall be multiplied by the ratio of the material yield strength at the design temperature to 32,000. (See Table S-5 for yield strength.)

S.3.5.2 In F.7.1, the shell thickness shall be as specified in S.3.2.1 except that the pressure  $P$  (in inches of water) divided by 12G shall be added to the design liquid height in feet. The maximum joint efficiency shall be 0.85. The shell thickness is limited to 0.50 inch including any corrosion allowance.

S.3.5.3 In F.7.2, the allowable compressive stress of 20,000 shall be multiplied by the ratio of the material yield stress at the design temperature to 32,000. (See Table S-5 for yield strengths.)

##### S.3.6 APPENDIX M—MODIFICATIONS

S.3.6.1 Appendix M requirements shall be met for stainless steel tanks with design temperatures over 100°F as modified by S.3.6.2 through S.3.6.7.

S.3.6.2 Allowable shell stress shall be in accordance with Table S-2.

## APÉNDICE B (CONTINUACIÓN)

### NORMA API 650, APENDICE S, TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

Table S-2—Allowable Stresses for Tank Shells

Type	Min. Yield (psi)	Min. Tensile (psi)	Allowable Stress (in psi) for Design Temperature Not Exceeding ( $S_d$ )					$S_d$ Ambient
			100°F	200°F	300°F	400°F	500°F	
304	30,000	75,000	22,500	22,500	20,300	18,600	17,500	27,000
304L	25,000	70,000	21,000	19,200	17,200	15,800	14,700	22,500
316	30,000	75,000	22,500	22,500	21,000	19,300	17,900	27,000
316L	25,000	70,000	21,000	19,000	17,000	15,500	14,300	22,500
317	30,000	75,000	22,500	22,500	21,000	19,300	17,900	27,000
317L	30,000	75,000	22,500	22,500	21,000	19,300	17,900	27,000

Notes:

- $S_d$  may be interpolated between temperatures.
- The design stress shall be the lesser of 0.3 of the minimum tensile strength or 0.9 of the minimum yield strength. The factor of 0.9 of yield corresponds to a permanent strain of 0.10 percent. When a lower level of permanent strain is desired, the purchaser shall specify a reduced yield factor in accordance with Table Y-2 of ASME Section II, Part D. The yield values at the different design temperatures can be obtained from Table S-5.
- For dual certified materials (e.g., ASTM A182 Type 304/304L), use the allowable stress of the grade specified by the purchaser.

Table S-3—Allowable Stresses for Plate Ring Flanges

Type	Allowable Stress (in psi) for Design Temperature Not Exceeding				
	100°F	200°F	300°F	400°F	500°F
304	20,000	16,700	15,000	13,800	12,900
304L	16,700	14,300	12,800	11,700	10,900
316	20,000	17,200	15,500	14,300	13,300
316L	16,700	14,100	12,600	11,500	10,600
317	20,000	17,300	15,600	14,300	13,300
317L	20,000	17,300	15,600	14,300	13,300

Notes:

- Allowable stresses may be interpolated between temperatures.
- The allowable stresses are based on a lower level of permanent strain.
- The design stress shall be the lesser of 0.3 of the minimum tensile strength or  $\frac{2}{3}$  of the minimum yield strength.
- For dual certified materials (e.g., ASTM A182 Type 304/304L), use the allowable stress of the grade specified by the purchaser.

Table S-4—Joint Efficiencies

Joint Efficiency	Radiograph Requirements
1.0	Radiograph per 6.12
0.85	Radiograph per A.5.3
0.70	No radiography required

Table S-5—Yield Strength Values in Pounds Per Square Inch

Material Type	Yield Strength (in psi) for Design Temperature Not Exceeding				
	100°F	200°F	300°F	400°F	500°F
304	30,000	25,000	22,500	20,700	19,300
304L	25,000	21,400	19,200	17,500	16,400
316	30,000	25,800	23,300	21,400	19,900
316L	25,000	21,100	18,900	17,200	15,900
317	30,000	25,900	23,400	21,400	20,000
317L	30,000	25,900	23,400	21,400	20,000

Notes:

- Interpolate between temperatures.
- Reference: Table Y-1 of ASME Section II, Part D.

# APÉNDICE B (CONTINUACIÓN)

## NORMA API 650, APENDICE S, TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

**S.3.6.3** In M.3.4, the requirements of 3.7.7 for flush-type cleanout fittings and of 3.7.8 for flush-type shell connections shall be modified. The thickness of the bottom reinforcing plate, bolting flange, and cover plate shall be multiplied by the ratio of the material yield strength at 100°F to the material yield strength at the design temperature. (See Table S-5 for yield strength.)

**S.3.6.4** In M.3.5, the stainless steel structural allowable stress shall be multiplied by the ratio of the material yield strength at the design temperature to the material yield strength at 100°F. (See Table S-5 for yield strength.)

**S.3.6.5** The requirements of M.3.6 and M.3.7 are to be modified per S.3.5.1.

**S.3.6.6** In M.5.1, the requirements of 3.10.5 and 3.10.6 shall be multiplied by the ratio of the material modulus of elasticity at 100°F to the material modulus of elasticity at the design temperature. (See Table S-6 for modulus of elasticity.)

**S.3.6.7** In M.6 (the equation for the maximum height of unstiffened shell in 3.9.7.1), the maximum height shall be multiplied by the ratio of the material modulus of elasticity at the design temperature to the material modulus of elasticity at 100°F.

### S.4 Fabrication and Construction

#### S.4.1 GENERAL

Special precautions must be observed to minimize the risk of damage to the corrosion resistance of stainless steel. Stainless steel shall be handled so as to minimize contact with iron or other types of steel during all phases of fabrication and construction. The following sections describe the major precautions that should be observed during fabrication and handling.

#### S.4.2 STORAGE

Storage should be under cover and well removed from shop dirt and fumes from pickling operations. If outside storage is necessary, provisions should be made for rainwater to drain and allow the material to dry. Stainless steel should not

be stored in contact with carbon steel. Materials containing chlorides, including foods, beverages, oils, and greases, should not come in contact with stainless steel.

#### S.4.3 THERMAL CUTTING

**S.4.3.1** Thermal cutting of stainless steel shall be by the iron powder burning carbon arc or the plasma-arc method.

**S.4.3.2** Thermal cutting of stainless steel may leave a heat-affected zone and intergranular carbide precipitates. This heat-affected zone may have reduced corrosion resistance unless removed by machining, grinding, or solution annealing and quenching. The purchaser shall specify if the heat-affected zone is to be removed.

#### S.4.4 FORMING

**S.4.4.1** Stainless steels shall be formed by a cold, warm, or hot forming procedure that is noninjurious to the material.

**S.4.4.2** Stainless steels may be cold formed, providing the maximum strain produced by such forming does not exceed 10 percent and control of forming spring-back is provided in the forming procedure.

**S.4.4.3** Warm forming at 1000°F to 1200°F may cause intergranular carbide precipitation in 304, 316, and 317 grades of stainless steel. Unless stainless steel in this sensitized condition is acceptable for the service of the equipment, it will be necessary to use 304L, 316L, or 317L grades or to solution anneal and quench after forming. Warm forming shall be performed only with agreement of the purchaser.

**S.4.4.4** Hot forming, if required, may be performed within a temperature range of 1650°F to 2200°F.

**S.4.4.5** Forming at temperatures between 1200°F and 1650°F is not permitted.

#### S.4.5 CLEANING

**S.4.5.1** When the purchaser requires cleaning to remove surface contaminants that may impair the normal corrosion resistance, it shall be done in accordance with ASTM A380,

Table S-6—Modulus of Elasticity at the Maximum Operating Temperature

Design Temperature (°F) Not Exceeding	Modulus of Elasticity (pounds per square inch)
100	28,000,000
200	27,400,000
300	26,600,000
400	26,100,000
500	25,200,000

Note: Interpolate between temperatures.

## APÉNDICE B (CONTINUACIÓN)

### NORMA API 650, APÉNDICE S, TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

Unless otherwise specified. Any additional cleanliness requirements for the intended service shall be specified by the purchaser.

**S.4.5.2** When welding is completed, flux residues and weld spatter shall be removed mechanically using stainless steel tools.

**S.4.5.3** Removal of excess weld metal, if required, shall be done with a grinding wheel or belt that has not been previously used on other metals.

**S.4.5.4** Chemical cleaners used shall not have a detrimental effect on the stainless steel and welded joints and shall be disposed of in accordance with laws and regulations governing the disposal of such chemicals. The use of chemical cleaners shall always be followed by thorough rinsing with water and drying (see S.4.9).

#### **S.4.6 BLAST CLEANING**

If blast cleaning is necessary, it shall be done with sharp angular grains of sand or grit containing not more than 2 percent by weight iron as free iron or iron oxide. Steel shot or sand used previously to clean nonstainless steel is not permitted.

#### **S.4.7 PICKLING**

If pickling of a sensitized stainless steel is necessary, an acid mixture of nitric and hydrofluoric acids shall not be used. After pickling, the stainless steel shall be thoroughly rinsed with water and dried.

#### **S.4.8 PASSIVATION OR IRON FREEING**

When passivation or iron freeing is specified by the purchaser, it may be achieved by treatment with nitric or citric acid. The use of hydrofluoric acid mixtures for passivation purposes is prohibited for sensitized stainless.

#### **S.4.9 RINSING**

**S.4.9.1** When cleaning and pickling or passivation is required, these operations shall be followed immediately by rinsing, not allowing the surfaces to dry between operations.

**S.4.9.2** Rinse water shall be potable and shall not contain more than 200 parts per million chloride at temperatures below 100°F and 150°F, unless specified otherwise by the purchaser.

**S.4.9.3** Following final rinsing, the equipment shall be completely dried.

#### **S.4.10 HYDROSTATIC TEST CONSIDERATIONS— QUALITY OF TEST WATER**

**S.4.10.1** The materials used in the construction of stainless steel tanks may be subject to severe pitting, cracking, or rusting if they are exposed to contaminated test water for extended periods of time. The purchaser shall specify a

minimum quality of test water that conforms to the following requirements:

- a. Unless otherwise specified by the purchaser, water used for hydrostatic testing of tanks shall be potable and treated, containing at least 0.2 parts per million free chlorine.
- b. Water shall be substantially clean and clear.
- c. Water shall have no objectionable odor (that is, no hydrogen sulfide).
- d. Water pH shall be between 6 and 8.3.
- e. Water temperature shall be below 102°F.
- f. The chloride content of the water shall be below 50 parts per million, unless specified otherwise by the purchaser.

**S.4.10.2** When testing with potable water, the exposure time shall not exceed 21 days, unless specified otherwise by the purchaser.

**S.4.10.3** When testing with other fresh waters, the exposure time shall not exceed 7 days.

**S.4.10.4** Upon completion of the hydrostatic test, water shall be completely drained. Wetted surfaces shall be washed with potable water when nonpotable water is used for the test and completely dried. Particular attention shall be given to low spots, crevices, and similar areas. Hot air drying is not permitted.

#### **S.4.11 WELDING**

**S.4.11.1** Tanks and their structural attachments shall be welded by any of the processes permitted in 5.2.1.1 or by the plasma arc process. Galvanized components or components painted with zinc-rich paint shall not be welded directly to stainless steel.

**S.4.11.2** Filler metal chemistry shall match the type of base metals joined. Dissimilar welds to carbon steels shall use filler metals of E309 or higher alloy content.

#### **S.4.12 WELDING PROCEDURE AND WELDER QUALIFICATIONS**

Impact tests are not required for austenitic stainless steel weld metals and heat-affected zones.

#### **S.4.13 POSTWELD HEAT TREATMENT**

Postweld heat treatment of austenitic stainless steel materials need not be performed unless specified by the purchaser.

#### **S.4.14 INSPECTION OF WELDS**

##### **S.4.14.1 Radiographic Inspection of Butt-Welds**

Radiographic examination of butt-welds shall be in accordance with 6.1 and Table S-4.

## APÉNDICE B (CONTINUACIÓN)

### NORMA API 650, APENDICE S, TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

#### B.4.14.2 Inspection of Welds by Liquid Penetrant Method

The following component welds shall be examined by the liquid penetrant method before the hydrostatic test of the tank:

- a. The shell-to-bottom inside attachment weld.
- b. All welds of opening connections in tank shell that are not completely radiographed, including nozzle and manhole neck welds and neck-to-flange welds.
- c. All welds of attachments to shells, such as stiffeners, compression rings, clips, and other nonpressure parts for which the thickness of both parts joined is greater than  $\frac{1}{4}$  inch.
- d. All butt-welded joints in tank shell and annular plate on which backing strips are to remain.

#### S.5 Marking

Brazing shall be deleted from 8.1.2.

#### S.6 Appendices

The following appendices are modified for use with austenitic stainless steel storage tanks:

- a. Appendix C is applicable; however, the purchaser shall identify all materials of construction.
- b. Appendix F is modified as outlined in S.3.5 of this appendix.
- c. Appendix J is applicable, except the minimum shell thickness for all tank diameters is  $\frac{1}{8}$  inch.
- d. Appendix K is not applicable to tanks built to this appendix.
- e. Appendix M is modified as outlined in S.3.6 of this appendix.
- f. Appendix N is not applicable.
- g. Appendix O is applicable; however, the structural members of Table O-1 shall be of an acceptable grade of material.
- h. All other appendices are applicable without modifications.

# APÉNDICE C

## NORMA API 650, APÉNDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### APPENDIX E—SEISMIC DESIGN OF STORAGE TANKS

#### E.1 Scope

This appendix provides recommended minimum basic requirements that may be specified by the purchaser for the design of storage tanks subject to seismic load. These requirements represent accepted practice for application to flat-bottom tanks; however, other procedures and applicable factors or additional requirements may be specified by the purchaser or jurisdictional authorities. Any deviation from the requirements of this appendix must be by agreement between the purchaser and the manufacturer.

Note: The basis for these requirements, together with the formulas for the design curves in Figures E-2 through E-5 and information for calculating other seismic effects, is included in a paper by R. S. Wozniak and W. W. Mitchell, "Basis of Seismic Design Provisions for Welded Steel Oil Storage Tanks."<sup>14</sup>

#### E.2 General

The design procedure considers two response modes of the tank and its contents:

- The relatively high-frequency amplified response to lateral ground motion of the tank shell and roof, together with the portion of the liquid contents that moves in unison with the shell.
- The relatively low-frequency amplified response of the portion of the liquid contents that moves in the fundamental sloshing mode.

