



T
621.8672
SALD

BIBLIOTECA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
GUAYAQUIL - ECUADOR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA EN EL LUGAR DE
TIPO SANITARIO PARA UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Erwin Misael / Salvatierra Proaño

GUAYAQUIL - ECUADOR

2002

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que hicieron posible la realización de esta trabajo, principalmente al Ing. Ernesto Martínez, Director de Tesis.

DEDICATORIA



A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS


TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ernesto Martínez L.

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Erwin Misael Salvatierra Proaño

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de limpieza en el lugar CIP (Clean in Place), el cual será utilizado para la limpieza y desinfección interna de superficies como tuberías y tanques de una industria de alimentos. Debido a que laboro en el departamento de mantenimiento me fue encomendada la tarea de construcción del sistema CIP, el mismo que contará con varias etapas de limpiezas automáticas lo que reemplazará a las limpiezas manuales y por inundación en soluciones detergentes de los equipos antes mencionados; con lo que se obtendrán grandes beneficios como el ahorro de detergente así como el de obtener limpiezas de alta calidad.

El proceso se lo diseñó para ser automático y controlado por un PLC, y en el proyecto se consideran condiciones como: El cálculo del flujo volumétrico más adecuado para obtener una limpieza eficiente, selección de los rociadores para los tanques a limpiar, el diseño de los tanques de limpieza, diseño de tuberías, selección de bombas y selección de los elementos de control como válvulas neumáticas, termostáticas, manuales, selección de inyectores de vapor, selección de sensores de nivel, de temperatura, flujo switch, etc.

3.1 Selección de Rociador para CIP en tanque de mezcla.

3.2 Diseño de Etapa de Pre-enjuague.

3.2.1 Diseño de tanque de Pre-enjuague.

3.2.2 Selección de Inyector de Vapor.

3.2.3 Selección de Elementos de Control

3.3 Diseño de Etapa de Detergente.

3.3.1 Diseño de tanque de Detergente.

3.3.2 Selección de Inyector de Vapor.

3.3.3 Selección de Bomba para mezcla de Detergente.

3.3.4 Selección de Tanque de Dosificación de Detergente.

3.3.5 Selección de Bomba de dosificación de Detergente.

3.3.6 Selección de Elementos de Control

3.4 Diseño de Etapa de Enjuague final.

3.4.1 Diseño de tanque de Enjuague final.

3.4.2 Selección de Elementos de Control.

3.5 Selección de Bomba de mando de CIP.

3.6 Selección de Bomba de retorno de CIP.

3.7 Diseño de Tuberías.

3.8 Selección de PLC.

3.9 Manual de Procedimiento del Proceso de CIP.

IV DETERMINACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCION.

4.1 Determinación de Costos de Construcción.

4.2 Análisis Económico.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

SIMBOLOGIA

A	Área
Δp	Caída de presión.
C	Capacidad de vapor saturado, grado centigrado
C_p	Calor específico a presión constante
d	Distancia, diámetro
f	Fuerza, factor de fricción
h	Altura, perdida de carga
h	coeficiente de transferencia de calor por convección
K	constante de conductividad térmica
L	Longitud
n	Factor de seguridad
Q	Caudal, Calor
q	Perdida de calor
ρ	Densidad.
ϕ	Diámetro
ΔT	Diferencial de temperatura.
σ	Esfuerzo normal
π	$P_i = 3.1415927$
Re	Número de Reynold
S	Resistencia
T	Temperatura
t	Tiempo, espesor
μ	Viscosidad dinámica absoluta.
v	Velocidad
V	Volumen, voltaje

INDICE DE FIGURAS.

	Pág.	
Figura 2.1	Componentes del proceso.	08
Figura 2.2	Distribución de equipos a limpiar	11
Figura 2.3	Detalles del tanque de mezcla	13
Figura 2.4	Tanques de mezcla	14
Figura 2.5	Detalles del tanque de almacenamiento	16
Figura 2.6	Tanques de almacenamiento	17
Figura 2.7	Máquina llenadora o freezer	19
Figura 2.8	Distribución de Tuberías del Proceso	20
Figura 3.1	Rociador giratorio	24
Figura 3.2	Modelos de pulverización	24
Figura 3.3	Dimensiones del rociador	28
Figura 3.4	Diagrama de caída de presión	30
Figura 3.5	Diagrama de máximo radio de limpieza horizontal	31
Figura 3.6	Tanque de pre-enjuague	34
Figura 3.7	Esquema de aislamiento de tanque de pre-enjuague	41
Figura 3.8	Esquema de inyector de vapor	46
Figura 3.9	Dimensiones de inyector de vapor	49
Figura 3.10	Inyector de vapor	50
Figura 3.11	Válvula mariposa con actuador	52
Figura 3.12	Dimensiones de la válvula	54
Figura 3.13	Dimensiones de actuadores	56
Figura 3.14	Diagrama caída de Presión vs. Capacidad	57
Figura 3.15	Diagrama de torque del actuador	58
Figura 3.16	Detector de nivel	60
Figura 3.17	Tanque de detergente	64
Figura 3.18	Esquema de aislamiento de tanque de detergente.	71
Figura 3.19	Diagrama de distribución de tuberías bomba de mezcla de detergente	76
Figura 3.20	Curva de capacidad de bomba centrífuga	77

Figura 3.21	Tanque dosificador de detergente	79
Figura 3.22	Tanque de enjuague final	84
Figura 3.23	Tramo de tubería horizontal	89
Figura 3.24	Curva de capacidades de bomba centrífuga	96
Figura 3.25	Dimensiones de tubería sanitaria	99
Figura 3.26	Soldadura de tuberías con proceso TIG barrido interno	100
Figura 3.27	PLC modelo 311	103
Figura 3.28	Conexión de expansión de capacidad de PLC	104
Figura 3.29	Diagrama de conexión CIP tanque de mezcla 1	108
Figura 3.30	Diagrama de conexión CIP tanque de almacenamiento 1	111
Figura 3.31	Diagrama de conexión CIP tanque de almacenamiento 2	113
Figura 3.32	Diagrama de conexión CIP freezer 1, línea de crema 1 y bomba de crema BO5.	115
Figura 3.33	Diagrama de conexión CIP freezer 1, línea de crema 2 y bomba de crema BO6.	117
Figura 3.34	Diagrama de conexión CIP freezer 1, línea de crema 3 y bomba de crema BO7.	119
Figura 3.35	Diagrama de conexión CIP freezer 2, línea de crema 4 y bomba de crema BO8.	121
Figura 3.36	Diagrama de conexión CIP freezer 3, línea de crema 5 y bomba de crema BO9.	123
Figura 3.37	Diagrama de conexión CIP freezer 3, línea de crema 6 y bomba de crema BO10	125

INDICE DE TABLAS.

		Pág.
Tabla 1	Tipos y radios de limpieza	25
Tabla 2	Conexiones del rociador.	21
Tabla 3	Dimensiones del rociador	27
Tabla 4	Valores típicos del coef. de calor por convección	42
Tabla 5	Capacidades del inyector en tanques	47
Tabla 6	Dimensiones del inyector de vapor	48
Tabla 7	Dimensiones de la válvula	53
Tabla 8	Dimensiones (mm) del actuador.	55
Tabla 9	Características de bomba dosificadora.	80
Tabla 10	Caída de presión en tuberías y accesorios área de mezcla	93
Tabla 11	Caída de presión en tuberías y accesorios área de almacenamiento	94
Tabla 12	Caída de presión en tuberías y accesorios área de Freezers	95
Tabla 13	Distribución línea y accesorios de retorno CIP	97
Tabla 14	Resumen de elementos de control	101
Tabla 15	Especificaciones técnicas del PLC	102
Tabla 16	Características de modelos de PLC	103
Tabla 17	Costos de materiales del CIP	127

INDICE DE PLANOS.

Plano N° 01	Diagrama de sistema CIP
Plano N° 02	Diagrama general del Proceso
Plano N° 03	Distribución de tuberías
Plano N° 04	Conjunto tanque de CIP
Plano N° 05	Puerta de inspección
Plano N° 06	Venteo
Plano N° 07	Tanque de Enjuague final

INTRODUCCION

La presente tesis trata del diseño de un sistema de limpieza en el lugar de tipo sanitario que se lo denominará C. I. P. por sus siglas en inglés Clean In Place, con el fin de ser utilizado para la limpieza y sanitización de equipos en una industria que se dedica a la fabricación de helados. En esta industria es muy importante la calidad en el proceso de fabricación por tanto es necesario contar con este tipo de sistema de limpieza.

El proyecto dará una clara idea de las ventajas y la conveniencia de tener este sistema en industrias no sólo de helados, ya que podría utilizarse donde quiera que el producto deba guardarse puro y consistente cuando pasa de un proceso o ciclo a otro, es decir en industrias que exigen limpiezas sanitarias como son: farmacéuticas, bebidas gaseosas, productos alimenticios, etc.

Para el diseño se ha considerado todas las normas de calidad como lo exige la compañía en el que será utilizado este sistema y se seleccionará los equipos y elementos más idóneos para obtener limpiezas eficientes.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Justificación del proyecto.

En la actualidad el nivel de competitividad en las industrias hace que estas apliquen formas de mejoramiento continuo, y el desarrollar un sistema automático de limpieza en el lugar de tipo sanitario C.I.P. por sus siglas en inglés (Clean in Place), desarrollará grandes beneficios para la empresa.

Debido a que laboré en el departamento de mantenimiento e ingeniería me fue encomendada la tarea del diseño y construcción de dicho sistema, el mismo que será utilizado para la limpieza y desinfección interna de superficies como: líneas de distribución, tanques de mezcla, tanques de almacenamiento

y máquinas llenadoras o freezers para esta industria que produce helados.

Al finalizar la presente tesis el equipo se ha terminado de construir y brindará el servicio para el que fue diseñado.

1.2 Descripción del problema.

En esta industria alimenticia que se dedica a la fabricación de helados es necesario realizar limpiezas internas de: tuberías, líneas, tanques y máquinas llenadoras, las mismas que deberán ser realizadas en el arranque de una producción o al cambiar de sabor al producto. Actualmente estas limpiezas se las realiza de dos formas que son: manualmente, es decir se desarma las tuberías de las líneas de producción y se las cepilla interiormente, en los tanques de almacenamiento de producto un trabajador debe entrar y proceder a realizar la limpieza, lo que podría en algún momento ocasionar un accidente. Otra forma de realizar la limpieza sanitaria es mediante la inundación de los equipos en soluciones detergentes y desinfectantes durante largos periodos de tiempo, para garantizar una buena desinfección.

Estas formas de limpieza no son las más adecuadas ni las más técnicas ya que se desperdicia una gran cantidad de detergente, tiempo con lo que se pierde eficiencia para la elaboración de helados así como personal humano que podría ser utilizado para otra actividad más provechosa en la industria.

Un sistema de CIP puede además producir grandes ventajas como son:

Al sistematizar el control de las limpiezas, se minimizan los paros por limpiezas, con lo que se logra esencialmente el uso continuo de su equipo de proceso y por ende el procesar más producto.

El control de flujo automatizado nos permitirá controlar más eficientemente las variables de formulación por lo que consecuentemente nos ayudará a mantener la calidad del producto.

Un sistema de CIP es un circuito cerrado, por lo que las condiciones sanitarias son más fáciles de mantener.

El funcionamiento seguro es reforzado y los costos de mantenimiento son reducidos.

Por todas estas razones es que se ve la necesidad de implementar un sistema automático de limpieza CIP.

Es imperativo resaltar la importancia de una buena limpieza para una industria alimenticia ya que el producto a manejar que en este caso la crema que contiene leche o jarabe hecho de agua con esencia de frutas, va a ser posteriormente ingerido en nuestros hogares.

CAPITULO 2

2. ANALISIS DE PARAMETROS DEL PROYECTO.

En este capítulo se conocerá las etapas en las que está constituido el sistema de tipo sanitario, así como los parámetros fundamentales para el posterior diseño de las mismas y los equipos a los que se le realizará las limpiezas con sus respectivas condiciones de proceso.

2.1 Descripción sobre la limpieza en el lugar de tipo sanitario CIP.

El CIP Limpieza en el Lugar (Clean in Place) es un sistema que permitirá eliminar los residuos existentes al finalizar una producción, para mantener las condiciones asépticas requeridas por el proceso.

El sistema realizará limpiezas sanitarias de superficies internas sin cambiar la condición de operación de los equipos y sin tener que desarmarlos.

La implementación de un sistema CIP en una industria de fabricación de helados es de gran importancia, ya que el operador con tan solo pulsar en el programa del tablero de control puede realizar la limpieza de la línea, tanques o llenadoras de manera automática, con resultados sistemáticos y con el mínimo esfuerzo.

Para entender mejor el proceso general de limpieza a desarrollar por el CIP, se presenta en la figura 2.2, el gráfico con todos los componentes.

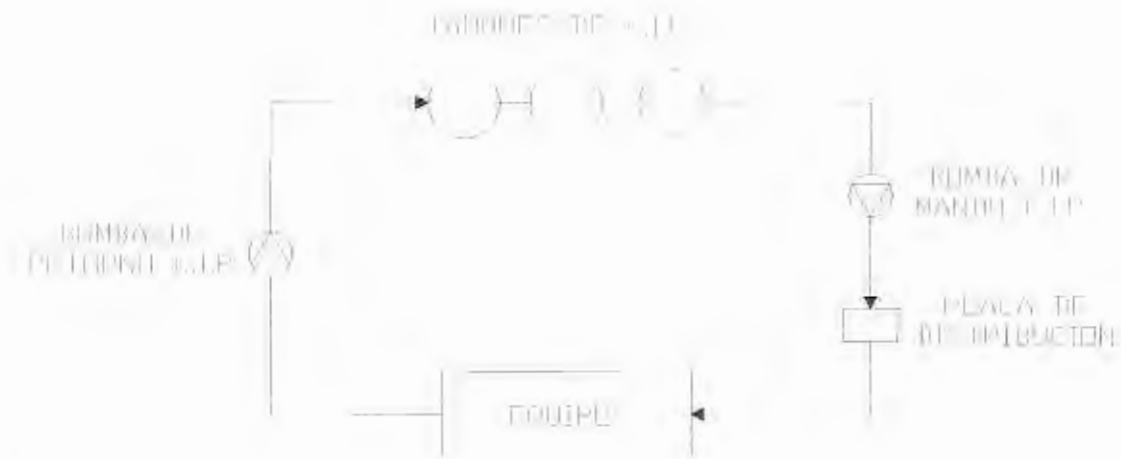


Figura 2.1. Componentes del proceso.

El sistema CIP a diseñar está constituido de tres etapas y sus funciones se describirán a continuación.

a) Etapa de Pre-enjuague.

Es la primera etapa con la cual arranca el proceso de CIP, la misma que se encarga de remover los sólidos y el producto que ha quedado en los equipos a los que se les va a realizar la limpieza, por este motivo esta agua no es reutilizada.

El agua de esta etapa debe ser caliente y pasar por los equipos por un cierto periodo de tiempo.

b) Etapa de Detergente.

Después de realizar el pre-enjuague entra la etapa de detergente y su función es la desinfectar y eliminar todos los microorganismos existentes, el agua de esta etapa si puede ser reutilizada.

Para esta etapa se puede utilizar soda cáustica o utilizar un detergente que no contenga soda cáustica con lo que ayudaría a conservar mejor los equipos.

Para garantizar una adecuada sanitización el agua de esta etapa deberá ser más caliente que el agua de pre-enjuague, además su duración será mayor al de la etapa anterior.

c) Etapa de Enjuague Final.

La etapa de enjuague final tiene como función remover la solución de detergente y bajar la temperatura de los tanques y equipos que se están lavando, por lo cual el agua si puede ser recuperada.

El agua de enjuague final pasa a temperatura ambiente por un tiempo igual al de la etapa de pre-enjuague.

2.1.1 Equipos a los que se les va a realizar CIP.

En el proceso para la fabricación de helados se cuenta con cuatro equipos a los que se les deberá realizar CIP que son: tanques de Mezcla, tanques de almacenamiento, máquinas heladeras o freezers y las líneas de distribución, estos equipos se las observa en al figura 2.2.



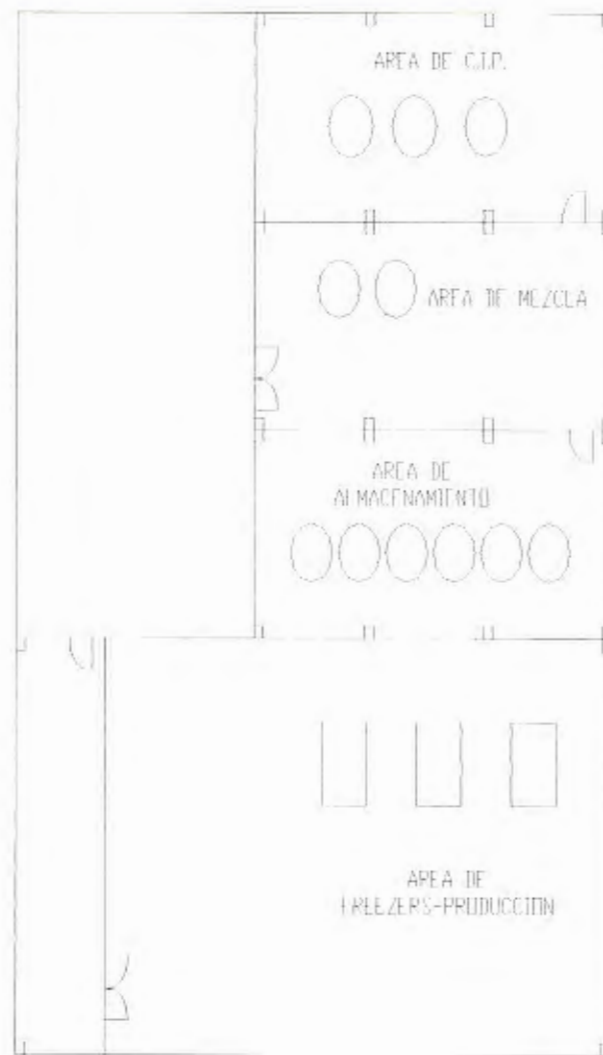


Figura 2.2 Distribución de equipos a limpiar.

a) Tanques de mezcla.

En el área de mezcla existen dos tanques asépticos los mismos que son utilizados para la preparación de la mezcla del producto que se va a producir posteriormente, además existe una bomba que es la que envía la mezcla hacia los tanques de almacenamiento.

Cada tanque de mezcla tiene las siguientes características:

Material: Acero inoxidable AISI 316

Volumen: 2.21 m^3 .

Diámetro: 1.4 m.

Altura de la sección cilíndrica: 1.35 m.

Altura de la sección cónica inferior: 0.25 m

Por requerimiento del proceso se realizará el CIP a un tanque o a los dos tanques de mezcla a la vez.

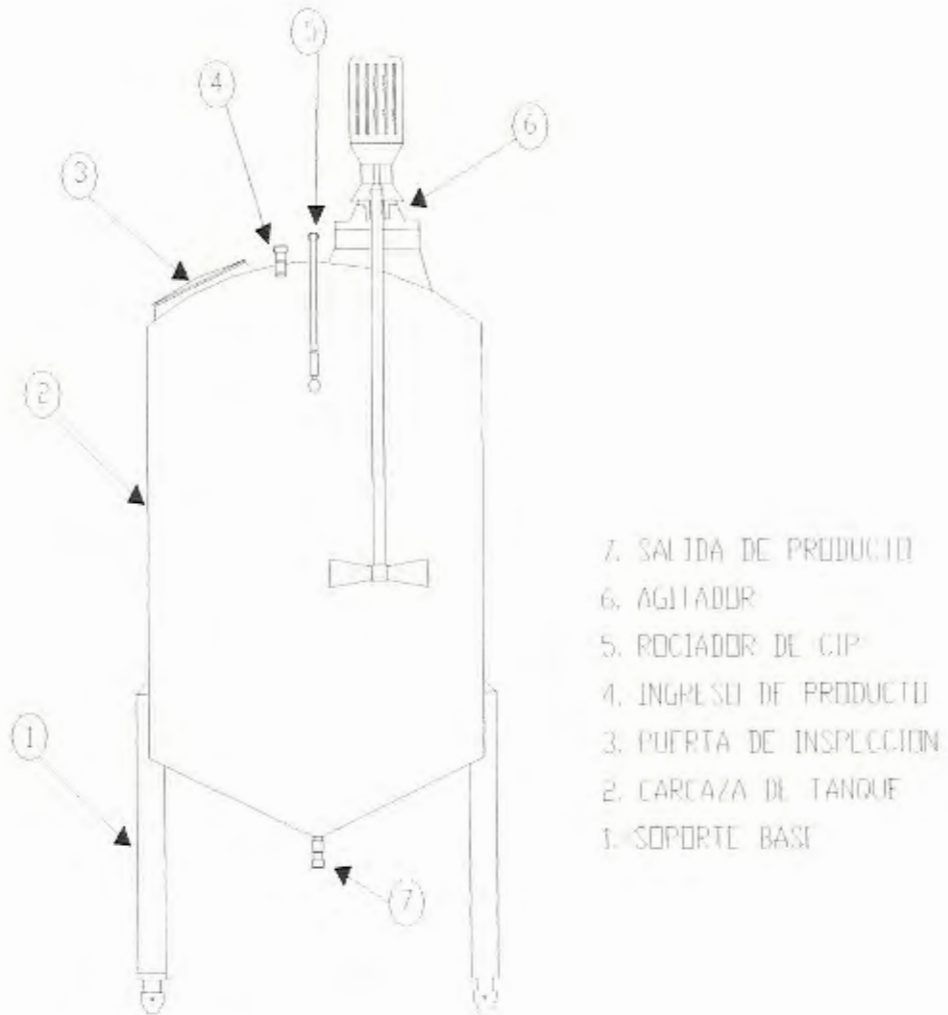


Figura 2.3. Detalles del tanque de mezcla.



Figura 2.4. Tanques de mezcla



b) Tanques de almacenamiento.

La sección de almacenamiento cuenta con seis tanques asépticos y son los que almacenan el producto luego de que ha pasado por los tanques de mezcla y es conservado por un periodo de tiempo de maduración para pasar luego al proceso de llenado.

Cada tanque de almacenamiento tiene las siguientes características:

Material: Acero inoxidable AISI 316

Volumen: 3 m³.

Diámetro: 1.4 m.

Altura de la sección cilíndrica: 1.85 m.

Altura de la sección cónica inferior: 0.25 m

Por requerimiento del proceso se realizará CIP a un tanque a la vez.

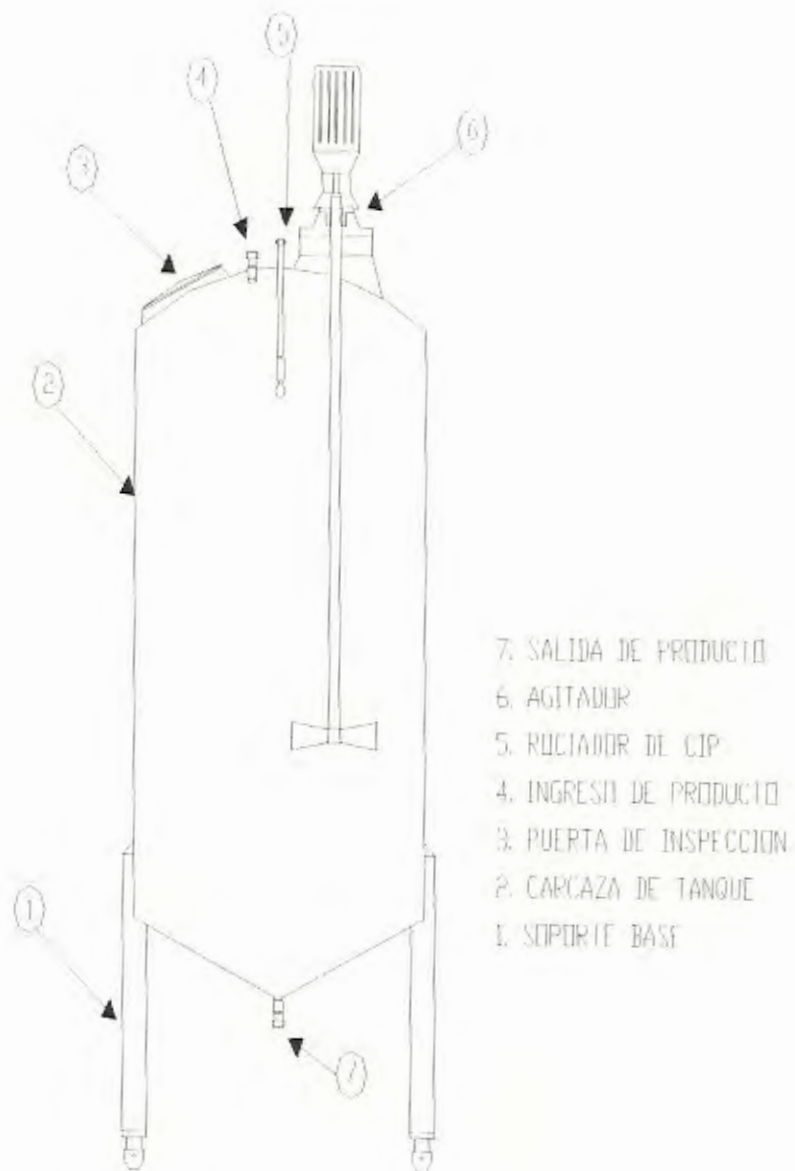


Figura 2.5. Detalles del tanque de almacenamiento.



