

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE FERMENTACIÓN PARA LA
ELABORACIÓN DE 100 litros DE CHICHA DE JORA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

DIEGO JOSÉ RODRIGO RIOS CÁCERES

ASESOR: Ing. Enrique José Barrantes Peña

Lima, noviembre del 2013

RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó un sistema de fermentación para elaborar 100 litros de chicha de jora, el cual consta en dos recipientes de acero inoxidable AISI 316, uno para los procesos de calentamiento con una capacidad nominal de 280 litros y una presión máxima de 3,5 bar y el otro para los procesos de enfriamiento 160 litros y una presión máxima de 3,8 bar. Cada recipiente tiene en el interior un serpentín helicoidal, uno para calentamiento, donde fluye vapor, y el otro para enfriamiento, donde circula mezcla de agua y propilenglicol (al 20% de concentración), para alcanzar los niveles de temperatura recomendados para cada proceso. Además cada recipiente tiene un agitador del tipo axial que mejorará la transferencia de calor. Para transvasar el mosto producto de la cocción se utilizó una bomba de diafragma que lleve el producto hacia el recipiente donde se realizará la fermentación. Previo a esto, el mosto es enfriado en un intercambiador de placas de características sanitarias donde se produce un cambio brusco de temperatura.

Para optimizar el proyecto, se buscó automatizar los procesos de producción, usando sensores de nivel del tipo capacitivo, sensores de temperatura del tipo RTD, válvulas solenoides, válvulas auto-controladas (autoreguladas según la temperatura del fluido en el interior del recipiente) y un PLC. Con ello se establecerán los parámetros requeridos para los procesos. Además se usó una bomba centrífuga para el refrigerante, se hizo la selección de los conductores para los motores, los interruptores y relés necesarios. El presente proyecto abarcó el diseño térmico y verificación mecánica de los soportes y de los tornillos de sujeción para las tapas.

Finalmente, el trabajo incluye un estimado del presupuesto del proyecto en el que se evalúan los costos de materiales y equipos, costos de fabricación y montaje y los costos del diseño. El proyecto alcanza un costo total que asciende aproximadamente a S/.119'446,29.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco y ofrezco este trabajo para Dios, a quien espero agradar con mi esfuerzo y a quien debo mucho.

A mis padres, mi hermana y amigos por todo el apoyo brindado, por darme ánimos y brindarme la confianza necesaria para poder desarrollar este trabajo lo cual considero un aporte importante en su realización.

A mi asesor el Ing. Enrique Barrantes Peña por todo el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo de tesis, por la motivación y por las facilidades en cuanto a la información requerida.

A mis amigos y compañeros de trabajo Miguel Ángel Yopez y el Ing. Iván Candia por sus consejos y recomendaciones en cuanto a mi diseño y el apoyo brindado durante el desarrollo de la parte final de este trabajo. Al Ing. Arturo Maldonado, la Ing. Ericka Madrid, el Ing. Víctor Vera y mis amigos electrónicos Paulo Concepción y Gabriel Jiménez que me brindaron su apoyo explicándome y orientándome sobre las consideraciones del sistema de control y eléctrico para el funcionamiento del sistema diseñado en el presente trabajo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	3
1.1 Generalidades	3
1.1.1 Definición de chicha.....	3
1.1.2 La chicha de jora	3
1.1.3 Propiedades medicinales y alimenticias de la chicha	3
1.2 Procesos de elaboración siguiendo tecnología cervecera	4
1.3 Fermentación	5
1.3.1 Tipos de fermentación	5
1.3.1.1 Fermentación alcohólica	6
1.4 Tecnología existente.....	6
1.4.1 Sistemas de fermentación	6
1.4.1.1 Fermentación de lote	6
1.4.1.2 Fermentación de lote alimentado.....	7
1.4.1.3 Fermentación continua	7
1.4.2 Tanques fermentadores.....	9
1.4.3 Diseños de fermentadores.....	9
1.4.3.1 Matraz Enlenmeyer.....	10
1.4.3.2 Fermentador de elevación con aire o “Air-lift”	10
1.4.3.3 Fermentador de disco giratorio	10
1.4.3.4 Fermentador de tanque agitado.....	11
1.4.4 Otros diseños existentes.....	13
1.4.4.1 Biorreactor tipo torre	13
1.4.4.2 Biorreactores de cámara ancha.....	13
1.4.4.3 Biorreactor tipo Yorkshire	14
1.4.4.4 Tanque autovaciante	14
1.4.4.5 Intercambiador de calor para tanque de fermentación	15
1.5 Parámetros de cálculo	15
1.5.1 Parámetros fundamentales.....	16
1.6 Metodología de diseño.....	17
1.6.1 Comprensión de la solicitud.....	17
1.6.2 Estructura de funciones	17

1.6.3 Matriz morfológica	19
1.6.4 Conceptos de solución	21
1.6.5 Evaluación Técnico-Económica	22

CAPÍTULO 2: DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE FERMENTACIÓN.....26

2.1 Balances de cantidad de materia prima	26
2.2 Dimensionamiento de los recipientes.....	28
2.3 Cargas térmicas involucradas.....	29
2.4 Diseño de los serpentines.....	30
2.4.1 Diseño del serpentín de calentamiento	30
2.4.2 Cálculo de cantidad de fluido evaporado	38
2.4.3 Cálculo del espesor de aislante requerido en el calentamiento.....	39
2.4.4 Cálculo del serpentín de enfriamiento.....	41
2.4.5 Cálculo del espesor de aislante requerido en el enfriamiento	45
2.5 Cálculo de los espesores de los recipientes	46
2.5.1 Cálculo del espesor por presión interna.....	47
2.5.1.1 Espesor del cuerpo cilíndrico	47
2.5.1.2 Espesor del fondo cónico.....	48
2.5.1.3 Espesor de la tapa toriesférica.....	48
2.5.2 Cálculo del espesor por presión externa.....	50
2.5.2.1 Espesor del cuerpo cilíndrico	50
2.5.2.2 Espesor del fondo cónico.....	51
2.5.2.3 Espesor de la tapa toriesférica.....	51
2.6 Cálculo de los soportes.....	51
2.6.1 Análisis de resistencia de materiales	53
2.6.2 Verificación por pandeo	54
2.6.3 Análisis por vibraciones	56
2.6.4 Cálculo de juntas soldadas para la unión en las patas.....	56
2.6.5 Espesor de las placas base para los soportes	58
2.7 Cálculo de los agitadores.....	60
2.8 Cálculos para las bombas.....	64
2.9 Cálculos para unión atornillada de la tapa	69
2.10 Cálculos para el intercambiador de placas.....	71

2.11 Línea de alimentación de agua destilada para procesos.....	74
2.12 Conductores eléctricos	74
2.13 Sistema de tuberías	76
2.14 Accesorios	77
2.14.1 Válvulas de alivio de presión.....	77
2.14.2 Trampa de vapor	78
2.14.3 Instrumentación	79
2.14.4 Válvulas solenoide.....	82
2.14.5 Sensores	83
2.14.6 PLC	84
2.14.7 Contactores	85
CAPÍTULO 3: PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	90
3.1 Costos directo de materiales y elementos.....	90
3.1.1 Recipiente de calentamiento.....	90
3.1.2 Recipiente de enfriamiento	90
3.1.3 Sistema de tuberías e instrumentación	91
3.1.4 Equipos	92
3.1.5 Sistema eléctrico	92
3.2 Costos de fabricación y montaje	93
3.3 Costos de diseño	93
3.4 Costo total	94
CONCLUSIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA	96
PLANOS	

ANEXOS

ANEXO 1: Lista de exigencias.....	A-1
ANEXO 2: Estructura de funciones	A-3
ANEXO 3: Matriz morfológica.....	A-4
ANEXO 4: Balance de masas de materia prima y proporciones de materia prima	A-6
ANEXO 5: Cálculo de las dimensiones del recipiente.....	A-8
ANEXO 6: Hoja de cálculo de Excel para el dimensionamiento del recipiente de calentamiento	A-11
ANEXO 7: Hoja de cálculo de Excel para el dimensionamiento del recipiente de enfriamiento	A-12
ANEXO 8: Cálculo de las cargas térmicas.....	A-13
ANEXO 9: Hoja de cálculo de Excel para dimensionamiento del serpentín en el proceso de maceración.....	A-15
ANEXO 10: Hoja de cálculo de Excel para dimensionamiento del serpentín en el proceso de cocción.....	A-21
ANEXO 11: Hojas de cálculo de Excel para el estimado del agua evaporada en el proceso de cocción.....	A-26
ANEXO 12: Hojas de cálculo de Excel para el estimado del espesor de aislamiento térmico para el calentamiento.....	A-27
ANEXO 13: Hoja de cálculo de Excel para el dimensionamiento del serpentín de enfriamiento en el proceso de fermentación	A-30
ANEXO 14: Hoja de cálculo de Excel para dimensionamiento del serpentín de enfriamiento en el proceso de maduración	A-34
ANEXO 15: Hoja de cálculo de Excel con el estimado del espesor de aislamiento térmico en el recipiente de enfriamiento	A-40
ANEXO 16: Hoja de cálculo de Excel con los espesores del recipiente de calentamiento para presión interna.....	A-41
ANEXO 17: Hoja de cálculo de Excel con los espesores del recipiente de calentamiento para presión externa.....	A-44
ANEXO 18: Hoja de cálculo de Excel con los espesores del recipiente de enfriamiento para presión interna.....	A-51

ANEXO 19: Hoja de cálculo de Excel con los espesores del recipiente de enfriamiento para presión externa.....	A-54
ANEXO 20: Cálculo del soporte para el recipiente de calentamiento.....	A-59
ANEXO 21: Cálculo del soporte para el recipiente de enfriamiento	A-64
ANEXO 22: Verificación por resonancia	A-69
ANEXO 23: Cálculo para verificación de la unión soldada.....	A-70
ANEXO 24: Tablas y gráficos utilizados en la verificación de los soportes	A-73
ANEXO 25: Cálculo de las placas base para las patas del recipiente.....	A-75
ANEXO 26: Selección del agitador para el recipiente de calentamiento	A-82
ANEXO 27: Selección del agitador para el recipiente de enfriamiento.....	A-84
ANEXO 28: Cálculos y selección de bomba para mosto	A-86
ANEXO 29: Cálculos y selección de bomba para agua glicolada	A-92
ANEXO 30: Tablas para el sistema de tuberías	A-99
ANEXO 31: Cálculos para la unión atornillada de las tapas al cuerpo cilíndrico	A-100
ANEXO 32: Pernos para sujeción del aislante.....	A-111
ANEXO 33: Información sobre Intercambiador de placas (PHE)	A-112
ANEXO 34: Conexiones eléctricas	A-122
ANEXO 35: Válvulas de alivio	A-126
ANEXO 36: Válvulas de control auto-controlada	A-127
ANEXO 37: Trampa de vapor.....	A-131
ANEXO 38: Válvulas solenoide	A-132
ANEXO 39: Sensores y control	A-134
ANEXO 40: Dimensiones de perno U-Bolt utilizado para conexiones y sujeción de los serpentines	A-137

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Definición</i>
H_{cil}	: Altura cilíndrica
h_1	: Altura de la pestaña
Z_s	: Altura del eje de la bomba
H_{FC}	: Altura del fluido en el interior del cilindro
H_{Fcono}	: Altura del fondo cónico
H_S	: Altura del serpentín de calentamiento
h_2	: Altura del techo
ADT	: Altura disponible total
Z_d	: Altura en la descarga
h_t	: Altura estática total
h_3	: Altura total de la tapa
X_d	: Ancho de la descarga
L_1	: Ancho de placa del intercambiador de calor de placas
w_b	: Ancho del baffle
W	: Ancho del rodete
φ	: Ángulo de la hélice
α	: Ángulo del cono
ρ'	: Ángulo efectivo de fricción
α_f	: Ángulo entre flancos
A_c	: Área de contacto en unión atornillada
A_{pl}	: Área de placas del intercambiador de calor
A_T	: Área de transferencia
A_T'	: Área de transferencia comprobada
A_{PE}	: Área de un solo perno
A_S	: Área de la sección del soporte para el recipiente
A_{sol}	: Área de la sección de la unión soldada
$A_{mín}$: Área mínima de la sección del conductor
A_t	: Área proyectada de la tapa
A_P	: Área total de los pernos
A_j	: Área transversal del tornillo
δ	: Asentamiento

b	:	Brazo de palanca
h_{sp}	:	Cabeza de presión estática aplicada al fluido
Δp_f	:	Caída de presión debido a la fricción en el intercambiador de placas
h_f	:	Caída de presión total debido a las pérdidas
$\Delta U\%$:	Caída de tensión admisible en porcentaje
X_i	:	Calidad de entrada del vapor
X_s	:	Calidad de salida del vapor
\bar{X}	:	Calidad promedio
C_{pL}	:	Calor específico a presión constante de la fase líquida a temperatura media de película
C_{pag}	:	Calor específico a presión constante del agua glicolada
C_{pag}	:	Calor específico del agua glicolada
C_{pmosto}	:	Calor específico del mosto
h_{fg}	:	Calor latente del vapor de agua
Q_2	:	Calor necesario para la cocción
Q_3	:	Calor necesario para la enfriamiento
Q_4	:	Calor necesario para la fermentación
Q_1	:	Calor necesario para la maceración
Q_5	:	Calor necesario para la maduración
ΔX	:	Cambio de calidad
h'_{fg}	:	Cambio total de entalpía para condensación pelicular
P	:	Carga axial
W_{Ti}	:	Carga sobre una pata
Q_d	:	Caudal de diseño
Q_{op}	:	Caudal de operación
α_{ag}	:	Coefficiente de convección del agua glicolada
α_f	:	Coefficiente de convección del fluido en proceso
α_{2j}	:	Coefficiente de convección exterior de un tramo de tubería del serpentín
α_2	:	Coefficiente de convección exterior del serpentín
α_3	:	Coefficiente de convección fuera del recipiente
α_{3r}	:	Coefficiente de convección fuera del recipiente más efecto de la radiación
α'_{1j}	:	Coefficiente de convección interior al serpentín corregido
α_{1j}	:	Coefficiente de convección interior de un tramo de tubería del serpentín
α_1	:	Coefficiente de convección interior del serpentín