The design requires the determination of the hydrodynamic mass associated with each mode and the lateral force and overturning moment applied to the shell as a result of the response of the masses to lateral ground motion. Provisions are included to assure stability of the tank shell with respect to overturning and to preclude buckling of the tank shell as a result of longitudinal compression.

This appendix has no provisions for determining the increased hoop tension that would result from earthquake motion. The increased hoop tension, correctly calculated from the lateral force coefficients specified in this appendix, would not increase the hoop stresses above a generally acceptable stress level that could be used for seismic design of the tank shell.

#### E.3 Design Loading

##### E.3.1 OVERTURNING MOMENT

Note: The overturning moment determined in E.3.1 is the moment applied to the bottom of the shell only. The tank foundation is subjected to an addi-

tional overturning moment as a result of lateral displacement of the tank contents; this additional moment may need to be considered in the design of some foundations, such as pile-supported concrete mats.

The overturning moment due to seismic forces applied to the bottom of the shell shall be determined as follows:

$$M = ZI(C_1W_1X_1 + C_1W_1H_1 + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Where:

$M$  = overturning moment applied to the bottom of the tank shell, in foot-pounds.

$Z$  = seismic zone factor (horizontal seismic acceleration) as determined by the purchaser or the appropriate government authority that has jurisdiction. The seismic zone maps of Figure E-1, the seismic zone tabulation for areas outside the United States (see Table E-1), or the *Supplement to National Building Code of Canada* may be used as an aid to determine the seismic zone. Table E-2 can be used to determine the seismic zone factor,  $Z$ .

$I$  = importance factor.

= 1.0 for all tanks unless a larger importance factor is specified by the purchaser. The  $I$  factor should not exceed 1.25, and this maximum value should be applied only to tanks that must provide emergency post-earthquake service or to tanks that store toxic or explosive substances in areas where an accidental release of product would be considered to be dangerous to the safety of the general public.

$C_1, C_2$  = lateral earthquake force coefficients determined according to E.3.3.

$W_1$  = total weight of the tank shell, in pounds.

$X_1$  = height from the bottom of the tank shell to the shell's center of gravity, in feet.

$W_2$  = total weight of the tank roof (fixed or floating) plus a portion of the snow load, if any, specified by the purchaser, in pounds.

$H_1$  = total height of the tank shell, in feet.

$W_1$  = weight of the effective mass of the tank contents that move in unison with the tank shell, as determined according to E.3.2.1, in pounds.

$X_1$  = height from the bottom of the tank shell to the centroid of lateral seismic force applied to  $W_1$ , as determined according to E.3.2.2, in feet.

$W_2$  = weight of the effective mass of the tank contents that move in the first sloshing mode, as determined according to E.3.2.1, in pounds.

$X_2$  = height from the bottom of the tank shell to the centroid of lateral seismic force applied to  $W_2$ , as determined according to E.3.2.2, in feet.

<sup>14</sup>R. S. Wozniak and W. W. Mitchell, "Basis of Seismic Design Provisions for Welded Steel Oil Storage Tanks," 1978 Proceedings—Refining Department, Volume 57, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 1978, pp. 485-501.

# APÉNDICE C (CONTINUACIÓN)

## NORMA API 650, APENDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

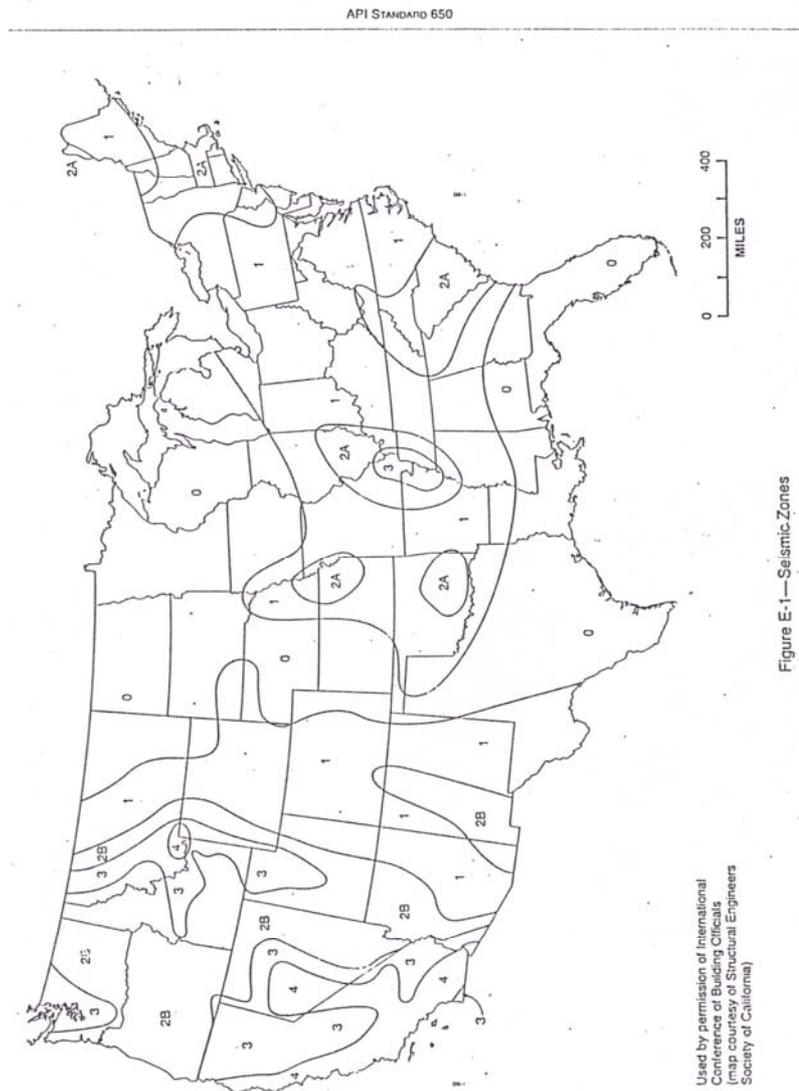


Figure E-1—Seismic Zones

# APÉNDICE C (CONTINUACIÓN)

## NORMA API 650, APENDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

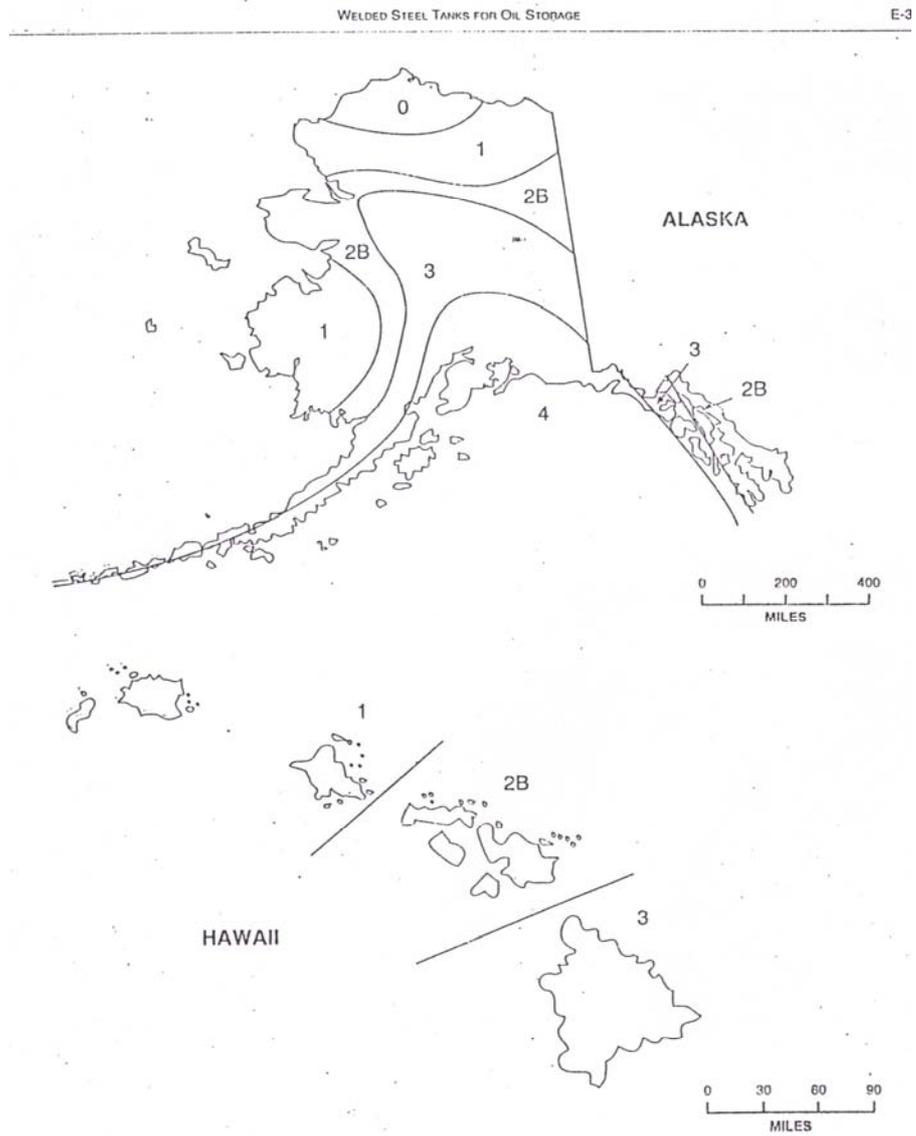


Figure E-1—Continued

# APÉNDICE C (CONTINUACIÓN)

## NORMA API 650, APENDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

E-4

API STANDARD 650

Table E-1—Seismic Zone Tabulation for Areas  
Outside the United States

Location	Seismic Zone	Location	Seismic Zone
Asia		Pacific Ocean area	
Turkey		Caroline Islands	2B
Ankara	2B	Koror, Paulau	0
Karamursel	3	Ponape	0
Atlantic Ocean area		Johnston Island	1
Azores	2B	Kwajalein	1
Bermuda	1	Mariana Island	
Caribbean		Guam	3
Bahama Islands	1	Saipan	3
Canal Zone	2B	Tinian	3
Leeward Islands	3	Marcus Island	1
Puerto Rico	3	Okinawa	3
Trinidad Island	2B	Philippine Islands	3
North America		Samoa Islands	3
Greenland	1	Wake Island	0
Iceland			
Keflavik	3		

**E.3.2 EFFECTIVE MASS OF TANK CONTENTS**

**E.3.2.1** The effective masses  $W_1$  and  $W_2$  may be determined by multiplying  $W_T$  by the ratios  $W_1/W_T$  and  $W_2/W_T$ , respectively, obtained from Figure E-2 for the ratio  $D/H$ .

Where:

$W_T$  = total weight of the tank contents, in pounds. (The specific gravity of the product shall be specified by the purchaser.)

$D$  = nominal tank diameter, in feet (see 3.6.1.1, Note 1).

$H$  = maximum design liquid level, in feet (see 3.6.3.2).

**E.3.2.2** The heights from the bottom of the tank shell to the centroids of the lateral seismic forces applied to  $W_1$  and  $W_2$ ,  $X_1$  and  $X_2$ , may be determined by multiplying  $H$  by the ratios  $X_1/H$  and  $X_2/H$ , respectively, obtained from Figure E-3 for the ratio  $D/H$ .

**E.3.2.3** The curves in Figures E-2 and E-3 are based on a modification of the equations presented in ERDA Technical Information Document 7024.<sup>15</sup> Alternatively,  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $X_1$ , and

Table E-2—Seismic Zone Factor  
(Horizontal Acceleration)

Seismic Factor (from Figure E-1 or other sources)	Seismic Zone Factor (Horizontal acceleration)
1	0.075
2A	0.15
2B	0.20
3	0.30
4	0.40

<sup>15</sup>ERDA Technical Information Document 7024, *Nuclear Reactors and Earthquakes* (prepared by Lockheed Aircraft Corporation and Holmes & Narver, Inc.), U.S. Atomic Energy Commission, August 1963.

$X_2$  may be determined by other analytical procedures based on the dynamic characteristics of the tank.

**E.3.3 LATERAL FORCE COEFFICIENTS**

**E.3.3.1** The lateral force coefficient  $C_1$  shall be 0.60 unless the product of  $ZIC_1$  and the product of  $ZIC_2$  are determined as outlined in E.3.3.3.

**E.3.3.2** The lateral force coefficient  $C_2$  shall be determined as a function of the natural period of the first sloshing mode,  $T$ , and the soil conditions at the tank site unless otherwise determined by the method given in E.3.3.3. When  $T$  is less than or equal to 4.5:

$$C_1 = \frac{0.75S}{T}$$

When  $T$  is greater than 4.5,

$$C_1 = \frac{3.375S}{T^2}$$

Where:

$S$  = site coefficient from Table E-3.

$T$  = natural period of the first sloshing mode, in seconds.

$T$  may be determined from the following equation:

$$T = k(D^{0.5})$$

$k$  = factor obtained from Figure E-4 for the ratio  $D/H$ .

**E.3.3.3** Alternatively, by agreement between the purchaser and the manufacturer, the lateral force determined by the products of  $ZIC_1$  and  $ZIC_2$  may be determined from response spectra established for the specific tank site and furnished by the purchaser; however, the lateral force  $ZIC_1$  shall not be less than that determined in accordance with E.3.1 and E.3.3.1.

The response spectra for a specific site should be established considering the active faults within the region, the types of faults, the magnitude of the earthquake that could be

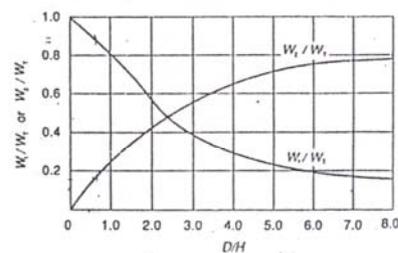


Figure E-2—Effective Masses

# APÉNDICE C (CONTINUACIÓN)

## NORMA API 650, APENDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

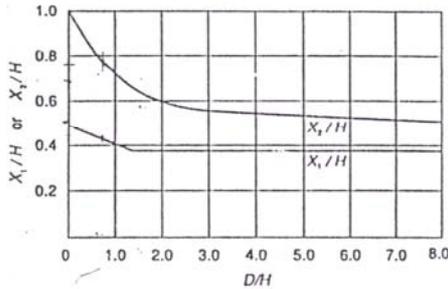


Figure E-3—Centroids of Seismic Forces

generated by each fault, the regional seismic activity rate, the proximity of the site to the potential source faults, the attenuation of the ground motion between the faults and the site, and the soil conditions at the site. The spectrum for the factor  $ZIC_1$  should be established for a damping coefficient of 2 percent of critical. Scaling of the response spectrum to account for the reserve capacity of the tank is permissible. The acceptable reserve capacity shall be specified by the purchaser and can be determined from table tests, field observations, and the ductility of the structure.