Figura 2.6. Tanques de almacenamiento

c) Máquinas heladeras o freezers.

En la sección de envasado existen las máquinas heladeras que son las que se encargan de dar la consistencia al helado, esto se produce al mezclarse la leche con el aire a presión en un cilindro o dasher donde se bate la mezcla produciéndose la crema que pasa a ser llenada. Por esto la necesidad de realizar una eficiente limpieza al cilindro y componentes internos de la máquina heladera ya que está en contacto directo con el producto a consumir por las personas.

Existen 3 maquinas heladeras las cuales tienen una capacidad de producción de 750 Lts/Hr y trabajan independientemente.

Por requerimiento del proceso se realizará el CIP a un freezer a la vez.





Figura 2.7. Máquina llenadora o freezer

d) Líneas de distribución.

Existe una línea que distribuye el producto desde los tanque de mezcla hacia los seis tanques de almacenamiento y otras líneas que distribuyen la crema desde los tanques de almacenamiento hacia las tres maquinas llenadoras. Todas las tuberías son de acero inoxidable de 1.1/2 pulgadas o 38.2 milímetros de diámetro.

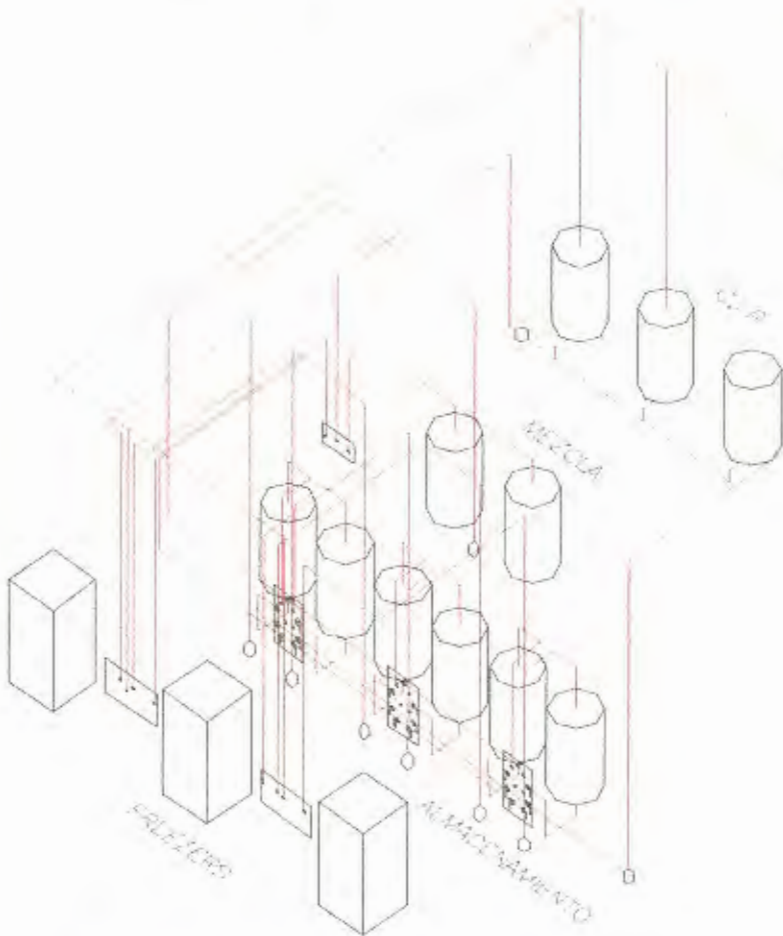


Figura 2.8. Distribución de tuberías del proceso.

2.1.2 Parámetros para el diseño de un Sistema de CIP.

El principal parámetro para el diseño de un sistema de CIP es la velocidad del flujo de la solución de limpieza, utilizando el criterio experimental se ha llegado a la conclusión de que la velocidad para el CIP es de 1.5 m/s. Se ha comprobado que ésta es la velocidad más óptima para una limpieza eficaz, independiente del tamaño de la tubería en el rango generalmente usado para la industria alimenticia, para el sistema de limpieza se utilizará una sola medida de tubería. Es importante asegurar que la velocidad del fluido se mantenga a lo largo del sistema, determinando el flujo volumétrico para la sección transversal más grande. Los beneficios de usar velocidades mayores a 1.5 m/s son mínimos ya que las pruebas han demostrado que la acción de remoción de residuos sólidos casi está en el máximo a dicha velocidad.

Comprobación de tipo de flujo en el Sistema de CIP.

Datos:

$$v = 1.5 \text{ m/s}$$

$$\phi = 1.1 / 2'' = 38.1 \text{ mm}$$

$$\mu = 8 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \quad (\text{viscosidad dinámica absoluta})$$

$$\rho = 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

CALCULOS:

$$\text{Re} = \rho \cdot v \cdot \phi / \mu \quad (1)$$

$$\text{Re} = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) \cdot (1.5 \text{ m/s}) \cdot (0.038 \text{ m}) / (8 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2)$$

$$\text{Re} = 71625$$

Como el número de Reynolds es 71625 y es mayor que 2300 se concluye que es un flujo TURBULENTO.

CAPITULO 3

3. INGENIERIA DEL PROYECTO.

3.1 Selección de Rociador para CIP en tanque de mezcla.

Cada tanque al que se le realice un CIP deberá de instalársele un rociador o spray ball, el mismo que permitirá realizar una limpieza completa ya que al girar rocía el interior de las paredes del tanque, desprendiendo de esta forma todo el residuo de producto que se encuentre en este.

A continuación se procederá a la selección del rociador en un tanque de mezcla.

En la figura 3.2 existen tres tipos diferentes de pulverización, se escoge el modelo 360°X debido a que el mismo ofrece un impacto adicional en el área horizontal y dará una limpieza más eficiente.

Tabla 1
Tipos y radios de limpieza.

Tipo	Max. Radio de limpieza A 2 bar	Radio de humedecimiento A 2 bar
LKSB ϕ 45	1.00 – 1.25 m	Min. 3 m
LKSB ϕ 45 X	1.25 – 1.40 m	Min. 3 m
LKSB ϕ 65	1.80 – 2.00 m	Min. 4 m
LKSB ϕ 65 X	2.00 – 2.4 m	Min. 4 m

De la tabla 1 se escoge el rociador de tipo LKSB F 45 X, ya que da un radio máximo de limpieza entre 1.25 y 1.4 metros que es un buen rango de limpieza para los tanques de mezcla.

Tabla .2
Conexiones del rociador.

Tipo	Modelo de rociadores	Conexiones
LKSB ϕ 45	360° 360°X 300°up 300°Xup 180°down	1/2" BSP/NPT hembra 3/4" BSP/NPT hembra Tubo con clip en 25 y 25.4 mm Tubo soldado en 25 y 25.4 mm
LKSB ϕ 45 X	360° 360°X 300°up 300°Xup 180°down	1.1/4" BSP/NPT hembra Tubo con clip en 25 y 25.4 mm Tubo soldado en 25 y 25.4 mm

De la tabla 2 se puede diferenciar que hay tres tipos de conexiones para los rociadores que son, de rosca hembra BSP y NPT, de tubo con Clip y de tubo para soldar.

Por conveniencia se selecciona el modelo para ser soldado en el lugar.

En la tabla 3 se obtienen las dimensiones del rociador.

Tabla 3
Dimensiones del rociador.

Size	LKSB ϕ 45					LKSB ϕ 65				
	Thread BSP/NPT	Clip on		Weld on		Thread BSP/NPT	Clip on		Weld on	
		25mm 25.4mm	NW25	25mm 25.4mm	NW25		38mm	NW40	38mm	NW40
OD	-	28.9	25.7	25.0	29.0	-	41.6	37.7	38.0	41.0
ID	-	25.6	22.7	21.8	26.0	-	38.4	34.7	34.8	38.0
t	-	1.6	1.5	1.6	1.5	-	1.6	1.5	1.6	1.5
A	122/135	140		500		153/161	178		1000	
ϕ B	45	45		45		65	65		65	
C	32	-		-		46	-		-	
D	12	-		-		15	-		-	
E	-	30		-		-	40		-	
F	-	15		-		-	20		-	
ϕ G	-	4.5		-		-	4.5		-	
Weight (kg)	0.5	0.5		0.9		0.8	0.9		2.4	

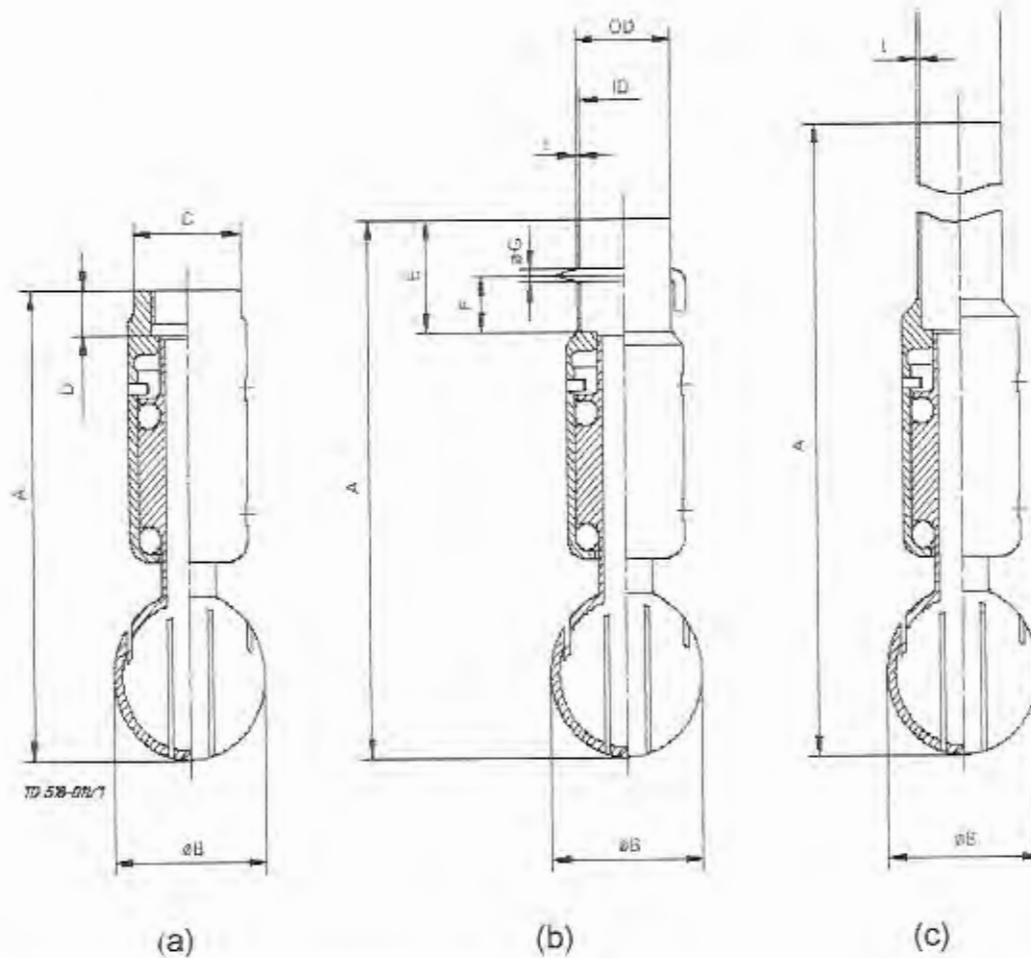


Figura 3.3 Dimensiones del rociador.

Finalmente las dimensiones del rociador serán de: $OD= 25.0$ mm, $ID= 21.8$ mm, $t= 1.6$ mm, $A= 500$ mm, $\phi B= 45$ mm, y un peso de 0.9 Kg. Todas estas dimensiones se las puede observar en la figura 3.3 literal (c), que corresponde al tipo de conexión soldada que es la seleccionada.



Para determinar la caída de presión generada por el rociador, se necesita conocer el caudal a manejar en el sistema, por lo que se procede a calcularlo.

Cálculo de flujo volumétrico a manejar en el sistema C.I.P.

Condiciones iniciales:

La velocidad del fluido será de 1.5 m/s que equivale a 5400 m/Hr.

El diámetro de la tubería ϕ será constante y de 1.1/2 pulgadas igual a 38.2 milímetros.

$$v = 1.5 \text{ m/s} = 5400 \text{ m/Hr}$$

$$\phi = 1.1/2 \text{ pulg.} = 38.2 \text{ mm}$$

$$A = \pi * \phi^2 / 4 \tag{2}$$

$$A = \pi * (0.0381 \text{ m})^2 / 4$$

$$A = 0.001146 \text{ m}^2$$

$$Q = v * A \tag{3}$$

$$Q = (5400 \text{ m/Hr}) * (0.001146 \text{ m}^2)$$

$$Q = 6 \text{ m}^3 / \text{Hr}$$

El flujo volumétrico que se manejará durante el proceso de limpieza será de $6 \text{ m}^3/\text{Hr}$. Por requerimiento del proceso de producción se deberá de realizar el CIP a dos tanques simultáneamente por lo que en ese instante se requerirá el doble del caudal es decir $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$ lo cual garantizará una limpieza eficiente debido a que este es el momento más crítico. Se tendrá finalmente para todo el proceso de CIP un caudal de $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$ con una velocidad del fluido ahora de 3 m/s .

LKSB ø65

Δp [kPa]

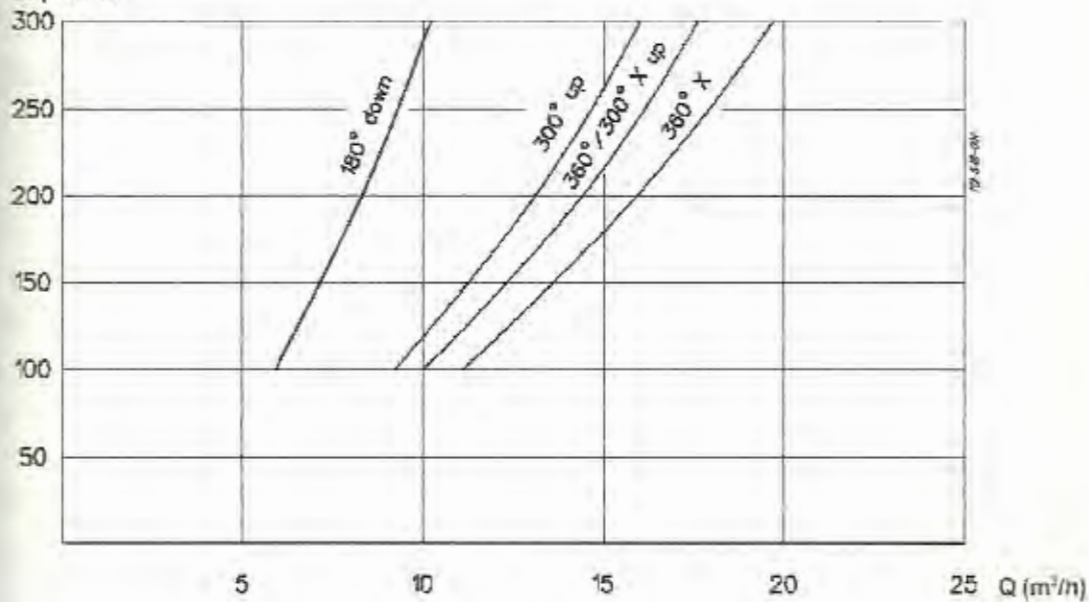


Figura 3.4. Diagrama de caída de presión.

En el diagrama de la figura 3.4, con los $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$ y con el modelo 360 X, se determina que la caída de presión en el rociador será de 140 KPa.

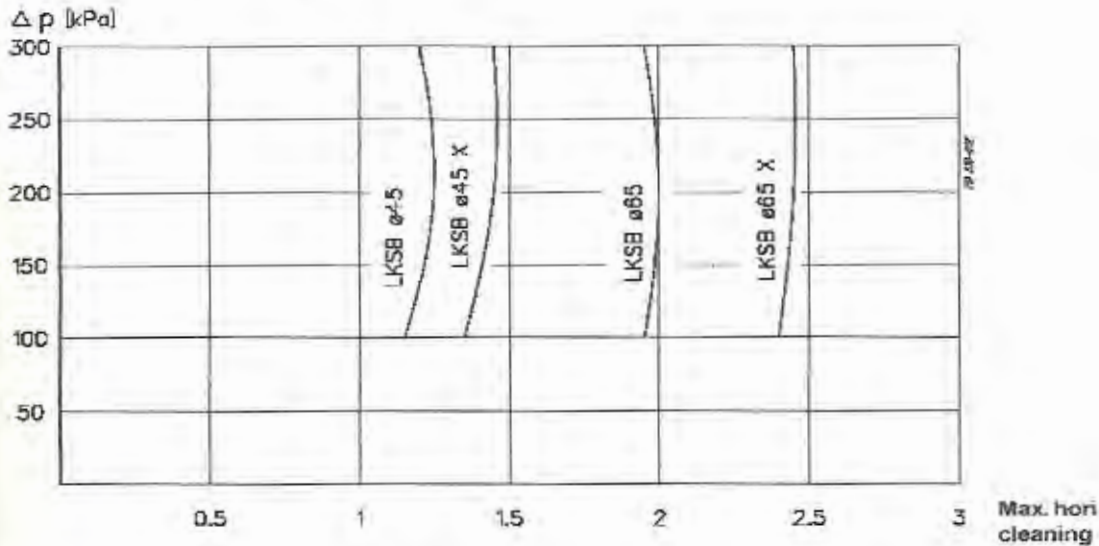


Figura 3.5. Diagrama de máximo radio de limpieza horizontal.

En el diagrama de la figura 3.5 se determinará el máximo radio de limpieza horizontal que puede realizar el rociador LKSB ϕ 45 X que fue el seleccionado.

El rociador tendrá un radio de limpieza horizontal de 1.4 m que es suficiente ya que los tanques de mezcla tienen un diámetro de 1.4 m.

Finalmente el rociador seleccionado será uno de tipo LKSB ϕ 45 X, modelo 360 X.

3.2 Diseño de Etapa de Pre-enjuague.

Esta etapa esta constituida por un tanque de pre-enjuague al cual le ingresa agua fresca si el proceso de CIP no está activo y el agua en esta etapa no es reutilizable.

La temperatura en el tanque de pre-enjuague debe ser mínima de 60° C, y para lograr esa temperatura se inyectará vapor directamente al tanque por medio de un inyector de vapor que se lo seleccionará posteriormente.

La duración del ciclo debe ser por lo menos de 5 min.

El agua que se utilizará en la tercera y ultima etapa la de enjuague final, deberá de ser recuperada en el tanque de pre-enjuague, debiendo tenerse en cuenta esto para el cálculo de la capacidad del tanque, ya que recibirá un volumen de agua adicional al de su etapa.

3.2.1 Diseño de tanque de Pre-enjuague.

Para el diseño del tanque de pre-enjuague se desarrollarán los siguientes pasos:

a) Cubicaje del Tanque de Pre-enjuague.

Para determinar el volumen del tanque se requieren dos datos que son: el flujo volumétrico a manejar en el proceso de limpieza que es de $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$ y el tiempo de limpieza que es de 10 minutos máximo.

$$V = Q * t \quad (4)$$

$$V = (12 \text{ m}^3 / \text{Hr}) * (0.167 \text{ Hr})$$

$$V = 2 \text{ m}^3$$

Se necesita un tanque de 2 m^3 de volumen, pero como aquí se recuperará el agua que se utiliza en la etapa de enjuague final, la misma que realiza una limpieza máximo de 10 minutos, por esto adicionalmente deberá almacenar otros 2 m^3 . En conclusión se requiere un tanque de pre-enjuague de 4 m^3 .

b) Dimensionamiento del Tanque de Pre-enjuague.

Con el propósito de aprovechar la longitud total de la plancha, el diámetro del tanque deberá ser igual al perímetro de dos planchas.

La longitud de la plancha es de 2.44 metros.

$$l = \pi * \phi \quad (5)$$

$$\phi = l / \pi$$

$$\phi = 4.88 / \pi$$

$$\phi = 1.5m$$

El tanque de pre-enjuague tendrá un diámetro de 1.5 m y un volumen de 4 m³.



Figura 3.6. Tanque de pre-enjuague.

$$V_T = V_1 + V_2$$

VOLUMEN 1

$$V_1 = A_{base} * h_1 \quad (6)$$

$$V_1 = \pi * \phi^2 / 4 * h_1$$

VOLUMEN 2

$$V_2 = 1/3 A_{base} * h_2 \quad (7)$$

$$V_2 = 1/3 \pi * \phi^2 / 4 * h_2$$



$$h_2 = \phi / 2 * \text{Tan}20^\circ$$

$$V_2 = 1/24\pi * \phi^3 * \text{Tan}20^\circ$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 4m^3$$

$$V_T = \pi * \phi^2 * h_1 + 1/24\pi * \phi^3 * \text{Tan}20^\circ$$

Se despeja h1 y se obtiene

$$h_1 = [(4 * V_T) / (\pi * \phi^2)] - [(\phi * \text{Tan}20^\circ) / 6]$$

$$h_1 = [(4 * 4) / (\pi * 1.5^2)] - [(1.5 * \text{Tan}20^\circ) / 6]$$

$$h_1 = 2.2m$$

Se debe construir un tanque con las siguientes dimensiones:

Diámetro (ϕ)= 1.5 m

Altura 1 (h_1)= 2.2 m

Altura 2 (h_2)= 0.30 m

c) Diseño mecánico del Tanque de Pre-enjuague.

Mediante el diseño mecánico se determinará el mínimo espesor del tanque con lo que podrá resistir las condiciones de trabajo.

El tanque tendrá un tubo de venteo por lo que en su interior estará soportando la presión atmosférica es decir de 101300 Pa mas la presión de la columna de agua que será igual a:

$$p_T = p_0 + (\rho * g * h_r) \quad (8)$$

$$p_T = 101,300 Pa + (1000 Kg / m^3 * 9.8 m / s^2 * 2.47 m)$$

$$p_T = 125,506.0 Pa$$

$$(t / r_i) \times (1 / 20)$$

Se analiza como cilindro de pared delgada.

$$\sigma = P / A_r \quad (9)$$

σ es el esfuerzo interior que soporta el tanque

A_r es el área de resistencia que es:

$$A_r = \pi * \phi_i * t \quad (10)$$

ϕ_i es el diámetro interior del tanque.

t es el espesor de pared del tanque.

f es la fuerza aplicada sobre la pared del tanque que es igual a:

$$F = p_T * A_f \quad (11)$$

p_T es la presión total en el interior del tanque.

A_f es el área de aplicación de la fuerza que es:

$$A_f = \pi * \phi_i^2 / 4 \quad (12)$$

Finalmente,

$$\sigma = (p_T * \phi_i) / (4t)$$

Se procede a analizar por teoría de falla estática.

$$\sigma = S_y / n \quad (13)$$

S_y es la resistencia a la fluencia que para el acero inoxidable AISI 304 es 276 Mpa.

n es el factor de seguridad de diseño.

Reemplazando 9 en la fórmula 13

$$S_y / n = (p_T * \phi_i) / (4t)$$

$$t = (n * p_T * \phi_i) / (4S_y)$$

$$t = (2 * 125,506 Pa * 1.5m) / (4 * 276 * 10^6 Pa)$$

$$t = 3.41 * 10^{-4} m$$

$$t = 0.34 mm$$

Para soportar estas condiciones el tanque de pre-enjuague deberá tener como mínimo un espesor de pared de 0.34 mm. Por razones referente a la soldadura y durabilidad el tanque tendrá un espesor de 2 mm.

d) Diseño de aislamiento en Tanque de Pre-enjuague.

Para determinar el espesor de aislamiento en el tanque de pre-enjuague se consideran las siguientes suposiciones:

1. Hay condiciones de estado estable.
2. Conducción radial a través de la pared del tanque.
3. Conductividad térmica constante
4. Convección libre en el medio exterior.

El calor almacenado en el tanque de pre-enjuague por efecto de mantenerlo a 60 °C, mediante la inyección de vapor al agua se lo determina a continuación:

$$Q = (m * c_p * \Delta T) / t \quad (14)$$

Donde m es la masa de agua que se va a calentar.

$$m = \rho * V \quad (15)$$

$$m = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) * (4 \text{ m}^3)$$

3.2.2 Selección de Inyector de Vapor.

El vapor utilizado para el calentamiento del tanque es proporcionado por un caldero pirotubular de 45 BHP con una generación de vapor de 1750 Lb/Hr o 875 Kg/Hr y una presión de vapor al ingreso del tanque de 7 bar, (100 psig), para la selección del inyector se debe calcular la capacidad de vapor saturado que se requiere para lograr el calentamiento deseado.