α_{ij}	:	Coeficiente de convección interno parcial
f	:	Coeficiente de fricción en tuberías
μ_h	:	Coeficiente de fricción entre los hilos
ε	:	Coeficiente de radiación
μ_{fr}	:	Coeficiente de fricción entre tornillo y placa
k_G	:	Coeficiente global de transmisión
k_{ai}	:	Conductividad del aislante
k_L	:	Conductividad térmica de la fase líquida
k_L'	:	Conductividad térmica de la fase líquida a la temperatura media de película
k_{ac}	:	Conductividad térmica del acero
k_{ag}	:	Conductividad térmica del agua glicolada
k_{Al}	:	Conductividad térmica del aluminio
k_f	:	Conductividad térmica del fluido a la temperatura de masa
C_p	:	Constante de rigidez de las placas
C_t	:	Constante de rigidez del tornillo
C_i	:	Constante de rigidez en cada tramo analizado del tornillo
σ	:	Constante de Steffan-Boltzman
I_{Adm}	:	Corriente admisible
I_d	:	Corriente de diseño
I_t	:	Corriente de trabajo o de operación
$\rho_{a.e.}$:	Densidad de agua a condiciones estándar
ρ_L	:	Densidad de la fase líquida
ρ_L'	:	Densidad de la fase líquida a la temperatura media de película
ρ_V	:	Densidad de la fase vapor
ρ_{jora}	:	Densidad de la jora
ρ_{ag}	:	Densidad de agua glicolada
ρ_{ac}	:	Densidad del acero
$\rho_{azúcar}$:	Densidad del azúcar
ρ_{mosto}	:	Densidad del mosto
γ	:	Densidad relativa
d_3	:	Diámetro de raíz
d_1	:	Diámetro de superficie de apoyo de la cabeza del tornillo
D_{ag}	:	Diámetro del agujero
D_d	:	Diámetro del disco del rotor

D_H	:	Diámetro del lugar geométrico del centro de la tubería del serpentín
D_{H2}	:	Diámetro del lugar geométrico del exterior del serpentín
D_{H1}	:	Diámetro del lugar geométrico del interior del serpentín
D_p	:	Diámetro del perno de anclaje
D_a	:	Diámetro del rotor
D_E	:	Diámetro equivalente de carcaza
D_e	:	Diámetro equivalente en intercambiador de placas
D_{ext}	:	Diámetro exterior de placas
Φ_{ex}	:	Diámetro exterior de tubería del serpentín
D_{text}	:	Diámetro externo del recipiente
Φ_{in}	:	Diámetro interior de tubería del serpentín
D_t	:	Diámetro interno del tramo cilíndrico del recipiente
$D_{máx}$:	Diámetro máximo
D_{2con}	:	Diámetro mayor del cono en las placas
D_{1con}	:	Diámetro menor del cono en las placas
d	:	Diámetro nominal del tornillo
d_2	:	Diámetro primitivo
d_0	:	Diámetro resistente
h_s	:	Diferencia de elevación entre el nivel del fluido en el depósito y la entrada a la bomba
ΔT	:	Diferencia de temperatura
f_a	:	Dimensión f utilizada en cálculo de placas base para soportes
Y	:	Dimensión Y en cálculo de placas base para soportes
a	:	Distancia al borde en las placas base para las patas*
d_{eje}	:	Distancia del centroide del soporte al eje principal
v_1	:	Distancia del punto de aplicación de la carga al eje neutro
$DMLT$:	DMLT
η	:	Eficiencia
E	:	Eficiencia de la soldadura
h_f	:	Entalpía de líquido saturado a la salida del serpentín de calentamiento
h_g	:	Entalpía de vapor saturado a la entrada del serpentín de calentamiento
σ_{Adm}	:	Esfuerzo admisible
T_{tM}	:	Esfuerzo cortante debido al momento torsor de montaje
F_b	:	Esfuerzo de flexión Admisible

σ_F	:	Esfuerzo de fluencia
σ_p	:	Esfuerzo de pandeo
σ_{eqM}	:	Esfuerzo equivalente en cálculos de tornillos
σ_{eq}	:	Esfuerzo equivalente para el cálculo de verificación para uniones soldadas
σ_B	:	Esfuerzo máximo de tracción
n	:	Esfuerzo normal al cateto del cordón de soldadura
σ_{nr}	:	Esfuerzo normal combinado
σ_n	:	Esfuerzo normal debido a la carga axial
σ_f	:	Esfuerzo normal debido al efecto del momento flector
$\sigma_{máx/t}$:	Esfuerzo normal máximo debido a la fuerza de tracción
t_a	:	Esfuerzo paralelo al cateto del cordón y longitudinal al mismo
L_2	:	Espacio entre placas en el intercambiador de calor
E	:	Espacio entre rotor de agitador y cambio de sección de cilíndrico a cónico
t_{com}	:	Espesor comercial para el recipiente
t_{corr}	:	Espesor corroído
a_G	:	Espesor de garganta del cordón de soldadura
e_c	:	Espesor de la chapa protectora
ΔX_p	:	Espesor de placas
e	:	Espesor del aislante
e_b	:	Espesor del baffle
t_{cil}	:	Espesor del cilindro
t_{fondo}	:	Espesor del fondo
t_r	:	Espesor del calculado
t_{techo}	:	Espesor del techo
t_e	:	Espesor equivalente para cálculo del cuerpo cilíndrico del recipiente sometido a presión externa
t_t	:	Espesor nominal de pared de tubería
t_T	:	Espesor total del recipiente
e_x	:	Excentricidad
A	:	Factor A para cálculo en presión externa
B	:	Factor B para cálculo en presión externa
β_L	:	Factor beta para cálculos de tornillos
C	:	Factor C para estimar coeficiente de convección natural del aire sobre el recipiente

α_A	:	Factor de ajuste
v_2	:	Factor de calidad de la unión soldada
v	:	Factor de carga estática
k_a	:	Factor de corrección por agrupamiento
k_t	:	Factor de corrección por temperatura
$F.D.$:	Factor de demanda
φ	:	Factor de distribución de carga
R_{ag}	:	Factor de ensuciamiento de agua glicolada
$F.P.$:	Factor de potencia
FS	:	Factor de seguridad
FS_r	:	Factor de seguridad recomendado
R_f	:	Factor de ensuciamiento del fluido en proceso
ε_t	:	Factor épsilon para cálculo de tornillos
k_1	:	Factor k_1 para estimar la dimensión Y en cálculo de placas base para soportes
k_2	:	Factor k_2 para estimar la dimensión Y en cálculo de placas base para soportes
k_3	:	Factor k_3 para estimar la dimensión Y en cálculo de placas base para soportes
M	:	Factor M
NTU	:	Factor NTU
ω	:	Factor omega
t	:	Factor t utilizado en cálculo de placas base para soportes
\dot{Q}_{ev}	:	Flujo de calor evacuado
\dot{Q}_{ex}	:	Flujo de calor evacuado hacia el exterior del recipiente
\dot{Q}_2	:	Flujo de calor necesario para alcanzar las condiciones de operación del proceso de cocción
\dot{Q}_3	:	Flujo de calor necesario para alcanzar las condiciones de operación del proceso de enfriamiento
\dot{Q}_4	:	Flujo de calor necesario para alcanzar las condiciones de operación del proceso de fermentación
\dot{Q}_1	:	Flujo de calor necesario para alcanzar las condiciones de operación del proceso de maceración
\dot{Q}_5	:	Flujo de calor necesario para alcanzar las condiciones de operación del proceso de maduración
	:	Flujo másico
\dot{m}_{ag}	:	Flujo másico de agua glicolada

$\dot{m}_{v.a.}$:	Flujo másico del vapor de agua
F_{as}	:	Fuerza de asentamiento
T	:	Fuerza de tensión sobre placas base para soportes
F_{ext}	:	Fuerza debido a la unión
$F_{ext/t}$:	Fuerza exterior en el tornillo
$F_{ext/p}$:	Fuerza exterior en las placas
$F_{Mmáx}$:	Fuerza máxima de montaje
$F_{máx/t}$:	Fuerza máxima en el tornillo
$F_{Mmín}$:	Fuerza mínima de montaje
F	:	Fuerza total
λ_{xi}	:	Grado de esbeltez corregido por efecto de los ejes materiales respecto a x
λ_{yi}	:	Grado de esbeltez corregido por efecto de los ejes materiales respecto a y
λ_{η}	:	Grado de esbeltez de un soporte respecto al eje neutro
λ_x	:	Grado de esbeltez del conjunto de soportes respecto al eje x
λ_y	:	Grado de esbeltez del conjunto de soportes respecto al eje y
g	:	Gravedad
Y_d	:	Largo de la descarga
Y_s	:	Longitud a la succión de la bomba
L_{it}	:	Longitud de cada tramo analizado del tornillo
L_d	:	Longitud de la línea de descarga
L_s	:	Longitud de la línea de succión
L_a	:	Longitud de los álabes
L_p	:	Longitud de pandeo
L_{p1}	:	Longitud de placa 1
L_{p2}	:	Longitud de placa 2
D	:	Longitud de placa base para los soportes de los recipientes
L_{TP}	:	Longitud de placas
L	:	Longitud de recorrido del fluido en el intercambiador de placas
L_t	:	Longitud de tubería del serpentín calculada del área de transferencia
L_{ij}	:	Longitud de un tramo de tubería del serpentín
L_c	:	Longitud del cordón de soldadura
L_r	:	Longitud del recipiente
L_S	:	Longitud del serpentín
L_3	:	Longitud empaquetadura

L_{eq}	:	Longitud equivalente de tubería
L_e	:	Longitud equivalente para el cálculo del fondo cónico del recipiente sometido a presión externa
m	:	Longitud m
L_i	:	Longitud total de tubería del serpentín de la suma de tramos
x	:	Longitud x
$m_{azúcar}$:	Masa de azúcar
m_{ev}	:	Masa de fluido evaporado
m_{jora}	:	Masa de la jora
$m_{sólidos}$:	Masa de sólidos
m_f	:	Masa del líquido contenido en el recipiente
m_{agua}	:	Masas de agua
$MAWP$:	Maximun Allowed Working Pressure
E_{em}	:	Módulo de elasticidad de la empaquetadura
E_{acero}	:	Módulo de elasticidad del acero
$E_{concreto}$:	Módulo de elasticidad del concreto
E_{ac}	:	Módulo de elasticidad del acero
$I_{sistema}$:	Momento de inercia de los soportes del recipiente
I_{sol}	:	Momento de inercia de la sección de la unión soldada
I_{xi}	:	Momento de inercia de cada soporte respecto al eje x
I_{yi}	:	Momento de inercia de cada soporte respecto al eje y
I_x	:	Momento de inercia del conjunto de soportes respecto al eje x
I_y	:	Momento de inercia del conjunto de soportes respecto al eje y
M_f	:	Momento de volteo en el soporte
M_p	:	Momento para vencer la fricción
M_{tM}	:	Momento torsor de montaje
N_p	:	Número de potencia
N_{op}	:	Nivel de operación del tanque
H_F	:	Nivel del fluido
H_{FC}	:	Nivel del fluido en el cilindro
$NPSH_{disponible}$:	NPSH disponible
$\#Cond.$:	Número de conductores
n_i	:	Número de corrientes
N	:	Número de espiras