The spectrum for the factor  $ZIC_2$  should correspond to the spectrum for  $ZIC_1$  modified for a damping coefficient of 0.5 percent of critical. In determining the factor  $ZIC_1$  from the spectrum, the fundamental period of the tank with its contents shall be taken into account unless the maximum spectral acceleration is used.

Table E-3—Site Coefficients (See Note)

Type	Description	Site Factor
$S_1$	A soil profile with either a) a rock-like material characterized by a shear wave velocity greater than 2500 feet per second or by other suitable means of classification or b) stiff or dense soil conditions where the soil depth is less than 200 feet	1.0
$S_2$	A soil profile with stiff or dense soil conditions where the soil depth exceeds 200 feet	1.2
$S_3$	A soil profile 40 feet or more in depth containing more than 20 feet of soft to medium stiff clay but more than 40 feet of soft clay	1.5
$S_4$	A soil profile containing more than 40 feet of soft clay	2.0

Note: The site factor shall be established from properly substantiated geotechnical data. In locations where the soil properties are not known in sufficient detail to determine the soil profile type, soil profile  $S_3$  shall be used. Soil profile  $S_4$  need not be assumed unless the building official determines that soil profile  $S_4$  may be present at the site or in the event that soil profile  $S_4$  is established by geotechnical data.

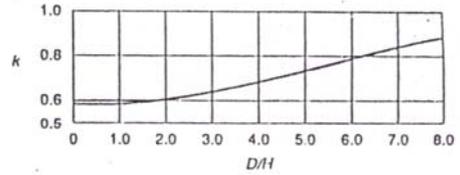


Figure E-4—Factor k

### E.4 Resistance to Overturning

**E.4.1** Resistance to the overturning moment at the bottom of the shell may be provided by the weight of the tank shell and by the anchorage of the tank shell or, for unanchored tanks, the weight of a portion of the tank contents adjacent to the shell. For unanchored tanks, the portion of the contents that may be used to resist overturning depends on the width of the bottom plate under the shell that lifts off the foundation and may be determined as follows:

$$w_L = 7.9t_b \sqrt{F_{by} G H}$$

However,  $w_L$  shall not exceed  $1.25GHD$ .

Where:

- $w_L$  = maximum weight of the tank contents that may be used to resist the shell overturning moment, in pounds per foot of shell circumference.
- $t_b$  = thickness of the bottom plate under the shell, in inches.
- $F_{by}$  = minimum specified yield strength of the bottom plate under the shell, in pounds per square inch.
- $G$  = design specific gravity of the liquid to be stored, as specified by the purchaser.

**E.4.2** The thickness of the bottom plate under the shell,  $t_b$ , shall not exceed the thickness of the bottom shell course or  $\frac{1}{4}$  inch, whichever is greater. Where the bottom plate under the shell is thicker than the remainder of the bottom, the width of the thicker plate under the shell, in feet, measured radially inward from the shell shall be greater than or equal to  $0.0274w_L/GH$ .

### E.5 Shell Compression

#### E.5.1 UNANCHORED TANKS

For unanchored tanks, the maximum longitudinal compressive force at the bottom of the shell may be determined as follows: When  $M/[D^2(w_1 + w_L)]$  is less than or equal to 0.785

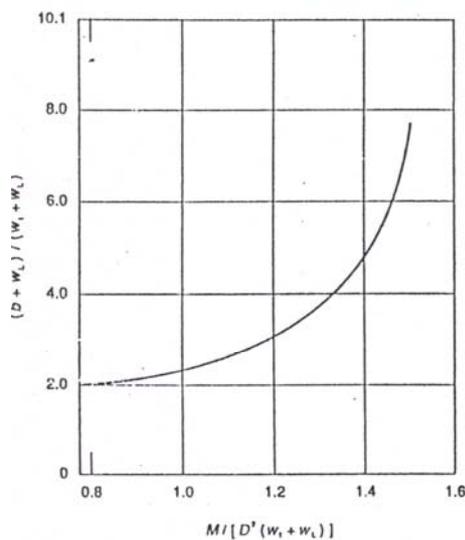
$$b = w_1 + \frac{1.273M}{D^2}$$

## APÉNDICE C (CONTINUACIÓN)

### NORMA API 650, APENDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

E-6

API STANDARD 650



Note: This figure may be used to compute  $b$  when  $M/D^2(w_i + w_L)$  is greater than 0.785 but less than or equal to 1.5 (see E.5.1).

Figure E-5—Compressive Force  $b$

When  $M/D^2(w_i + w_L)$  is greater than 0.785 but less than or equal to 1.5,  $b$  may be computed from the value of the following parameter obtained from Figure E-5:

$$\frac{b + w_L}{w_i + w_L}$$

When  $M/D^2(w_i + w_L)$  is greater than 1.5 but less than or equal to 1.57,

$$\frac{b + w_L}{w_i + w_L} = \frac{1.490}{\left[1 - \frac{0.637M}{D^2(w_i + w_L)}\right]^{0.5}}$$

Where:

$b$  = maximum longitudinal compressive force at the bottom of the shell, in pounds per foot of shell circumference.

$w_i$  = weight of the tank shell and the portion of the fixed roof supported by the shell, in pounds per foot of shell circumference.

When  $M/D^2(w_i + w_L)$  is greater than 1.57 or when  $b/12t$  is greater than  $F_s$  (see E.5.3), the tank is structurally un-

stable. It is then necessary to take one of the following measures:

- Increase the thickness of the bottom plate under the shell,  $t_b$ , to increase  $w_L$  without exceeding the limitations of E.4.1 and E.4.2.
- Increase the shell thickness,  $t$ .
- Change the proportions of the tank to increase the diameter and reduce the height.
- Anchor the tank in accordance with E.6.

#### E.5.2 ANCHORED TANKS

For anchored tanks, the maximum longitudinal compressive force at the bottom of the shell may be determined as follows:

$$b = w_i + \frac{1.273M}{D^2}$$

#### E.5.3 MAXIMUM ALLOWABLE SHELL COMPRESSION

The maximum longitudinal compressive stress in the shell,  $b/12t$ , shall not exceed the maximum allowable stress,  $F_s$ , determined by the following formulas for  $F_s$ , which take into account the effect of internal pressure due to the liquid contents. When  $GHD^2/t^2$  is greater than or equal to  $10^6$ ,

$$F_s = \frac{10^6 t}{D}$$

When  $GHD^2/t^2$  is less than  $10^6$ ,

$$F_s = \frac{10^6 t}{2.5D} + 600\sqrt{GH}$$

However,  $F_s$  shall not be greater than  $0.5F_{iy}$ .

Where:

$t$  = thickness of the bottom shell course, excluding any corrosion allowance, in inches.

$F_s$  = maximum allowable longitudinal compressive stress in the shell, in pounds per square inch.

$F_{iy}$  = minimum specified yield strength of the bottom shell course, in pounds per square inch.

#### E.5.4 UPPER SHELL COURSES

If the thickness of the lower shell course calculated to resist the seismic overturning moment is greater than the thickness required for hydrostatic pressure, both excluding any corrosion allowance, then the calculated thickness of each upper shell course for hydrostatic pressure shall be increased in the same proportion, unless a special analysis is made to determine the seismic overturning moment and corresponding stresses at the bottom of each upper shell course.

# APÉNDICE C (CONTINUACIÓN)

## NORMA API 650, APENDICE E, DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### E.6 Anchorage of Tanks

#### E.6.1 MINIMUM ANCHORAGE

When anchorage is provided, it shall be designed to provide the following minimum anchorage resistance, in pounds per foot of shell circumference:

$$\frac{1.273M}{D^2} - w_1$$

The stresses due to anchor forces in the tank shell at the points where the anchors are attached shall be investigated. (For a design procedure, see AISI E-1, Volume II, Part VII, "Anchor Bolt Chairs.")

#### E.6.2 DESIGN CONSIDERATIONS

**E.6.2.1** If an anchored tank is not properly designed, its shell can be susceptible to tearing. Care should be taken to ensure that the strength of the anchorage attachments is greater than the specified minimum yield strength of the anchors so that the anchors yield before the attachments fail. Experience has shown that properly designed anchored tanks retain greater reserve strength with respect to seismic overload than unanchored tanks retain. In addition to the requirements of E.6.1, anchor design shall take into account the requirements of E.6.2.2 through E.6.2.7.

**E.6.2.2** The spacing between anchors shall not exceed 10 feet. On tanks less than 50 feet in diameter, the spacing between anchors shall not exceed 6 feet. When anchor bolts are used, they shall have a minimum diameter of 1 inch, excluding any corrosion allowance.

**E.6.2.3** The maximum allowable stress for the anchorage parts shall not exceed the following values:

- For anchors designed for seismic loading alone or in combination with other loading, an allowable tensile stress equal to 0.80 yield stress (0.60 of yield stress multiplied by 1.33).
- For other parts, 133 percent of the allowable stress in accordance with 3.10.3.

These stresses can be used in conjunction with other loads for seismic loading when the combined loading governs.

**E.6.2.4** The anchor attachment assembly and the attachment to the shell shall be designed for a load equal to the minimum specified yield strength multiplied by the as-built minimum cross-sectional area of the anchor.

**E.6.2.5** The embedment strength of the anchor in the foundation shall be sufficient to develop the specified minimum yield strength of the anchor. Hooked anchors or end plates may be used to resist pullout.

**E.6.2.6** The purchaser should specify any corrosion allowance that is to be added to the anchor dimensions. The furnished anchors, including their corrosion allowance, shall be used to determine the design loads for the shell attachment and embedment requirements.

**E.6.2.7** When specified by the purchaser, the anchors shall be designed to allow for thermal expansion of the tank resulting from a shell temperature greater than 200°F.

### E.7 Piping

Suitable flexibility shall be provided in the vertical direction for all piping attached to the shell or to the bottom of the tank. On unanchored tanks subject to bottom uplift, piping connected to the bottom shall be free to lift with the bottom or shall be located so that the horizontal distance measured from the shell to the edge of the connecting reinforcement is equal to the width of the bottom hold-down, as calculated in E.4.2, plus 12 inches.

### E.8 Additional Considerations

**E.8.1** The purchaser shall specify any freeboard desired to minimize or prevent overflow and damage to the roof and upper shell that may be caused by sloshing of the liquid contents.

**E.8.2** The base of the roof-supporting columns shall be restrained to prevent lateral movement during earthquakes. When specified by the purchaser, the columns shall be designed to resist the forces caused by sloshing of the liquid contents.

**E.8.3** The additional vertical forces at the shell caused by the seismic overturning moment shall be considered in the design of the tank foundation.

# APÉNDICE D

## PESO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

PESO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO						
MATERIA PRIMA	CAPACIDAD D (ton)	VOLUMEN (m3)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)		
Tanque Ácido Sulfónico	75	72	3880	6089		
Tanque Hidróxido de Sd	50	33	3100	4370		
Tanque Silicato de Sodio	15	10	2330	2345		

TANQUE ACIDO SULFÓNICO						
No ANILLO	ALTURA (mm)	ESPEJOR TEÓRICO(mm)	ESPEJOR SELECCIONADO(mm)	CANT. PLANCHAS ANILLO (unds)	PESO PLANCHA (Kg)	PESO ANILLO/TECHADO (Kg)
1	6089	2,69	4	5	97	485
2	4867,65	2,46	3	5	71	355
3	3649	2,22	3	5	71	355
4	2429	1,99	2	5	46	230
5	1209	1,76	2	5	46	230
Techado	-	4,55	6	5,5	144	792
Fondo	-	-	6	5,1	144	734,4
Minahole+serpentin+soldadura	-	-	-	-	-	151,83
					<b>PESO TOTAL (Kg)</b>	<b>3333,23</b>

TANQUE HIDRÓXIDO DE SODIO						
SECCIÓN	ALTURA (mm)	ESPEJOR TEÓRICO(mm)	ESPEJOR SELECCIONADO(mm)	CANT. PLANCHAS ANILLO (unds)	PESO PLANCHA (Kg)	PESO ANILLO/TECHADO (Kg)
Anillo 1	4370	2,49	4	4	97	388
Anillo 2	3150	2,22	3	4	71	284
Anillo 3	1930	1,94	2	4	46	184
Anillo 4	710	1,67	2	4	46	184
Techado	-	3,71	6	3,5	144	504
Fondo	-	-	6	3,2	144	460,8
Minahole+serpentin+soldadura	-	-	-	-	-	124,8
					<b>PESO TOTAL (Kg)</b>	<b>2129,6</b>

TANQUE SILICATO DE SODIO						
SECCIÓN	ALTURA (mm)	ESPEJOR TEÓRICO(mm)	ESPEJOR SELECCIONADO(mm)	CANT. PLANCHAS ANILLO (unds)	PESO PLANCHA (Kg)	PESO ANILLO/TECHADO (Kg)
Anillo 1	2345	1,94	4	3	97	291
Anillo 2	1125	1,73	2	3	46	138
Techado	-	2,79	6	2	144	288
Fondo	-	-	6	1,8	144	259,2
Minahole+serpentin+soldadura	-	-	-	-	-	105,67
					<b>PESO TOTAL (Kg)</b>	<b>1061,87</b>