Cálculo de capacidad de vapor saturado en el tanque de Pre-enjuague.

Datos:

$$\text{Volumen} = 4 \text{ m}^3$$

$$T_i = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C = (m * c_p * \Delta T) / (h_{fg} * t) \quad (21)$$

Donde

C es la capacidad de vapor saturado.

m es la masa de agua a calentar.

$$m = \rho * V$$

$$m = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) * (4 \text{ m}^3)$$

$$m = 4000 \text{ Kg}$$

Las propiedades se determinan a la siguiente temperatura promedio.

$$\bar{T} = (T_i + T_u) / 2$$

$$\bar{T} = (27 + 60) / 2 = 44^\circ \text{C} = 317^\circ \text{K (propiedades)}$$

c_p que es el calor específico a presión constante, de la tabla A-6 de el apéndice se observa que

$$(c_p)_{317^\circ \text{K}} = 4.179 \text{KJ} / \text{Kg}^\circ \text{K}$$

ΔT es el incremento de temperatura que gana el agua.

$$\Delta T = T_o - T_i$$

$$\Delta T = 60 - 27$$

$$\Delta T = 33^\circ \text{K}$$

h_{fg} es la entalpia del vapor saturado, que del apéndice A es:

$$(h_{fg})_{317^\circ \text{K}} = 2402 \text{KJ} / \text{Kg}$$

$$C = (m * c_p * \Delta T) / (h_{fg} * t)$$

$$C = [(4000 \text{Kg})(4.179 \text{KJ} / \text{Kg}^\circ \text{K})(33^\circ \text{K})] / [(2402 \text{KJ} / \text{Kg})(1 \text{Hr})]$$

$$C = 230 \text{Kg} / \text{Hr}$$

$$C = 507 \text{Lb} / \text{Hr}$$

Para lograr el calentamiento en el tanque de pre-enjuague se requiere de 230 Kg/Hr de vapor saturado.

Se procederá a seleccionar el inyector de vapor utilizando el criterio y las tablas experimentales del fabricante.

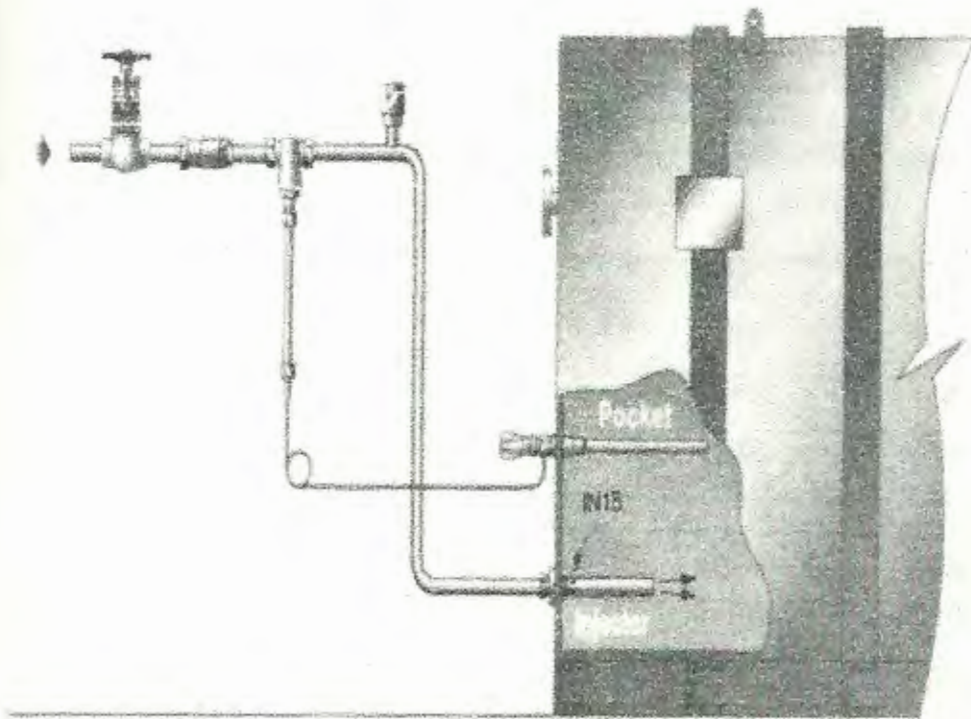


Figura 3.8. Esquema de inyector de vapor.

Tabla 5.
Capacidades del inyector en kg/hr en tanques de
calentamiento atmosférico

Tipo de Inyector	IN15	IN25M	IN40M
Presión del vapor a la entrada del inyector en (bar g)	Capacidad en Kg/Hr de Vapor saturado		
1	20	145	345
2	48	240	450
3	66	350	570
4	84	440	685
5	102	550	800
6	120	650	910
7	138	750	1020
8	156	860	1130
9	174	960	1245
10	192	1055	1360
11	210	1160	1485
12	228	1270	1600
13	246	1370	1710
14	264	1470	1830
15	282	1580	1940
16	300	1680	2055
17	318	1775	2170

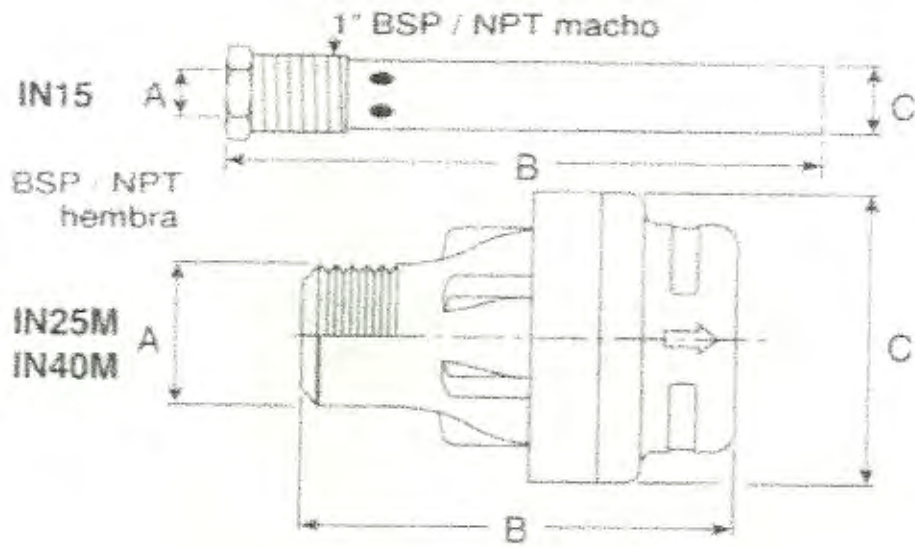


Figura 3.9. Dimensiones de inyector de vapor

Finalmente se obtiene que el inyector seleccionado es de dimensiones $A = \frac{1}{2}$ ", $B = 84$ mm, $C = 71$ mm y el peso es de 0.8 Kg. Se observa la forma en que se dirige el flujo de vapor en la figura 3.10.

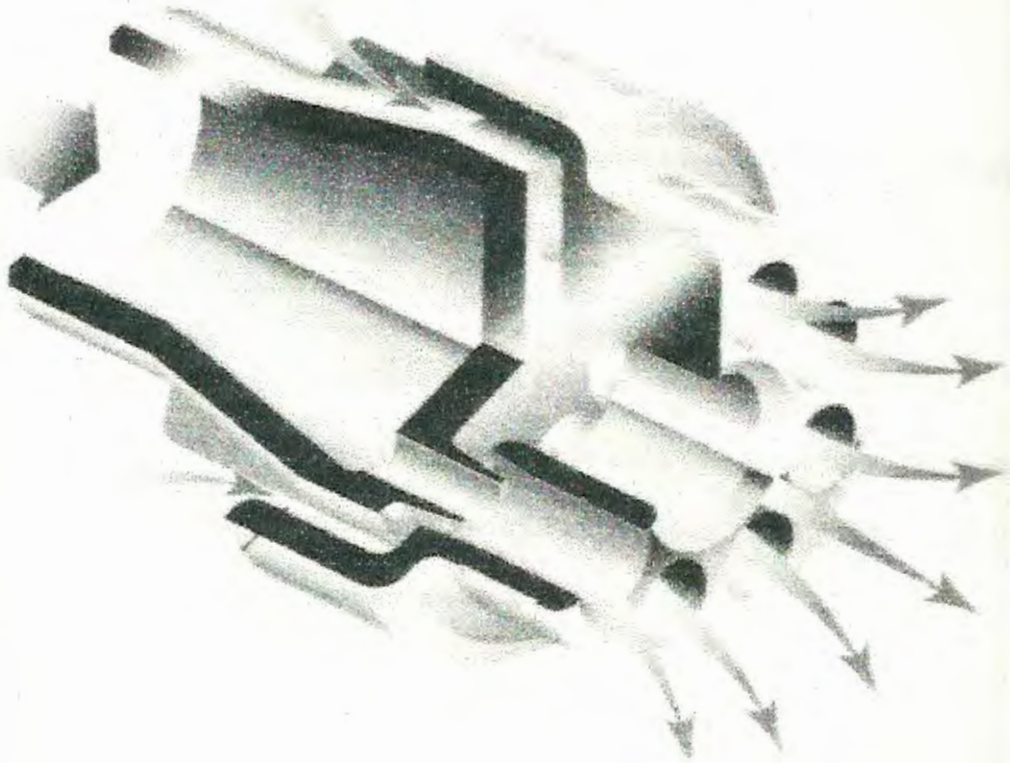


Figura 3.10. Inyector de vapor

3.2.3 Selección de Elementos de Control.

Para el control de las diferentes variables del proceso en la etapa de pre-enjuague se requiere de elementos de control que se procederá a seleccionar.

Todos los elementos de control tendrán una tensión de alimentación de 24 voltios de corriente alterna.

a) Válvula neumática de tipo mariposa.

Se requiere de una válvula automática de tipo mariposa que la controle un actuador y que trabaje bajo ciertas condiciones iniciales:

La válvula deberá soportar una presión de agua de 1.22 bar, que es la presión de columna de agua del tanque completamente lleno, y una temperatura máxima de 60°C.

El actuador trabajará con una presión de aire entre 1 y 6.8 bar que es lo que se dispone en la Planta y el aire tiene una temperatura aproximadamente de 50°C.

La válvula tendrá una función normalmente cerrada, ya que el agua pasa a realizar la limpieza al arrancar el CIP en esta etapa.



Figura 3.11. Válvula mariposa con actuador

La válvula será de 1.1/2" (38 mm)

Tabla 7.

Dimensiones de la válvula

LKB, LKB-2, LKB-F:

Size	25 mm	38 mm	51 mm	63.5 mm	76.1 mm	101.5 mm	NW 25	NW 32	NW 40	NW 50	NW 65	NW 80	NW 100	NW 125	NW 150
A	42.0	42.0	61.0	61.0	79.5	106.0	42.0	42.0	42.0	61.0	61.0	79.5	106.0	106.0	98.0
B	15.5	16.7	16.6	17.5	16.6	18.0	14.7	15.9	16.7	16.6	17.5	16.0	16.0	18.0	18.0
C	49.0	49.0	58.5	69.5	73.5	93.0	49.0	49.0	54.0	63.0	75.0	79.0	93.0	115.0	122.0
OD	25.6	38.6	51.6	64.1	76.6	102.2	30.0	36.0	42.0	54.0	70.0	85.0	104.0	129.0	154.0
ID	22.5	35.5	48.5	60.5	72.0	97.6	26.0	32.0	38.0	50.0	66.0	81.0	100.0	125.0	150.0
I	1.55	1.55	1.55	1.8	2.3	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0
E	32.5	32.5	42.0	52.0	57.0	77.0	33.3	33.3	37.7	46.6	57.3	63.0	77.0	96.7	104.0
F	78.0	78.0	99.0	117.0	132.0	169.0	79.0	79.0	86.5	105.7	125.0	143.0	169.0	199.0	215.0
G	8.0	8.0	8.0	8.0	10.0	12.0	8.0	8.0	8.0	8.0	10.0	10.0	12.0	14.0	15.0
H ₁	47.0	47.0	52.0	54.0	62.0	80.0	47.0	47.0	47.0	52.0	62.0	64.0	80.0	110.0	80.0
H ₂	83.0	83.0	92.0	92.0	114.0	132.0	83.0	83.0	83.0	92.0	114.0	116.0	132.0	136.0	152.0
J	82.0	82.0	92.0	102.0	107.0	127.0	74.0	74.0	78.0	88.0	98.0	104.0	118.0	150.0	161.0
K	120.0	120.0	120.0	120.0	162.0	162.0	120.0	120.0	120.0	120.0	162.0	162.0	162.0	223.0	338.0
L ID/ISO	42.0	42.0	44.5	46.5	49.5	58.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M ID/ISO	56.5	56.5	58.0	59.0	63.0	81.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L DS	42.0	43.5	46.0	51.0	55.0	64.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M DS	54.5	54.5	57.0	59.0	63.0	72.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L SMS	38.5	43.5	46.0	51.0	55.0	75.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M SMS	51.0	52.5	65.0	56.0	61.0	72.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L BS	45.7	45.7	48.2	49.2	53.2	67.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M BS	56.5	56.5	59.0	60.0	64.0	85.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L DIN	45.5	45.5	48.0	52.0	61.0	70.0	40.0	40.0	37.0	37.0	43.0	48.0	61.0	55.0	115.0
M DIN	61.5	61.5	66.0	67.0	71.0	83.0	45.5	48.5	49.5	54.0	63.0	69.0	84.0	89.0	125.0
L Clamp	45.0	45.0	47.5	48.5	52.5	61.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	26.5	26.5	30.5	40.5	43.5	63.0	27.3	27.3	31.7	35.1	45.8	49.5	63.0	72.7	85.0
P	42.0	42.0	46.0	48.0	58.0	58.0	42.0	42.0	42.0	46.0	58.0	58.0	58.0	62.0	78.0
Weight LKB-F (kg)	1.6	1.3	2.1	2.9	5.0	7.9	1.6	1.6	1.7	2.6	4.7	5.8	7.9	11.7	12.3
Weight LKB/ LKB-2 (kg)	1.2	1.0	1.5	2.1	3.0	4.7	1.2	1.1	1.3	1.8	3.0	3.5	5.1	7.5	9.0

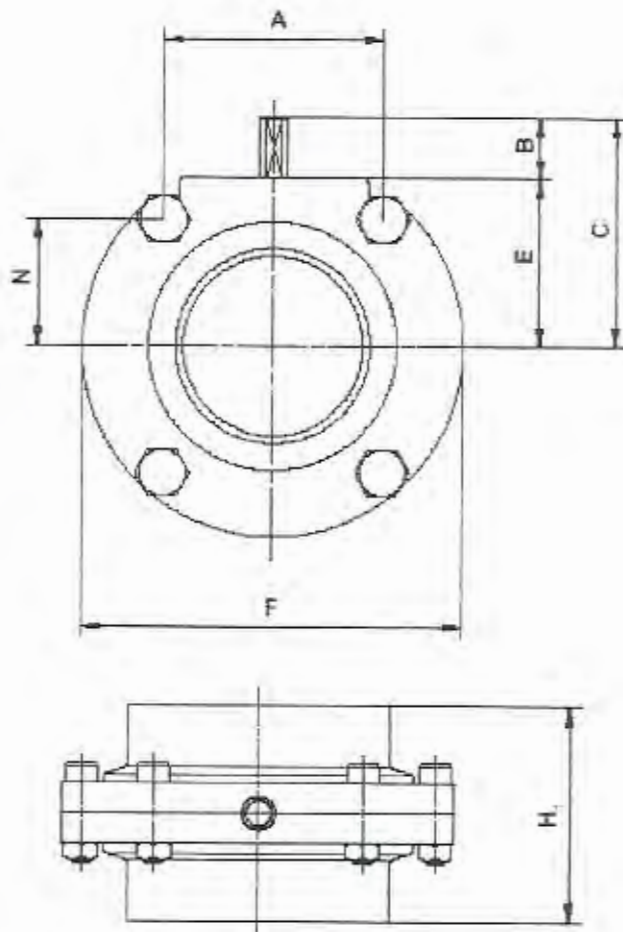


Figura 3.12. Dimensiones de la válvula.

De la tabla 7 y figura 3.12 se determina que la válvula tendrá las siguientes dimensiones: $A = 42.0$, $B = 16.7$, $C = 49.0$, $OD = 38.6$, $ID = 35.5$, $t = 1.55$, $E = 32.5$, $F = 78.0$, $H_1 = 47.0$, $N = 26.5$ y el peso será de 1 Kg.

Tabla 8.

Dimensiones (mm) del actuador.

LKLA and LKLA-T:

Valve size	25-63.5 NW25-50	76.1 NW65-80	101.6 NW100	101.6 NW100	NW125	NW125	NW150	NW150
A ₁	244	242	242	363	246	363	246	363
A ₂	193	191	191	316	195	316	195	316
A ₃	244	244	244	337	244	337	244	337
A ₄	173	173	173	290	173	290	173	290
D	85	85	85	133	85	133	85	133
d	17	17	17	30	20	30	20	30
l	16.5	16.5	16.5	34	16.5	34	16.5	34
S	8	10	12	12	14	14	15	15
Function	NC,NO,A/A	NC,NO,A/A	NC,NO,A/A	NC,NO,A/A	A/A	NC,NO,A/A	A/A	NC,NO,A/A

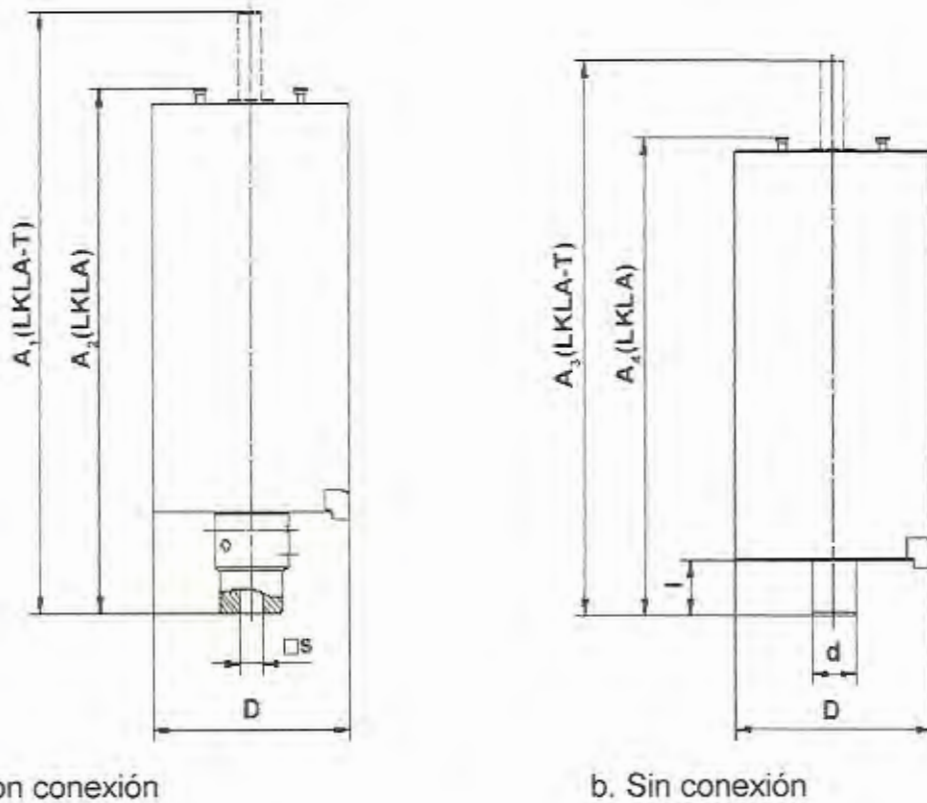


Figura 3.13. Dimensiones de actuadores.

De la tabla 8 y figura 3.13 se determina que el actuador (a) con conexión que es el seleccionado tendrá las siguientes dimensiones: $A_1 = 244$ mm, $A_2 = 193$ mm, $D = 85$ mm, $S = 8$ mm con una función normalmente cerrada.

Se ha seleccionado la válvula LKB para ser soldada en tubos de 1.1/2 pulgadas o 38 mm.

Ahora se determinará la caída de presión en la válvula LKB en posición totalmente abierta.

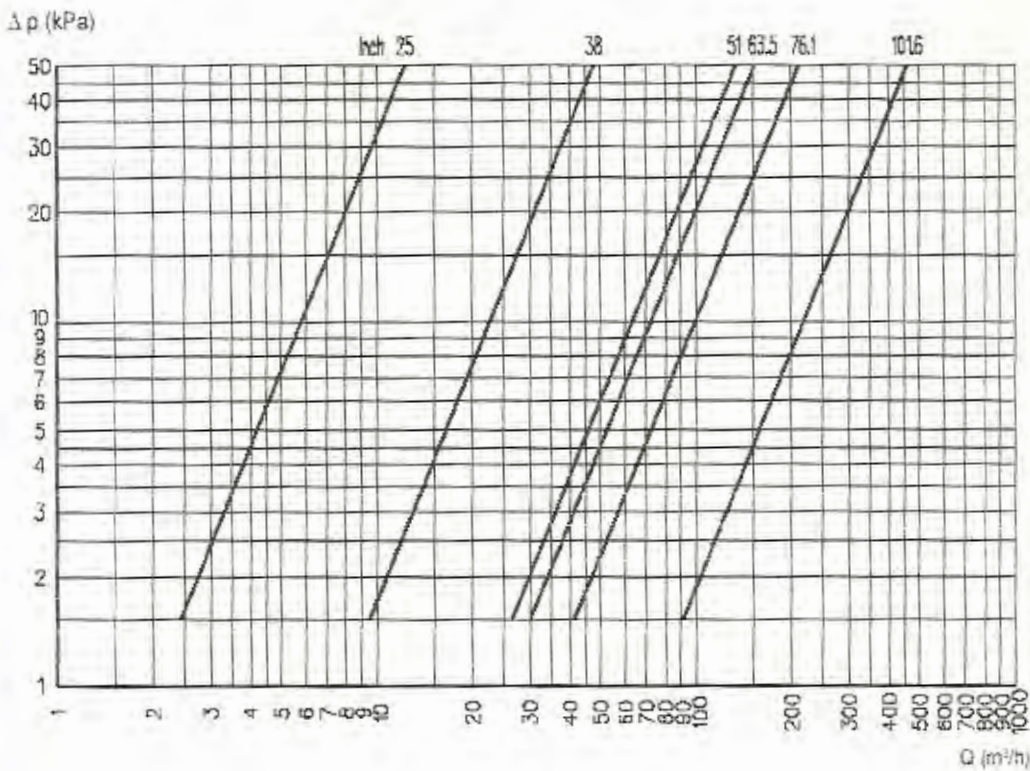


Figura 3.14. Diagrama caída de Presión vs. Capacidad

En la figura 3.14, con un caudal de $12 \text{ m}^3/\text{h}$ la válvula da una caída de presión de 2.3 KPa

En la Figura 3.15 se determina el torque que utiliza el actuador de 85 mm de diámetro en las diferentes posiciones de la válvula.

LKLA Ø85 mm:

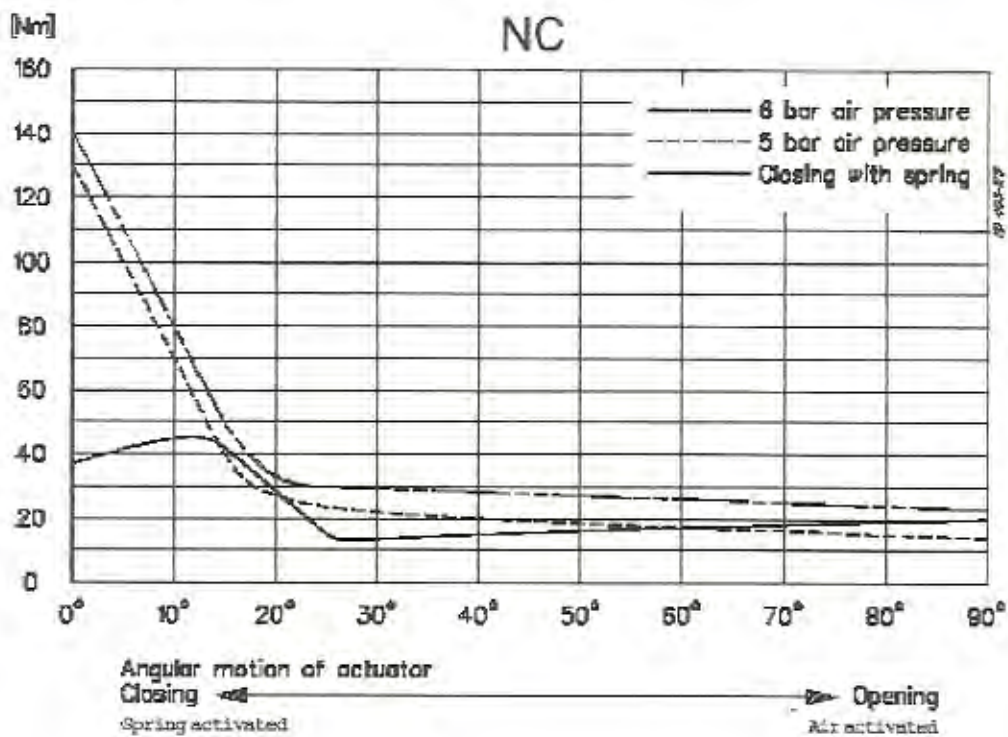


Figura 3.15. Diagrama de torque del actuador.