Nu_{ag}	:	Número de Nusselt del agua glicolada
Nu_{2j}	:	Número de Nusselt exterior de un tramo de tubería del serpentín
Nu_{1j}	:	Número de Nusselt interior de un tramo de tubería del serpentín
Nu_{ag}	:	Número de Nusselt para el agua glicolada
$\#_p$:	Número de pernos de anclaje
N_{pl}	:	Número de placas térmicas
Pr_L	:	Número de Prandtl de la fase líquida
Pr_{ag}	:	Número de Prandtl del agua glicolada
Pr_f	:	Número de Prandtl del fluido a la temperatura de masa
Re_{ag}	:	Número de Reynold del agua glicolada
Re_v	:	Número de Reynolds de vapor de agua
$\#S$:	Número de soportes
$\#t$:	Número de tornillos
N'	:	Número de vueltas comprobadas
P	:	Paso del serpentín
h_{fa}	:	Pérdidas de presión en accesorios
h_e	:	Pérdidas de presión en intercambiador
h_{ft}	:	Pérdidas de presión en tubería
W_{ais}	:	Peso del aislamiento
W_{cil}	:	Peso del cuerpo cilíndrico
W_f	:	Peso del fluido
W_{fondo}	:	Peso del fondo
W_s	:	Peso del serpentín
W_{techo}	:	Peso del techo
W_T	:	Peso total
P_E	:	Potencia
P_r	:	Potencia del rotor del agitador
P_h	:	Potencia hidráulica
$\rho_{v.a.}$:	Presión absoluta de saturación de vapor de agua
ρ_s	:	Presión absoluta de succión
ρ_f	:	Presión absoluta del fluido
f_c	:	Presión de apoyo sobre placas base para soportes
p	:	Presión de contacto en unión atornillada
p_{di}	:	Presión de diseño

p_1	:	Presión de entrada a la válvula de control
p_2	:	Presión de salida a la válvula de control
h_v	:	Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo
p_d	:	Presión en la descarga
p_{eAdm}	:	Presión exterior admisible
p_h	:	Presión hidrostática máxima
h_{sal}	:	Presión requerida a la salida de la tubería de descarga
P	:	Presión total de diseño
r_1	:	Radio de curvatura de la toriesfera
r_2	:	Radio de curvatura menor
i_η	:	Radio de giro de un soporte respecto al eje neutro
i_x	:	Radio de giro del conjunto de soportes respecto al eje x
i_y	:	Radio de giro del conjunto de soportes respecto al eje y
f'_c	:	Resistencia de compresión del concreto
Re_f	:	Reynolds del fluido en proceso
ε	:	Rugosidad absoluta
S	:	Sección
e_{co}	:	Sobre-espesor de corrosión
T_{bf}	:	Temperatura de masa del fluido
T_{amb}	:	Temperatura ambiente
$T_{amb\ máx}$:	Temperatura ambiente máxima
$T_{amb\ mín}$:	Temperatura ambiente mínima
T_d	:	Temperatura de diseño
T_{br}	:	Temperatura de masa del refrigerante
$T_{v.a.}$:	Temperatura de saturación de vapor de agua
T_{CE}	:	Temperatura del fluido caliente entrando
T_{CS}	:	Temperatura del fluido caliente saliendo
T_{FE}	:	Temperatura del fluido fría entrando
T_{FS}	:	Temperatura del fluido fría saliendo
T_f	:	Temperatura del fluido en proceso
T_{bf}	:	Temperatura media de masa
T_{Ff}	:	Temperatura media de película
T_{w2}	:	Temperatura superficial exterior al recipiente
T'_{w2}	:	Temperatura superficial exterior al recipiente comprobada

T_{wj}	:	Temperatura superficial interior de un tramo de tubería del serpentín
T_{w1}	:	Temperatura superficial interior del serpentín
U	:	Tensión eléctrica
t	:	Tiempo
$t_{cocción}$:	tiempo de cocción
M_{Ajuste}	:	Torque de ajuste en el montaje
$M_{Desajuste}$:	Torque para aflojar en el desmontaje
N_{rev}	:	Velocidad de giro del rotor en RPM
G	:	Velocidad de la masa superficial
V_{ag}	:	Velocidad del agua glicolada
V_f	:	Velocidad del fluido en procesos
$V_{v.a.}$:	Velocidad del vapor de agua dentro de la tubería
μ_L	:	Viscosidad dinámica de la fase líquida
μ_L'	:	Viscosidad dinámica de la fase líquida a la temperatura media de película
μ_v	:	Viscosidad dinámica de la fase vapor
μ_{ag}	:	Viscosidad dinámica del agua glicolada
μ_f	:	Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de masa
μ_w	:	Viscosidad dinámica para la temperatura superficial
$V_{azúcar}$:	Volumen de azúcar
V_{jora}	:	Volumen de la jora
$V_{cil.}$:	Volumen del cuerpo cilíndrico
V_{fcil}	:	Volumen del fluido en el cilindro
V_{fcono}	:	Volumen del fluido en el cono
V_{cono}	:	Volumen del fondo cónico
V_f	:	Volúmen del líquido contenido en el recipiente
V_{DS}	:	Volumen desplazado por el serpentín
V_{DM}	:	Volumen desplazado por los sólidos
V	:	Volumen libre ocupado por el fluido
V_T	:	Volumen total del recipiente

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la comida peruana es reconocida internacionalmente por su exquisito sabor y variedad que agrada a todos los paladares que la consumen. Hoy se aprecian eventos como Mistura donde el arte culinario es el protagonista. Además, no debe olvidarse que a toda buena comida lo debe acompañar una buena bebida y en el Perú existe una gran variedad que si bien pueden acompañar como aperitivos a las comidas, también se acostumbra consumirlas en reuniones festivas y celebraciones. Una de ellas y quizá la más importante por su contenido histórico, social y político es la “chicha de jora”, una bebida que siempre ha estado presente en todos los acontecimientos por los que ha atravesado nuestro país. Sin embargo, hoy en día la chicha está perdiendo el valor que tuvo alguna vez en la sociedad. Además, se resalta que esta bebida además de los fines alcohólicos con los que se usa, es un producto rico en nutrientes y puede ser usado como energizante por excelencia, debido a la cantidad de propiedades alimenticias que posee. También es usada como ingrediente para cocina en la preparación de platos típicos de las regiones. Por ello, en la actualidad se intentan realizar proyectos de industrialización y exportación de este producto como el realizado en la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

La producción de la chicha es similar a la de la cerveza y su base es la fermentación. Sin embargo, la elaboración de la chicha no está totalmente industrializada como la otra bebida y en la producción artesanal, se suelen producir excesos de gases como el dióxido de carbono (CO_2) o grandes proporciones de alcohol que resultan nocivos para el consumidor y que se producen por una deficiencia de control en la elaboración. Por ello, en esta tesis se pretende aportar a la industrialización de la chicha de jora, centrándose en el proceso base que es el de la fermentación y con ello contribuir en la mejora de la calidad de este producto. Además se pretende implementar en el laboratorio de energía un proceso productivo industrial con la intervención de vapor.

El diseño de este prototipo de tanque se realizó siguiendo una metodología de diseño donde se desarrollarán los pasos a seguir mediante la misma. Se revisarán diseños pasados de tanques para fermentación aplicados a la industria cervecera y se seguirán como recomendaciones. Se elaborará una lista de exigencias para el diseño, para luego ordenar una Estructura de Funciones seguida por una Matriz Morfológica. De las posibles combinaciones que puedan resultar, se obtendrán la más óptima y la que se adecúe mejor al proceso para luego dar inicio al diseño propiamente dicho. Los parámetros involucrados serán tomados de procesos de elaboración del producto, los cuales ya están documentados, por lo que se buscará la información en instituciones que mantengan relación con este tipo de procesos como por ejemplo la Universidad Nacional Agraria de La Molina. Con ello se procederá a realizar el análisis térmico en el tanque y se dimensionará según la capacidad requerida para un tanque de una planta piloto. Posteriormente se realizará la selección de la instrumentación involucrada en este proceso y que acompañará al tanque. Finalmente, se realizará un costeo del producto final, de la instrumentación y el costeo total. Serán necesarios planos donde se muestre gráficamente el diseño del plano con el equipamiento necesario.

CAPÍTULO 1 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

1.1 Generalidades

1.1.1 Definición de chicha

Es el nombre con el que se conoce a la bebida alcohólica producto de un proceso de fermentación de cereales oriundos de América del Sur y que es muy difundida en esta zona, sobretodo en la costa y sierra del Perú. Varía según los insumos que se utilicen para su elaboración en las diferentes regiones donde se prepara. El vocablo '*chichab*' significa maíz. Algunos autores como Oroz señalan que su origen son Las Antillas o como el autor Oviedo señala que es de Panamá, según Chavarrea [1].

1.1.2 La chicha de jora

Llamada también *sura asua* por Guamán Poma [2]. Es una bebida alcohólica muy conocida en América, sobretodo en Perú, cuya materia prima es la jora o maíz fermentado y que se produce en la actualidad en forma artesanal tanto en la costa como en la sierra. La jora es también conocida como *pachucho* o *wiñapu*. La chicha de jora ha sido la bebida predilecta para los pobladores de las regiones del continente americano. No sólo fue importante en la alimentación, sino que los antiguos hombres andinos le atribuían características míticas y religiosas. Por ello el apelativo de "bebida de los *apus*¹ o bebida sagrada. Su grado alcohólico varía según el maíz usado como base, las levaduras y el tiempo usado para la fermentación.

1.1.3 Propiedades medicinales y alimenticias de la chicha

En las culturas pre-colombinas le atribuían a la chicha propiedades medicinales como normalizar funciones de excreción del organismo según Pardo [3]. Por eso, el consumo de la chicha, sobre todo del "*concho*", se recomienda para combatir los cálculos renales, la prostatitis, la diabetes, el buen funcionamiento de los riñones y de la vejiga. También protege las funciones hepáticas del cuerpo. Así también, la chicha es una fuente potencial de vitaminas, minerales, calorías y proteínas necesarias en la dieta del hombre. Los incas consumían muy poca agua y en vez de ello preferían beber chicha, según lo señala Santillán [4]. En la Tabla 1.1 se indica su composición.

¹ Apu: Es una palabra quechua que puede referirse a las montañas o a las demás deidades incas.

Tabla 1.1 Información tomada de las *Tablas de composición de alimentos* del MINSA [5].

CHICHA DE JORA	
Composición en 100 g de alimentos	
Energía (kcal)	22 - 28
Agua (g)	93,2 – 94,5
Proteínas (g)	0,4
Grasa total (g)	0,3
Carbohidratos totales (g)	5,4 - 5,8
Carbohidratos disponibles (g)	5,8
Fibra cruda (g)	0,2
Cenizas (g)	0,1 - 0,3
Calcio (mg)	158
Hierro (mg)	0,3
Riboflavina (mg)	0,02

1.2 Procesos de elaboración siguiendo tecnología cervecera

Si bien la elaboración de chicha es mediante un proceso artesanal, tiene un potencial de industrialización. Además, en el proceso artesanal se pueden producir sustancias tóxicas, por lo que sería necesario producirla de forma que conserve sus *características organolépticas*². El proceso de elaboración más frecuente consiste en: el malteado o germinado, la molienda y la fermentación. En el documento de Bayas [6] o el De Florio [7] se muestra un sistema de 4 procesos que son la Materia prima, Cocción, Filtración y Fermentación. Existen referencias en los que se sugieren procesos similares a la cerveza. En cuanto a proporciones de insumos, las cantidades pueden variar. Los procesos empiezan en la obtención de la malta, luego del mosto que finalmente será utilizado en la fermentación y la obtención final del producto. En la Figura 1.1 se indica la secuencia de procesos.

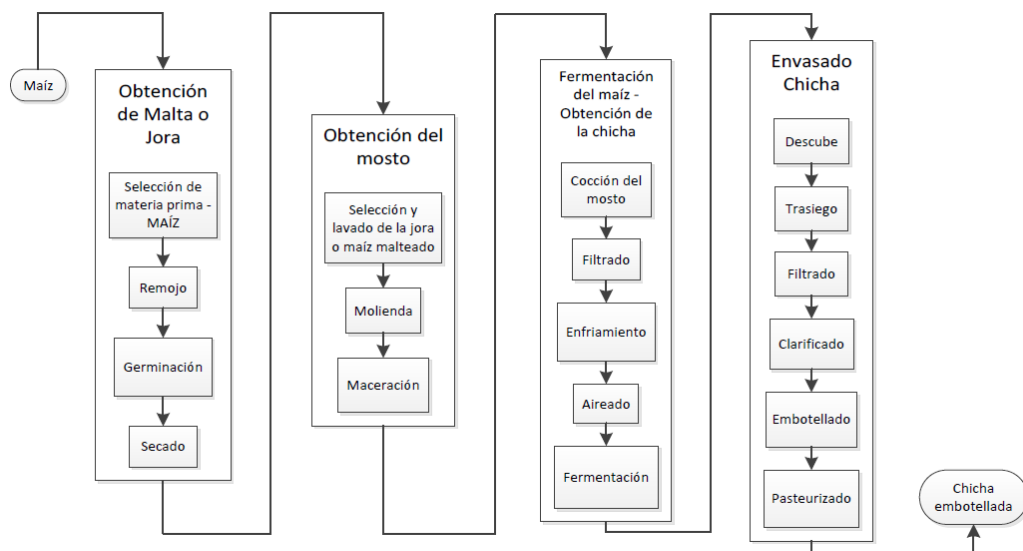


Figura 1.1 Secuencia de procesos para la elaboración de chicha de jora, basada en la elaboración de cerveza. Referencia tomada De Florio [8].