# APÉNDICE E

## GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

**TABLA 1** Guía para selección de intercambiadores de calor

Fluidos para transferencia de calor		Equipo	Acción	Tipo <sup>†</sup>	Escala de presión <sup>‡</sup>	Escala típica de U <sup>§</sup>		
Líquido a líquido		Intercambiador de soplado de agua de caldera	Soplado enfriado, agua de alimentación calentada	S	M, H	50-300 (0.28-1.7)		
		Recuperador de calor de agua de lavandería	Agua residual enfriado, alimentación calentada	S	L	30-200 (0.17-1.1)		
		Calentador de agua de servicio	Líquido de desecho enfriado, agua calentada	S	L, H	50-300 (0.28-1.7)		
Vapor a líquido		Calentador de purga	Vapor condensado, agua de alimentación calentada	S	L, H	200-800 (1.1-4.5)		
		Calentador de alimentación de desaeración	Vapor condensado, agua de alimentación calentada	M	L, M	DC		
		Calentador de chorro	Vapor condensado, agua calentada	M	L	DC		
Calefacción		Olla de proceso	Vapor condensado, líquido calentado	S	L, M	100-500 (0.57-2.8)		
		Calentador de petróleo	Vapor condensado, petróleo calentado	S	L, M	20-60 (0.11-0.34)		
		Calentador de agua de servicio	Vapor condensado, agua calentada	S	L, M	200-800 (1.1-4.5)		
		Calentador de flujo abierta	Vapor condensado, agua calentada	M	L	DC		
		Recalentador de vapor de sodio líquido	Sodio enfriado, vapor recalentado	S	M, H	50-200 (0.28-1.1)		
		Gas a líquido		Calentador de agua de calor de desecho	Gas de desecho enfriado, agua calentada	T	L	2-10 (0.011-0.057)
				Económico de caldera	Gas de combustión enfriado, agua de alimentación calentada	T	M, H	2-10 (0.011-0.057)
Gas a gas		Radiador de agua caliente	Agua enfriada, aire calentado	T	L	1-10 (0.0057-0.057)		
		Calentador de aire de caldera	Gas de combustión enfriado, aire de combustión calentado	T, R	L	2-10 (0.011-0.057)		
		Regenerador de turbina de gas	Gas de combustión enfriado, aire de combustión calentado	T	L	2-10 (0.011-0.057)		
Vapor a gas		Recalentador de caldera	Gas de combustión enfriado, vapor recalentado	T	M, H	2-20 (0.011-0.11)		
		Serpentines de tubo de vapor	Vapor condensado, aire calentado	T	L, M	2-10 (0.011-0.057)		
		Radiador de vapor	Vapor condensado, aire calentado	T	L	2-10 (0.011-0.057)		
Enfriamiento	Líquido-líquido	Enfriador de petróleo	Agua calentada, petróleo enfriado	S, D	L, M	20-200 (0.11-1.1)		
		Enfriador de agua	Refrigerante hervido, agua enfriada	S	L, M	30-151 (0.17-0.86)		
		Enfriador de salmuera	Refrigerante hervido, salmuera enfriada	S	L, M	30-150 (0.17-0.86)		
Vapor-líquido		Enfriador de aceite de transformador	Agua calentada, aceite enfriado	S	L, M	20-50 (0.11-0.88)		
		Dessobrecalentador de caldera	Agua de caldera calentada, vapor dessobrecalentado	S, M	M, H	150-800 (0.85-4.5)		

Enfriamiento	Gas-líquido	Intercambiadores y poseñificadores de compresor	Agua calentada, aire comprimado enfriado	S	L, H	10-20 (0.057-0.11)	
		Radiador de motor de combustión interna	Aire calentado, agua enfriada	T	L	2-10 (0.011-0.057)	
		Enfriadores de aire, de hidrógeno generador	Agua calentada, hidrógeno o aire enfriado	S	L	2-10 (0.011-0.057)	
Ebullición	Vapor-gas	Enfriador de acondicionamiento de aire	Agua calentada, aire enfriado	T	L	2-10 (0.011-0.057)	
		Intercambiador de calor de refrigeración	Salmuera calentada, aire enfriado	T	L, M	2-10 (0.011-0.057)	
		Evaporador de refrigeración	Refrigerante hervido, aire enfriado	T	L, M	2-10 (0.011-0.057)	
		Dessobrecalentador de caldera	Gas de combustión calentado, vapor dessobrecalentado	T	M, H	2-8 (0.011-0.045)	
		Líquido-líquido	Evaporador de líquido caliente	Líquido de desecho enfriado, agua hervida	S	L, H	40-150 (0.23-0.85)
			Generador de vapor de sodio líquido	Sodio enfriado, agua hervida	S	M, H	500-1000 (2.8-5.7)
	Vapor-líquido	Evaporador (de vacío)	Vapor condensado, agua hervida	S	L	400-600 (2.3-3.4)	
		Evaporador (alta presión)	Vapor condensado, agua hervida	S	L, M	400-600 (2.3-3.4)	
		Condensador de mercurio de caldera	Mercurio condensado, agua hervida	S	M, H	500-700 (2.8-4.0)	
Gas-líquido	Caldera de vapor de calor de desecho	Gas de combustión enfriado, agua hervida	T	L, H	2-10 (0.011-0.057)		
		Caldera de vapor de llama directa	Gas de combustión enfriado, agua hervida	T	L, H	2-10 (0.011-0.057)	
	Condensación	Vapor-líquido	Condensador de refrigeración	Agua calentada, refrigerante condensado	S, D	L, M	80-250 (0.45-1.4)
Condensador de superficie de vapor			Agua calentada, vapor condensado	S	L	300-800 (1.7-4.5)	
Vapor-gas		Condensador mezclador de vapor	Agua calentada, vapor condensado	M	L	DC	
		Intercambiador y poscondensador	Condensado calentado, vapor condensado	S	L	15-300 (0.085-1.7)	
		Condensador de superficie enfriado por aire	Aire calentado, vapor condensado	T	L	2-16 (0.011-0.091)	

<sup>†</sup>Power

S—intercambiador de casco y tubo, M—intercambiador mezclador de contacto directo, T—tubo en trayectoria de fluido en movimiento, o intercambiador abierto al aire circundante, R—intercambiador tipo placa regenerativa o tipo placa simple, D—intercambiador de doble tubo

<sup>‡</sup>L—escala de presión más alta de 0 a 100 lbf/in<sup>2</sup> (abs)(0 a 689.4 kPa), M—presión más alta de 100 a 500 lbf/in<sup>2</sup> (abs)(689.4 a 3447 kPa), H—más de 500 lbf/in<sup>2</sup> (abs)(3447 kPa)

<sup>§</sup>Los valores de U representan la escala de coeficientes totales de transferencia de calor que pudieran esperarse en varios intercambiadores. Los coeficientes están expresados en Btu/h·ft<sup>2</sup>·(°F) [W/m<sup>2</sup>·(°C)] de superficie de calentamiento. El total de calor transferido en el intercambiador, en Btu/h, se obtiene al multiplicar un valor específico de U para ese tipo de intercambiador por la superficie y diferencia logarítmica de temperatura media. DC indica intercambiador directo de calor.





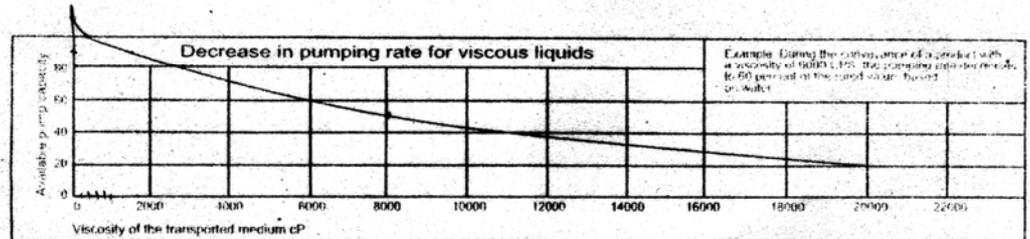




# APÉNDICE I

## FACTOR DE CORRECCION DE CAUDAL PARA BOMBAS

### Diaphragm Pump Correction Factor For Viscous Liquids



Use the above flow/capacity correction factor for selecting and determining the appropriate size diaphragm pump. Refer to the performance curves located in the sales brochure.

EXAMPLE: 50 GPM is the desired flow rate at 8000 cp which requires a 50% derate. 50 GPM divided by 0.50 = 100 GPM on a water based performance curve.