Datos técnicos de la válvula seleccionada:

Válvula:

Máxima presión del producto 1000 KPa (10 bar)

Mínima presión de producto Vacío.

Rango de temperatura -10°C a +95°C.

Actuador:

Máxima presión del aire 700 KPa (7 bar)

Mínima presión de producto 400 KPa (4 bar)

Rango de temperatura -25°C a +90°C.

Consumo de aire ϕ 85 mm 0.24*p (bar)

Peso ϕ 85 mm 3 Kg.

Material:

Válvula:

Parte en contacto con el producto AISI 304 o 316L.

Acabado Semiabrillantado.

Otras partes AISI 304.

Actuador:

Cuerpo del actuador AISI 304.

b) Detector de nivel.

El detector de nivel seleccionado puede trabajar con en un rango entre 19-250 V, 50-60 Hz.

Es un detector capacitivo que trabaja al variar su capacidad cuando entra en contacto sus electrodos con el agua.

En la figura 3.16 se muestran las dimensiones y material del que esta construido.

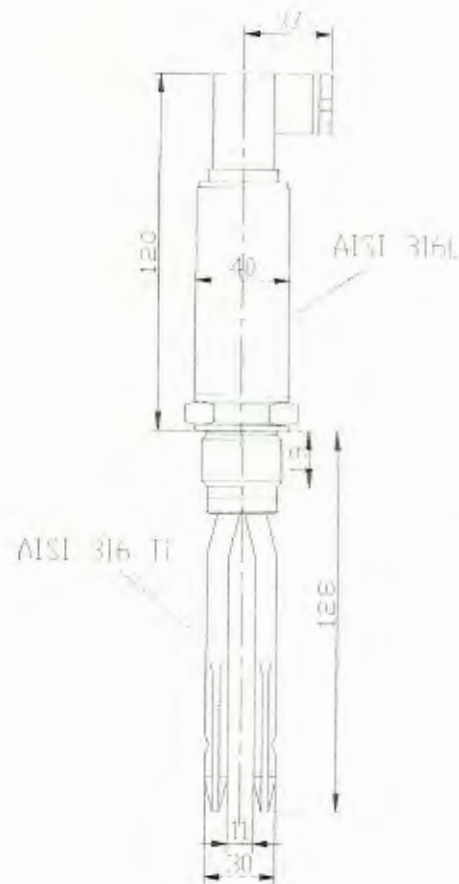


Figura 3.16. Detector de nivel

En el tanque de pre-enjuague existen dos detectores de nivel, uno es el que detecta el nivel alto de agua, y el otro detecta el nivel medio.

3.3 Diseño de Etapa de Detergente.

La Etapa de detergente esta conformada por un tanque de detergente que puede llenarse con agua fresca si el sistema CIP no está activo. La temperatura en el tanque debe ser mínima de 85° C, al igual que en el tanque de pre-enjuague se inyectará vapor directamente al tanque de detergente por medio de un inyector de vapor que se lo seleccionará posteriormente.

La concentración de detergente a utilizar es de 1 a 2 % y es preferible utilizar un detergente a base de meta silicato de sodio que no contenga soda cáustica que es altamente corrosiva,

La limpieza de esta etapa debe durar 10 minutos, pero por razones de diseño del tanque se considera un máximo de 20 minutos con lo que se garantizará la eliminación de todos los micro organismos.

El agua con detergente de esta etapa luego de cumplir su limpieza es recuperada siempre y cuando tenga una temperatura de 70° C.

3.3.1 Diseño de tanque de Detergente.

Para el diseño del tanque de detergente se desarrollarán los siguientes pasos:

a) Cubicaje del Tanque de Detergente.

Para determinar el volumen del tanque se necesitan dos datos que son: el flujo volumétrico a manejar que es de $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$ y el tiempo de 20 minutos como máximo para la limpieza.

$$V = Q * t$$

$$V = (12 \text{ m}^3 / \text{Hr}) * (0.333 \text{ Hr})$$

$$V = 4 \text{ m}^3$$

b) Dimensionamiento del Tanque de Detergente.

Con el propósito de aprovechar la longitud total de la plancha, el diámetro del tanque será igual al perímetro de dos planchas.

Longitud de la plancha es de 2.44 metros.

$$l = \pi * \phi$$

(4)

$$\phi = l / \pi$$

$$\phi = 4.88 / \pi$$

$$\phi = 1.5 \text{ m}$$

El tanque de pre-enjuague tendrá un diámetro de 1.5 m y un volumen de 4 m^3 .

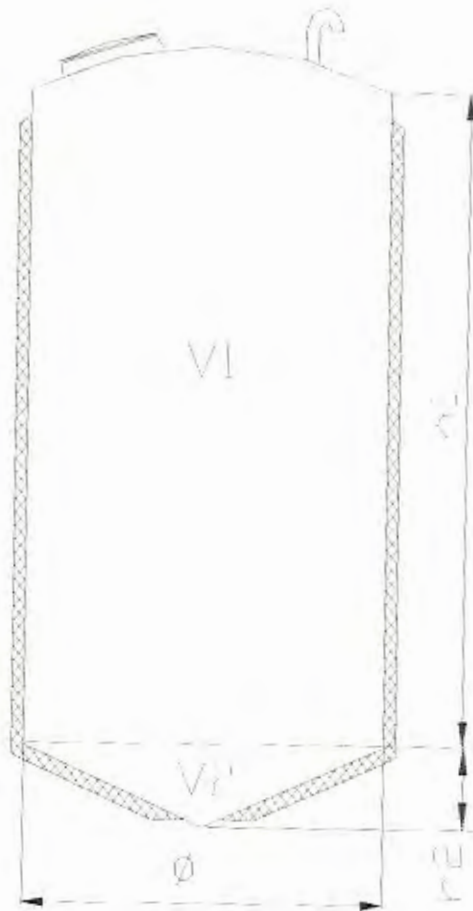


Figura 3.17. Tanque de detergente.

$$V_T = V_1 + V_2$$

VOLUMEN 1

$$V_1 = A_{base} * h_1 \quad (6)$$

$$V_1 = \pi * \phi^2 / 4 * h_1$$

VOLUMEN 2

$$V_2 = 1/3 A_{base} * h_2 \quad (7)$$

$$V_2 = 1/3 \pi * \phi^2 / 4 * h_2$$



IMPRESORA
EL CENTRO
CALOJETE LOS
ANGELES

$$h_2 = \phi / 2 * \text{Tan}20^\circ$$

$$V_2 = 1/3 \pi * \phi^2 / 4 * \phi / 2 * \text{Tan}20^\circ$$

$$V_2 = 1/24\pi * \phi^3 * \text{Tan}20^\circ$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 4m^3$$

$$V_T = \pi * \phi^2 * h_1 + 1/24\pi * \phi^3 * \text{Tan}20^\circ$$

Se despeja h1 y se obtiene

$$h_1 = [(4 * V_T) / (\pi * \phi^2)] - [(\phi * \text{Tan}20^\circ) / 6]$$

$$h_1 = [(4 * 4) / (\pi * 1.5^2)] - [(1.5 * \text{Tan}20^\circ) / 6]$$

$$h_1 = 2.2m$$

Se debe construir un tanque con las siguientes dimensiones:

Diámetro (ϕ)= 1.5 m

Altura 1 (h_1)= 2.2 m

Altura 2 (h_2)= 0.30 m

c) Diseño mecánico del Tanque de Detergente.

Mediante el diseño mecánico se determinará el mínimo espesor del tanque con lo que podrá resistir las condiciones de trabajo.

El tanque tendrá un tubo de venteo por lo que en su interior estará soportando la presión atmosférica es decir de 101300 Pa mas la presión de la columna de agua que será igual a:

$$p_T = p_0 + (\rho * g * h_r) \quad (8)$$

$$p_T = 101,300Pa + (1000Kg/m^3 * 9.8m/s^2 * 2.47m)$$

$$p_T = 125,506.0Pa$$

$$(t / r_i) \times (1 / 20)$$

Se analiza como cilindro de pared delgada.

$$\sigma = F / A_r \quad (9)$$

σ es el esfuerzo interior que soporta el tanque

A_r es el área de resistencia que es:

$$A_r = \pi * \phi_i * t \quad (10)$$

ϕ_i es el diámetro interior del tanque.

t es el espesor de pared del tanque.

f es la fuerza aplicada sobre la pared del tanque que es igual a:

$$F = p_T * A_f \quad (11)$$

p_T es la presión total en el interior del tanque.

A_f es el área de aplicación de la fuerza que es:

$$A_f = \pi * \phi_i^2 / 4 \quad (12)$$

Finalmente,

$$\sigma = (p_T * \phi_i) / (4t)$$

Se procede a analizar por teoría de falla estática.

$$\sigma = S_y / n \quad (13)$$

S_y es la resistencia a la fluencia que para el acero inoxidable AISI 304 es 276 Mpa.

n es el factor de seguridad de diseño.

Reemplazando (9) en la fórmula (13)

$$S_y / n = (p_T * \phi_i) / (4t)$$

$$t = (n * p_T * \phi_i) / (4S_y)$$

$$t = (2 * 125,506 Pa * 1.5m) / (4 * 276 * 10^6 Pa)$$

$$t = 3,41 * 10^{-4} m$$

$$t = 0,34 mm$$

Para soportar estas condiciones el tanque de detergente deberá tener como mínimo un espesor de pared de 0.34 mm. Por razones referente a la soldadura y durabilidad el tanque tendrá un espesor de 2 mm.

d) Diseño de aislamiento en tanque de detergente.

Para determinar el espesor de aislamiento en el tanque de detergente se consideran las siguientes suposiciones al igual que en el tanque de pre-enjuague:

1. Hay condiciones de estado estable.
2. Conducción radial a través de la pared del tanque.
3. Conductividad térmica constante
4. Convección libre en el medio exterior.

El calor almacenado en el tanque de detergente por efecto de mantenerlo a 85° C desde la temperatura ambiente, mediante la inyección de vapor al agua se lo determina a continuación:

$$Q = (m * c_p * \Delta T) / t \quad (14)$$

Donde m es la masa de agua que se va a calentar.

$$m = \rho * \forall \quad (15)$$

$$m = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) * (4 \text{ m}^3)$$

$$m = 4000 \text{ Kg}$$

Las propiedades se determinan a la siguiente temperatura:

$$\bar{T} = (T_i + T_o) / 2 \quad (16)$$

$$\bar{T} = (27 + 85) / 2 = 56^\circ \text{ C} = 329^\circ \text{ K (propiedades)}$$

c_p que es el calor específico a presión constante, del apéndice A se encuentra que

$$(c_p)_{317^\circ \text{ K}} = 4.184 \text{ KJ} / \text{Kg}^\circ \text{ K}$$

ΔT Es el diferencial de temperatura en el tanque.

$$\Delta T = T_o - T_i \quad (17)$$

$$\Delta T = 85 - 27$$

$$\Delta T = 58^\circ \text{ K}$$

t es el tiempo de calentamiento, tomado en 1 hora.

Por tanto

$$Q = (m * c_p * \Delta T) / t$$

$$Q = [(4000 \text{ Kg}) * (4.184 \text{ KJ} / \text{Kg}^\circ \text{ K}) * (58^\circ \text{ K})] / 3600 \text{ s}$$

$$Q = 270000 \text{ W}$$

En el tanque de detergente se encuentra almacenado 270000 W de energía calorífica.

La pérdida de calor que se producirá en el tanque será por conducción del aislamiento y por convección con el aire del cuarto y es igual a:

$$q = (kA\Delta T_1 / e) + (hA\Delta T_2) \quad (18)$$

En la figura 2 se observa la distribución de temperaturas en el tanque de detergente con aislamiento.

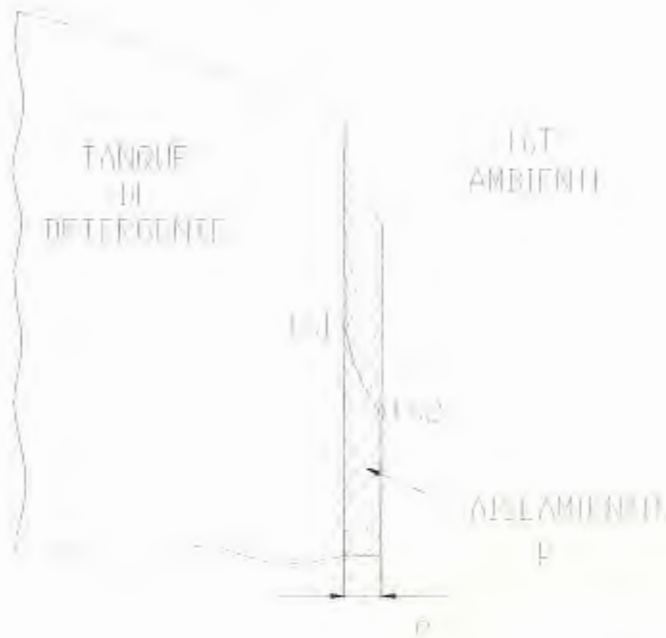


Figura 3.18. Esquema de aislamiento de tanque de detergente.

\bar{k} es la constante de conductividad térmica y se selecciona la lana de vidrio como aislamiento, del apéndice B es igual a 0.036.

A_1 es el área de transferencia de calor por conducción

$$A_1 = \pi\phi L \quad (19)$$

ΔT_1 Es el diferencial de temperatura entre la pared del tanque y el aislamiento.

$$\Delta T_1 = T_{s1} - T_{s2} \quad (17)$$

e es el espesor de aislamiento.

h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, de la tabla 4 que se encuentra en la pagina 42 se obtiene:

$$h = 15 W / m^2 \cdot K$$

A_2 es el área de transferencia de calor por convección

$$A_2 = \pi(\phi + 2e)L \quad (20)$$

ΔT_2 Es el diferencial de temperatura entre la pared de aislamiento y el medio exterior y es igual a:

$$\Delta T_2 = T_{s2} - T_{\infty} \quad (17)$$

Entonces:

$$q = (k\pi\phi L(T_{s1} - T_{s2})/e) + (h\pi(\phi + 2e)(T_{s2} - T_{\infty}))$$

$$q = (0.036 * \pi * 1.5 * 2.2(85 - 40)/e) + (15 * \pi(1.5 + 2e)(32 - 27))$$

Para obtener una pérdida de calor de 1755 W, que es el 0.65% del calor almacenado en el tanque.

Mediante análisis numérico se encuentra que el espesor del aislamiento debe ser de:

$$e = 50mm$$

3.3.2 Selección de Inyector de Vapor.

Para la selección del inyector de vapor a utilizar en el tanque de detergente se necesitan dos datos que son:

La presión del vapor saturado al ingreso al tanque que es de 7 bar, (100 psig)

La capacidad de vapor saturado que se requiere para elevar la temperatura desde el ambiente 27°C a 85°C, a continuación se lo determina:

Datos:

$$\text{Volumen} = 4 \text{ m}^3$$

$$T_i = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C = (m * c_p * \Delta T) / (h_{fg} * t) \quad (21)$$

Donde:

C es la capacidad de vapor saturado.

m es la masa de agua va ha calentar.

$$m = \rho * \forall \quad (15)$$

$$m = (1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) * (4 \text{ m}^3)$$

$$m = 4000 \text{ Kg}$$

Las propiedades se determinan a la siguiente temperatura:

$$\bar{T} = (T_i + T_o) / 2 \quad (16)$$

$$\bar{T} = (27 + 85) / 2 = 56^\circ \text{ C} = 329^\circ \text{ K (propiedades)}$$

c_p es el calor específico a presión constante, que del apéndice A es:

$$(c_p)_{329\text{K}} = 4.184 \text{ KJ} / \text{Kg}^\circ \text{ K}$$

ΔT es el incremento de temperatura que gana el agua.

$$\Delta T = T_o - T_i \quad (17)$$

$$\Delta T = 85 - 27$$

$$\Delta T = 58^\circ K$$

h_{fg} es la entalpía del vapor saturado, que del apéndice A es:

$$(h_{fg})_{329^\circ K} = 2366 KJ / Kg$$

$$C = (m * c_p * \Delta T) / (h_{fg} * t)$$

$$C = [(4000 Kg) * (4.184 KJ / Kg^\circ K) * (58^\circ K)] / [(2366 KJ / Kg) * (1 Hr)]$$

$$C = 410.26 Kg / Hr$$

$$C = 904.51 l / Hr$$

Como se requiere de una capacidad de vapor aproximadamente igual a la del tanque de pre-enjuague, se selecciona el mismo inyector que es el IN25M.

3.3.3 Selección de Bomba para mezcla de Detergente.

En el diagrama de la figura 3.19 se muestra la distribución de tuberías para la mezcla de detergente.

El sistema tiene una caída de presión de 4 metros de columna de agua que da 0.4 bar, 40520 Pa o 6 psi.



Figura 3.19. Diagrama de distribución de tuberías bomba de mezcla de detergente.

La bomba funcionará independientemente del PLC, debido a que se requiere de la mezcla constante de detergente aún cuando el sistema de CIP no este activo para evitar el asentamiento del detergente y este listo para el arranque del CIP en cualquier instante.

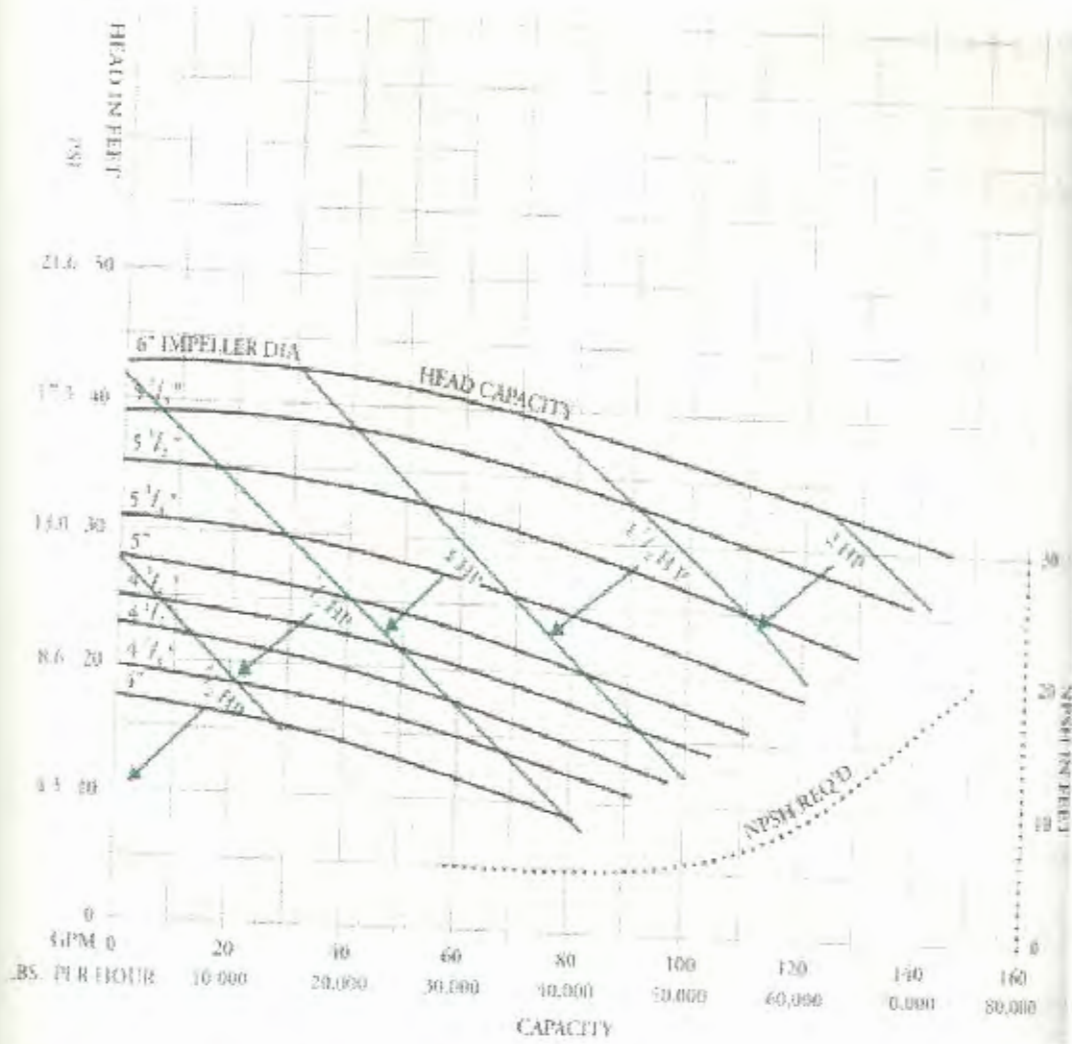


Figura 3.20. Curva de capacidad de bomba centrífuga.

De la curva de la figura 3.20 con una caída de presión de 6 psi y con un caudal de $16 \text{ m}^3/\text{Hr}$ o 70 GPM, se selecciona una bomba de 1 HP o 0.75 Kw a 1750 RPM, con diámetro de impulsor de $4.1/4''$ o 108 mm.

3.3.4 Selección de Tanque de Dosificación de Detergente.

El detergente se lo depositara en un tanque pequeño donde se lo almacena para su posterior dosificación al tanque de detergente de CIP de 4 m^3 .

El material del tanque será de acero inoxidable AISI 316.

El tanque dosificador deberá tener un volumen pequeño, de 200 Lts o 53 galones.

Para dimensionar el tanque se toman como datos iniciales el volumen de 200 Lts y el diámetro, que para aprovechar el ancho de la plancha los 1.22 m, tendrá 0.4 metros de diámetro, finalmente se obtiene que la altura será de 0.5 metros, con un espesor de 2 mm.

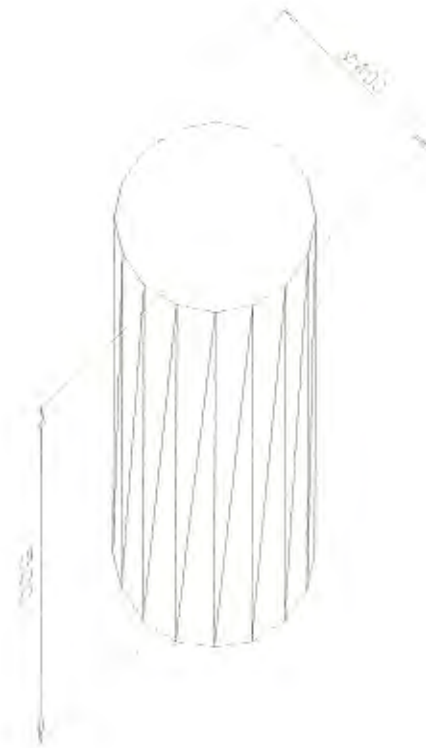


Figura 3.21. Tanque dosificador de detergente.

3.3.4 Selección de Bomba de Dosificación de Detergente.

La bomba dosificadora tendrá un voltaje de alimentación de 110 Vac y recibirá la señal del controlador de conductividad para que arranque cuando la concentración este en un nivel inferior al seteado.

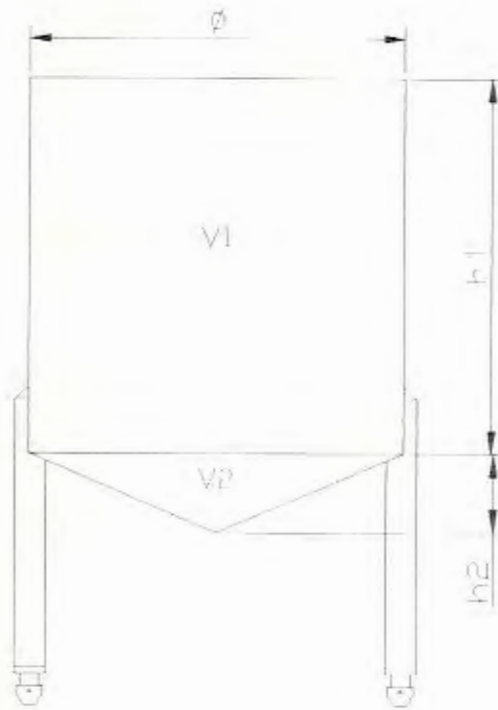


Figura 3.22. Tanque de enjuague final.

$$V_T = V_1 + V_2$$

VOLUMEN 1

$$V_1 = A_{base} * h_1 \quad (6)$$

$$V_1 = \pi * \phi^2 / 4 * h_1$$

VOLUMEN 2

$$V_2 = 1/3 A_{base} * h_2 \quad (7)$$

$$V_2 = 1/3 \pi * \phi^2 / 4 * h_2$$

De la tabla 9 se determina la bomba que cumpla con nuestro requerimiento.