² Características organolépticas: Se refiere a las propiedades de algún cuerpo que puede ser percibido por los sentidos. (RAE).

1.3 Fermentación

Proviene del latín *fermentare* que significa ebullición ya que en la fabricación del vino la formación de burbujas generaban una aparente ebullición, debido al CO₂ producido en la fermentación. Es el proceso principal para elaboración de cervezas, bebidas alcohólicas y la chicha de jora. Desde el punto de vista bioquímico es un conjunto de reacciones de oxidación-reducción que realizan unos microorganismos sobre compuestos de naturaleza orgánica, en ausencia de oxígeno y que libera energía y materia orgánica que según sus propiedades y características determinan el tipo de fermentación. Desde el punto de vista microbiológico es un proceso, en presencia o ausencia de oxígeno, donde microorganismos generan enzimas³ que descomponen sustancias orgánicas y en consecuencia se producen metabolitos o biomasa de los mismos microorganismos, según Hernández [9]. Durante mucho tiempo, la fermentación ha sido llevada a cabo artesanalmente, como la cerveza producida por los egipcios y asirios, salsas fermentadas producidas en oriente o transformación de leche en sus derivados, según Owen [10]. Pasteur concluyó que había levaduras que fermentaban los azúcares y lo transformaban en etanol y CO₂ en ausencia de aire.

1.3.1 Tipos de fermentación

Podemos clasificarlos desde dos puntos de vista:

- a) Producto final obtenido:
- Fermentación Acética
 - Fermentación Butírica
 - Fermentación de la Glicerina
 - Fermentación Láctica
 - Fermentación Alcohólica

Tabla 1.2 Compuestos producidos por fermentación, según Hernández [11].

Tipo de sustancia	Productos
Ácidos orgánicos	Acético, cítrico, fumárico, gluconico, itacónico, láctico.
Aminoácidos	Lisina, metionina, valina, triptófano.
Alcoholes y solventes	Acetona, butanol, 2,3-butanodiol, etanol, glicerol
Antibióticos	Bacitracina, estreptomycin, neomicina, penicilina, tetraciclina.
Esteroides	Cortisona, hidrocortisona, testosterona.
Vitaminas	Ácido ascórbico, cianocobalamina, caroteno, riboflavina.
Proteína unicelular (biomasa)	Células de hongos, levaduras, bacterias y algas.
Otros	Alcaloides, enzimas, insecticidas biológicos, metano, polisacáridos y saborizantes.

- b) Intervención del oxígeno: es importante regular la proporción de oxígeno para controlar así la fermentación y el producto a obtener.

³ Enzima: Proteína que favorece al desarrollo de cada una de las reacciones bioquímicas del metabolismo. (RAE)

- Fermentación aerobia: Necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo de los microorganismos. Se produce mayor cantidad de energía que en la fermentación anaerobia.
- Fermentación anaerobia: El desarrollo de microorganismos en ausencia de oxígeno. Sin embargo, es necesaria una pequeña cantidad inicial de oxígeno para favorecer el desarrollo de microorganismos.

1.3.1.1 Fermentación Alcohólica

Conocida como fermentación etílica o de etanol. Se produce por la acción de levaduras conocidas como fermentos. En este tipo de fermentación, el azúcar (glucosa) se transforma en dióxido de carbono y alcohol, en ausencia de oxígeno y aumento de temperatura producto de una reacción exotérmica. La fermentación alcohólica tiene diversas aplicaciones como en la fabricación de cerveza, vino o combustible etanol, y el dióxido de carbono es usado para procesos de panificación. Para la fermentación alcohólica se debe tener sumo cuidado en cuanto al control del oxígeno entregado, ya que si se suministra demasiado se generará más biomasa en el producto final, mientras que si es limitado se generará más cantidad de alcohol.

1.4 Tecnología existente

1.4.1 Sistemas de fermentación:

Los procesos de fermentación pueden desarrollarse mediante métodos con gran importancia en la industria y que además presentan ventajas y desventajas.

1.4.1.1 Fermentación de lote

También se conoce como fermentación discontinua, de 'batch' o intermitente. Los fermentadores trabajan como un sistema cerrado. Se perciben 4 fases típicas que son las siguientes: fase de latencia, fase logarítmica, fase estacionaria y fase de muerte.

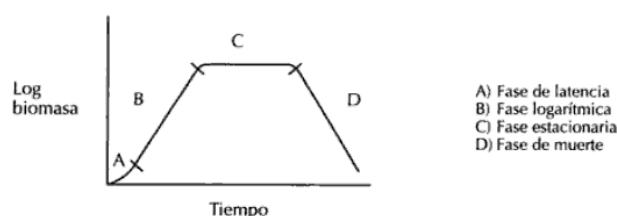


Figura 1.2 Curva de crecimiento de un microorganismo donde se muestran las 4 fases. Tomado de Hernández [12]

Una vez que se alcanzan las condiciones óptimas para la fermentación se detiene el proceso. En la industria, el fin de la fermentación se da al terminar la fase logarítmica.

En este tipo de tanques, el tiempo puede ser muy largo y es imperioso que se agite el contenido para evitar la contaminación y el desequilibrio de la temperatura.

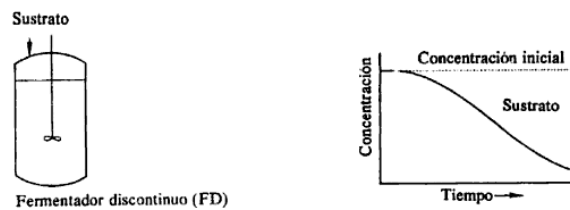


Figura 1.3 Configuración de un proceso de fermentación de lote. Tomado de Atkinson [13].

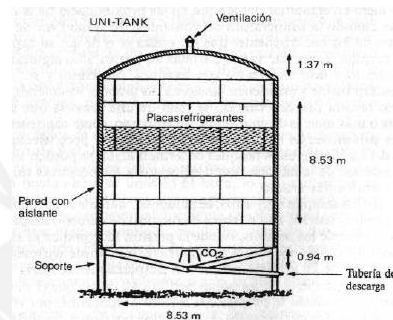


Figura 1.4 Tanque discontinuo modelo Unitank. Tomado de Hough[14].

En este sistema de fermentación, los recipientes suelen tener una configuración simple. Se puede tener también el diseño del tanque de la Figura 1.4 similar al de un fermentador continuo de tanque agitado (en este caso fermentador discontinuo de tanque agitado) con la diferencia que se limita la entrada y salida de flujo a la vez.

1.4.1.2 Fermentación de lote alimentado

Este es una mejora del proceso de fermentación de lote o batch. Este proceso es muy usado en la producción de la penicilina. La mezcla a fermentar se añade al recipiente en forma escalonada a medida que la fermentación va progresando.

1.4.1.3 Fermentación continua

Los fermentadores trabajan como un sistema abierto. En este sistema de fermentación existe un flujo másico de la solución nutritiva estéril que ingresa y también un flujo de masa de dicha solución utilizada con microorganismos que sale. Ambos flujos deberán ser lo mismo para asegurar que en el interior del tanque la sustancia esté a condiciones uniformes y para que se mantenga una estacionalidad que haga que el proceso sea estable. Este proceso es muy usado en fabricación de etanol, cerveza y tratamiento de aguas residuales. Se puede encontrar dos técnicas básicas que son el mezclado homogéneo y el de flujo tapón. El primero se puede realizar mediante dos métodos distintos que son el quimiostato y el turbioestado.

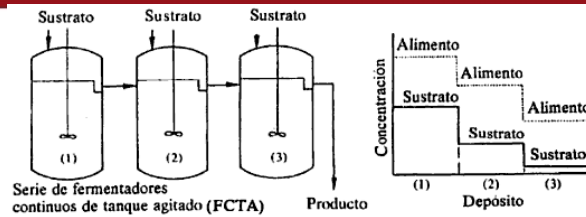


Figura 1.5 Fermentadores continuos de tanque agitado ubicados en serie [15].

a) Mezclado homogéneo

a.1 Biorreactor quimiostato

La velocidad de crecimiento depende de factores químicos. Es el más usado de los sistemas de fermentación continua debido al control de crecimiento de los microorganismos.

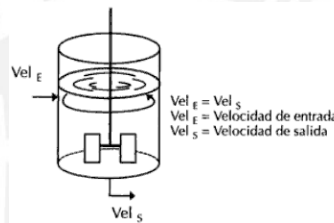


Figura 1.6 Esquema del sistema de fermentación tipo quimiostato [16].

a.2 Biorreactor turbidostato

En este sistema los nutrientes no limitan el crecimiento de los microorganismos y son agregados en exceso. El control se lleva a cabo gracias a la relación entre la turbidez de la mezcla y la presencia de los microorganismos en la misma.

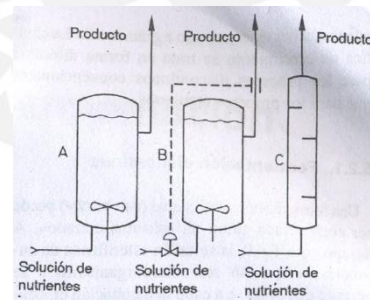


Figura 1.7 Sistemas de fermentación continua. Se muestran los tres tipos mencionados (A) quimiostato, (B)turbidostato y (C) flujo tapón [17].

b) Biorreactor flujo tapón

Se usan los biorreactores tipo tubular y el flujo másico ingresa a una velocidad constante. Además, a lo largo del recorrido por el biorreactor varía la concentración de las células, de los nutrientes y la transferencia de masa. Es importante conocer y hacer uso de la información dada por la curva de crecimiento de los microorganismos mostrada anteriormente.

Tabla 1.3 Ventajas y desventajas de los sistemas de fermentación tipo lote y continuos [18]

	Tipo lote	Tipo continuo
Control de la velocidad específica de crecimiento del microorganismo.	X	✓
Crecimiento del microorganismo en condiciones óptimas.	X	✓
Elimina fase de latencia y como consecuencia disminuye el tiempo de producción del compuesto a obtener.	X	✓
Aumento de productividad a causa de eliminar el tiempo empleado en la limpieza y preparación del biorreactor (tiempos muertos)	X	✓
Mantener las condiciones estériles por períodos prolongados.	✓	X
Dificultad en producción de mutaciones de la cepa original.	✓	X
Evitar la suspensión del proceso de fermentación debido a desestabilización a causa de fallas en los equipos.	✓	X

1.4.2 Tanques fermentadores

Son recipientes también conocidos como biorreactores o reactores biológicos. El objetivo principal de estos recipientes es mantener un medio con condiciones adecuadas para que el proceso de fermentación sea óptimo. Para el diseño de un biorreactor se deben tener consideraciones que serán usadas en nuestro diseño [19]:

- Poco consumo de energía.
- Mantener una buena mezcla entre el medio de cultivo y los microorganismos, sin dañar las paredes celulares de los mismos.
- Diseño versátil y adaptable a otros procesos fermentativos.
- Comodidad en costos.
- Facilidad para la transferencia de calor.
- Diseño simple y compacto.
- Control de parámetros como pH, temperatura y oxígeno (aireación del tanque).
- Regular la proporción de dióxido de carbono dentro del recipiente.
- Permitir condiciones de asepsia en el proceso fermentativo.

Los recipientes usan aproximadamente el 80 % de su capacidad total y pueden clasificarse según su capacidad en dos grupos que se muestran en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Reactores según su capacidad de producción [20]

GRUPOS	CAPACIDAD
Recipientes a escala de laboratorio	1 L hasta 50 L
Recipientes a escala industrial	Hasta 300000 L

1.4.3 Diseños de fermentadores

Hay una gran cantidad de biorreactores existentes diseñados para producir un determinado compuesto en condiciones óptimas. En la Figura 1.8 se muestran esquemas de algunos biorreactores existentes.

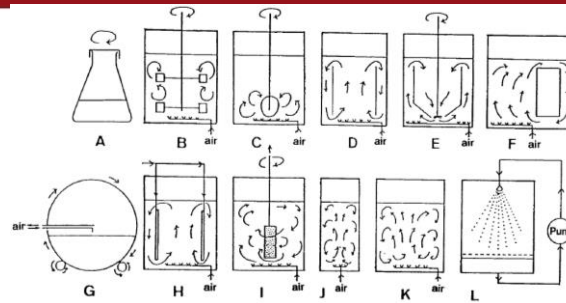


Figura 1.8 Algunos biorreactores existentes. Fuente: Vogel [21]

1.4.3.1 Matraz Enlenmeyer

Este tipo de biorreactores son muy usados a escala de laboratorio, es decir para una baja capacidad. Hay diseños donde el recipiente tiene unos “baffles” cuya finalidad es la de hacer la mezcla más homogénea.