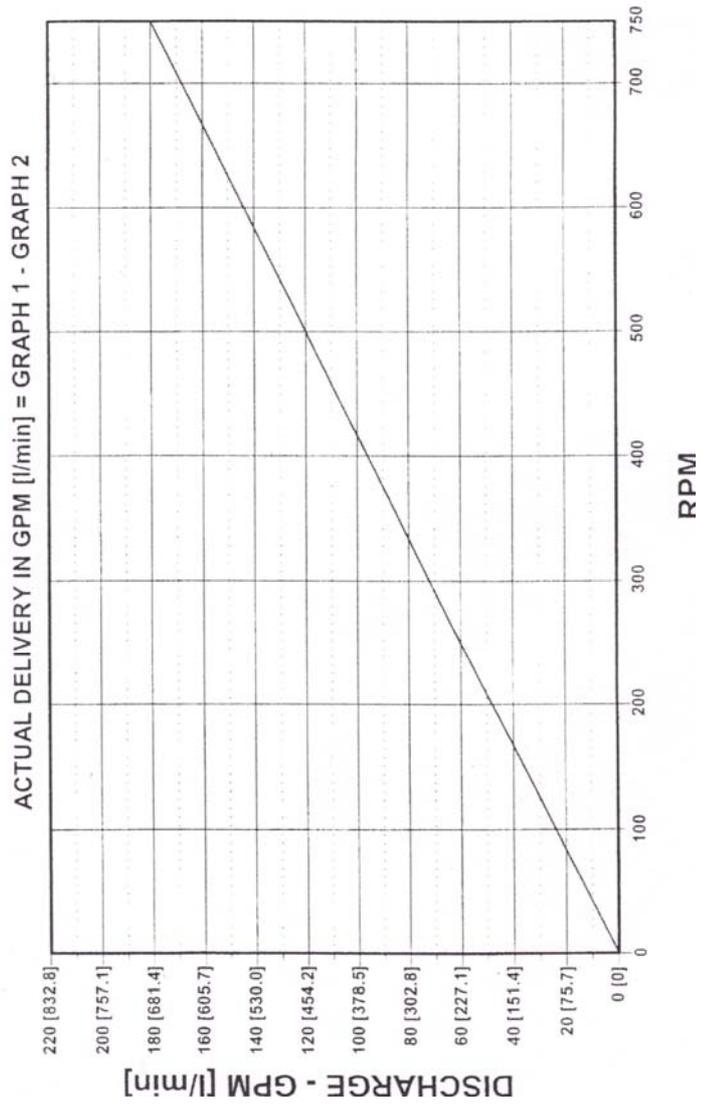
# APÉNDICE J

## CURVAS DE OPERACIÓN DE BOMBA DE RECEPCIÓN DE ACIDO SULFONICO: BOMBA ROPER NO SANITARIA 9722

SERIES: 9622, 9722

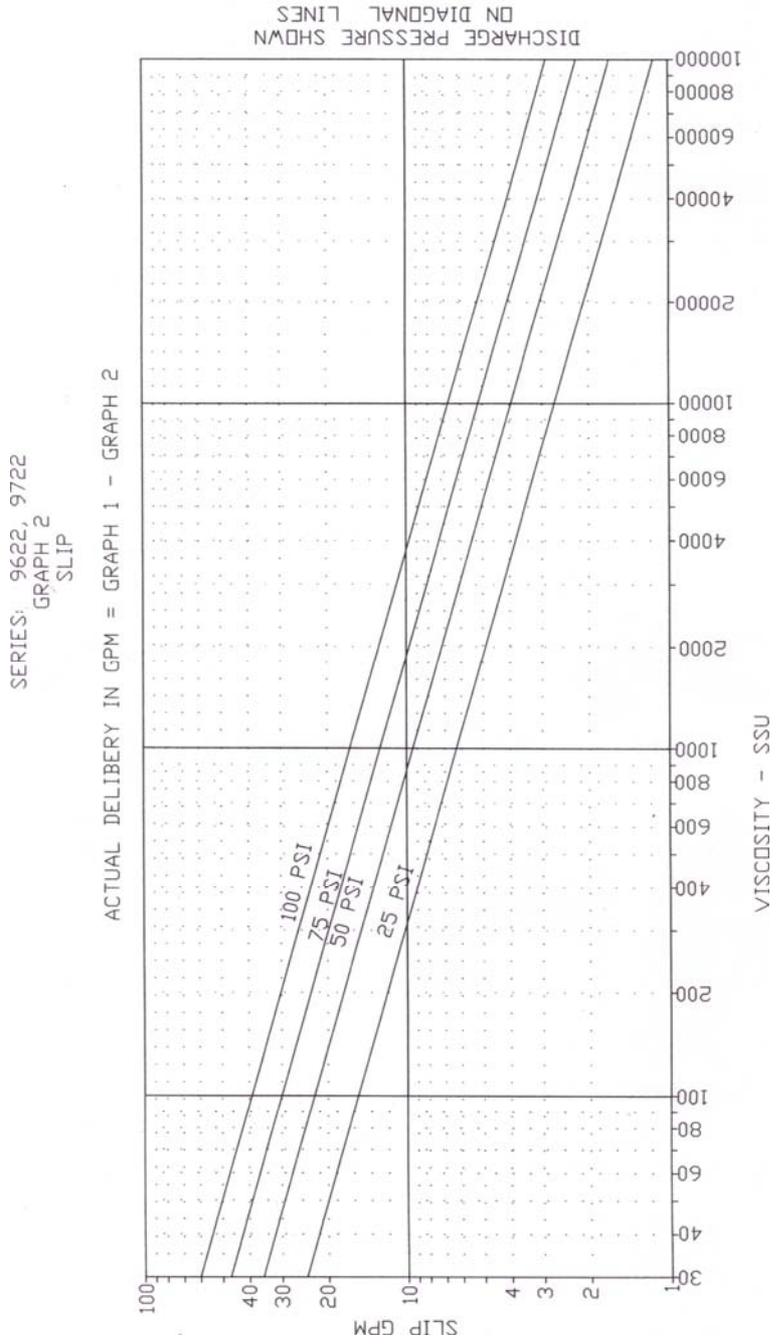
GRAPH 1

THEORETICAL GPM



## APÉNDICE J (CONTINUACIÓN)

### CURVAS DE OPERACIÓN DE BOMBA DE RECEPCIÓN DE ACIDO SULFONICO: BOMBA ROPER NO SANITARIA 9722



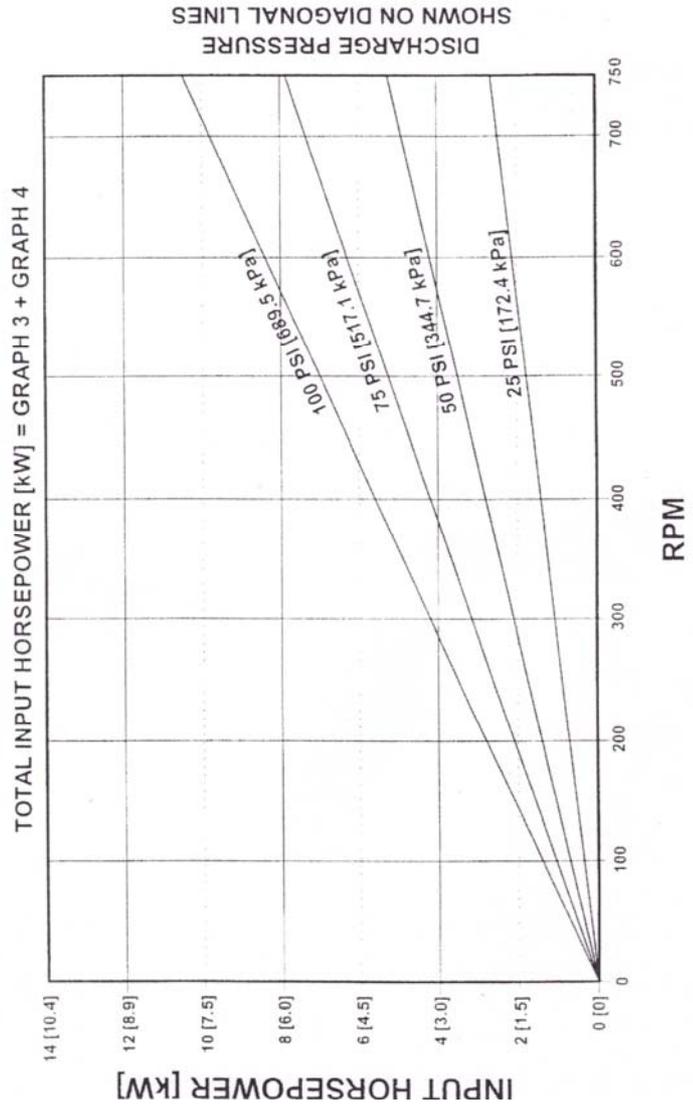
## APÉNDICE J (CONTINUACIÓN)

CURVAS DE OPERACIÓN DE BOMBA DE RECEPCIÓN DE  
ACIDO SULFONICO: BOMBA ROPER NO SANITARIA 9722

SERIES: 9622, 9722

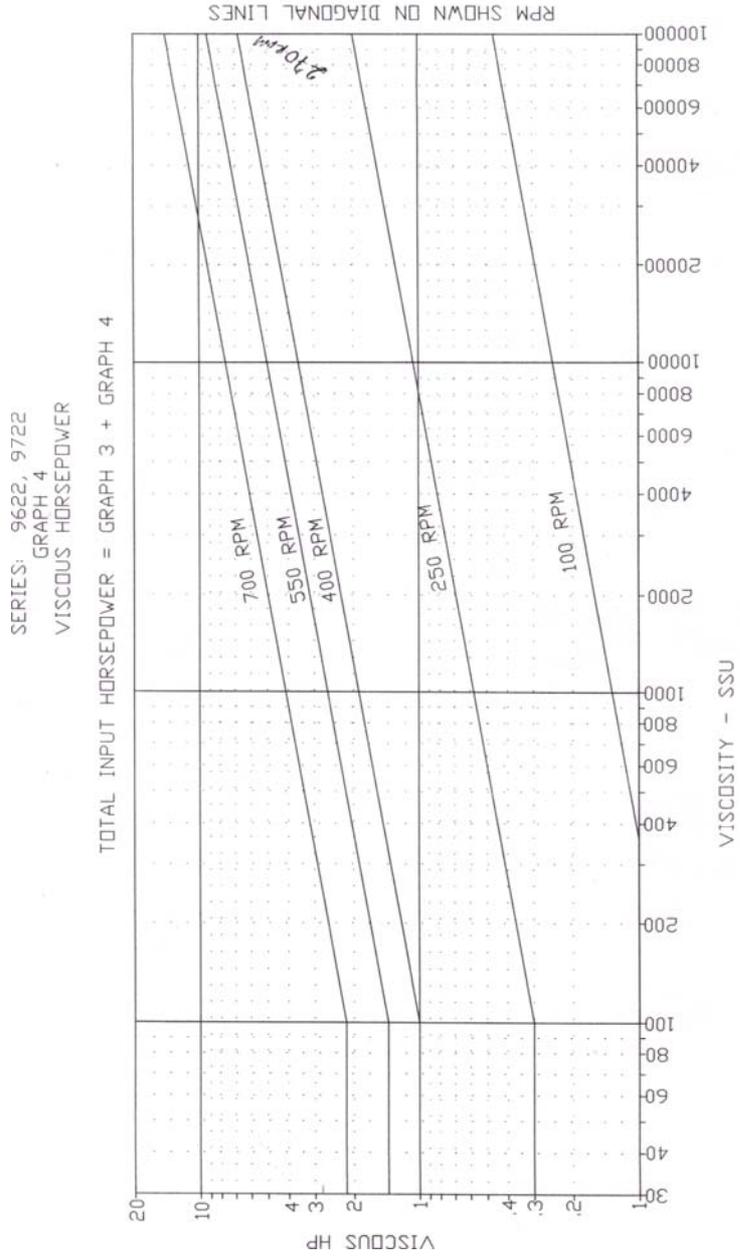
GRAPH 3

INPUT HORSEPOWER



# APÉNDICE J (CONTINUACIÓN)

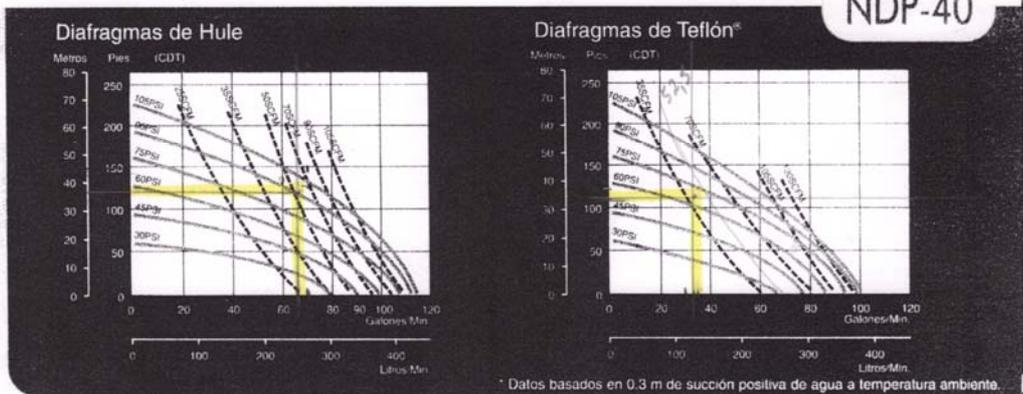
## CURVAS DE OPERACIÓN DE BOMBA DE RECEPCIÓN DE ACIDO SULFONICO: BOMBA ROPER NO SANITARIA 9722



# APÉNDICE K

## CURVA DE OPERACIÓN DE BOMBA DE RECEPCIÓN DE SILICATO DE SODIO Y CARGA DE SILICATO DE SODIO (DIAFRAGMA DE HULE Y TEFLON RESPECTIVAMENTE): BOMBA YAMADA NDP-40

Curva de Operación\*



### Especificaciones

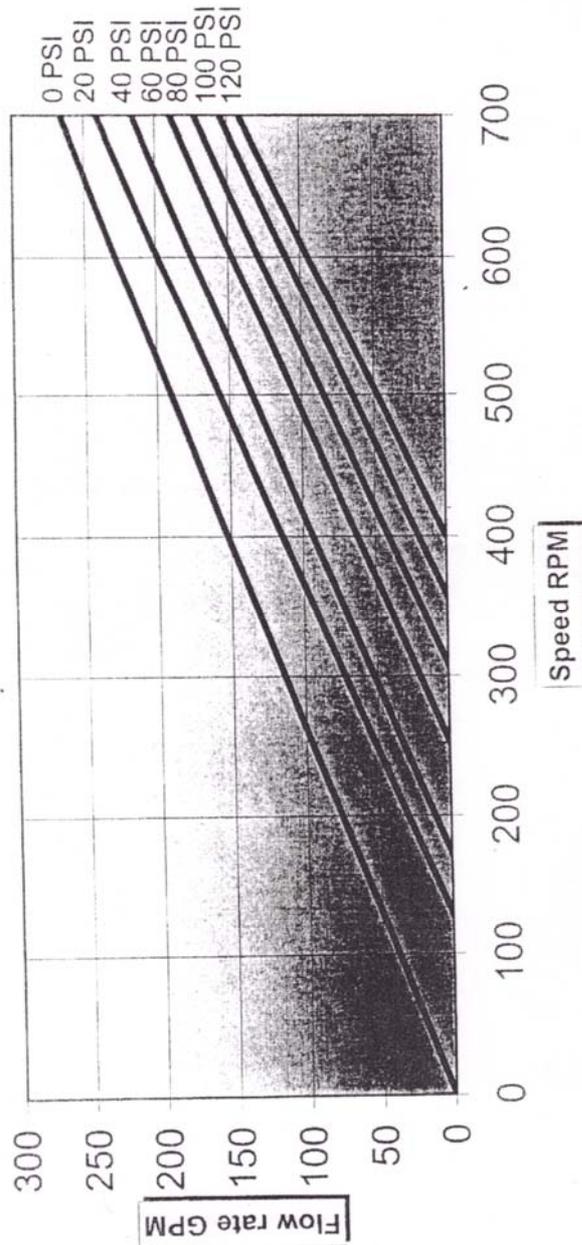
	Polipropileno (PPG)	Aluminio (356-T6)	Acero Inoxidable (316)-Flange	Acero Inoxidable (316) NPT	Hierro Fundido (FC)
<b>Materiales Húmedos</b>					
<b>Material del Diafragma</b>					
Neopreno	NDP-40BPC	NDP-40BAC	NDP-40BSC	NDP-40BSC-NPT	NDP-40BFC
Buna-N	NDP-40BPN	NDP-40BAN	NDP-40BSN	NDP-40BSN-NPT	NDP-40BFN
EPDM	NDP-40BPE	NDP-40BAE	NDP-40BSE	NDP-40BSE-NPT	NDP-40BFE
Hytrel	NDP-40BPH	NDP-40BAH	NDP-40BSH	NDP-40BSH-NPT	NDP-40BFH
Santopreno	NDP-40BPS	NDP-40BAS	NDP-40BSS	NDP-40BSS-NPT	NDP-40BFS
Viton	NDP-40BPV	NDP-40BAV	NDP-40BSV	NDP-40BSV-NPT	NDP-40BFV
PTFE	NDP-40BPT	NDP-40BAT	NDP-40BST	NDP-40BST-NPT	NDP-40BFT
<b>Volumen/ciclo</b>					
Diafragmas de Elastómero	2.8 L (0.74 gal.)	2.8 L (0.74 gal.)	2.8 L (0.74 gal.)	2.8 L (0.74 gal.)	2.8 L (0.74 gal.)
PTFE diaphragm	1.4 L (0.37 gal.)	1.4 L (0.37 gal.)	1.4 L (0.37 gal.)	1.4 L (0.37 gal.)	1.4 L (0.37 gal.)
<b>Ciclos máximos por minuto</b>					
Diafragmas de Elastómero	148	148	148	148	148
Diafragmas de PTFE	270	270	270	270	270
<b>Conexiones</b>					
Succión y descarga	1-1/2" (38.1 mm) ANSI #150	1-1/2" (38.1 mm) ANSI #150	1-1/2" (38.1 mm) ANSI #150	1-1/2" (38.1 mm) NPT Hembra	1 1/2" Female NPT
Alimentación de aire	1/2" (12.7 mm) NPT Hembra	1/2" (12.7 mm) NPT Hembra	1/2" (12.7 mm) NPT Hembra	1/2" (12.7 mm) NPT Hembra	1/2" (12.7 mm) NPT Hembra
Salida de aire	3/4" (19.0 mm) NPT Hembra	3/4" (19.0 mm) NPT Hembra	3/4" (19.0 mm) NPT Hembra	3/4" (19.0 mm) NPT Hembra	3/4" (19.0 mm) NPT Hembra
<b>Tamaño máximo de partículas</b>	<9/32" (7 mm)	<9/32" (7 mm)	<9/32" (7 mm)	<9/32" (7 mm)	<9/32" (7 mm)
<b>Temperatura máxima del líquido (en el Diafragma)</b>					
Neopreno	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)
Buna-N	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)
EPDM	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)	82° C (182° F)
Hytrel	82° C (182° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)
Santopreno	82° C (182° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)
Viton	82° C (182° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)
PTFE	82° C (182° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)
<b>Peso neto</b>	29.9 Kg (66.4 lb)	28.9 Kg (63.8 lb)	39.9 Kg (88.0 lb)	39.9 Kg (88.0 lb)	59.9 Kg (132 lb)
<b>Peso de embarque</b>	33.9 Kg (74.8 lb)	35.7 Kg (78.8 lb)	47.1 Kg (104 lb)	46.7 Kg (103 lb)	66.6 Kg (147 lb)
<b>Altura máxima de succión</b>	5.5 m (18 pies)	5.5 m (18 pies)	5.5 m (18 pies)	5.5 m (18 pies)	5.5 m (18 pies)

- Bombas con diafragmas de Hytrel® utilizan válvulas y o-rings en Buna-N.
- Bombas con diafragmas de Santopreno® utilizan válvulas y o-rings en EPDM.
- Cuerpo central en Aluminio para todas las bombas de la serie NDP-40. Opcionalmente se ofrecen recubrimientos en PFA, Epoxy o Níquel.
- Rango permisible de presión de aire 1.4 a 7 Kg/cm<sup>2</sup> (20 a 100 PSI).
- Altura máxima de succión indicada es para los modelos con diafragmas de hule.