Tabla 9
Características de bombas dosificadoras

Serie	Rendimientos				Presión Máxima	Peso bruto
	Caudal Lt/hr		Frecuencia Carrera/min			
	Mín.	Máx	Mín.	Máx	bar	Kg
P02	0.237	0.79	Fijo - 60		10.3	3.5
P03	0.480	1.6			7.6	
P04	0.440	2.2	Fijo - 100		17.3	
P05	0.760	3.8			7.6	
P06	1.520	7.6			3.5	
P12	0.012	0.79	3	10.3	0.5	
P13	0.024	1.6		7.6	0.9	
P14	0.022	2.2	5	100	0.5	
P15	0.038	3.8			0.9	
P16	0.076	7.6			1.8	
P77	0.024	1.6				
P74	0.022	2.2	5	100	0.5	3.7
P75	0.038	3.8			0.9	
P76	0.076	7.6				
					1.8	

La bomba seleccionada es la P14 con un caudal entre 0.022 - 2.2 Lt/Hr, con una presión máxima de 17.3 bar.

3.3.6 Selección de Elementos de Control.

Para el control de las diferentes variables del proceso en la etapa de detergente se utilizarán elementos de control

3.4 Diseño de Etapa de Enjuague final.

La Etapa de enjuague final esta conformada por un tanque que puede ser llenado con agua limpia aún si el sistema de CIP está activo. La temperatura en el tanque debe ser la del ambiente.

La limpieza de esta etapa debe durar 5 minutos.

El agua de esta etapa es recuperada en el tanque de pre-enjuague.

3.4.1 Diseño de tanque de Enjuague final.

El tanque será de acero inoxidable AISI 316 Para el diseño del mismo se desarrollarán los siguientes pasos:

a) Cubicaje del Tanque de Enjuague Final.

Para determinar el volumen del tanque se requieren de dos datos que son; el flujo volumétrico a manejar que es de $12 \text{ m}^3 / \text{Hr}$ y el tiempo de 10 minutos como máximo para la limpieza.

$$V = Q * t \quad (4)$$

$$V = (12 \text{ m}^3 / \text{Hr}) * (0.167 \text{ Hr})$$

$$V = 2m^3$$

El tanque de enjuague final deberá tener un volumen de $2 m^3$.

b) Dimensionamiento del Tanque de Enjuague final.

Con el propósito de aprovechar la longitud total de la plancha, se tomará el diámetro del tanque igual al perímetro de dos planchas.

La longitud de la plancha es de 2.44 metros.

$$l = \pi * \phi \tag{5}$$

$$\phi = l / \pi$$

$$\phi = 4.88 / \pi$$

$$\phi = 1.5m$$

Se tomará para el tanque de pre-enjuague un diámetro de 1.4 m , con el volumen de $2 m^3$.

$$h_2 = \phi / 2 * \text{Tan}20^\circ$$

$$V_2 = 1/3\pi * \phi^2 / 4 * \phi / 2 * \text{Tan}20^\circ$$

$$V_2 = 1/24\pi * \phi^3 * \text{Tan}20^\circ$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 2m^3$$

$$V_T = \pi * \phi^2 * h_1 + 1/24\pi * \phi^3 * \text{Tan}20^\circ$$

Se despeja h1

$$h_1 = [(4 * V_T) / (\pi * \phi^2)] - [(\phi * \text{Tan}20^\circ) / 6]$$

$$h_1 = [(4 * 2) / (\pi * 1.4^2)] - [(1.4 * \text{Tan}20^\circ) / 6]$$

$$h_1 = 1.22m$$

Se deberá construir un tanque con las siguientes dimensiones:

Diámetro = 1.4 m

Altura 1 = 1.22 m

Altura 2 = 0.25 m

c) Diseño mecánico del Tanque de Enjuague final.

Mediante el diseño mecánico se determinará el mínimo espesor del tanque con lo que podrá resistir las condiciones de trabajo.

El tanque tendrá un tubo de venteo por lo que en su interior estará soportando la presión atmosférica es decir de 101300 Pa mas la presión de la columna de agua que será igual a:

$$p_T = p_0 + (\rho * g * h_i) \quad (8)$$

$$p_T = 101,300 Pa + (1000 Kg / m^3 * 9.8 m / s^2 * 1.47 m)$$

$$p_T = 115,706.0 Pa$$

$$(t / r_i) \times (1 / 20)$$

Se analiza como cilindro de pared delgada.

$$\sigma = F / A_r \quad (9)$$

σ es el esfuerzo interior que soporta el tanque

A_r es el área de resistencia que es:

$$A_r = \pi * \phi_i * t \quad (10)$$

ϕ_i es el diámetro interior del tanque.

t es el espesor de pared del tanque.

f es la fuerza aplicada sobre la pared del tanque que es igual a:

$$F = p_T * A_f \quad (11)$$

p_T es la presión total en el interior del tanque.

A_f es el área de aplicación de la fuerza que es:

$$A_f = \pi * \phi_i^2 / 4 \quad (12)$$

Finalmente,

$$\sigma = (p_T * \phi_i) / (4t)$$

Se procede a analizar por teoría de falla estática.

$$\sigma = S_y / n \quad (13)$$

S_y es la resistencia a la fluencia que para el acero inoxidable AISI 304 es 276 Mpa.

n es el factor de seguridad de diseño.

Reemplazando en la fórmula (9)

$$S_y / n = (p_T * \phi_i) / (4t)$$

$$t = (n * p_T * \phi_i) / (4S_y)$$

$$t = (2 * 115,706 Pa * 1.4m) / (4 * 276 * 10^6 Pa)$$

$$t = 2.1 * 10^{-4} m$$

$$t = 0.21 mm$$

Para soportar estas condiciones el tanque de enjuague final deberá tener como mínimo un espesor de pared de 0.21 mm. Por razones de soldadura y durabilidad el tanque tendrá un espesor de 2 mm.

3.4.2 Selección de Elementos de Control.

Para el control de las diferentes variables del proceso en la etapa de enjuague final se utilizarán elementos de control con las mismas características de los utilizados en la etapa de preenjuague en la sección 3.2.3.

3.5 Selección de Bomba de mando de CIP.

Para la selección de la bomba de mando del sistema de CIP se verifican los datos geométricos en el diagrama de distribución de tuberías del proceso en el plano número 3. Adicionalmente se sabe que el caudal a manejar en el proceso es de $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$. La bomba a seleccionar es de tipo centrífuga ya que el fluido a manejar es agua que no es viscosa.

Con estos datos se procede a determinar la caída de presión en el sistema por medio de la ecuación de Bernoulli y se lo dividirá

en tres partes: caída de presión en un tramo horizontal, caída de presión en un tramo vertical, es decir en una columna de agua y caída de presión por pérdidas menores.

a) Caída de presión en un tramo horizontal.



Figura 3.23. Tramo de tubería horizontal.

Aplicando Bernoulli entre el punto 1 y 2.

$$\left(\frac{p_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2} + gZ_2\right) - \left(\frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2} + gZ_1\right) = h_f \quad (22)$$

Consideraciones:

1. Flujo turbulento.
2. Flujo de estado estable.
3. Flujo incompresible.
4. Flujo completamente desarrollado.

5. Área transversal de tubería constante.

$$v_1 = v_2$$

6. Tubería al mismo nivel.

$$Z_1 = Z_2$$

Finalmente la ecuación (22) queda:

$$p_2 - p_1 = h_f$$

$$\Delta p = h_f$$

Donde

h_f son las pérdidas mayores en el tramo horizontal.

$$h_f = fL / \phi * \rho v^2 / 2 \quad (23)$$

Se calcula el número de Reynolds de la ecuación (1)

$$Re = \rho * \mu * \phi / \mu \quad (1)$$

$$Re = (1000 \text{ Kg/m}^3) * (3 \text{ m/s}) * (0.038 \text{ m}) / (8 * 10^{-4} \text{ N*s/m}^2)$$

$$Re = 142875$$

La rugosidad relativa es

$$e / \phi = 0.0015$$

Luego el factor de fricción es

$$f = 0.022$$

Finalmente se tiene que la caída de presión en un tramo horizontal L será:

$$\Delta p = 0.022L / 0.0381m * 1000Kg / m^3 * (3m/s)^2 / 2 \quad (24)$$

b) Caída de presión en un tramo vertical.

En un tramo vertical se tiene la unidad de metros de columna de agua y por cada 10 metros de columna de agua existe una caída de presión de 1 bar, 101300 Pa o 14.7 psi.

c) Caída de presión en un codo de 90°.

Aplicando la ecuación (22) pero ahora h_{lm} son las pérdidas menores para un codo.

Consideraciones:

1. Flujo turbulento.
2. Flujo de estado estable.
3. Flujo incompresible.
4. Flujo completamente desarrollado.
5. Área transversal en el codo constante.

$$v_1 = v_2$$

6. Codo al mismo nivel.

$$Z_1 = Z_2$$

Finalmente la ecuación (22) queda:

$$p_2 - p_1 = h_{lm}$$

$$\Delta p = h_{lm} = f L_e / \phi * \rho v^2 / 2$$

La rugosidad relativa es

$$e / \phi = 0.0015$$

Luego el factor de fricción es

$$f = 0.022$$

Para un codo

$$L_e / \phi = 30$$

Finalmente la caída de presión para un codo es:

$$\Delta p = 0.022 * 30 * 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3 * (3 \text{ m} / \text{s})^2 / 2$$

$$\Delta p = 2970 \text{ Pa}$$

d) Caída de presión en una válvula neumática.

Del subcapítulo 3.2.3 en la selección de la válvula neumática, se obtuvo que la caída de presión por la misma es de 2300 Pa.

e) Caída de presión en un rociador o spray ball.

Del subcapítulo 3.1 en la selección del rociador, se obtuvo que la caída de presión por el mismo es de 140000 Pa.

Dentro del proceso se tienen tres estados en los que operará la bomba de mando de CIP.

1) CIP a tanque de mezcla 1 y 2.

La caída de presión en tuberías y accesorios en el área de mezcla se resume en la tabla 10.

Tabla 10.

Caída de presión en tuberías y accesorios área de mezcla.

	Cantidad	Δp (Pa)	Δp (psi)
Tubería horizontal	9 metros	23385.8	3.4
Tubería vertical	9 metros	91170	13.2
Codos de 90°	8 unidades	23760	3.4
Válvulas neumáticas	2 unidades	4600	0.7
Rociador	2 unidades	280000	40.6
TOTAL		422915.8	61.4

Al realizar el CIP en el tanque de mezcla 1 y 2, existe una caída de presión total de 422915.8 Pa o 61.4 psi.

2) CIP a un tanque de almacenamiento.

La caída de presión en tuberías y accesorios en el área de almacenamiento se resume en la tabla 11.

Tabla 11.

Caída de presión en tuberías y accesorios área de almacenamiento.

	Cantidad	Δp (Pa)	Δp (psi)
Tubería horizontal	23 metros	59763.8	8.7
Tubería vertical	14 metros	141820	20.6
Codos de 90°	16 unidades	47520	6.9
Rociador	1 unidades	140000	20.3
TOTAL		389103.8	57

Al realizar el CIP en el tanque de almacenamiento, existe una caída de presión total de 389103.8 Pa o 57 psi.

3) CIP a un freezer.

La caída de presión de tuberías y accesorios en el área de producción se resume en la tabla 12.

Tabla 12.

Caída de presión en tuberías y accesorios área de freezers.

	Cantidad	Δp (Pa)	Δp (psi)
Tubería horizontal	38 metros	98740.2	14.3
Tubería vertical	25 metros	253250	36.8
Codos de 90°	20 unidades	59400	8.6
Válvulas neumáticas	1 unidades	2300	0.3
TOTAL		413690.2	60

Al realizar el CIP en un freezer, existe una caída de presión total de 413690.2 Pa o 60 psi.

Para los tres casos se tienen valores de caída de presión aproximadamente iguales por lo que para la selección de la bomba se tomará un Δp de 42.8 Pa o 62 psi.

En la figura 3.24 se selecciona la bomba con los valores del caudal $12 \text{ m}^3/\text{Hr}$ o 53 GPM y 62 psi.

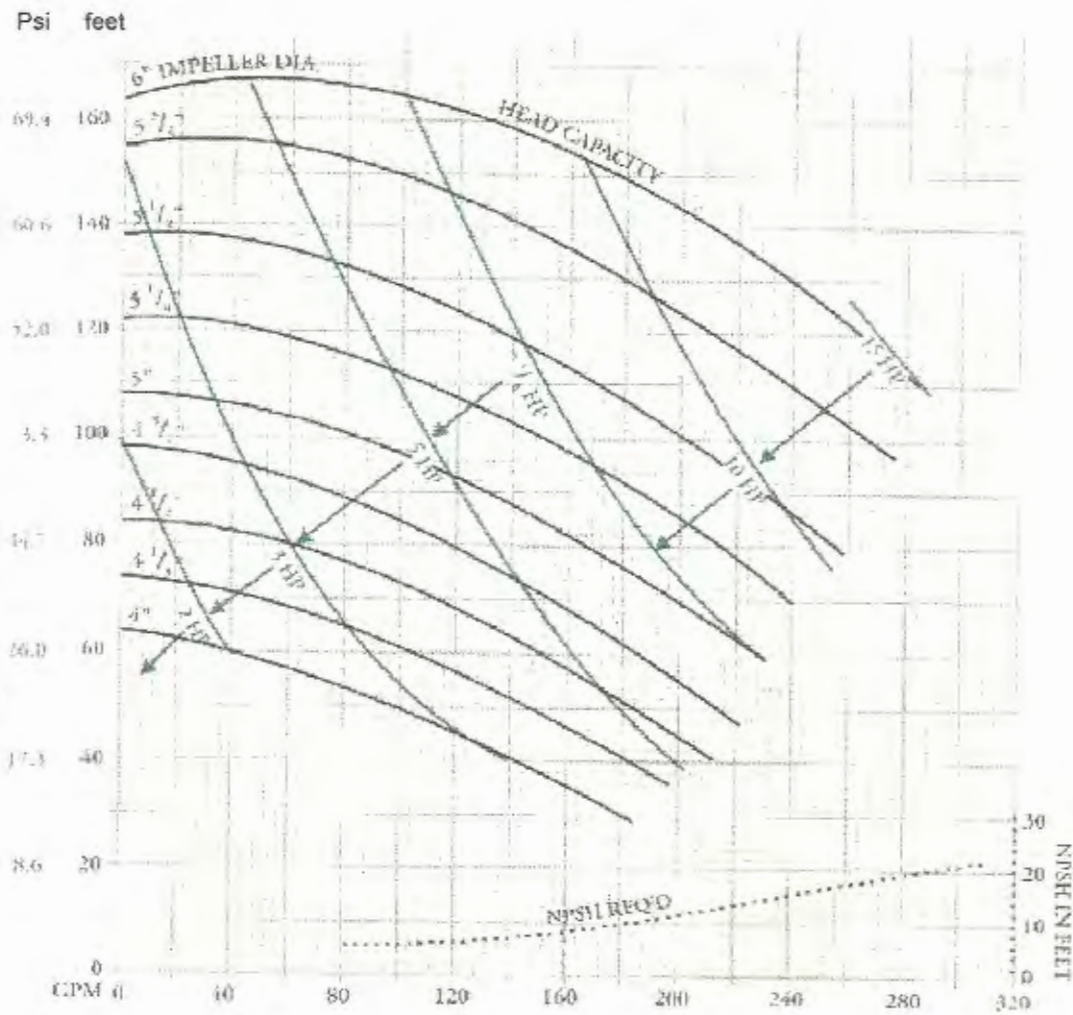


Figura 3.24. Curva de capacidades de bomba centrífuga.

De la curva de capacidades se determina que se requiere una bomba centrífuga con una potencia de 5 Hp o 3.7 Kw, a 3500 rpm, con un diámetro de impulsor de 5.1/2" o 140 mm.

3.6 Selección de Bomba de retorno de CIP.

Para la selección de la bomba de retorno del sistema de CIP se verifican los valores geométricos en el plano No. 3.

La caída de presión en tuberías y accesorios en la línea de retorno hacia los tanques de pre-enjuague y de detergente se resumen en la tabla 13.

Tabla 13.

Distribución línea y accesorios de retorno CIP.

	Cantidad	Δp (Pa)	Δp (psi)
Tubería horizontal	26.5 metros	68858.3	10
Tubería vertical	6 metros	60780	8.8
Codos de 90°	4 unidades	11880	1.7
Válvulas neumáticas	2 unidades	4600	0.7
TOTAL		146118.3	21.2

En el retorno del CIP existe una caída de presión total de 146118.3 Pa o 21.2 psi.

De la curva de capacidades de la figura 3.24 de la Pág. 96 se determina que se requiere una bomba con una potencia de 3 Hp o 2.2 Kw, a 3500 rpm con un diámetro de impulsor de 4" o 101.6 mm.

3.7 Diseño de Tuberías.

Por ser un sistema totalmente aséptico el que se utilizará en el CIP, se ha seleccionado tubería sanitaria de acero inoxidable ASI 316L ya que es un acero de bajo contenido de carbono que tiene una gran resistencia a la corrosión intergranular producida por la solución de detergente que es altamente alcalina, la resistencia de este acero es mayor que la genérica AISI 316, y además es adecuada para este caso en el que no se permite tratamiento térmico después de soldado. El acabado de la tubería es semiabrilantado en su exterior.

Su equivalente en la norma alemana DIN es X2CrNiMo18 10 y tiene una resistencia a la fluencia mínima de 24.5 Kg/mm², una resistencia a la tracción de mínimo 49.5 Kg/mm² y una dureza

de 217 HB. Su composición química es: carbono 0.03 %, cromo de 16 a 18.5 %, níquel de 11 a 14 % y molibdeno de 2 a 2.5 %.

La tubería seleccionada es de 1.1/2" o 38.1 mm de diámetro exterior, 34.9 mm de diámetro interior y un espesor de 1.6 mm, y las dimensiones se las observan en la figura 3.25.

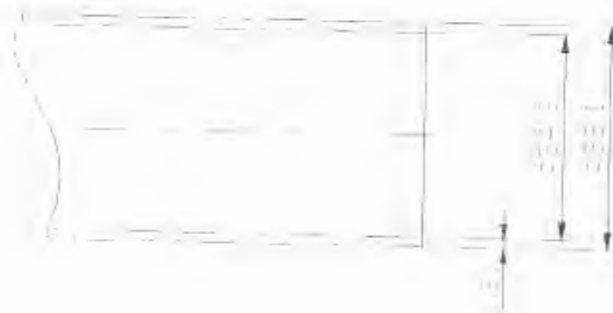


Figura 3.25. Dimensiones de tubería sanitaria.

El proceso a utilizar para soldar las tuberías es TIG con barrido interno como se lo muestra en la figura 3.26.

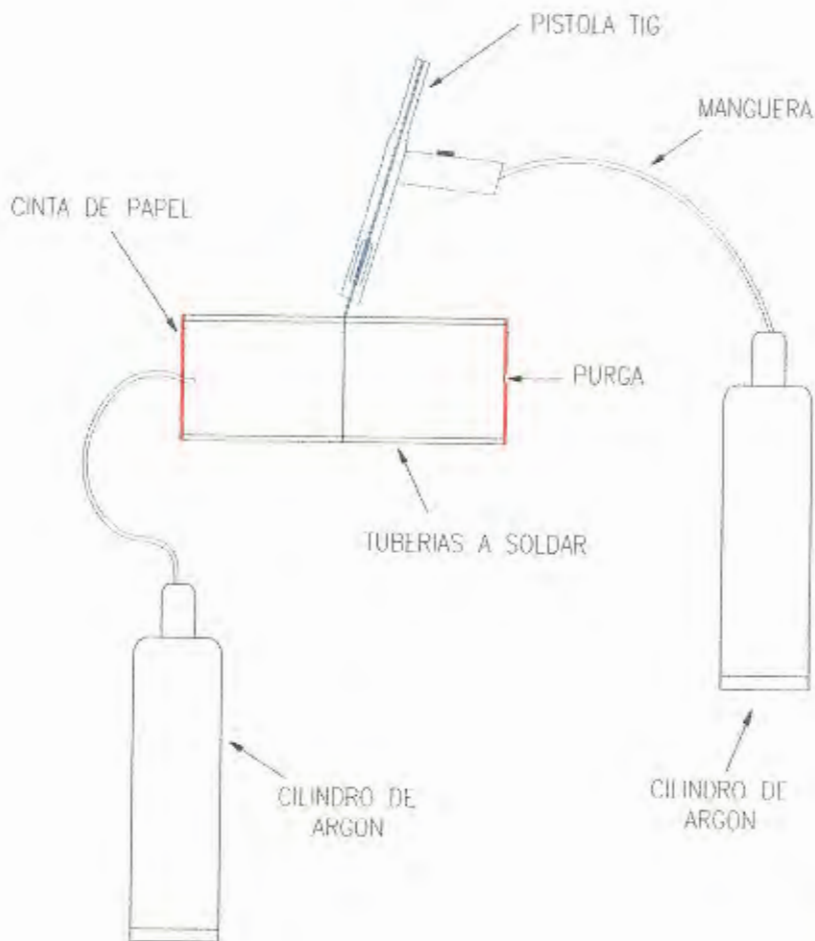


Figura 3.26. Soldadura de tuberías con proceso TIG barrido interno.



POLITECNICO DE LOJA
BIBLIOTECA "GUALA Y FRANCIA"
E.I.M.C.P.



TEL. 078 2511111
AL
'LOS'

El proceso a utilizar para soldar las tuberías es TIG con barrido interno como se lo muestra en la figura 3.27.

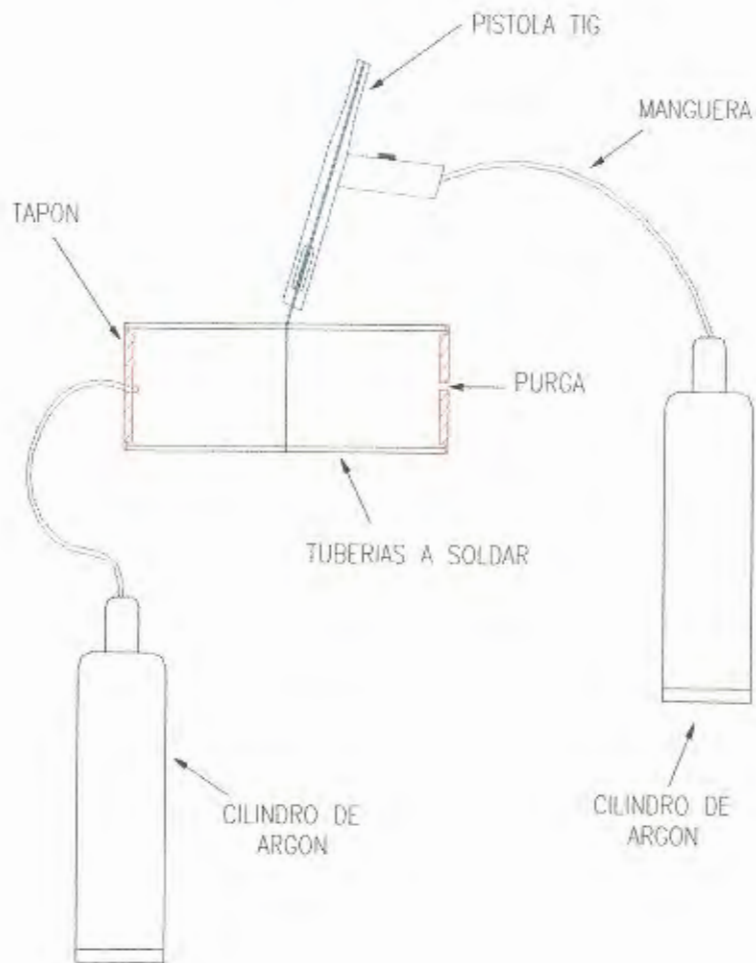


Figura 3.27. Soldadura de tuberías con proceso TIG barrido interno.

3.8 Selección del P.L.C.

Para la selección se procede a analizar los tipos de señales de elementos de control de todo el proceso de limpieza en el PLC, es decir identificarlos como entradas o salidas.

Los diferentes elementos de control como sus cantidades y función se los aprecian en la tabla 14.