1.4.3.2 Fermentador de elevación con aire o “Air-lift”

En el diseño de este tipo de fermentadores, la agitación para la mezcla la produce el aire que ingresa al recipiente. El aire ingresa por la base del tanque y ejerce una fuerza de arrastre sobre el líquido. La ventaja que tiene sobre el agitado mecánico es que las paredes celulares de los microorganismos no se dañan tanto y los requerimientos de energía son menores.

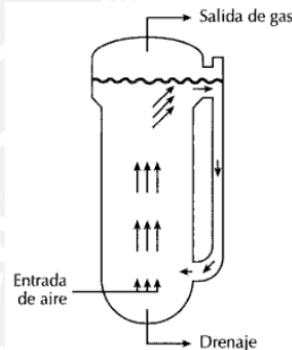


Figura 1.9 Esquema de un recipiente de fermentación tipo Air-lift, según Hernández [22].

1.4.3.3 Fermentador de disco giratorio

La configuración de este tipo de fermentador es en dos partes: un cilindro (conocido como disco y que gira a velocidad lenta) de un material especial para que se adhieran los microorganismos, y un recipiente de sección rectangular que contiene a toda la sustancia orgánica.



Figura 1.10 Esquema de un fermentador de disco giratorio (Fuente: Hernández) [23].

1.4.3.4 Fermentador de tanque agitado

Constructivamente son similares a los tanques discontinuos excepto que cuentan con dispositivos que permiten la alimentación y descarga continua de la sustancia. Se caracterizan porque el contenido del recipiente se encuentra en estado estacionario. Son usados normalmente para reacciones donde está involucrado el proceso de fase líquida y en algunos casos de fase gas.

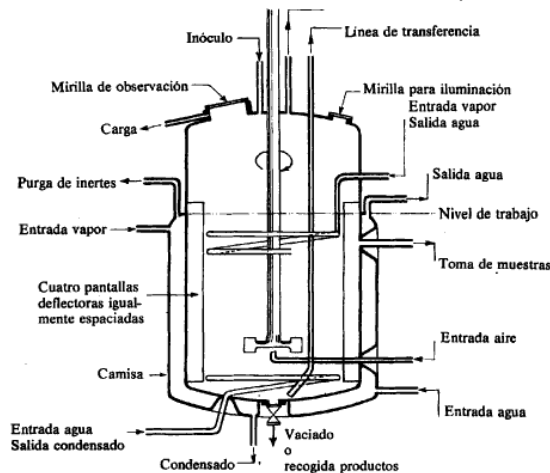


Figura 1.11 Esquema de tanque usado tanto para procesos de fermentación tipo lote como para procesos de fermentación continua de tanque agitado [24].

El material empleado para la construcción suele ser de acero inoxidable o vidrio. Hacen uso de un agitador accionado mecánicamente para la mezcla de la sustancia contenida. Existen diferentes tamaños y dependiendo de ello se optará el mejor método para la esterilización. Si son pequeños, se usa un sistema de autoclave de lo contrario se les inyecta vapor. Las principales partes de este tipo de agitadores se muestran en la Figura 1.12 y luego se hace una breve descripción de las mismas.

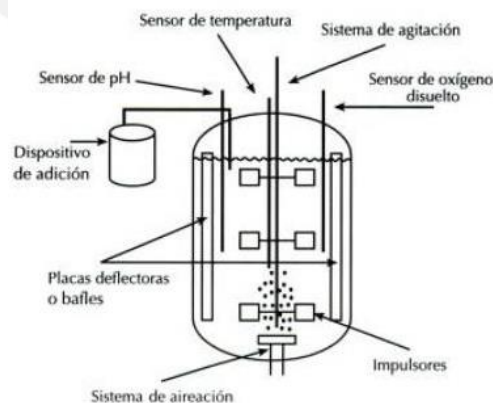


Figura 1.12 Esquema de un biorreactor y sus partes principales (Fuente Hernández) [25].

a) Sistema de agitación

Encontramos los motores y los rotores de agitación. Por lo general el motor se ubica en la parte superior del tanque. Las principales funciones del sistema de agitación son:

- Aumentar la cantidad de O_2 debido a la disminución de las burbujas de gas.
- Permite que la sustancia a fermentar se mezcle y las condiciones sean homogéneas para toda la sustancia.

Los impulsores o rotores son los que permiten realizar el proceso de agitación. El tamaño del tanque y su configuración geométrica determinará las cantidades y disposición de los agitadores. Existen diversos diseños de impulsores como los que se muestran en la Figura 1.13 Según el diseño, variará el consumo de energía en la agitación.

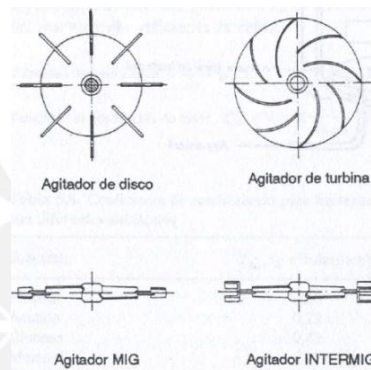


Figura 1.13 Diseños de tipos de agitadores para biorreactores de fermentación agitado (Crueger) [26].

b) Placas deflectoras

Son conocidos como baffles y se colocan alrededor de la pared del biorreactor. Su uso tiene como fin evitar formación de vórtices y asegurar una mejor mezcla. Al igual que los impulsores, la cantidad usada y el tamaño, dependerá de la geometría del tanque.

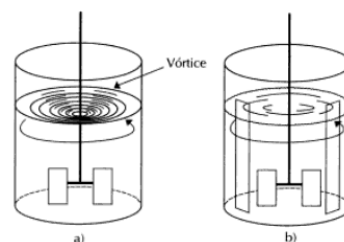


Figura 1.14 (a) Recipiente sin baffles y (b) con baffles. (Fuente: Hernández) [27].

c) Instrumentación

Se refiere a los dispositivos de control del fluido. Se incluyen todo el juego de válvulas y red de tuberías necesarias para dicha tarea. Se incluyen sensores usados para medir el nivel, temperatura y flujo.

d) Sistemas de transferencia de calor

Útil para alcanzar y mantener las temperaturas necesarias en los procesos. Se recomienda usar intercambiadores de calor. Los más usados suelen ser los siguientes:

- Serpentes: Tuberías que se colocan dentro del recipiente fermentador.
- Camisa o chaqueta: Doble pared que cubre el reactor.

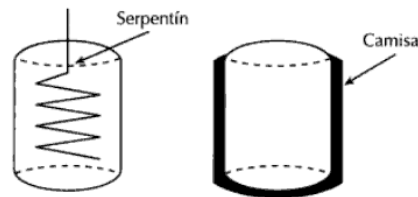


Figura 1.15 Esquema donde se muestran las dos tecnologías usadas para la transferencia de calor. A la derecha el de serpentín y a la izquierda el de chaqueta (Fuente: Hernández) [28]

También se requiere un sistema de agua fría, para el proceso de fermentación donde se genera calor como consecuencia de un proceso metabólico. Dicho calor deberá transferirse al agua fría y así regular las condiciones del fluido procesado.

1.4.4 Otros diseños existentes

1.4.4.1 Biorreactor tipo torre

El mosto, entra por la base y sigue un recorrido ascendente con un flujo en régimen laminar. Al llegar a una altura de 6 m, la sustancia toma la característica como si hubiese estado en un tanque discontinuo luego de 2 días. Una vez alcanzada la parte superior del tanque el fluido alcanza el grado de fermentación esperada. Las levaduras se separan de la sustancia fermentada. Este tipo de biorreactores pueden presentar problemas de contaminación. Son poco rentables en comparación a los otros métodos, sobre todo los continuos (Fuente: Hough [29]).

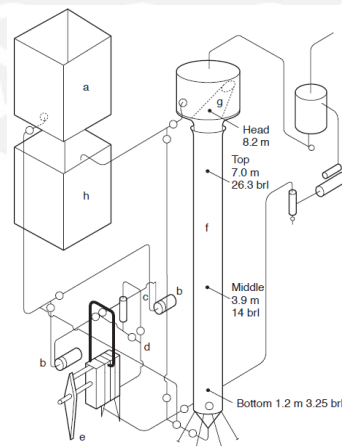


Figura 1.16 Esquema de un biorreactor tipo torre. (Fuente: Boulton [30])

1.4.4.2 Biorreactores de cámara ancha

Los tanques que normalmente se usan en la industria son del tipo cilíndrico con base cónica. Algunos son más anchos y de más baja altura. La base es ligeramente inclinada. Para poder refrigerarlos usan un sistema de tuberías auxiliar y un

intercambiador de placas. En la Figura 1.17 se muestra este tipo de biorreactor. Sus tiempos para llenado y vaciado son elevados pero tienen una gran capacidad de almacenamiento. En su interior se producen grandes fuerzas de arrastre por el ascenso rápido de burbujas de CO₂ que aceleran el proceso de fermentación.

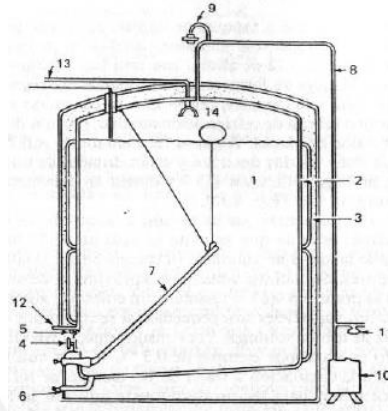


Figura 1.17 Biorreactores de cámara ancha. (Fuente: Hough [31])

1.4.4.3 Biorreactor tipo Yorkshire

El compartimento inferior se llena de mezcla de mosto y levaduras. Producto del proceso de fermentación, la levadura sube y entra al compartimento superior a través del manhole, mientras que el producto fermentado drena a través de los tubos en el compartimiento inferior. De esta manera se dividen las levaduras del producto fermentado que se requiere y el cual se retira del compartimento inferior mediante una purga. La temperatura se controla como en fermentadores convencionales. Este tipo de fermentadores suelen tener problemas en cuanto al control de dióxido de carbono.

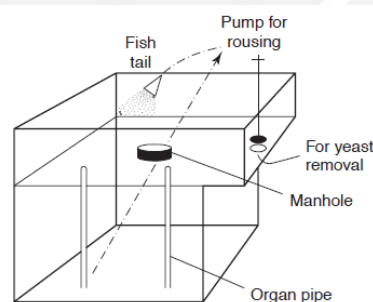


Figura 1.18 Esquema del biorreactor Yorkshire (Fuete: Boulton [32])

1.4.4.4 Tanque autovaciante

Utilizado en la elaboración de vinos. Las cáscaras de las uvas se van depositando en el fondo del recipiente y que obstaculiza la salida del producto deseado. Se debe proceder al retiro de este material para empezar de nuevo con el proceso de fermentación, lo que genera tiempo perdido. Este tipo de tanque cuenta con un inyector de aire que insufla un flujo del mismo, según Bernardo Ungría [33]. Esta presión generará el desmoronamiento de las cáscaras acumuladas y dejará un

espacio libre para el flujo del fluido fermentado. El flujo de aire será controlado por la presión del aire que va aumentando conforme se vaya obstaculizándose la descarga para el producto fermentado. Utiliza una alargadera que se acopla al tubo de descarga de aire en caso no se logre alcanzar la altura a la que se quedan los residuos sólidos.

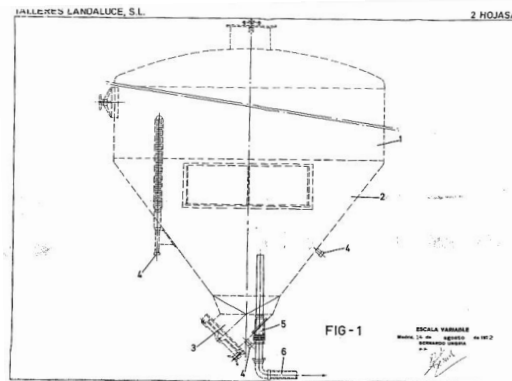


Figura 1.19 Esquema tanque autovaciante. Hungría [34]

1.4.4.5 Intercambiador de calor para tanque de fermentación

El tanque cuenta con un intercambiador de calor vertical ubicado dentro del recipiente que sirve para enfriar y usarlos en el proceso de fermentación. Su configuración geométrica dependerá mucho de las dimensiones del tanque y podrán ser cilindros concéntricos de pared simple o doble. El intercambiador se apoya en la base cónica y las paredes del tanque fermentador gracias a tuberías por donde también circula el refrigerante o señales de control. El uso de esta tecnología, es aplicada en tanques de gran diámetro. En ellos el uso de chaquetas externas de enfriamiento no es una aplicación óptima, pues la regulación de las temperaturas se hace muy complicada sin lograr uniformidad en las mismas, y por ello el producto obtenido no es el deseado.