# APÉNDICE L

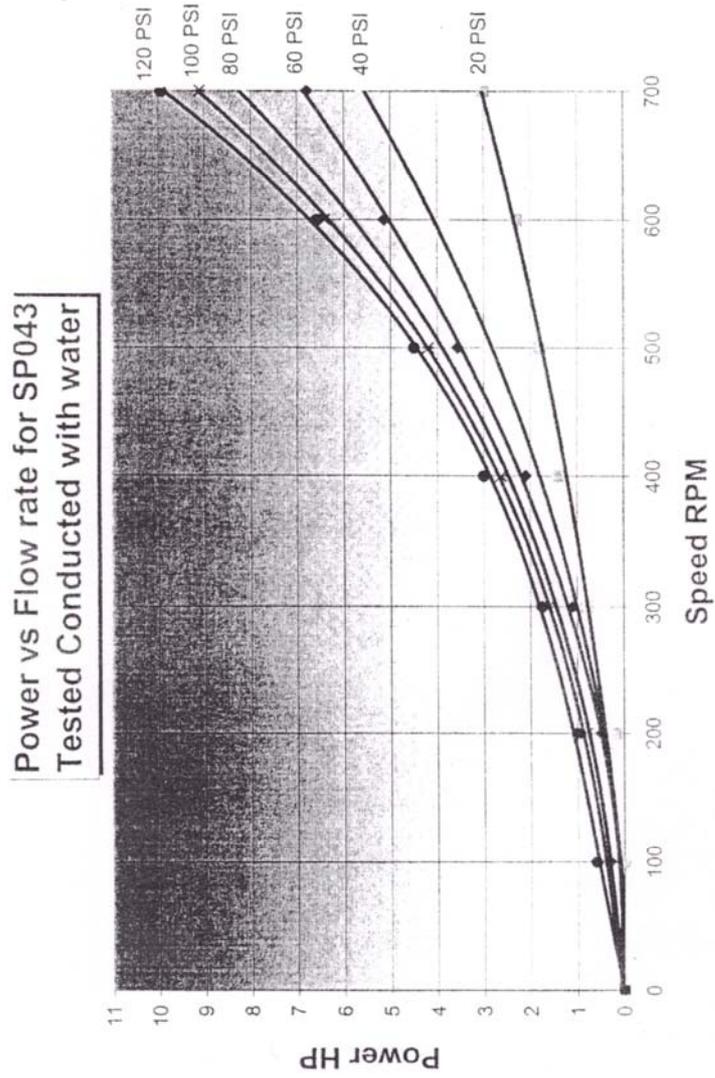
## CURVA DE OPERACIÓN DE BOMBA DE CARGA ACIDO SULFONICO: BOMBA ROPER SANITARIA SP043

Flow rate vs Speed for SP043  
Test conducted with water



## APÉNDICE L (CONTINUACIÓN)

### CURVA DE OPERACIÓN DE BOMBA DE CARGA ACIDO SULFONICO: BOMBA ROPER SANITARIA SP043

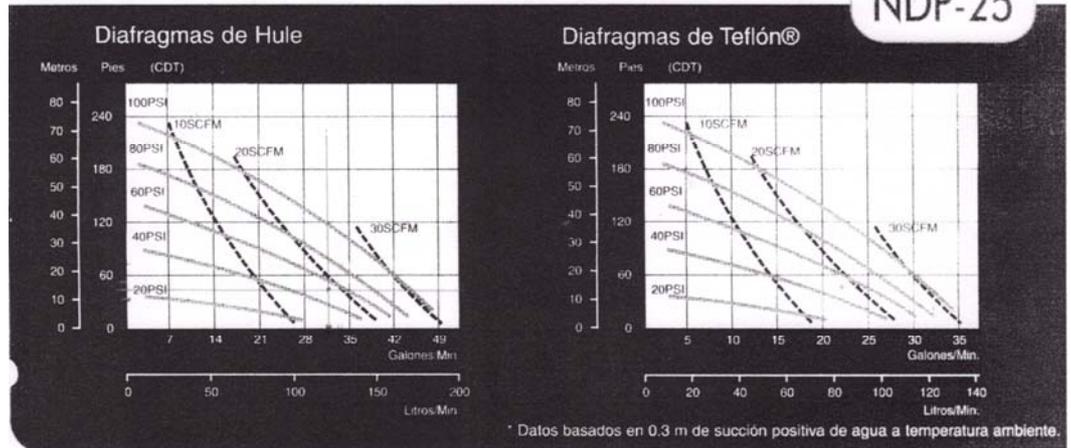


## APÉNDICE M

### CURVA DE OPERACIÓN DE BOMBA DE CARGA DE HIDROXIDO DE SODIO: BOMBA YAMADA NDP-25

Curva de Operación\*

NDP-25



### Especificaciones

	Polipropileno (PPG)	Kynar® (PVDF)	Aluminio (356-T6)	Hierro Fundido (FC)	Acero Inoxidable (316)
<b>Materiales Húmedos</b>					
Material del Diafragma					
Neopreno	NDP-25BPC	NDP-25BVC	NDP-25BAC	NDP-25BFC	NDP-25BSC
Buna-N	NDP-25BPN	NDP-25BVN	NDP-25BAN	NDP-25BFN	NDP-25BSN
EPDM	NDP-25BPE	NDP-25BVE	NDP-25BAE	NDP-25BFE	NDP-25BSE
Hytrel®	NDP-25BPH	NDP-25BVH	NDP-25BAH	NDP-25BFH	NDP-25BSH
Santopreno®	NDP-25BPS	NDP-25BVS	NDP-25BAS	NDP-25BFS	NDP-25BSS
Viton™	NDP-25BPV	NDP-25BVV	NDP-25BAV	NDP-25BFV	NDP-25BSV
PTFE	NDP-25BPT	NDP-25BVT	NDP-25BAT	NDP-25BFT	NDP-25BST
Volumen/ciclo					
Diafragmas de Elastomero	0.862 L (0.23 gal.)				
Diafragmas de PTFE	0.654 L (0.17 gal.)				
Ciclos máximos por minuto	210	210	210	210	210
Conexiones					
Succión y descarga	1" (25 mm) NPT Hembra				
Alimentación de aire	3/8" (10 mm) NPT Hembra				
Salida de aire	3/4" (20 mm) NPT Hembra				
Tamaño máximo de partículas	3/16" (4.8 mm)	3/16" (4.8 mm)	3/16" (4.8 mm)	3/16" (4.8 mm)	1/16" (4.8 mm)
Temperatura máxima del líquido (en los Diafragmas)					
Neopreno	82° C (182° F)				
Buna-N	82° C (182° F)				
EPDM	82° C (182° F)				
Hytrel®	82° C (182° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)
Santopreno®	82° C (182° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)
Viton™	82° C (182° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)	120° C (248° F)
PTFE	82° C (182° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)	100° C (212° F)
Peso neto	10.9 Kg (24.2 lb)	13.4 Kg (29.7 lb)	13.0 Kg (28.6 lb)	19.9 Kg (44 lb)	19.9 Kg (44 lb)
Peso de embarque	13.2 Kg (29.2 lb)	15.4 Kg (34.7 lb)	15.2 Kg (33.6 lb)	22.2 Kg (49 lb)	22.2 Kg (49 lb)
Altura máxima de succión	5.5 m (18 pies)				

- Bombas con diafragmas de Hytrel® utilizan válvulas y o-rings en Buna-N.
- Bombas con diafragmas de Santopreno® utilizan válvulas y o-rings en EPDM.
- Cuerpo central en Aluminio para todas las bombas de la serie NDP-25. Opcionalmente se ofrecen recubrimientos en PFA, Epoxy o Niquel.
- Rango permisible de presión de aire 1.4 a 7 Kg/cm<sup>2</sup> (20 a 100 PSI)
- Altura máxima de succión indicada es para los modelos con diafragmas de hule.

## APÉNDICE N

### PERDIDAS POR FRICCIÓN POR CADA 100 PIE DE AGUA EN TUBERÍA NUEVA DE ACERO CEDULA 40

Friction Loss Per 100 Feet For Water In  
New Wrought Iron Or Schedule 40 Steel Pipe

2" 2.067" inside dia.				2½" 2.469" inside dia.			
U.S. Gals. Per Min.	vel. V f.p.s.	vel. head V/2g feet	frict. loss h. feet	U.S. Gals. Per Min.	vel. V f.p.s.	vel. head V/2g feet	frict. loss h. feet
24	2.29	0.08	1.20	25	1.68	0.04	0.54
25	2.39	0.09	1.29	30	2.01	0.06	0.75
30	2.87	0.13	1.82	35	2.35	0.09	1.00
35	3.35	0.17	2.42	40	2.68	0.11	1.28
40	3.82	0.23	3.10	45	3.02	0.14	1.60
45	4.30	0.29	3.85	50	3.35	0.17	1.94
50	4.78	0.36	4.67	60	4.02	0.25	2.72
55	5.25	0.43	5.51	70	4.69	0.34	3.63
60	5.74	0.51	6.59	80	5.36	0.45	4.66
65	6.21	0.60	7.70	90	6.03	0.57	5.82
70	6.69	0.70	8.86	100	6.70	0.70	7.11
75	7.16	0.80	10.15	120	8.04	1.00	10.0
80	7.65	0.91	11.40	140	9.38	1.39	13.5
85	8.11	1.03	12.6	160	10.7	1.79	17.4
90	8.60	1.15	14.2	180	12.1	2.26	21.9
95	9.09	1.29	15.8	200	13.4	2.79	26.7
100	9.56	1.42	17.4	220	14.7	3.38	32.2
120	11.5	2.05	24.7	240	16.1	4.02	38.1
140	13.4	2.78	33.2	260	17.4	4.72	44.5
160	15.3	3.64	43.0	280	18.8	5.47	51.3
180	17.2	4.60	54.1	300	20.1	6.28	58.5
200	19.1	5.68	66.3	350	23.5	8.55	79.2
220	21.0	6.88	80.0	400	26.8	11.2	103.0
240	22.9	8.18	95.0				
260	24.9	9.60	111.0				
280	26.8	11.14	128.0				
300	28.7	12.8	146.0				

3" 3.068" inside dia.							
U.S. Gals. Per Min.	vel. V f.p.s.	vel. head V/2g feet	frict. loss h. feet	U.S. Gals. Per Min.	vel. V f.p.s.	vel. head V/2g feet	frict. loss h. feet
50	2.17	0.07	0.66	220	9.55	1.42	10.7
60	2.60	0.11	0.92	240	10.4	1.69	12.6
70	3.04	0.14	1.22	260	11.3	1.98	14.7
80	3.47	0.19	1.57	280	12.2	2.29	16.9
90	3.91	0.24	1.96	300	13.0	2.63	19.2
100	4.34	0.29	2.39	350	15.2	3.58	26.1
120	5.21	0.42	3.37	400	17.4	4.68	33.9
140	6.08	0.57	4.51	500	21.7	7.32	52.5
160	6.94	0.75	5.81	550	23.8	8.85	63.2
180	7.81	0.95	7.28	600	26.0	10.5	74.8
200	8.68	1.17	8.90	700	30.4	14.3	101.0

CAUTION: No allowance has been made for age, differences in diameter resulting from manufacturing tolerances or any abnormal conditions of interior pipe surface. It is recommended that for commercial application a reserve or margin of safety to cover these effects be added to the values shown in the tables. Where no careful analysis of these effects are made a reserve 15% is recommended.

Plastic pipe having a smoother wall will generate 15-20% less friction loss at any given flow rate