TABLA 14
RESUMEN DE ELEMENTOS DE CONTROL

ELEMENTO DE CONTROL	CANTIDAD	FUNCION EN PLC
Bomba de mando CIP	1	Salida
Bomba de retorno CIP	1	Salida
Válvulas neumáticas	9	Salida
Válvulas solenoides	2	Salida
Detector de nivel	6	Entrada
Controlador de temperatura	2	Entrada
Sensor de conductividad	1	Entrada

De la tabla 14 se concluye que se requiere de un PLC para controlar todo el proceso de CIP de 9 entradas y 13 salidas digitales, por seguridad se aumentan cinco entradas y cinco salidas en caso de necesitar alguna ampliación posterior, necesiándose finalmente 14 entradas y 18 salidas.

A continuación se procede a seleccionar un PLC que cumpla con nuestro requerimiento.

Todos los elementos de control cuentan con una alimentación de 24 V ac. En el área de CIP existe 110 V y 220 Vac por lo que el PLC podrá ser alimentado por uno de estos voltajes.

Tabla 15
Especificaciones técnicas del PLC.

MEDIO AMBIENTE	
Temperatura de operación	0 a 60° C
Temperatura de almacenamiento	-40 a +85° C
Humedad relativa	0 a 95 %
Altitud	4500 m
Vibración	10 a 62 Hz
DIMENSIONES	
Altura	159 mm
Ancho	254 mm
Largo	76 mm
Peso	1.45 Kg

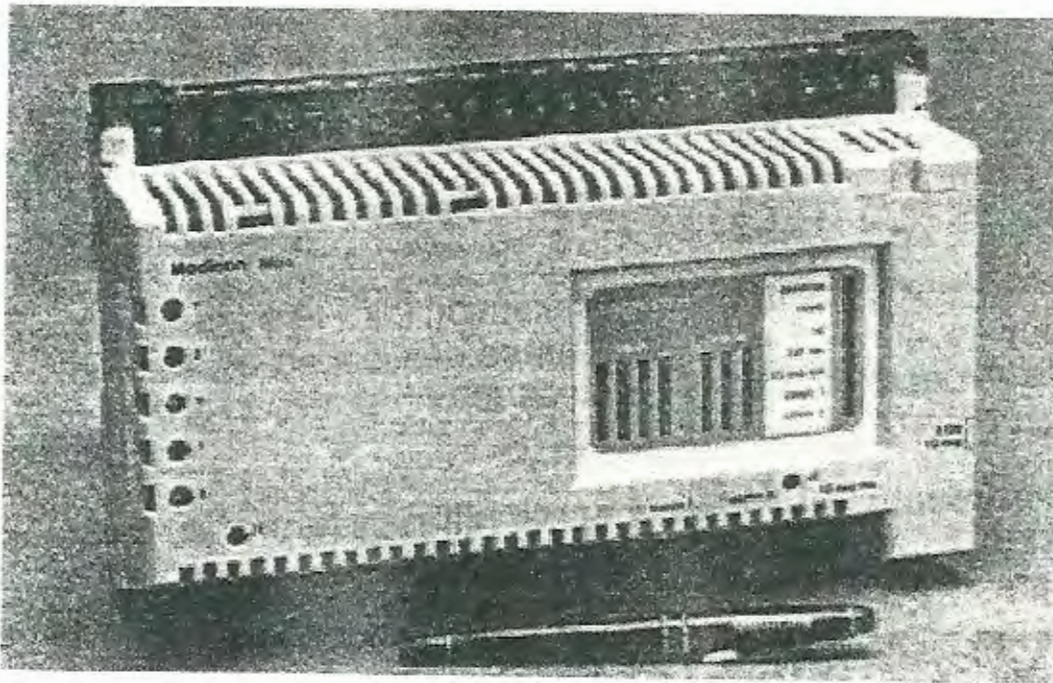


Figura 3.27. PLC modelo 311

Tabla 16

Características de modelos de PLC.

1. In the first level is the CPU 311 with the following feature set:

- 16 k words user logic
- 400 words data
- 16 discrete inputs
- 2.25 - 5 ms per K logic scan
- Modbus/ASCII port
- 12 discrete outputs
- Basic 984 instruction set
- 4 models
- High speed I/O Expansion

Model	Power Supply	Discrete Inputs (16)	Discrete Outputs (12)
110 CPU 311 00	115/230 Vac (24 Vdc output for all DC inputs)	24 Vdc Sink or Source	Relay
110 CPU 311 01	115 Vac	115 Vac	3 Triac/4 Relay
110 CPU 311 02	230 Vac	230 Vac	4 Triac/4 Relay
110 CPU 311 0S	24 Vdc	24 Vdc Sink or Source	24 Vdc Source

De la tabla 16 se selecciona el modelo 110 CPU 311 03 que viene para una alimentación externa de 115/230 Vac. Con 16 entradas de 24 Vdc y 12 salidas por relé y sus especificaciones técnicas se encuentran en la tabla 13.

Como se necesitan 16 entradas y 18 salidas, se conecta a otro PLC en serie lo que da como resultado un total de 32 entradas y 24 salidas. Con esto se esta cubierto con un 25 % extra, y su conexión se muestra en la figura 3.28.

I/O Expansion Link

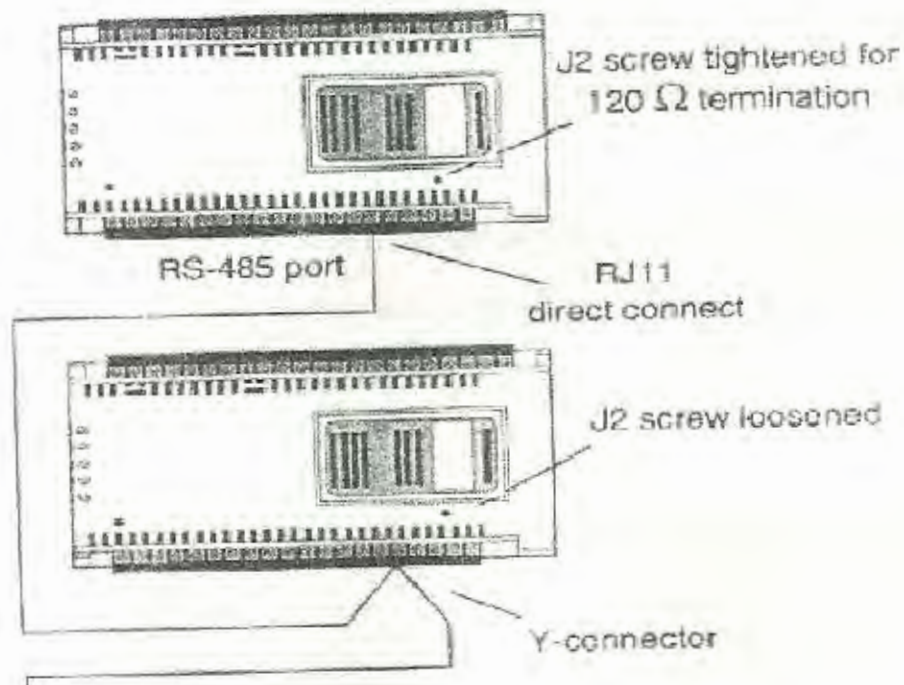


Figura 3.28. Conexión de expansión de capacidad de PLC.

Para la programación del PLC en el proceso de CIP, a continuación se describe la secuencia en que se desarrolla el sistema:

1) Etapa de Pre-enjuague.

Se abre la válvula VA 4 y la válvula VA 9, se enciende la bomba BO 1.

Duración del ciclo, 5 minutos.

2) Etapa de Detergente.

Se cierra la válvula VA 4, se abre la válvula VA 1. Si ST 1 es mayor o igual a 85°C entonces se abre la válvula VA 3 y se cierra la válvula VA 9.

Cuando el sensor de temperatura ST 1 registra una temperatura mayor o igual a 85°C, se contabilizan 10 minutos, entonces se cierra la válvula VA 1 y se para la bomba BO 1.

Se monitorea constantemente una temperatura de 85°C como mínimo.

Si transcurridos dos minutos de iniciada la fase de detergente no se alcanzan los 85°C en el sensor ST 3, se activa una alarma, se para la bomba PU 1 y se cierra la válvula VA 1.

En esta etapa se chequea la concentración de detergente, si transcurridos 60 segundos de haberse iniciado la etapa no se alcanza la concentración de 1% al 2% de detergente, el sistema de CIP entra en espera, se para la bomba PU 1 y da una alarma indicando en el panel operador bajo nivel de detergente.

3) Etapa de Enjuague final.

Se espera por un minuto, esto es para que se enfrien un poco los equipos y evite el choque térmico.

Se abre la válvula VA 7, se enciende la bomba PU 1.

Un minuto después se abre la válvula VA 6 y se cierra la válvula VA 3, esto es para recuperar algo de detergente.

Duración de la etapa, 5 minutos.

3.9 Manual de Procedimiento del proceso CIP.

Para la operación del proceso de limpieza a los diferentes equipos de la Planta por medio del sistema de CIP, se desarrolla el siguiente manual. En el se detallan cada uno de los requerimientos de limpieza en los que el operador deberá realizar los pasos secuenciales para su puesta en marcha.

a) CIP al tanque de mezcla 1.

Para realizar el CIP al tanque 1 de mezcla el operador deberá realizar la conexión de acuerdo al diagrama de la figura 3.29, que se describe a continuación:

-Realizar la conexión en la placa de distribución 1, entre la línea de CIP con la línea que se dirige hacia los tanques de mezcla.

-Abrir la válvula manual VM 8.

-Realizar la conexión en la placa de distribución 2 que se encuentra en el área de maduración, de la válvula VM 10 que viene de los tanques de mezcla, con la válvula VM 13 que pertenece a la línea de retorno del CIP.

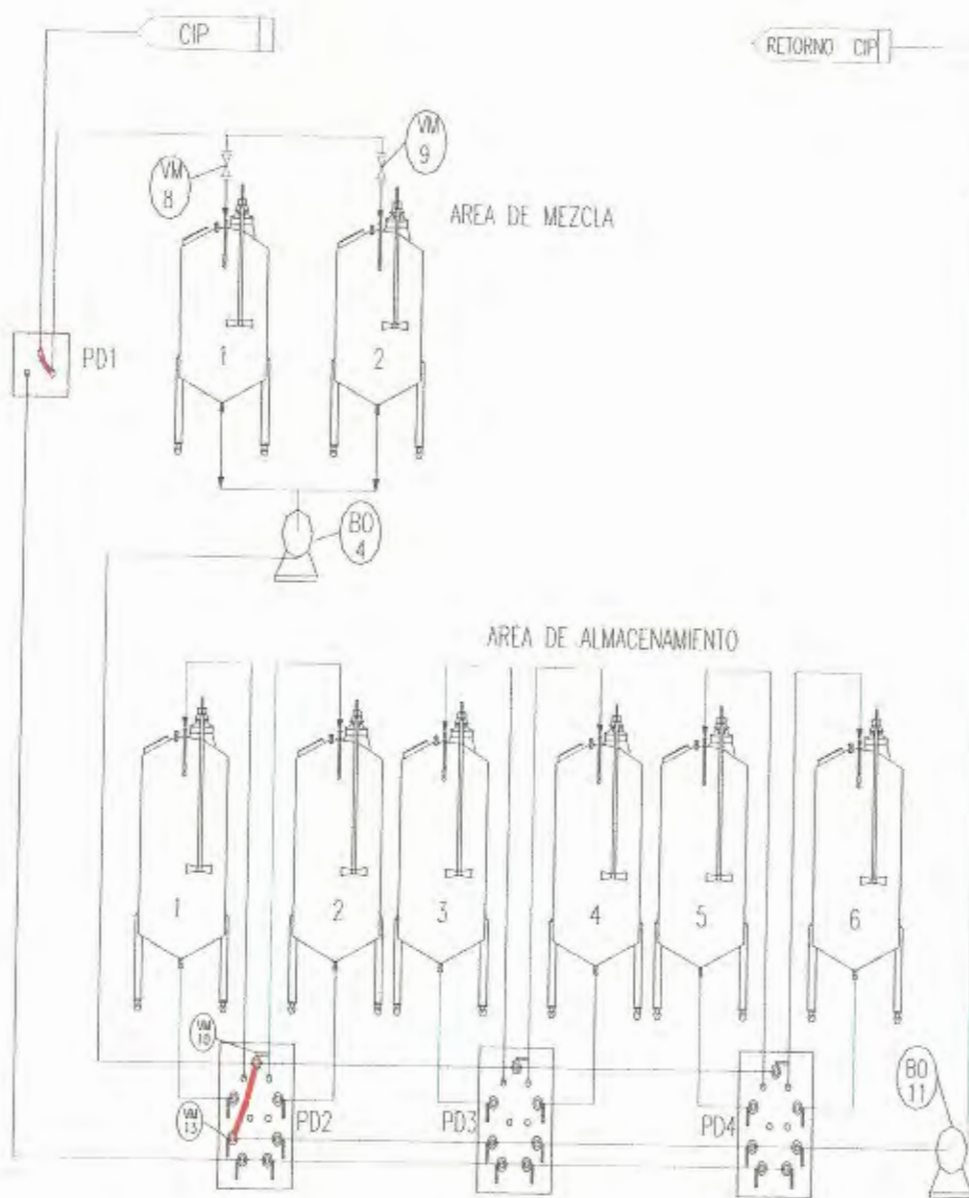


Figura 3.30. Diagrama de conexión CIP tanque de mezcla 1.

b) CIP al tanque de mezcla 2.

Para realizar el CIP al tanque 2 de mezcla el operador deberá realizar la conexión de acuerdo al diagrama de la figura 3.29, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 9.

-Las conexiones en la placa de distribución 1 y 2 son iguales a las realizadas en la limpieza al tanque 1 de mezcla.

c) CIP al tanque de mezcla 1 y 2 simultáneamente.

Para realizar el CIP al tanque 1 y 2 de mezcla el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.29, que se describe a continuación:

-Abrir las válvulas manuales VM8 y VM9.

-Las conexiones en la placa de distribución 1 y 2 son iguales a las realizadas en la limpieza al tanque 1 o 2.

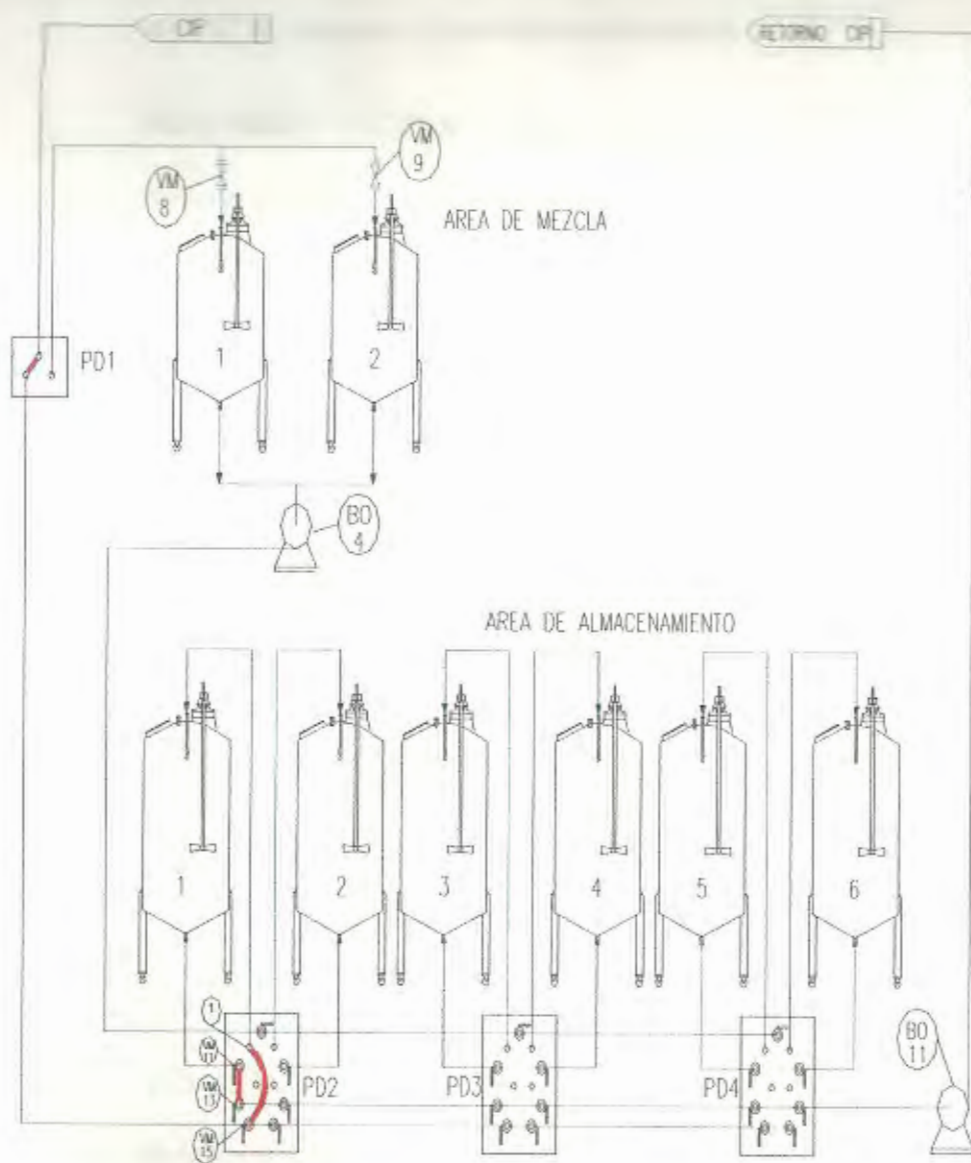


Figura 3.31. Diagrama de conexión CIP tanque de almacenamiento 1.



e) CIP al tanque 2 de almacenamiento.

Para realizar el CIP al tanque 2 de almacenamiento el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.31, que se describe a continuación:

-Realizar la conexión en la placa de distribución 1, entre la línea de CIP con la línea que se dirige hacia los tanques de almacenamiento.

-Abrir la válvula manual VM 16 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 2 y realizar la conexión con el punto 2 que es la entrada hacia el tanque2 de almacenamiento.

-Abrir la válvula manual VM 12 que esta ubicada en la placa 2, que es la que recibe la línea de salida desde el tanque 2 de almacenamiento y realizar la conexión con la válvula VM 14 que pertenece a la línea de retorno del CIP.

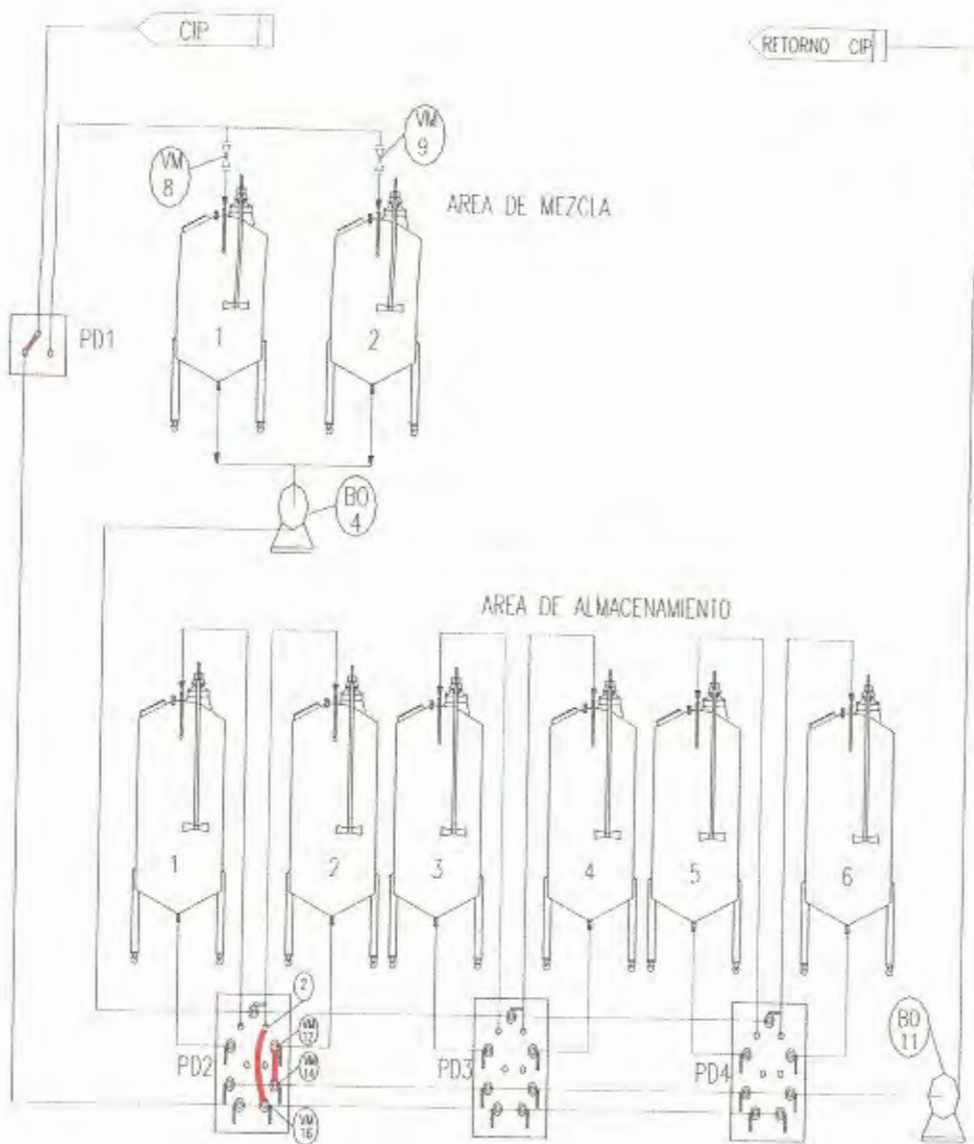


Figura 3.32. Diagrama de conexión CIP tanque de almacenamiento 2.

f) CIP a Freezer 1 - línea de crema 1 desde almacenamiento a freezer 1 y bomba de crema BO 5.

1. Para realizar el CIP al freezer 1 y la línea de crema 1 de almacenamiento hacia la placa de distribución 5 en área de freezers con su respectiva bomba de crema BO 5, el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.32, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 15 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 2 y realizar la conexión con el punto 3 que da a la línea de succión de la bomba BO 5 que envía crema hacia el punto 1 de la placa de distribución 5 que se encuentra ubicada en el área de freezers.

-Realizar la conexión entre el punto 1 de la placa 5 con la succión de la bomba de desplazamiento positiva interna del freezer 1.

-Realizar la conexión entre la salida del freezer 1 con el punto 3 de la placa de distribución PD5 y abrir la válvula VM 31 que da a la línea de retorno de CIP.

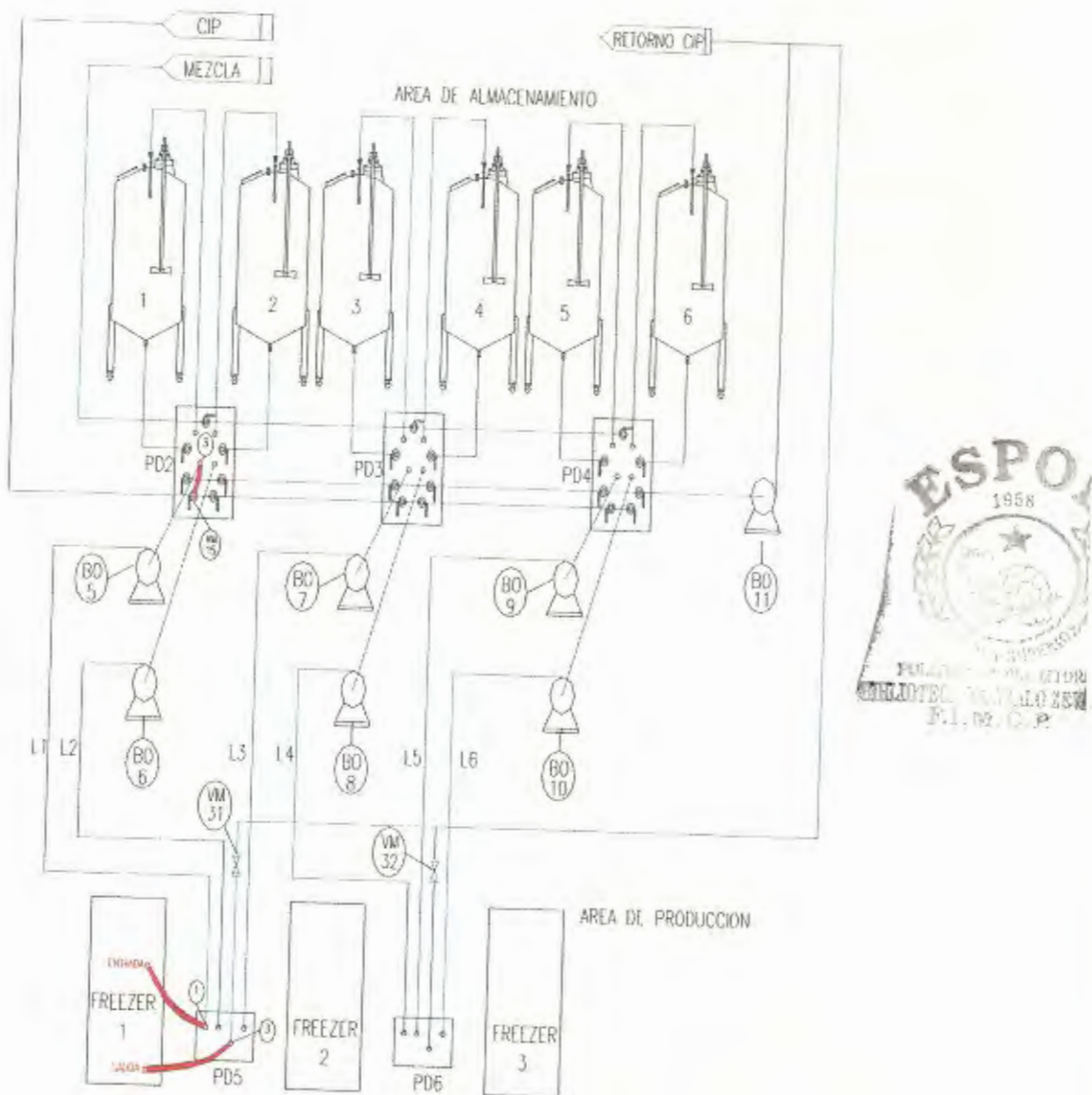


Figura 3.33. Diagrama de conexión CIP freezer 1, línea de crema 1 y bomba de crema BO5.

g) CIP a Freezer 1 - línea de crema 2 desde almacenamiento a freezer 1 y bomba de crema BO 6.