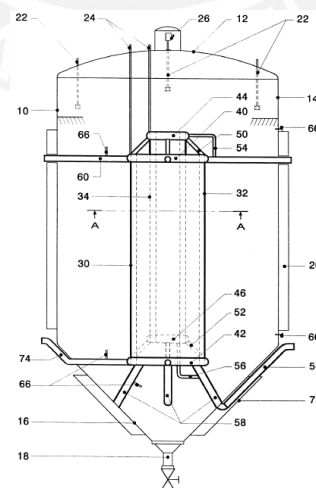


Figura 1.20 Tanque fermentador con intercambiador vertical interno. Morales [35].

1.5 Parámetros para cálculo

Para la elaboración del diseño, se requieren ciertos parámetros como:

- Temperaturas de operación
- Tiempos de operación
- Proporciones de materia

Se presentarán los datos tanto para la cerveza como para la chicha de jora. Primero se hará una breve descripción de los procesos implicados.

- Maceración:** La malta o jora se mezcla con agua caliente y de esta manera se extraen todos los almidones de los granos de maíz, según Canales [36]. Finalmente, se obtiene el mosto, según Lugo [37]. De Florio describe 3 métodos de maceración en general: el de infusión (usado en este diseño), decocción y el método mixto [38].
- Cocción:** Consiste en una ebullición prolongada del mosto, según De Florio [39]. Canales [40] dice que la cocción se realiza para concentrar el azúcar del mosto y eliminar los microbios que no se deseen tener en el producto.
- Enfriamiento:** El nuevo mosto obtenido de la cocción se debe filtrar y enfriar según lo indica la tecnología de Cervecerías Backus [41], previo a la fermentación. Este deberá ser un enfriamiento brusco.
- Fermentación:** El proceso central de elaboración de bebidas alcohólicas. Hough [42] menciona que la actividad fermentativa se evidencia con la presencia de espuma en la superficie. Luego, esta espuma va desapareciendo y se va acumulando la levadura en el fondo. Todo esto para un proceso de fermentación tipo 'batch'. De Florio [43] menciona dos partes importantes:
 - La inoculación: Momento en el cual se añaden las levaduras.
 - Fermentación: Donde se produce la reacción bioquímica ya descrita.
- Maduración:** Proceso donde se producen las precipitaciones de materias turbias y levaduras [44]. Además, se produce el desarrollo y color característico de la chicha de jora. También se previene la oxidación de la misma.

1.5.1 Parámetros fundamentales

A continuación, se presenta la Tabla 1.5 con los parámetros fundamentales para la elaboración de la chicha de jora y de la cerveza necesarios para los cálculos térmicos.

Tabla 1.5 Parámetros para la elaboración de chicha de jora

Proceso	Temperatura (°C)		Nivel de pH		Tiempo		Proporción	
	Chicha	Cerveza	Chicha	Cerveza	Chicha	Cerveza	Chicha	Cerveza
Maceración	62 – 67	62 – 67	5 - 5,5	4 - 5,5	4-6 horas	1 hora	1 jora : 6 agua	1 jora : 4 agua
Cocción	Temp. Ebullición		5 - 5,5	5 - 5,5	1 hora	60 – 90 min	---	---
Enfriamiento	12 – 20	10 – 15	5 – 5.5	5 – 5.6	Inmediato		---	---
Fermentación	8 – 11	7 – 11	4	4	4 – 6 días	8 – 10 días	---	---
Maduración	2 - 5	2 – 4	4	4	7 días	14 – 28 días	---	---

1.6 Metodología de diseño

1.6.1 Comprensión de la solicitud

Haciendo uso de la metodología de diseño se procede a elaborar la lista de exigencias con que se consolida la comprensión de la idea del diseño. La lista se muestra en la Tabla 1.6 y un desarrollo detallado de la misma se muestra en el Anexo 1.

Tabla 1.6 Lista de exigencias

Lista de exigencias		
Proyecto	"DISEÑO DE UN SISTEMA DE FERMENTACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE 100 L DE CHICHA DE JORA"	Revisado: J.E.B.P. Elaborado: D.R.C
Deseo o exigencias	DESCRIPCIÓN	Responsable:
E	Función principal: • Realizar los procesos para elaboración de bebidas alcohólicas. • Proceso tipo batch para 100 L. • Ergonomía para el operador.	D.R.C.
E	MATERIA: Granos molidos para fabricación de bebidas fermentadas, agua, Levadura Saccharomyces Cvarum, Vapor para esterilización, agua glicolada.	D.R.C.
E	GEOMETRÍA: Altura máxima de 2,5 m	
E	ENERGÍA: * Potencia calorífica necesaria para alcanzar las temperaturas solicitadas. * Potencia eléctrica necesaria para accionar motores y controles.	D.R.C.
E	SEGURIDAD: Referencia según lo indicado en la norma NTP 235.	D.R.C.
D	SEÑALES: Instrumentación requerida para el control del proceso.	D.R.C.
D	COSTOS: Considerar aspectos económicos.	D.R.C.
E	FABRICACIÓN: Facilitar y economizar su fabricación.	D.R.C.
E	MONTAJE: Facilidad en montaje y desmontaje.	D.R.C.
E	MANTENIMIENTO: Presentar facilidades para maniobra en mantenimiento.	D.R.C.
E	CALIDAD: Se debe garantizar un producto de calidad y adecuado para el consumo humano.	D.R.C.
E	ERGONOMÍA: Según Norma NTP 226 y NTP.	D.R.C.
D	RECICLAJE: Buscar recolectar el afrecho (material de desperdicio para el proceso).	D.R.C.

1.6.2 Estructura de funciones

Primero, se concibe la idea usando la analogía de la caja negra (“black box”) el cual se muestra en el Anexo 2. Luego, se realiza una secuencia de los procesos involucrados en la elaboración de la chicha, la cual se explica a continuación.

1. Luego de pulsar el botón de encendido se dejará pasar vapor de agua para la esterilización de los recipientes en un tiempo determinado según proceso a través de válvulas solenoides del tipo ON/OFF.
2. Una vez pasado el tiempo de esterilización se cerrará el ingreso de vapor y se alimenta el recipiente de calentamiento con agua destilada. El tanque se llena hasta que llega a una altura límite el cual indicará el cierre de agua destilada.
3. Inmediatamente se procede a agitar el fluido caliente y se calentará la mezcla hasta que la temperatura alcance 67°C. Una vez llegado a dicha temperatura se suministra calor para mantener la temperatura un rango de 62 – 67 °C durante 6 horas. Terminado el tiempo se deberá regular el medio para que el fluido alcance una temperatura de 100 °C. Una vez que se llega a dicha condición se deberá suministrar calor para mantener la temperatura en dichas condiciones de operación durante un tiempo de 90 minutos.
4. Una vez terminados los dos procesos se deberá esperar un tiempo aproximado de 30 minutos en el que las partículas sólidas se depositarán en el fondo del recipiente para luego separarlo del fluido.
5. Se descarga el recipiente y se procede a enfriar el mosto de 100°C a 10°C. Una vez termine el enfriamiento iniciarán los procesos de fermentación y maduración.
6. Primero el fluido con una temperatura inicial de 10 °C se deberá llevar a una temperatura de 7 °C. Una vez alcanzada dicha condición se deberá mantener un rango de temperatura del producto en 7 – 11 °C durante 6 días. Pasado el tiempo se deberá alcanzar la temperatura de 2°C. Una vez alcanzada dicha condición se mantendrá el producto en un rango de 2-5°C en un tiempo de 7 días.
7. Una vez terminados el tiempo el producto estará listo para su consumo.

En la estructura de funciones se muestra los procesos involucrados en la fabricación de la chicha. Se muestra también la presencia del control, necesario para regular variables de temperatura, presión y nivel. Además se menciona la energía involucrada en los procesos y en el funcionamiento de la máquina. El esquema de la estructura de funciones se muestra en la Figura 1.21.

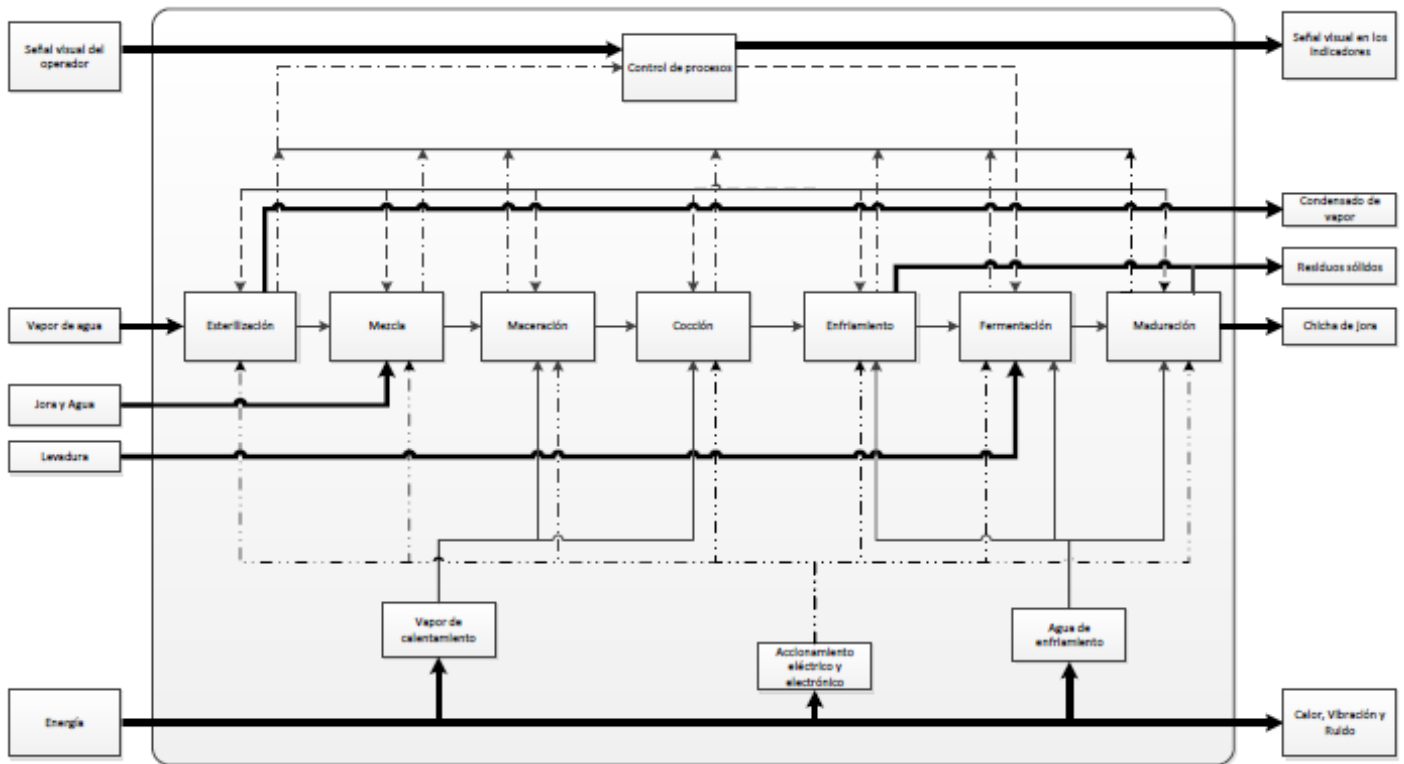






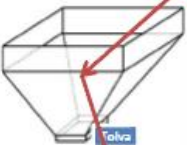


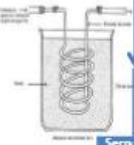

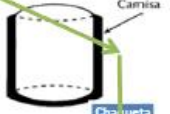
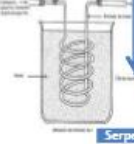

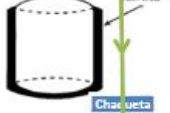



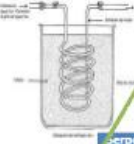


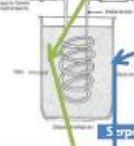

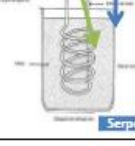
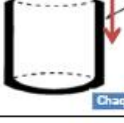


Figura 1.21 Estructura de funciones

1.6.3 Matriz morfológica

Según la metodología de diseño aplicada, se elabora esta matriz de la cual se obtendrán las posibles soluciones utilizadas para el diseño. Dicha matriz se muestra en la Figura 1.22.