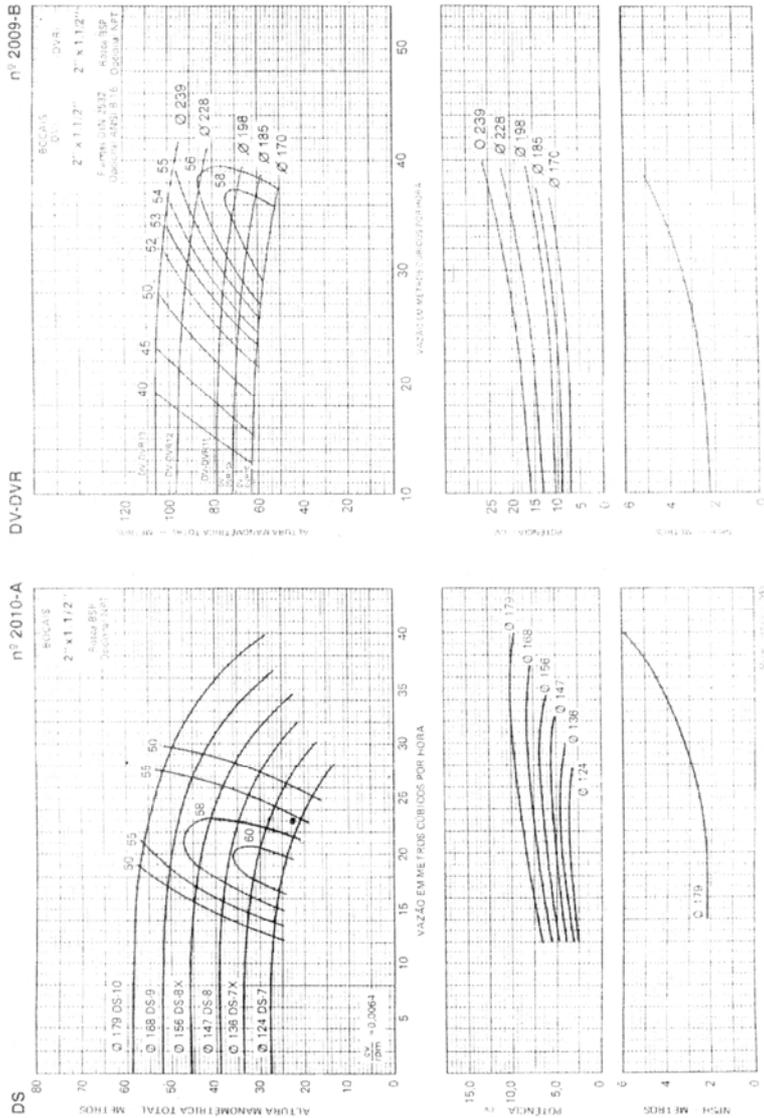
# APÉNDICE O

## CURVA DE OPERACIÓN DE BOMBA DE CARGA DE AGUA PARA SLURRY: BOMBA CENTRIFUGA MONOESTAGIO



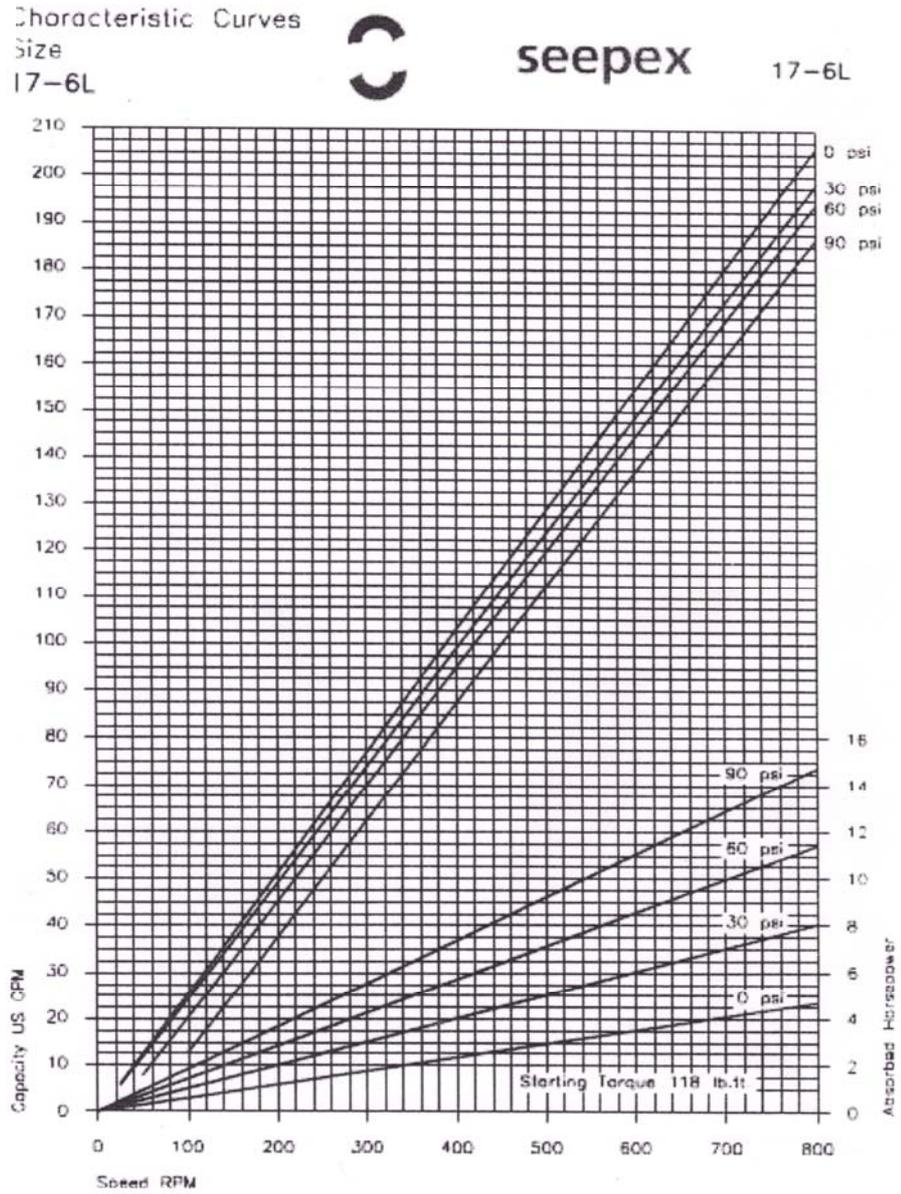
**Bombas Centrifugas Monoestágio**  
VEDAÇÃO: Selo mecânico Opcional: Gaxeta

3500 rpm



# APÉNDICE P

## CURVA DE OPERACIÓN DE BOMBA DE CARGA DE DETERGENTE EN CREMA: BOMBA SEEPEX BCSO SIZE 17-6L



# APÉNDICE Q

## GUIA PARA SELECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (SPIRAX SARCO)

### Steam Trap Selection Guide

**Table 11: Steam Trap Selection Guide**

As the USA's leading provider of steam system solutions, Spirax Sarco recognizes that no two steam trapping systems are identical. Because of the wide array of steam trap applications with inherently different characteristics, choosing the correct steam trap for optimum performance is difficult. Waterhammer, superheat, corrosive condensate, or other damaging operating characteristics dramatically affect performance of a steam trap. With over 80 years of experience in steam technology, Spirax Sarco is committed to helping it's customers design, operate and maintain an efficient steam system. You have our word on it!

Application	1st Choice						2nd Choice					
	Float & Thermostatic	Thermo-Dynamic*	Balanced Pressure	Bimetallic	Liquid Expansion	Inverted Bucket	Float & Thermostatic	Thermo-Dynamic*	Balanced Pressure	Bimetallic	Liquid Expansion	Inverted Bucket
<b>Steam Mains</b>												
to 30 psig	✓											✓
30-400 psig		✓										✓
to 600 psig		✓										✓
to 900 psig		✓										✓
to 2000 psig		✓										✓
with Superheat		✓							✓			
<b>Separators</b>	✓											✓
<b>Steam Tracers</b>		✓						✓				
Critical		✓						✓				
Non-Critical			✓									
<b>Heating Equipment</b>												
Shell & Tube Heat Exchangers	✓											✓
Heating Coils	✓											✓
Unit Heaters	✓											✓
Plate & Frame Heat Exchangers	✓											✓
Radiators			✓									
<b>General Process Equipment</b>												
to 30 psig	✓											✓
to 200 psig	✓											✓
to 465 psig	✓											✓
to 600 psig						✓						
to 900 psig						✓						
to 2000 psig						✓						
<b>Hospital Equipment</b>												
Autoclaves	✓							✓				
Sterilizers	✓							✓				
<b>Fuel Oil Heating</b>												
Bulk Storage Tanks			✓				✓					
Line Heaters	✓											
<b>Tanks &amp; Vats</b>												
Bulk Storage Tanks			✓				✓					
Process Vats	✓							✓				
<b>Vulcanizers</b>		✓					✓					
<b>Evaporators</b>	✓											✓
<b>Reboilers</b>	✓											✓
<b>Rotating Cylinders</b>	✓											
<b>Freeze Protection</b>					✓							

**APÉNDICE R**  
**DISPOSITIVOS DE CONTROL**

# spirax sarco®

## Pilot Operated Temperature Regulators 1/2" to 4" 25T

The 25T is a self actuated pilot-operated temperature regulating valve. The temperature pilot has a calibrated dial for accurate temperature setting, and is available with a variety of solid-fill sensing bulbs (see TIS 1.1123). The standard capillary tubing length is 8 feet, with an optional standard length of 15 feet.

Model <	25T			
<b>Sizes</b>	1/2" to 2"	2-1/2", 3", 4"	1/2" to 2"	2-1/2", 3", 4"
<b>Connections</b>	NPT		ANSI 125 fgt. NPT	
<b>Construction</b>	Cast Iron		Cast Steel	
<b>Options</b>	ANSI 250 fgt.		ANSI 150 fgt.	
Non-Standard capillary tubing length (see TIS 1.1123) in 5 ft. intervals to a maximum of 50 ft.				

### Typical Applications

Storage steam water heaters, instantaneous heat exchangers and converters, air handling coils, tank heating coils, steam jacketed vessels, steam chests, molds and platens.

### Capacities

For selection and sizing data, see TIS 1.1124.

### Limiting Operating Conditions

**Max. Operating Pressure (PMO)**  
 NPT: 250 psig (17 barg) @ 450°F (232°C)  
 ANSI 125: 125 psig (8 barg) @ 450°F (232°C)  
 ANSI 250: 250 psig (17 barg) @ 450°F (232°C)  
 ANSI 150: 185 psig (12 barg) @ 450°F (232°C)  
 ANSI 300: 300 psig (20 barg) @ 450°F (232°C)

**Max. Operating Temperature\***  
 450°F (232°C)  
 \*The temperature of the sensing bulb must not exceed 350°F (177°C)

### Standard Temperature Ranges

30°F to 90°F	0°C to 32°C		
60°F to 120°F	15°C to 50°C	100°F to 160°F	40°C to 70°C
120°F to 180°F	50°C to 80°C	160°F to 220°F	70°C to 105°C
200°F to 260°F	95°C to 125°C	260°F to 320°F	125°C to 160°C

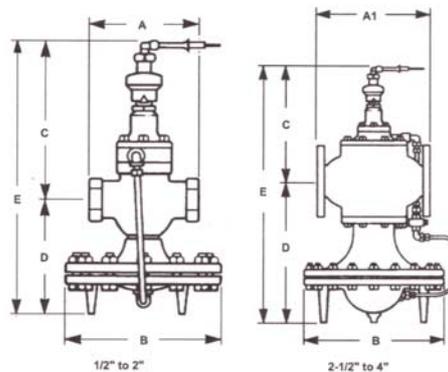
### Pressure Shell Design Conditions

**PMA** Cast Iron: 250 psig/0-450°F 17 barg/0-232°C  
 Max. allowable pressure Cast Steel: 300 psig/0-450°F 20 barg/0-232°C

**TMA** Cast Iron: 450°F/0-250 psig 232°C/0-17 barg  
 Max. allowable temperature Cast Steel: 450°F/0-300 psig 232°C/0-17 barg

### Sample Specification

Temperature Regulators shall be of the pilot-actuated, diaphragm-operated type. The main valve shall be single-seated, with hardened stainless steel trim; the valve body shall be cast iron (cast steel). The pilot shall be bolted directly to the valve body and shall be removable without disturbing the control connections. The temperature setting shall be adjustable without the use of tools, and the set point shall be indicated on a calibrated dial. The thermostatic system shall be solid fill, and shall incorporate overheat protection.

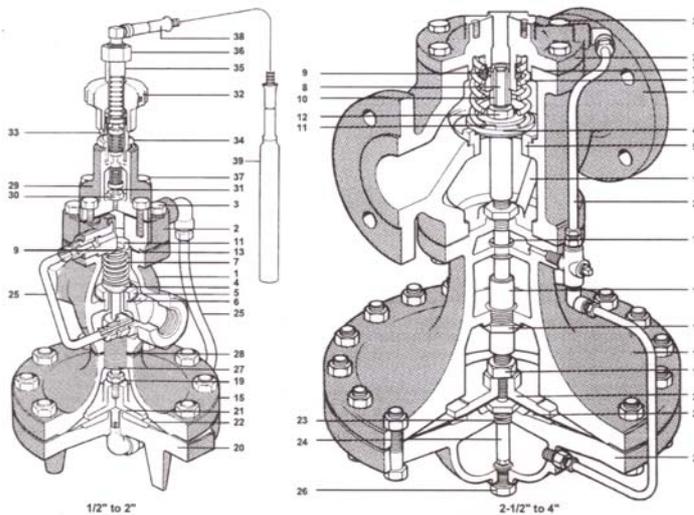


Dimensions (nominal) in inches and millimeters

Size	Ansi 125						Ansi 250		Ansi 300		Weight	
	A	A1	A1	B	C	D	E	Cast Iron	Cast Steel	Cast Iron	Cast Steel	
1/2", 3/4"	5.5	-	-	7.6	9.8	6.2	16.0	27 lb	30 lb			
	140	-	-	194	249	157	406	12.2 kg	13.6 kg			
1"	6.0	-	-	8.6	9.75	6.75	16.5	34 lb	37 lb			
	152	-	-	219	248	171	419	15.4 kg	16.8 kg			
1-1/4", 1-1/2"	7.25	-	-	8.6	10.3	7.1	17.4	39.5 lb	43 lb			
	184	-	-	219	262	179	441	17.9 kg	19.5 kg			
2"	8.5	-	-	10.6	10.9	8.2	19.1	64 lb	70 lb			
	216	-	-	270	278	208	486	29 kg	31.8 kg			
2-1/2"	10.9	11.5	13.6	11.7	13.9	25.6	152.5 lb	166 lb				
	276	292	346	297	354	651	69.2 kg	75.3 kg				
3"	11.75	12.5	13.6	11.6	14.4	26.0	183.5 lb	200 lb				
	298	318	346	294	367	660	83.2 kg	90.7 kg				
4"	13.9	14.5	15.6	12.8	16.1	28.9	279.5 lb	305 lb				
	352	368	397	325	410	725	127 kg	138 kg				

Local regulation may restrict the use of this product below the conditions quoted. Limiting conditions refer to standard connections only. In the interests of development and improvement of the product, we reserve the right to change the specification.