1. Para realizar el CIP al freezer 1 y la línea de crema 2 de almacenamiento hacia la placa de distribución 5 en área de freezers con la bomba de crema BO 6, el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.33, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 16 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 2 y realizar la conexión con el punto 4 que da a la línea de succión de la bomba BO 6 que envía crema hacia el punto 2 de la placa de distribución 5 que se encuentra ubicada en el área de freezers.

-Realizar la conexión entre el punto 2 de la placa 5 con la succión de la bomba de desplazamiento positiva interna del freezer 1.

-Realizar la conexión entre la salida del freezer 1 con el punto 3 de la placa de distribución PD5 y abrir la válvula VM 31 que da a la línea de retorno de CIP.

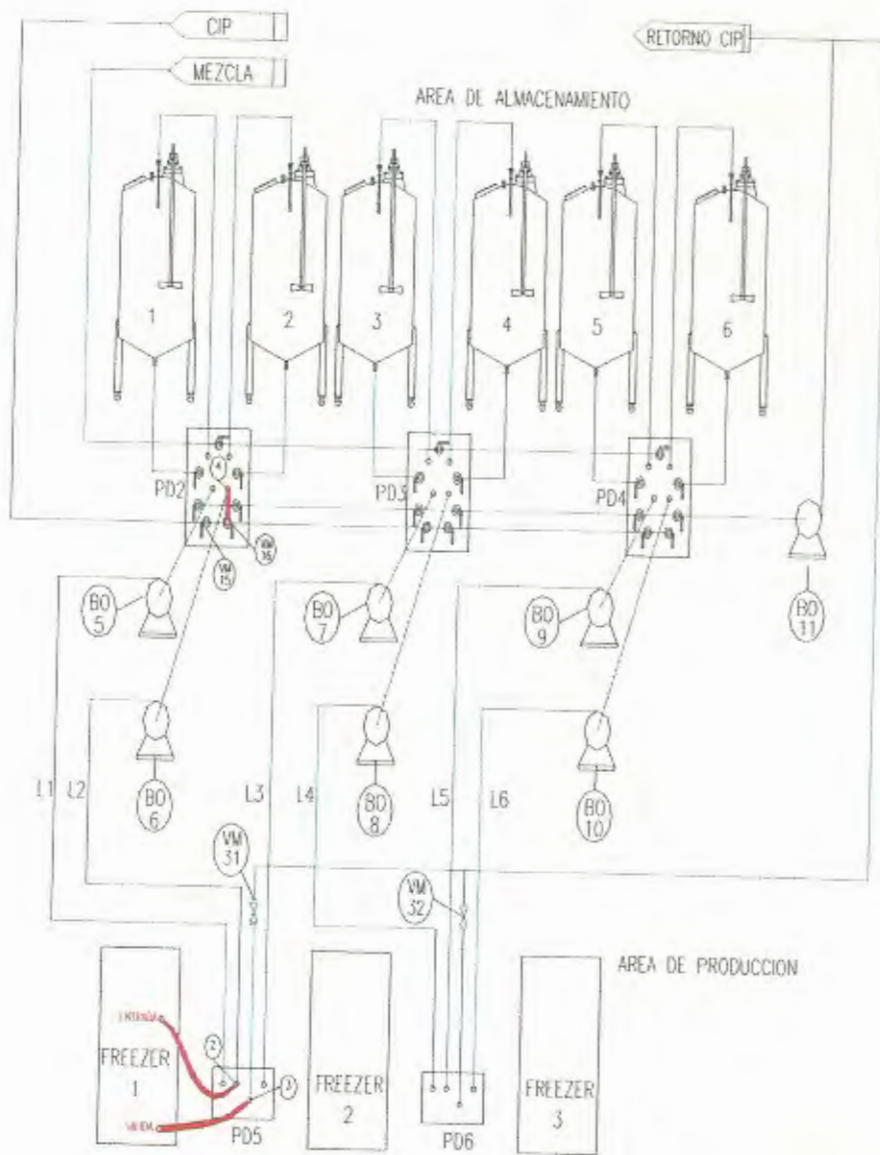


Figura 3.34. Diagrama de conexión CIP freezer 1, línea de crema 2 y bomba de crema BO6.

h) CIP a Freezer 1 - línea de crema 3 desde almacenamiento a freezer 1 y bomba de crema BO 7.

Para realizar el CIP al freezer 1 y la línea de crema 3 de almacenamiento hacia la placa de distribución 5 en área de freezers con la bomba de crema BO 7, el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.34, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 15, VM 16 y VM 22 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 3 y realizar la conexión con el punto 7 que da a la línea de succión de la bomba BO 7 que envía crema hacia el punto 4 de la placa de distribución 5 que se encuentra ubicada en el área de freezers.

-Realizar la conexión entre el punto 4 de la placa 5 con la succión de la bomba de desplazamiento positiva interna del freezer 1.

-Realizar la conexión entre la salida del freezer 1 con el punto 3 de la placa de distribución PD5 y abrir la válvula VM 31 que da a la línea de retorno de CIP.

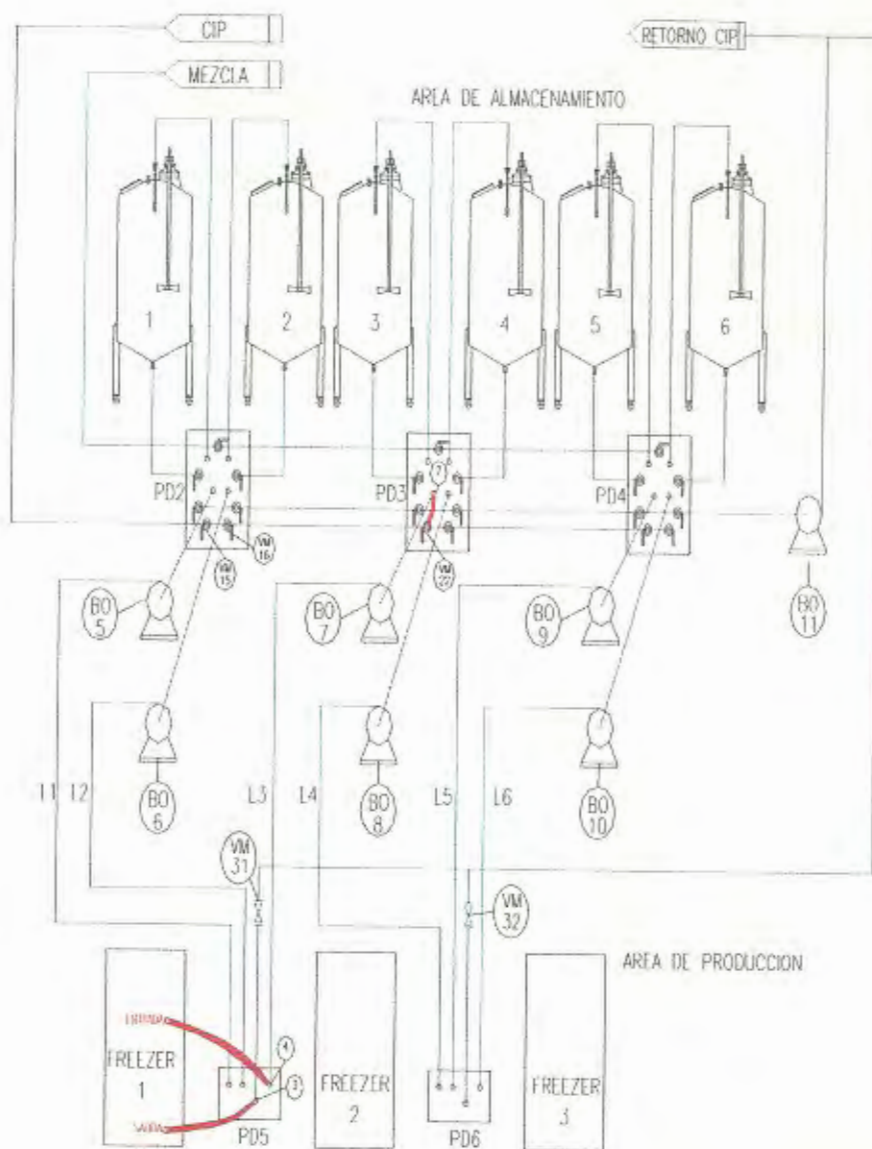


Figura 3.35. Diagrama de conexión CIP freezer 1, línea de crema 3 y bomba de crema BO7.

i) CIP a Freezer 2 - línea de crema 4 desde almacenamiento a freezer 2 y bomba de crema BO 8.

Para realizar el CIP al freezer 2 y la línea de crema 4 de almacenamiento hacia la placa de distribución 5 en área de freezers con la bomba de crema BO 8, el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.35, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 15, VM 16, VM22 y VM 23 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 3 y realizar la conexión con el punto 8 que da a la línea de succión de la bomba BO 8 que envía crema hacia el punto 5 de la placa de distribución PD6 que se encuentra ubicada en el área de freezers.

-Realizar la conexión entre el punto 5 de la placa PD6 con la succión de la bomba de desplazamiento positiva interna del freezer 2.

-Realizar la conexión entre la salida del freezer 2 con el punto 7 de la placa de distribución PD6 y abrir la válvula VM 32 que da a la línea de retorno de CIP.

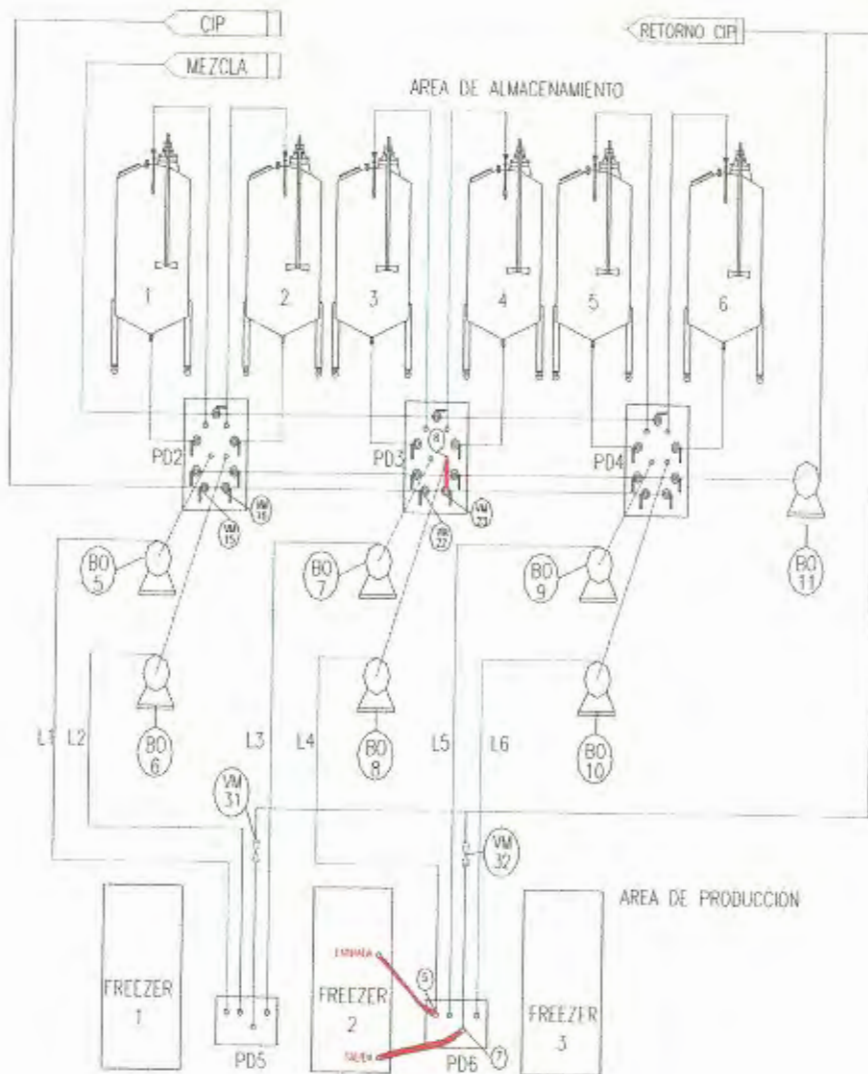


Figura 3.36. Diagrama de conexión CIP freezer 2, línea de crema 4 y bomba de crema BO8.

j) CIP a Freezer 3 - línea de crema 5 desde almacenamiento a freezer 3 y bomba de crema BO 9.

Para realizar el CIP al freezer 3 y la línea de crema 5 de almacenamiento hacia la placa de distribución 6 en área de freezers con la bomba de crema BO 9, el operador deberá realizar la conexión como se muestra en la figura 3.36, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 15, VM 16, VM22, VM 23 y VM 29 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 4 y realizar la conexión con el punto 11 que da a la línea de succión de la bomba BO 9 que manda crema hacia el punto 6 de la placa de distribución PD6 que se encuentra ubicada en el área de freezers.

-Realizar la conexión entre el punto 6 de la placa PD6 con la succión de la bomba de desplazamiento positiva interna del freezer 3.

-Realice la conexión entre la salida del freezer 3 con el punto 7 de la placa de distribución PD6 y abrir la válvula VO 32 que da a la línea de retorno de CIP.

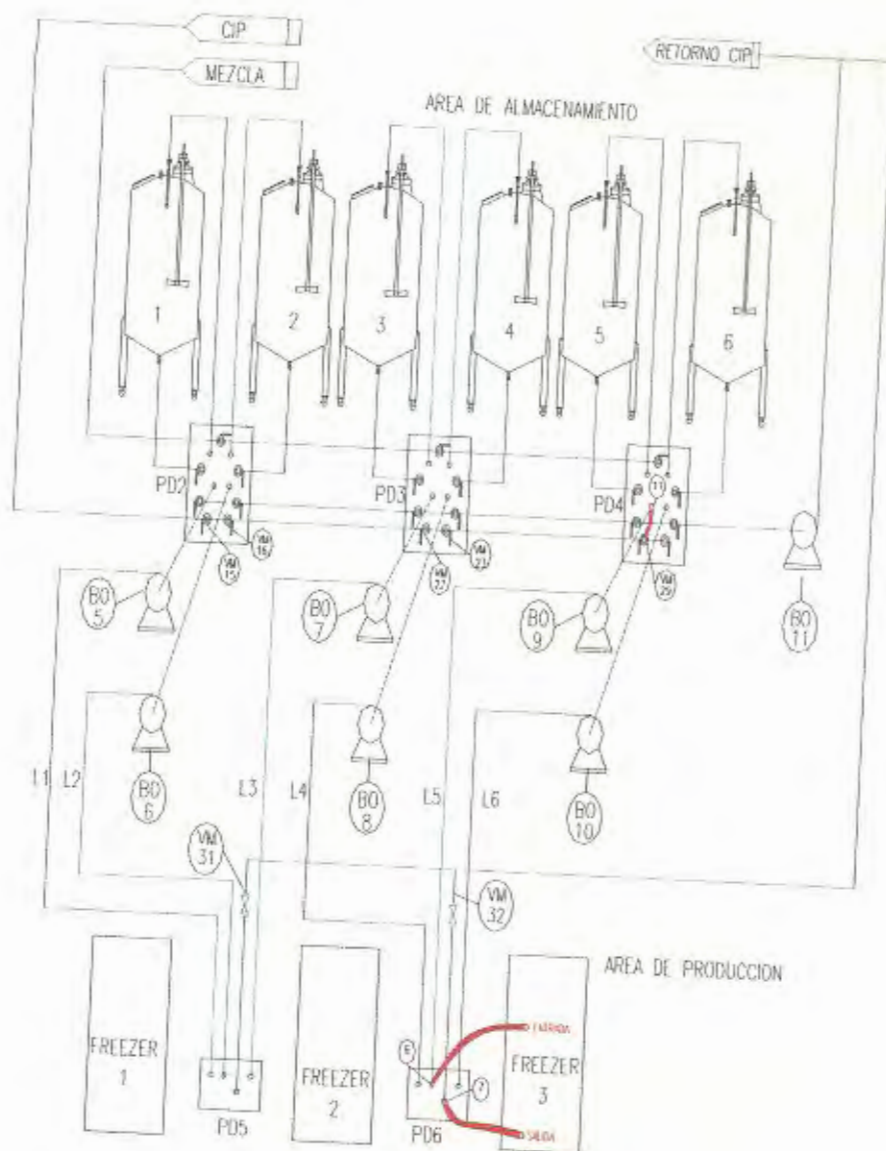


Figura 3.37. Diagrama de conexión CIP freezer 3, línea de crema 5 y bomba de crema BO9.

k) CIP a Freezer 3 - línea de crema 6 desde almacenamiento a freezer 3 y bomba de crema BO 10.

Para realizar el CIP al freezer 3 y la línea de crema 5 de almacenamiento hacia la placa de distribución 6 en área de freezers con la bomba de crema BO 10, el operador deberá realizar a conexión como se muestra en la figura 3.37, que se describe a continuación:

-Abrir la válvula manual VM 15, VM 16, VM22, VM 23, VM 29 y VM30 que es la entrada de la línea de CIP desde la placa 1 a la placa 4 y realizar la conexión con el punto 12 que da a la línea de succión de la bomba BO 10 que manda crema hacia el punto 8 de la placa de distribución PD6 que se encuentra ubicada en el área de freezers.

-Realizar la conexión entre el punto 8 de la placa PD6 con la succión de la bomba de desplazamiento positiva interna del freezer 3.

-Realizar la conexión entre la salida del freezer 3 con el punto 7 de la placa de distribución PD6 y abrir la válvula VM 32 que da a la línea de retorno de CIP.

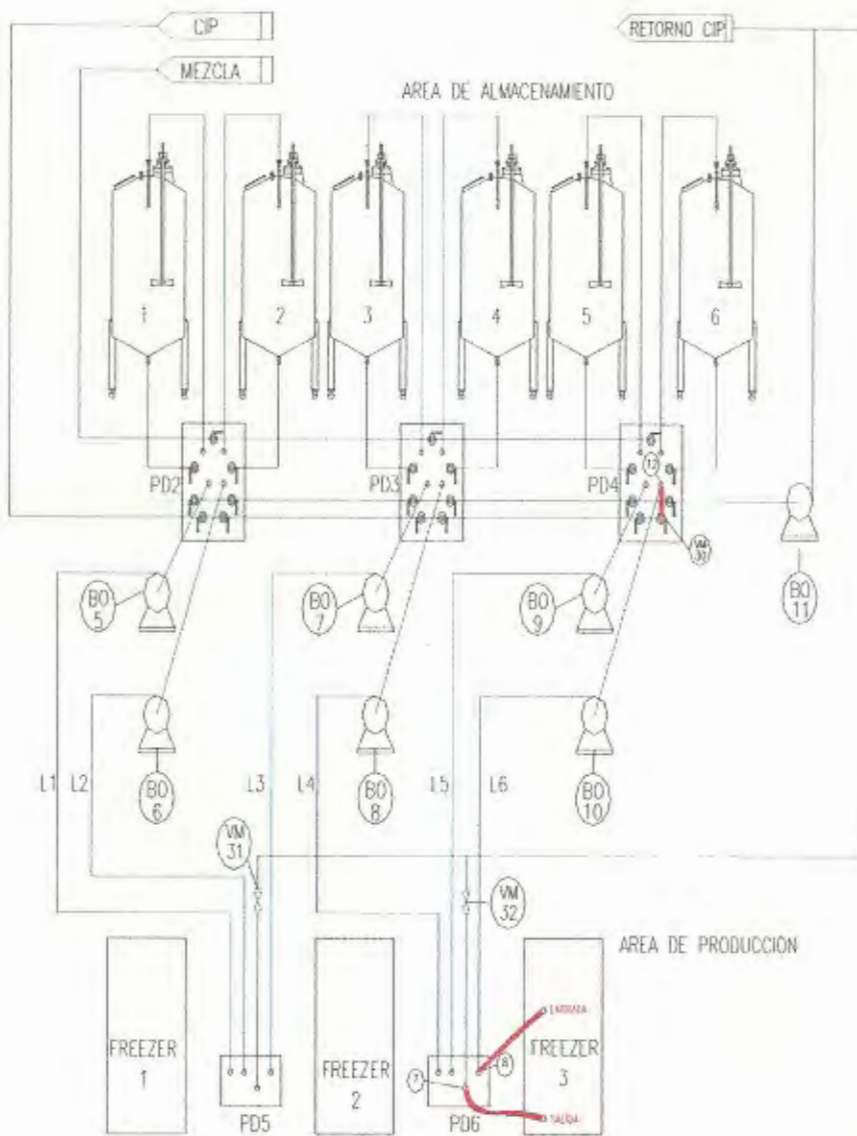


Figura 3.38. Diagrama de conexión CIP freezer 3, línea de crema 6 y bomba de crema BO10.



CAPITULO 4

4. DETERMINACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCION

4.1 Determinación de costos de construcción.

Para determinar los costos de construcción se consideran todos los recursos que se utilizarán para la instalación de un sistema CIP en la Planta, con las condiciones ya existentes.

En la tabla 17 se muestra una clasificación de los elementos mecánicos y eléctricos utilizados, las cantidades de los mismos, así como los costos actualizados en el medio.

Tabla 17.
Costos de materiales del CIP.

MECÁNICOS
DESCRIPCION

	CANT	COSTO UNIT. (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Inyector de vapor de 1" - Modelo IN25	2	350	700
Válvula solenoide para vapor de 1" NPT 110/220 V	2	280	560
Rociador-spray ball LKSB de 45 mm. Modelo 360X	8	415	3320
Válvula neumática LKB de 1,1/2", 38 mm	9	73,31	659,79
Actuador para válvula neumática de 1,1/2" 38 mm	9	683,4	6150,8
Tubo de acero inox. 316 L con acabado 1,1/2" dia, e1,6mm	13	100,7	1309,4
Codo de 90° soldable de acero inoxidable de 1,1/2" AISI 316L	20	54	1080
Tee soldable de acero inox. de 1,1/2" de diámetro AISI 316L	9	44	396
Nudo soldable de acero inox. de 1,1/2" de diámetro AISI 316L	22	28	616
Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 1 mm de espesor	10	100	1000
Plancha de acero inoxidable AISI 316 de 2 mm de espesor	15	200	3000
Cilindro de argón	10	100	1000

ELÉCTRICOS
DESCRIPCION

	CANT.	COSTO UNIT. (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Bomba de Acero inox. de 5 HP- 3500 r.p.m. - 1,1/4*1,1/2*6	1	1100	1100
Bomba de Acero inox. de 3 HP- 3500 r.p.m. - 1,1/4*1,1/2*6	1	700	700
Bomba de Acero inox. de 1 HP- 1,1/4*1,1/2*6	1	430	430
Bomba dosificadora de detergente de 0,01-0,58 GPH	1	305,7	305,7
Controlador de temperatura	2	320	640
Sensor de temperatura tipo RTD	2	160	320
Electro válvula 3/2 vías	9	122	1098
PLC 16 input 24 Vdc-12 output por relé	2	237	474
Arrancador de bomba de 1 HP directo con brecker, contacor.	1	148,5	148,5

COSTO TOTAL DE MATERIALES

25008

El costo total de los materiales es de 25008 dólares, adicionalmente el costo por mano de obra por construcción de tanques e instalación de la línea sanitaria es de 12000 dólares, por la asesoría técnica de 3000 dólares, por la programación del PLC 1000 dólares, que da un costo total del proyecto de 41008 dólares.