Funciones	Portadores de funciones		
	Solución 1	Solución 2	Solución 3
1 Recipientes a utilizar			
2 Esterilización			
3 Carga de producto			
4 Agitación y mezcla del fluido			
5 Maceración			
6 Cocción			
7 Separación de sólidos			
8 Enfriamiento			
9 Fermentación			
10 Maduración			

Legenda:

Solución 1  Solución 2  Solución 3 

Figura 1.22 Matriz morfológica

1.6.4 Conceptos de solución

Para el diseño se concibieron tres configuraciones distintas para lograr el diseño final.

- **Solución 1:** El sistema de fermentación contará con dos recipientes a presión cilíndricos verticales con fondo cónico independientes (uno para los procesos de calentamiento y el otro para los de enfriamiento) cada uno con un agitador para mantener los sólidos en suspensión y mejorar la transferencia de calor. Ambos recipientes están al mismo nivel y están unidos por un sistema de tuberías para llevar, mediante una bomba, el fluido procesado del recipiente de calentamiento al otro. El proceso de enfriamiento tiene una carga térmica alta y es necesario el uso de un intercambiador de placas. En ambos recipientes se hace uso de un serpentín tanto de calentamiento como de enfriamiento. Se buscará una automatización en el accionamiento de equipos e instrumentación. La separación de los sólidos será por sedimentación. Ambos recipientes cuentan con una tapa toriesférica desmontable para mantenimiento.

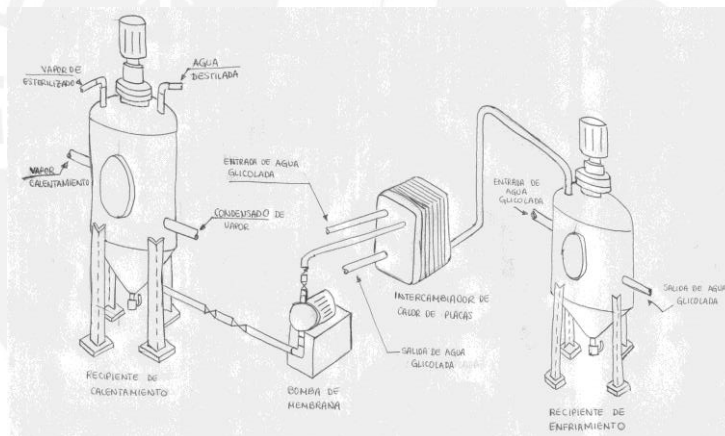


Figura 1.23 Esquema del concepto de solución 1.

- **Solución 2:** El sistema de fermentación será un solo recipiente cilíndrico vertical con fondo cónico para calentamiento y enfriamiento. Contará con una resistencia eléctrica para calentamiento y una chaqueta de enfriamiento. Se incluye una bomba para recircular el producto, lo cual genera un movimiento del fluido y mantiene los sólidos en suspensión. Para el enfriamiento es necesario un by-pass que haga circular el fluido procesado por un intercambiador de calor externo y que retorne al recipiente hasta que alcance una menor temperatura. Para filtrar los residuos sólidos es necesario el uso de un filtro externo. El recipiente cuenta con una tapa toriesférica desmontable para mantenimiento.

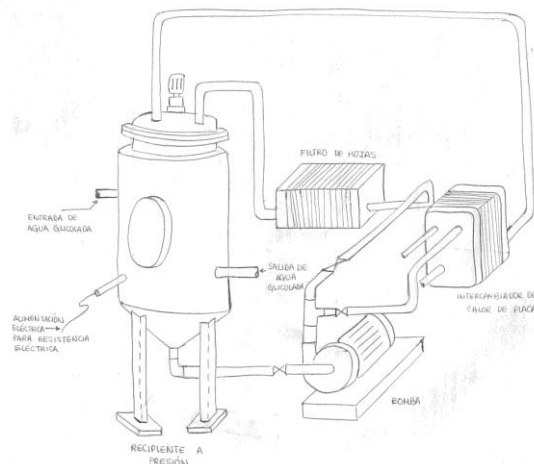


Figura 1.24 Esquema del concepto solución 2

- **Solución 3:** Este diseño contempla un recipiente cilíndrico vertical con fondo cónico con dos niveles independientes. El nivel más bajo corresponde al módulo para enfriar y el superior corresponde al que calienta el producto. La agitación del medio se realiza con dos agitadores en cada módulo montados en la parte lateral del recipiente. Una vez terminado los procesos de calentamiento con una chaqueta de vapor se deja pasar por acción de la gravedad al fluido de un módulo a otro y antes de la entrada al módulo de enfriamiento un tamiz filtrará los residuos sólidos. Una vez en el módulo de enfriamiento, el fluido continúa su proceso hasta alcanzar las condiciones finales. El enfriamiento se realiza mediante un serpentín.

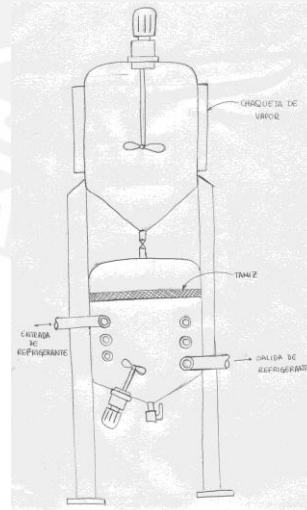


Figura 1.25 Esquema del concepto de solución 3

1.6.5 Evaluación Técnico-económica

Se realizó una evaluación Técnica y una económica, tal como se plantea en la metodología de diseño empleada. En la Tabla 1.6 se presenta la evaluación según los valores técnicos y en la Tabla 1.7 la evaluación económica.

Tabla 1.6 Evaluación técnica

Valor Técnico (X_i)									
Variantes de concepto/proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
Criterios de evaluación	Pond.	Puntaje		Puntaje		Puntaje		Puntaje	
Capacidad de producción	4	3	12	4	16	4	16	4	16
Eficiencia y efectividad	4	4	16	4	16	4	16	4	16
Seguridad	4	4	16	4	16	2	8	4	16
Confiabilidad	4	4	16	3	12	2	8	4	16
Modularidad	2	4	8	3	6	3	6	4	8
Maniobrabilidad	4	4	16	4	16	4	16	4	16
Espacio ocupado	4	3	12	4	16	2	8	4	16
Facil mantenimiento	3	4	12	3	9	2	6	4	12
Fácil montaje	3	4	12	2	6	2	6	4	12
Puntaje máximo	32	34	120	31	113	25	90	36	128
Valor técnico X_i		0.94		0.88		0.70		1.00	
Orden		1		2		3		3	

Tabla 1.7 Evaluación económica

Valor Técnico (Y_i)									
Variantes de concepto/proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
Criterios de evaluación	Pond.	Puntaje		Puntaje		Puntaje		Puntaje	
Inversión inicial	4	2	8	4	16	3	12	4	16
Vida útil	3	4	12	2	6	3	9	4	12
Operación	4	4	16	3	12	3	12	4	16
Mantenimiento	3	4	12	3	9	3	9	4	12
Eficiencia	3	4	12	4	12	3	9	4	12
Puntaje máximo	17	18	60	16	55	15	51	20	68
Valor técnico Y_i		0.88		0.81		0.75		1.00	
Orden		1		2		3		3	

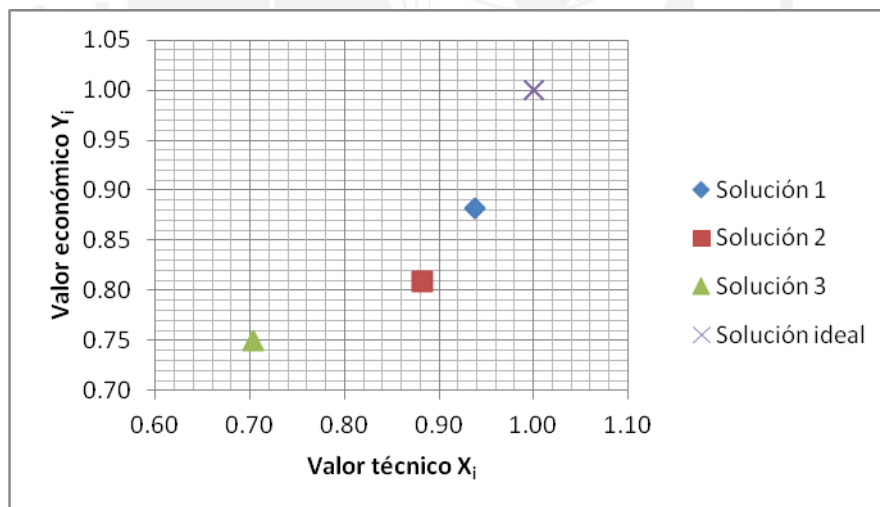


Figura 1.26 Evaluación técnico económica

REFERENCIAS CAPÍTULO 1

- [1] CHAVARREA ARÉVALO, MARÍA PAULINA
 2011 ELABORACIÓN Y CONSERVACIÓN CON FINES AGROINDUSTRIALES Y COMERCIALES DE LA CHICHA DE JORA Y QUINUA EN LAS COMUNIDADES BENEFICIARIAS DEL PROYECTO "RUNA KAWSAY", Escuela de Ingeniería Agroindustrial-Universidad Nacional de Chimborazo-2011, p.p. 6 – 16
- [2] FELIPE GUAMÁN POMA DE AYALA
 Nueva Crónica y Buen Gobierno, Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia.
- [3] ORIANA PARDO B.
 Las chichas en el Chile Precolombino, Revista Chloris Chilensis, Año 7 N°2
- [4] Ibid.
- [5] MINSA
 2009 Tablas peruanas de composición de alimentos, Depósito Legal – Biblioteca Nacional del Perú - Lima, p.p. 44, 8va. Edición 2009
- [6] ANGELICA BAYAS, DENISSE JINES, GALO SALAZAR, FREDDY DEL POZO
 MODELIZACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO EN LA DENSIDAD Y GRADOS BRUX DE LA CHICHA ELABORADA A PARTIR DE CEBADA GERMINADA ENRIQUECIDA CON MAÍZ AMARILLO, Artículo.
- [7] DE FLORIO RAMÍREZ, ENRIQUE
 1986 Estudio de la fermentación de la chicha de jora, Universidad Agraria La Molina 1986.
- [8] Ibid.
- [9] Ibid.
- [38] Ibid.
- [39] Ibid.
- [43] Ibid.
- [44] Ibid.
- [10] ALICIA HERNÁNDEZ
 2003 Microbiología Industrial, Editorial: EUNED, p.p. 36 - 61, 1era. Edición.
- [12] Ibid.
- [13] Ibid.
- [17] Ibid.
- [19] Ibid.
- [20] Ibid.
- [21] Ibid.
- [22] Ibid.
- [23] Ibid.
- [24] Ibid.
- [26] Ibid.
- [28] Ibid.
- [29] Ibid.
- [11] OWEN P. WARD
 1989 Biotecnología de la fermentación, Editorial ACRIBIA S.A., 1 – 14, 47 – 88, 133 – 148, 249 – 255, 2da. Edición 1989
- [14] ATKINSON, ROBERT
 1986 Reactores Bioquímicos, Editorial Reverté S.A. Barcelona – España.
- [16] Ibid.
- [18] Ibid.

- [15] J.S. HOUGH
 Biotecnología de la cerveza y de la Malta, Editorial ACRIBIA S.A.
- [30] Ibid.
- [42] Ibid.
- [16] WULF CRUEGER, ANNELIESE CRUEGER
 1993 Biotecnología: manual de microbiología industrial, Editorial ACRIBIA S.A., p.p. 67 – 170, Año: 1993
- [78] Ibid.
- [26] VOGEL, HENRY / TODARO, CELESTE
 2007 Fermentation and Biochemical Engineering Handbook, Segunda Ed.: Principles, Process Design and Equipment. Editor: William Andrew – EE.UU.
- [31] BOULTON CHRIS / BROOKES PETER
 2004 Brewing: Science and Practice. Editorial: CRC Press.
- [32] Ibid.
- [33] BERNARDO UNGRÍA
 1972 Tanque Autovaciante, España, N° 183224, Año 1972
- [34] Ibid.
- [35] JOSÉ MORALES CERVANTES Y ÁNGEL JOSÉ ENRIQUE SOTO-PORRUA
 2006 Cambiador de calor para tanque de fermentación, Oficina Española de Patentes y Marcas N° 2262421.
- [36] CANALES HUMALA, M.T.
 2011 Estudio de la estabilización de la chicha de jora. Tesis: Ingeniería de Industrias Alimentarias–UNALM. Lima-Perú.
- [40] Ibid.
- [37] RICARDO LUGO AGUIRRE
 2011 Fermentación de la chicha y la cerveza, Corporación universitaria Minuto de Dios, 01 de abril del 2011
- [41] BACKUS S.A.
 2012 Nuestras marcas, [en línea] ¿Cómo hacemos tus cervezas?
 <<http://www.backus.com.pe/wb.website/como-hacemos-cerveza.html>>
- RAFO LEÓN, ANTONIO ZAPATA
 2009 Chicha peruana, una bebida, una cultura, Universidad de San Martín de Porres, p.p. 8 – 70, Fondo Editorial 2009.
- ANDONI GARRITZ
 1998 Química, Editorial: Pearson Prentice Hall, p.p. 829, 1era. Edición 1998
- RODOLFO GARIBAY
 2004 Biotecnología alimentaria, Editorial Limusa, p.p. 282 – 296, 5ta. Edición 2004.
- MARIO TAPIA, ANA MARÍA FRIES
 2007 Guía de Campo de los cultivos Andinos, FAO y ANPE – Lima, p.p. 69 – 74, Primera Edición
- JORGE VALERA: MEDICINA NATURAL
 s/f Guía plantas medicinales [en línea], Chicha de Jora
 <http://www.medicinasnaturistas.com/help/guia_plantas/chica_de_jora_usos_plantas-medicinales_propiedades_enfermedades.php>

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE FERMENTACIÓN

2.1 Balances de cantidad de materia prima

Para dimensionar el fermentador, se considera el equipamiento incluido, la capacidad del producto, de la materia prima y las recomendaciones de los documentos referenciales según Owen [1]. De esta manera, según De Florio [2], se usará una relación de 4:1 de masa de agua y masa de sólidos respectivamente. En la Tabla 2.1 se muestran las densidades utilizadas para el cálculo de las proporciones.