## Pilot Operated Temperature Regulators 1/2" to 4" 25T



Construction Materials			
No.	Part	Material	
1	Valve Body	Cast Iron	ASTM A 126 CL B
		Cast Steel	ASTM A216 Gr WCB
2	Cover	Cast Iron	ASTM A 126 CL B
		Cast Steel	ASTM A216 Gr WCB
3	Cover Bolts	Steel	ASTM A449
4	Main Valve Head	Stainless Steel	AISI 420F
		1-1/2", 2" & 2" 25S	AISI 420
		all other sizes	AISI 420F
5	Main Valve Seat	Stainless Steel	AISI 303
		1-1/2" - 2"	AISI 420F
		2-1/2" - 4"	AISI 303
6	Main Valve Seat Gasket	Copper	ASTM-B272
7	Valve Return Spring	Stainless Steel	AISI 631
8	Valve Stem	Stainless Steel	AISI 303
9	Strainer Screen	Stainless Steel	AISI 304
10	Valve Stem Sleeve	Stainless Steel	AISI 420F
11	Spring Guide	Cast Iron 1/2"-2"	ASTM A 126 CL B
		CRS 2-1/2"-4"	AISI 1117
12	Nut	Steel	ASTM A307
13	Cover Gasket	Graphite	
14	Pressure Equilibrator Pipe	Stainless Steel	AISI 304
15	Upper Diaphragm Case	Cast Iron	ASTM A 126 CL B
		Cast Steel	ASTM A216 Gr WCB
		Stainless Steel	AISI 303
16	Stem Bushing (2-1/2" - 4" Cast Steel only)	Stainless Steel	AISI 303
17	Diaphragm Plate Stem	Stainless Steel	AISI 304
18	Diaphragm Stem Guide	Stainless Steel	AISI 303
19	Nut	Brass 1/2" - 2"	ASTM B16
		Steel 2-1/2" - 4"	ASTM A307
20	Lower Diaphragm Case	Cast Iron	ASTM A 126 CL B
		Cast Steel	ASTM A216 Gr WCB
21	Diaphragm Plate	Brass 1/2" - 2"	ASTM B124 (377)
		C.I. 2-1/2" - 4"	ASTM A126 CL B
22	Main Diaphragm (2 ply)	Stainless Steel	ASTM A240
23	Bushing	CRS	AISI 1117
24	Tube & Orifice	Stainless Steel	AISI 304

No.	Part	Material	
25	Tubing Assembly	Copper	ASTM B280 (122)
		Brass	ASTM B16
26	Plug (Cast Iron)	Brass	ASTM B16
	(Cast Steel)	Steel	ASTM A105
27	Connector Stud	Stainless Steel	AISI 303
28	Body Gasket	1/2" - 2" Copper Clad	Non-Asbestos Fill
		2-1/2" - 4" Graphite	
29	Pilot Valve Body	Cast Iron	ASTM A 126 CL B
		Cast Steel	ASTM A216 Gr WCB
30	Pilot Valve Seat	Stainless Steel	AISI 303
31	Pilot Valve Head	Stainless Steel	AISI 440A
32	Adjustment Knob	Phenolic	ASTM D 700 Ty2
33	Pointer	Stainless Steel	AISI 301
34	Extension Nut	Brass	ASTM B16
35	Case Tube	Brass	ASTM B 135 (330)
36	Retaining Nut	Brass	ASTM B 16
37	Pilot Mounting Screws	Steel	ASTM A449
38	Capillary Tube	Varies with style selected	
39	Bulb	Varies with style selected	
40	Pilot Gasket	Stainless Steel	AISI Type 302

**Installation**  
The regulator should be installed in a horizontal line with suitable bypass and isolating valves. A steam trap should be installed upstream to prevent condensate from reaching the valve. The trap and regulator should both be protected with a strainer. The thermostatic bulb must be carefully located in the medium being heated. Complete installation instructions are given in IMI 1.1116.

**Maintenance**  
Complete installation and maintenance instructions are given in IMI 1.1116, a copy of which is supplied with each valve. Available spare parts are shown on TIS 1.1120 and 1.1121.

TIS 1.1116 US 09.03

# spirax sarco®

## Bronze Safety Relief Valves Models 211, 211S & 632

### Description

The 211, 211S and 632 Series Bronze Safety Relief Valves are suitable for use in steam, air or non hazardous liquid applications. All valves are provided to ASME Section I or VIII Code requirements.

### Available Types

#### Model 211 Series

- ASME Section VIII Code for air, gas and vapor.
- "D" through "J" orifice.
- 250 psig maximum set pressure.
- 406°F maximum temperature.
- Designed for use on air and gas compressors, pressure vessels, and piping handling air, gases and vapor.

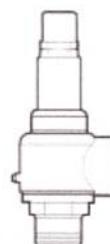
#### Model 211S Series

- ASME Section I and VIII Code for steam.
- "D" through "J" orifice.
- 250 psig maximum set pressure.
- 406°F maximum temperature.
- Designed for use on steam boilers, steam service un-fired pressure vessels, steam lines and accumulators, steam cleaners, cookers and distillers.

#### Model 632 Series

- ASME Section VIII Code for liquid.
- "D" through "H" orifice.
- 250 psig maximum set pressure.
- 406°F maximum temperature.
- Designed for use on vessels and piping handling liquids.

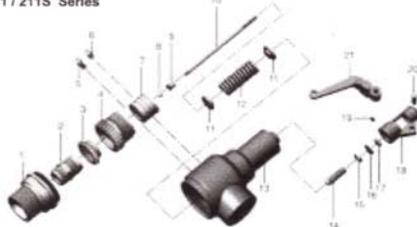
632 Series



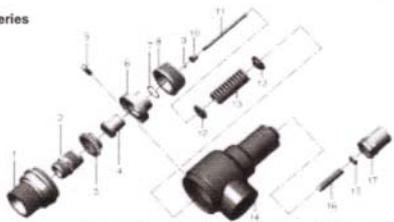
211 / 211S Series



211 / 211S Series



632 Series



211 / 211S Construction Materials

No	Qty	Part	Standard Materials	Optional Materials
1	1	Seat Frame	Brass	N/A
2	1	Nozzle	Brass	316 SS
3	1	Simmer Ring	Brass	N/A
4	1	Blowdown Ring	Brass	N/A
5	1	Lower Set Screw	Brass	N/A
6	1	Upper Set Screw	Brass	N/A
7	1	Disc	Brass	316 SS w/Teflon Soft Seat
8	1	Ball Bearing	440 C SS	N/A
9	1	Stem Adapter	Brass	N/A
10	1	Stem	304 SS	N/A
11	2	Spring Keeper	Carbon Steel	N/A
12	1	Spring	17-7 PH SS	316 SS, Inconel X750, MP35N
13	1	Body	Bronze	N/A
14	1	Adjust Screw	Brass	N/A
15	1	Jam Nut	Brass	N/A
16	1	Washer	Carbon Steel	N/A
17	1	Jam Nut	Carbon Steel	N/A
18	1	Lift Lever Cap	Bronze	N/A
19	1	Set Screw	Carbon Steel	N/A
20	1	Clevis Pin	300 Series SS	N/A
21	1	Lift Lever	Bronze	N/A

632 Series Construction Materials

No	Qty	Part	Standard Materials	Optional Materials
1	1	Seat Frame	Brass	N/A
2	1	Nozzle	Brass	316 SS
3	1	Simmer Ring	Brass	N/A
4	1	Disc	Brass	316 SS w/Teflon Soft Seat
5	1	Lower Set Screw	Brass	N/A
6	1	Disc Body	Brass	N/A
7	1	Retaining Ring	15-5 PH SS	N/A
8	1	Guide	Brass	N/A
9	1	Ball	440 C	N/A
10	1	Stem Adapter	304 SS	N/A
11	1	Stem	304 SS	N/A
12	2	Spring Keeper	Carbon Steel	N/A
13	1	Spring	17-7 PH SS	316 SS, Inconel X750, MP35N
14	1	Body	Bronze	N/A
15	1	Jam Nut	Brass	N/A
16	1	Adjust Screw	Brass	N/A
17	1	Cap	Brass	N/A

*Local regulations may restrict the use of this product below the conditions quoted. Limiting conditions refer to standard connections only. In the interests of development and improvement of the product, we reserve the right to change the specification.*



Technical  
Information  
TI 257F/00/en

Operating Instructions  
016842-1000

## Hydrostatic Level Measurement *deltapilot S DB 50, DB 51, DB 52* *deltapilot S DB 50 L* *deltapilot S DB 53*

**Pressure sensors with CONTITE measuring cell**  
**watertight, condensation-free, stable**  
**For foodstuffs, water, wastewater, chemicals**  
**and pharmaceuticals**



### Application

The Deltapilot S product range is designed for continuous level measurement of liquids and pastes in the chemical, pharmaceutical and foodstuffs industries as well as in water and wastewater treatment. Together with an appropriate transmitter they can be used to:

- determine level, volume, differential pressure, product weight, density,
- control limit contacts and
- integrate the measuring point into various automation systems.

### Features and Benefits

- New "CONTITE" measuring cell:
  - watertight, condensation-free, with long-term stability,
  - excellent linearity (better than 0.1% of measuring range),
  - low temperature coefficient (better than 0.1%/10 K).
- Probes in compact, rod or rope versions.
- Separate mounting of housing and electronic insert (protection IP 68 at the measuring point).
- Easy and simple operation with Smart electronic inserts:
  - with FHB 20 display directly on-site,
  - with intelligent data protocols (INTENSOR; HART) or
  - using an interface card to connect to a personal computer via Rackbus or to PROFIBUS-PA.

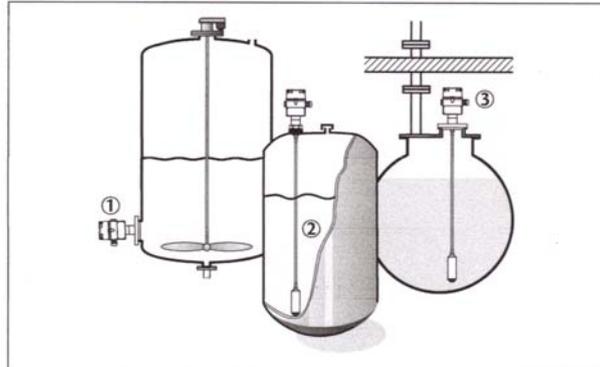
**Endress + Hauser**  
The Power of Know How



## Versions

### For Pumped Liquids

- DB 50 compact version,
- DB 51 version with rod extension,
- DB 52 version with rope extension



- ① Deltapilot S DB 50 compact version
- ② Deltapilot S DB 51 with rod extension
- ③ Deltapilot S DB 52 with rope extension

### Modular Probes for a Perfect Fit

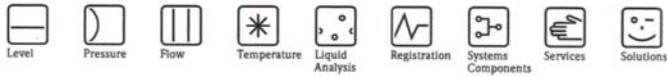
- Compact version
  - mounted in the tank wall or base.
- Rod or rope version
  - top mounted, i.e. simple equipping and retrofitting of buried tanks,
  - requires no extra openings in the base of the tank.
- Housing adapter
  - for high flood risk - allows separate mounting of housing, electronic insert, and operation remote from the measuring point,
  - IP 68 at the measuring point.

### Optimum Process Fit

- Hastelloy diaphragm gives high mechanical and chemical resistance.
- Pressure resistant diaphragm
  - overload resistance to 20x nominal pressure max. 25 bar (max. 380 psi),
  - vacuum to -900 mbar (-13 psi).
- Universal explosion protection.

### High Accuracy

- Pressure resistant measuring cell
  - overload resistance to 20x nominal pressure max. 25 bar (max. 380 psi),
  - vacuum to -900 mbar (-13 psi).
- Low temperature coefficient (better than 0.1%/10 K).



## Technical Information

# Liquiphant T FTL20

Level limit switch

Level limit switch for liquids



### Application

The Liquiphant T FTL20 is a level limit switch for all kinds of fluids and is used in tanks, containers and pipelines. It is used in cleaning and filtering systems and coolant and lubricant tanks as an overspill protection or as a pump protector.

The FTL20 is ideal for applications which previously used float switches and conductive, capacitive and optical sensors.

It also works in applications which are unsuitable for these measuring methods due to conductivity, build-ups, turbulence, flows or air bubbles.

The FTL20 is not suitable for hazardous areas and areas where the medium temperature is above 150 °C.

For hygienic areas the use of FTL20H is recommended.

### Your benefits

- Operational safety, reliability and universal applicability through use of the tuning fork measuring principle
- External test option using test magnet
- On-site control using external LED display
- Easy to install even at points difficult to access due to compact construction
- Rugged stainless steel housing (316L)
- Service-friendly plug-in connections
- For medium temperatures up to 150 °C
- With reduced overall length for medium temperature limits to 100 °C

## Function and system design

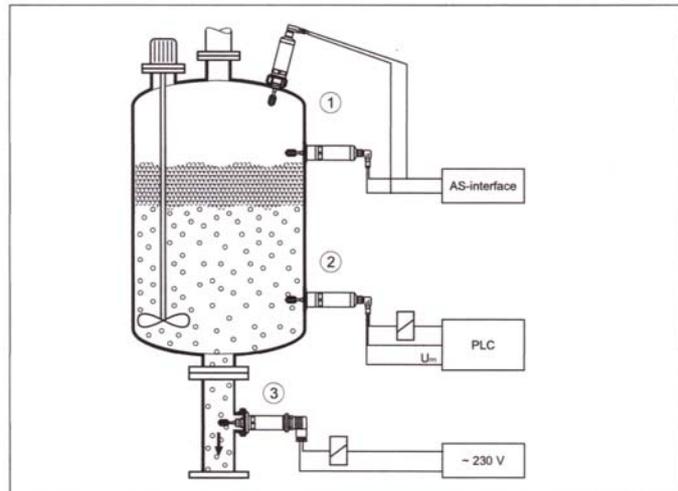
### Measuring principle

The tuning fork of the FTL20 is brought to its resonance frequency by means of a piezoelectric drive. If the tuning fork is covered by liquid, this frequency changes. The electronics of the FTL20 monitor the resonance frequency and indicate whether the tuning fork is freely vibrating or is covered by liquid.

### Measuring system

The measuring system comprises:

- Liquiphant T FTL20 limit switch
- Programmable logic control (PLC), miniature contactor, solenoid valve or AS-I bus



Example 1): Overflow protection or top level detection  
Example 2): Lower level detection or dry running protection  
Example 3): Dry running protection for pump

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ABAD JORGE, Introducción a la Logística, Folleto del IAPI, Ecuador, 2003.
2. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Norma API Estandar 650, USA, 1993.
3. AVALLONE EUGENE A. y BAUMEISTER III THEODORE, Manual del Ingeniero Mecánico, Tomo 1, Editorial McGraw Hill, 9na Edición.
4. HICKS TYLER G, Manual de Cálculos para las Ingenierías, Tomo 2, Editorial McGraw Hill, México, 1998.
5. KARASSIK IGOR J, KRUTZSCH WILLIAM C, FRASER WARREN H, Manual de Bombas, Editorial McGraw Hill, México, 1983.

6. McCABE WARREN L, SMITH JULIAN C, HARRIOTT PETER, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Editorial McGraw Hill, España, 1991.
7. MEGYESY EUGENE F, Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo, Editorial Limusa, México, 1992.
8. MILLAN SALVADOR, Cálculo y Diseño de Circuitos en Aplicaciones Neumáticas, Editorial Alfaomega, México, 1998.
9. PERRY ROBERT, CHILTON CECIL H, Manual del Ingeniero Químico, Editorial McGraw Hill, España, 1982.
10. SPIRAX SARCO, Diseño de Sistemas de Fluido, USA, 2000.