4.1 Análisis Económico.

La construcción e instalación del sistema de CIP en esta Planta alimenticia tendrá un costo de 41008 dólares.

La importación de un equipo similar de CIP desde los Estados Unidos tiene un costo que se lo describe a continuación:

-Costo FOB 25000 USD,

que es el costo de la compra del equipo en USA.

-Costo CIF 49700 USD.

Es el costo del FOB mas el valor por el seguro (0.034% FOB) y el flete (10% FOB) de la compañía importadora.

-Costo aranceles 2480 USD.

Es el 5 % del valor CIF.

Da como resultado un costo total de 52180 USD.

Otra alternativa sería la compra del equipo a un representante local de la empresa extranjera dedicada a la línea sanitaria con un costo de 65000 dólares.

Finalmente se concluye que es conveniente realizar el diseño, construcción y montaje aquí en el Ecuador por el personal técnico de la empresa.

APENDICE A

PROPIEDADES TERMOFISICA DEL AGUA SATURADA

Temp. °K	Presión (bar)	Volumen Específico M ³ /Kg		Entalpia Vaporiz. h _{fg} KJ/Kg	Calor Especf. KJ/kg°K C _{pf}	Viscosidad (N s/m ²)	
		V _f *10 ³	v _g			μ _f *10 ⁶	μ _g *10 ⁶
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1750	8.02
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1652	8.09
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1422	8.29
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1225	8.49
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1080	8.69
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	959	8.89
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	855	9.09
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	769	9.29
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	695	9.49
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	631	9.69
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	577	9.89
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	528	10.09
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	489	10.29
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	453	10.49
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	420	10.69
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	389	10.89
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	365	11.09
355	0.5100	1.030	3.181	2304	4.199	343	11.29
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	324	11.49
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	306	11.69
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	289	11.89

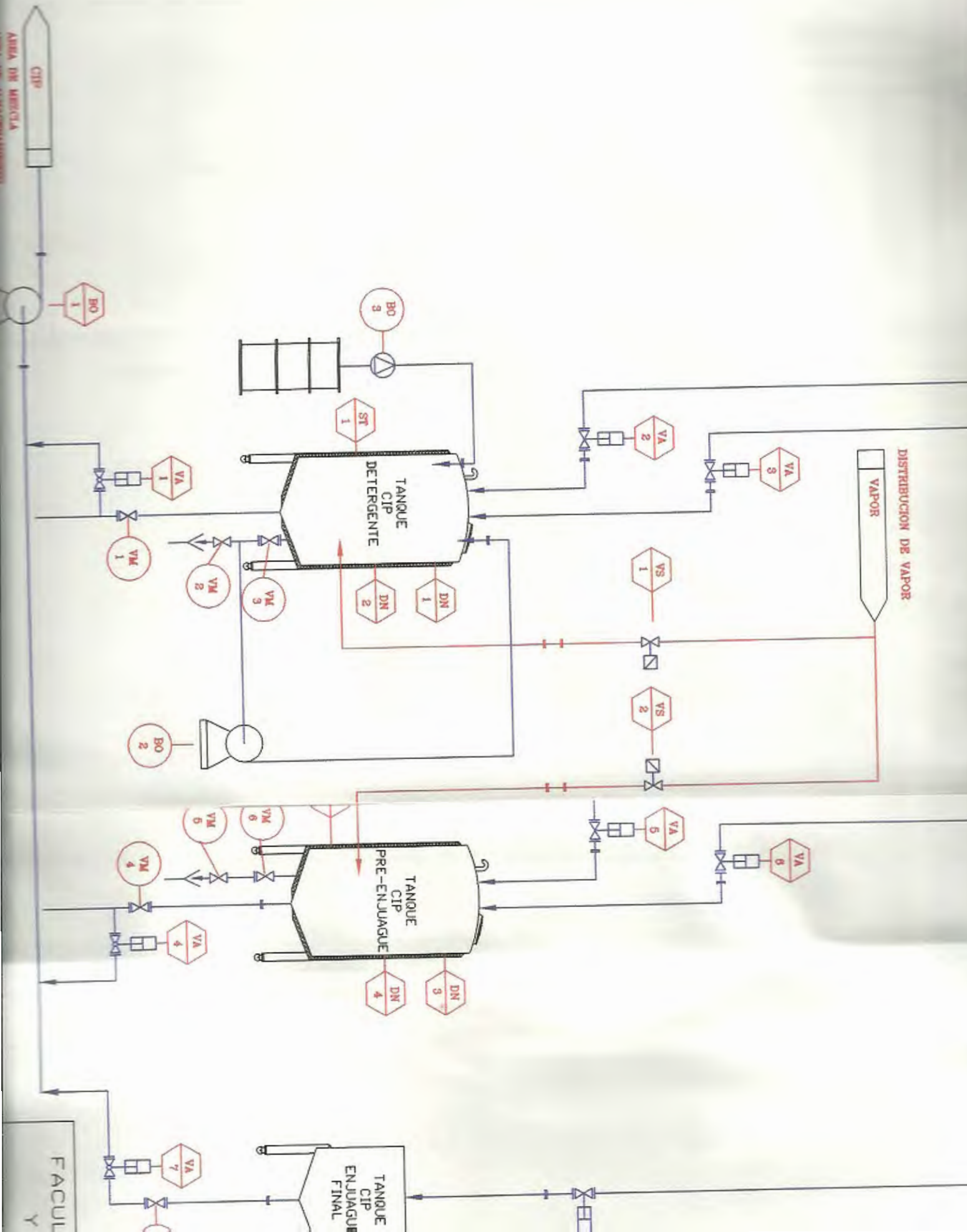


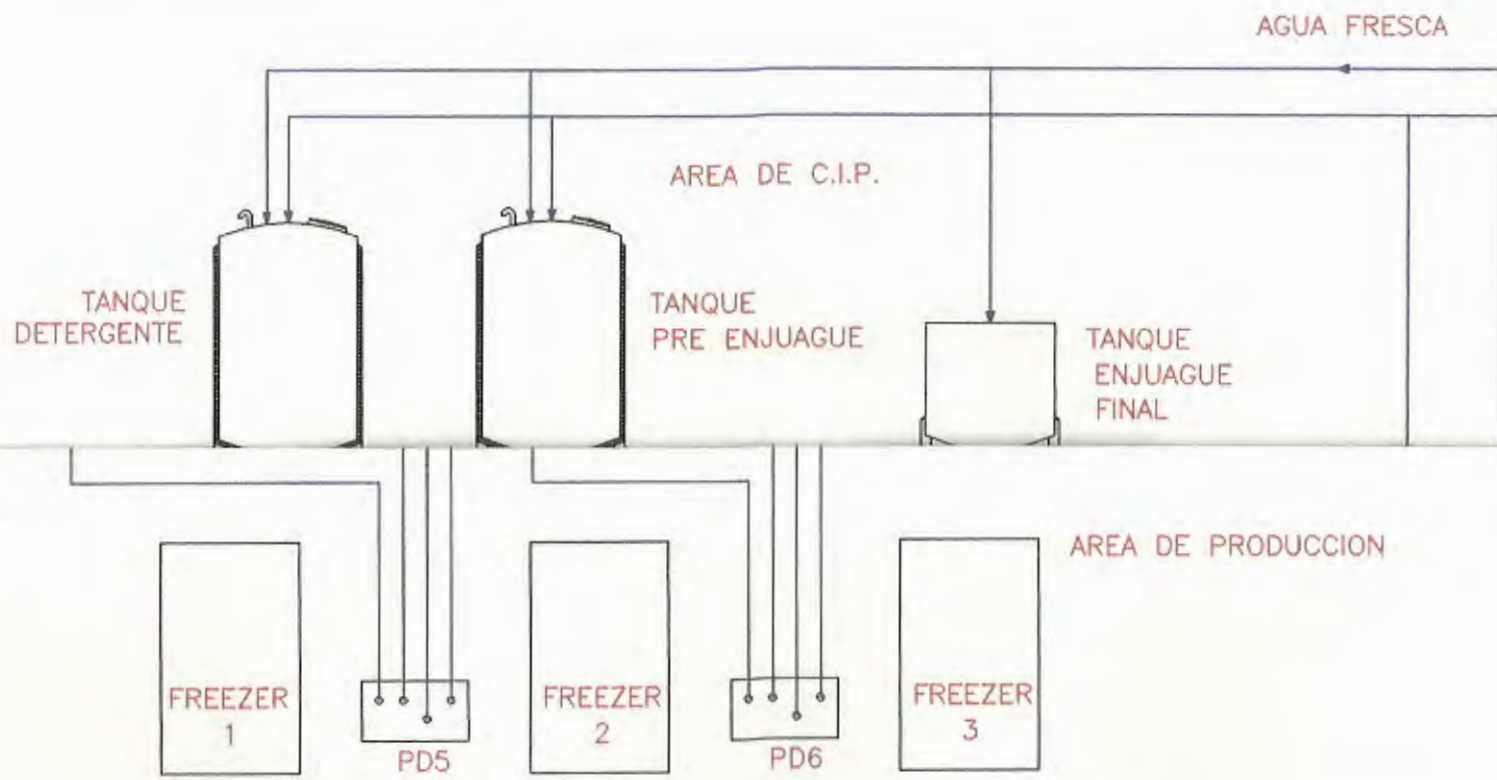
APENDICE B

MATERIALES Y SISTEMAS DE AISLAMIENTO


Descripción	Propiedades típicas a 300° K		
	Densidad ρ (kg/m ³)	Conductividad Térmica, k (W/m °K)	Calor Específico J/kg°K c_p
Fibra de vidrio, revestida de papel	16	0.046	-
Fibra de vidrio recubierta de tubo	32	0.038	835
Vidrio Celular	145	0.058	1000
Fibra de vidrio, unión orgánica	105	0.036	795
Poliestireno expandido, estirado	55	0.027	1210
Lámina de fibra mineral madera	350	0.087	1590
Corcho granulado	160	0.045	-
Fibra de vidrio, vaciado o soplado	16	0.043	835
Vermiculita	80	0.068	835

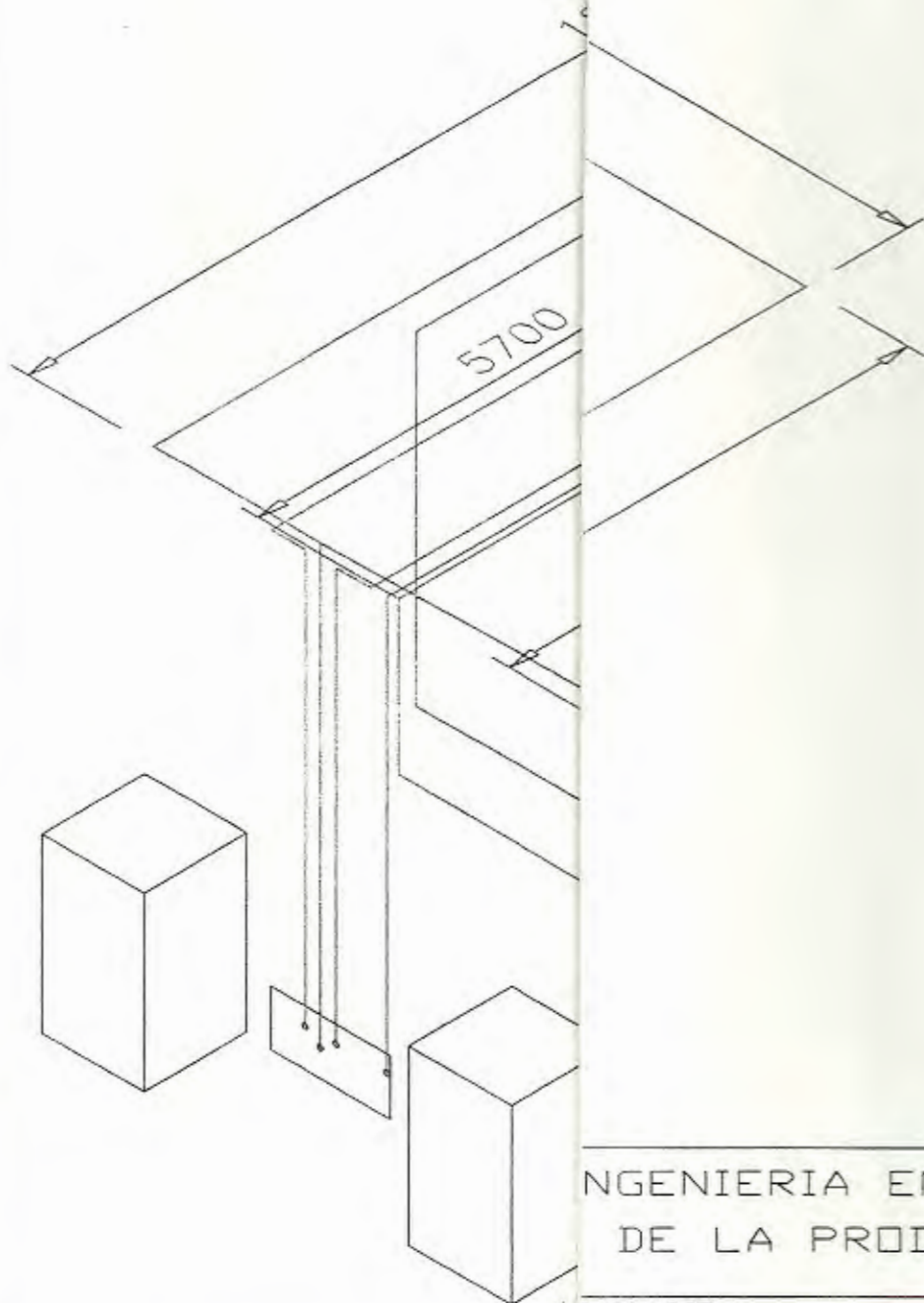
PLANOS





FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

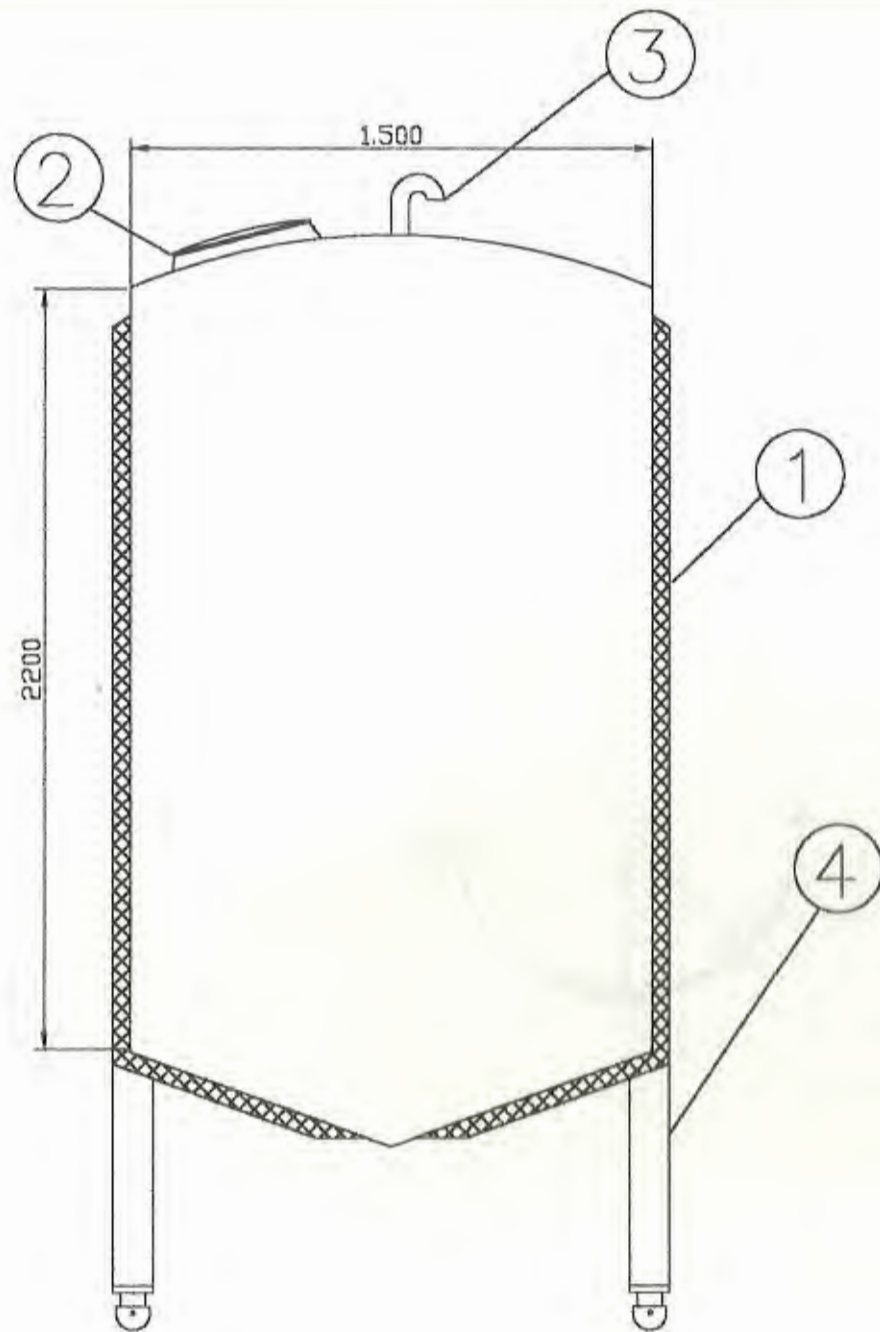
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION:	ESCALA
Dib.	1/2/02	E. SALVATIERRA	DIAGRAMA DE SISTEMA C.I.P.	S/E
Rev.	2/2/02	E. MARTINEZ		
Apro.		E. MARTINEZ		
ESPOL			PLANO No: 002	
			MATERIAL:	



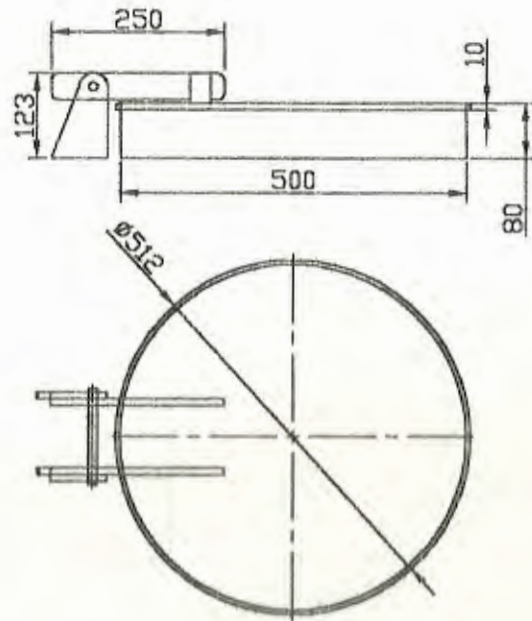
FREEZERS

INGENIERIA EN MECANICA
DE LA PRODUCCION

ELIMINACION:	ESCALA
DISTRIBUCION DE TUBERIAS	1:75
NO No: 003	
MATERIAL:	

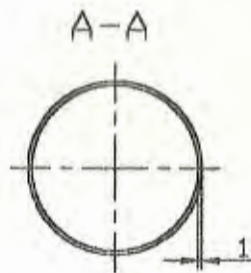
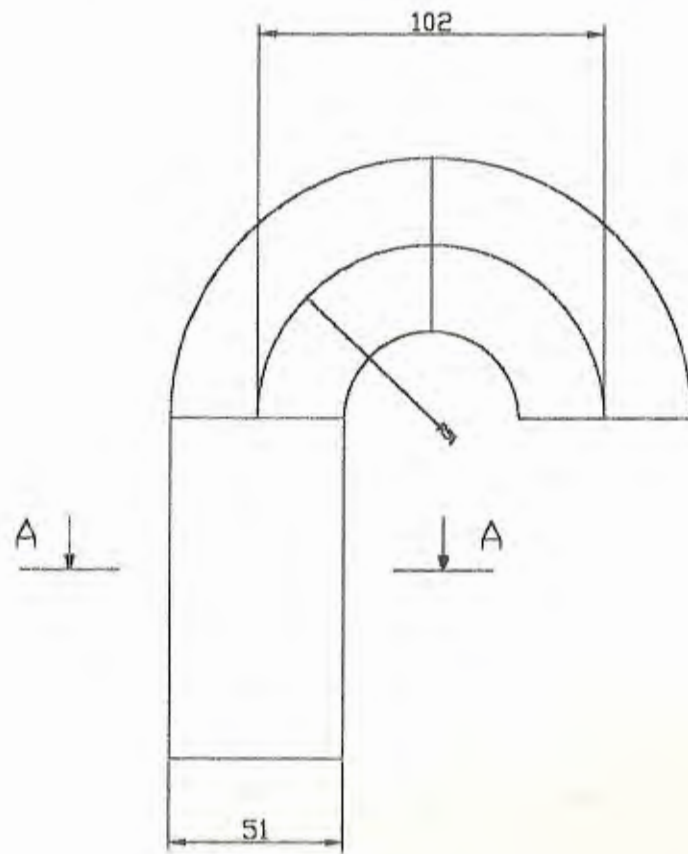


4	Apoyos del tanque	1	Tubo de 4 pulg. de diámetro	
3	Venteo	1	Ver plano 005	
2	Puerta de Inspección	1	Ver plano 005	
1	Aislamiento del tanque	1	Lana de vidrio	
ITEM	DENOMINACION	Cant	OBSERVACIONES	
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION				
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
Dib.	10-02-02	E. Salvatierra	Conjunto Tanque de CIP	E 1:20
Rev.		E. Martinez		
Apro.		E. Martinez		
ESPOL			PLANO No: 004	
			MATERIAL: Acero AISI 316	



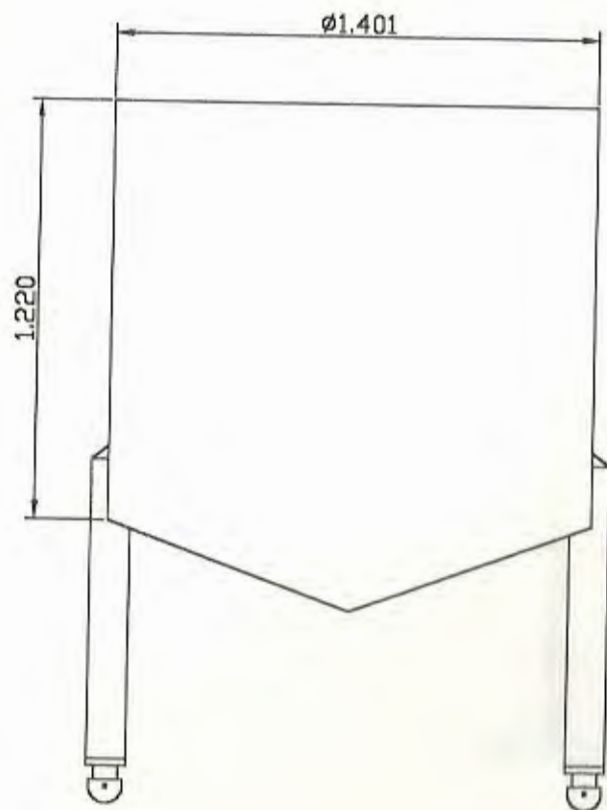
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
Dño.	10-02-02	E. Salvatierra	Puerta de Inspección	E 1:10
Rev.		E. Martínez		
Apro.				
ESPOL			PLANO No: 005	
			MATERIAL: Acero AISI 316	



FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
Dib.	10-02-02	E. Salvatierra	Venteo	E 1:2
Rev.		E. Martinez		
Apro.		E. Martinez		
ESPOL			PLANO No 006	
			MATERIAL: Acero AISI 316	



FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION				
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
Dib.	10-02-02	E. Salvatierra	Tanque de Enjuague final	E 1:20
Rev.		E. Martínez		
Apro.		E. Martínez		
ESPOL			PLANO No:	
				007
			MATERIAL:	Acero AISI 316

BIBLIOGRAFIA.

1. SHIGLEY JOSEPH EDWARD, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta Edición, Editorial McGraw-Hill.
2. ROBERT W. FOX – ALAN T. MC. DONALD, Introducción a la mecánica de fluidos, Cuarta Edición, Editorial McGraw-Hill.
3. FRANK P. INCROPERA DAVID P. DE WITT, Fundamentos de transferencia de Calor, Cuarta Edición, Editorial Prentice Hall.
4. TETRA PAK, Manual de equipos de flujo.
5. TRI-CLOVER, Catalogo de bombas.
6. MODICON, Catalogo de equipos.
7. CATALOGO DE ACEROS, Manual de aceros.
8. MILTON ROY, Catalogo de bombas dosificadoras.