Tabla 2.1 Valores de densidades obtenidas der STEMM [3].

	Densidad (kg/m ³)
$\rho_{azúcar}$	1590
ρ_{jora}	550
$\rho_{a.e.}$	1000
ρ_{mosto}	1045

Para la cantidad de sólidos determinada, se requiere las siguientes proporciones:

- $\frac{1}{4}$ de la masa total de sólidos será azúcar y $\frac{3}{4}$ de la masa total de sólidos será jora.

La cantidad de levadura *Saccharomyces Carlsbergensis* será el 60% de sólidos del 1% del volumen del mosto. La cantidad de materia prima está en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Cantidades de materia prima a utilizar para fabricación de chicha de jora.

	Masa	Volumen
Agua	180 kg	180 L
Jora	33,75 kg	61,36 L
Azúcar	11,25 kg	7,08 L
Levadura ⁴	0,67 kg	-

Los cálculos para estimar las cantidades de materia prima se muestran en el Anexo 1. La capacidad total del recipiente de calentamiento deberá contener la cantidad de agua, jora, azúcar y levadura calculadas. La ecuación 2.1 muestra el cálculo del volumen total de sólidos.

$$V_T = V_{agua} + V_{azúcar} + V_{jora} + V_{lev.} \quad [2.1]$$

Considerando que el volumen de levadura es despreciable, se tendrá lo siguiente:

⁴ El volumen ocupado por la levadura es considerado despreciable.

$$V_T = 180 L + 7,08 L + 61,36 L = 248,44 L$$

Para el dimensionamiento y los cálculos del recipiente de calentamiento, se considera el volumen estimado multiplicado por un 15% adicional, entonces el volumen será:

$$V_{Op.} = 248,44 L \times 1.15 \cong 285 L$$

Para el dimensionamiento del recipiente de enfriamiento, la masa de fluido se reduce por la evaporación en la cocción y además los sólidos se diluyen. Consideramos que toda la azúcar añadida se disuelve y el volumen de sólidos ocupado será el mostrado en la Tabla 2.3. Además se debe considerar un espacio del 30% del volumen total que será el espacio libre para el CO₂ producido en la fermentación y la maduración. Así se tiene que el volumen total contenido en el recipiente de enfriamiento será el siguiente:

$$V_T = (100 L + 23,70 L) \times 1,30 = 160,81 L \approx 160 L$$

En un inicio tendremos un volumen inicial de 285 L aproximadamente. El recipiente destinado al calentamiento deberá tener dicha capacidad. Pero de los sólidos añadidos al agua, el azúcar y una cantidad del maíz molido se solubilizarán durante el proceso debido a la agitación, por lo que el volumen de sólidos y de la mezcla total se reducirá. En el Anexo 4 se muestra el balance de masa usado en fabricación de chicha de jora por métodos tradicionales según De Florio [4] y las proporciones calculadas según dichos valores. Según el balance de masas mostrado se determinan proporciones de la masa de sólidos finales (afrecho, azúcar, agua) las cuáles permitirán estimar cantidades de los residuos y producto final según las cantidades utilizadas en el proceso de elaboración. En la Tabla 2.3 se muestran las cantidades aproximadas de residuos y producto final. Para el dimensionamiento de los serpentines de calentamiento y enfriamiento en el apartado 2.4 se considera diferentes cantidades de fluido, ya que una parte de la mezcla contenido en el recipiente en los procesos de calentamiento se evaporará. En la Tabla 2.4 se indican los volúmenes del fluido utilizados para los cálculos.

Tabla 2.3 Cantidades aproximadas de residuos y producto final de sólidos.

Sustancia	Proporción	Masa total de sólidos	Masa de producto	Volumen
Afrecho	30,15 %	42,35 kg	12,77 kg	23,70 L
Jora	25,80 %	42,35 kg	10,93 kg	

Tabla 2.4 Cantidades aproximadas de la cantidad de fluido usada en los cálculos.

	V _f (L)
Para los procesos de calentamiento	180
Para los procesos de enfriamiento	100

2.2 Dimensionamiento de los recipientes

Para el dimensionamiento se seguirán las siguientes recomendaciones indicadas en la Figura 2.1. Las relaciones utilizadas se muestran en la Tabla 2.5, las cuáles servirán como parámetros para el dimensionamiento del fermentador. Para empezar se tomó como parámetro principal $H/D_t = 2$ y que el ángulo del cono respecto a la horizontal será $\alpha=60^\circ$ para el recipiente de calentamiento y $\alpha=45^\circ$ para el de enfriamiento. Además, deberá tomarse en cuenta que la altura del fluido es estimada y que se deberá comprobar una vez que se haya calculado los serpentines el agitador y el aireador. En la Tabla 2.6 se muestran los valores de las dimensiones estimadas de los recipientes y además algunas de las dimensiones recomendadas para el rotor del agitador y los baffles laterales. Los cálculos se realizaron en una hoja de cálculo de Excel que se muestra en el Anexo 6 y Anexo 7.

Tabla 2.5 Los valores de proporciones recomendadas, tomadas de Rushton.

Relación geométrica	Intervalo
H/D_t	[2 - 3]
D_a/D_t	[0,3 - 0,5]
D_a/D_a	0,75
D_a/W	[4 - 6]
D_a/L_a	4
E_L	Mín= D_a
D_t/w_b	12
w_b/ε	6

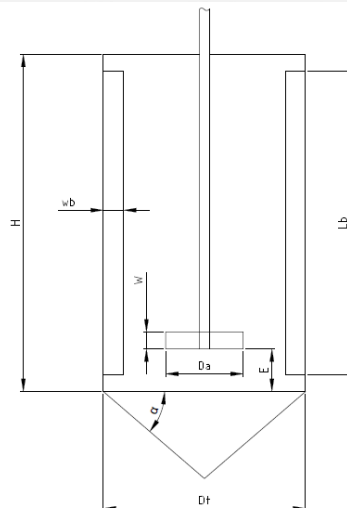


Figura 2.1 Variables involucradas en el dimensionamiento del tanque

Tanto para el cálculo de la cantidad de materia prima como para la de las dimensiones del fermentador, se hizo uso de una hoja de cálculo en Excel que permitía llevar a cabo un mejor cálculo iterativo que se adjunta en el Anexo 4 y 5.

Tabla 2.6 Se muestra las dimensiones usadas en el recipiente de calentamiento y el de enfriamiento

Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
Parámetro	Dimensión (mm)	Parámetro	Dimensión (mm)
D_t	545	D_t	500
H	1076	H	750
E_L	190	E_L	175
w_b	45	w_b	45
e_b	¼ pulg	e	¼ pulg
L_b	945	L_b	650
Ángulo α	60°	Ángulo α	45°

2.3 Cargas térmicas involucradas

Para el cálculo de las cargas térmicas se consideró el fluido a procesar como agua a las condiciones requeridas por el proceso de fabricación. Además se usaron los tiempos recomendados para cada proceso en la investigación de De Florio [5] y de Hough [6]. Los tiempos necesarios entre procesos deberán ser adecuados para el dimensionamiento térmico y alcanzar las condiciones requeridas con los serpentines dimensionados. Las cargas térmicas fueron calculadas con la ecuación [2.2].

$$\dot{Q} = \frac{m_f \times C_p \text{ mosto} \times (\Delta T)}{t} \quad [2.2]$$

Para la fabricación de bebidas alcohólicas mediante un proceso semi-artesanal, serán necesarios 5 procesos donde se incluye tanto calentamiento como enfriamiento para aumentar o disminuir los niveles de temperatura. La densidad y el calor específico usados para el cálculo de las cargas térmicas fueron las del mosto y fueron tomados según Hayes [7]. En la Tabla 2.7 se muestran los valores de las cargas térmicas calculadas y requeridas para los procesos en los que se necesita calentar la sustancia y en la Tabla 2.8 se indican las cargas térmicas necesarias para el enfriamiento. Para los cálculos de cargas térmicas de calentamiento la temperatura ambiente fue considerada con un valor mínimo y para los cálculos de cargas térmicas de enfriamiento un valor máximo. Así tendremos lo siguiente:

$$T_{amb. \text{ máx.}} = 32^\circ\text{C} \quad \text{y} \quad T_{amb. \text{ mín.}} = 15^\circ\text{C}$$

Se tomó como referencia los procesos de fabricación de cerveza de cebada y de la chicha. Para cada proceso se tiene un intervalo de temperaturas. Para el cálculo de las cargas térmicas se consideraron los extremos de estos intervalos. Por ejemplo, para pasar de la maceración a la cocción, se tomó el mayor de los valores mínimos de los intervalos de temperatura de cocción y el menor de los valores máximos de los intervalos de maceración para los procesos de fabricación de chicha y cerveza (mostrados en las Tabla 1.5 del Capítulo 1). Los cálculos se presentan en el Anexo 8.

Tabla 2.7 Cargas térmicas necesarias para alcanzar los procesos donde se calienta el fluido.

		Masa de fluido (kg)	Calor específico (kJ/kg.°C)	Tiempo (min)	ΔT (°C)	Calor (kW)
Para alcanzar la maceración	Q_1	188,10	4,19	15	52	45,54
Para alcanzar la cocción	Q_2	188,10	4,19	21	38	23,77

Tabla 2.8 Cargas térmicas necesarias para alcanzar los procesos donde se enfría el fluido.

		Masa de fluido (kg)	Calor específico (kJ/kg.°C)	Tiempo (min)	ΔT (°C)	Calor (kW)
Para el enfriamiento	Q_3	104,5	4,19	15	90	43,79
Para alcanzar la fermentación	Q_4	104,5	4,19	10	13	8,62
Para alcanzar la maduración	Q_5	104,5	4,19	15	6	3,13

2.4 Diseño de los serpentines

2.4.1 Cálculo del serpentín de calentamiento

Los procesos de maceración y de cocción requieren alcanzar niveles de temperatura superiores a las del medio ambiente. Por lo que se usará un serpentín que permita llegar a las condiciones mostradas en la Tabla 1.5. El fluido térmico utilizado para calentar el medio será vapor de agua. Su uso se debe a que no es una sustancia contaminante y una parte del vapor serviría para la esterilización del medio interno del fermentador antes de empezar el proceso. Se considera que el vapor entra al serpentín como vapor saturado y sale como líquido saturado, con lo que se aprovecha el calor latente para alcanzar los niveles temperatura de los procesos mencionados.

- Presión : $p_{v.a.} = 2 \text{ bar}$

- Temperatura: $T_{v.a.} = 120,12 \text{ °C}$

El calor latente sería la diferencia de entalpía de entrada y la entalpía de salida, el cual se muestra a continuación:

- $h_g = 2693,11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (Entalpía del vapor saturado a las condiciones de presión de 2 bar)

- $h_f = 467,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (Entalpía del líquido saturado a las condiciones de presión de 2 bar)

- $h_{fg} = 2225,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (Calor latente del agua a una presión de vapor de 2 bar)

El flujo másico de vapor de agua se calcula con la carga térmica del proceso y el calor latente de vapor a las condiciones dadas y se hará siguiendo la ecuación [2.3]. Los flujos másicos de vapor de agua teóricos requeridos para el calentamiento de la sustancia se presentan en la Tabla 2.9.

$$\dot{m}_{v.a.} = \frac{Q}{h_{fg}} \quad [2.3]$$

Tabla 2.9 Flujos máscicos de vapor de agua requeridos para procesos de calentamiento.

Proceso	$\dot{m}_{v.a.} \left(\frac{kg}{s} \right)$
Maceración	0,020
Cocción	0,011

Al aprovechar el calor latente para transferir calor y elevar la temperatura del medio, es necesario que haya un cambio de fase de vapor, donde este se irá condensando a lo largo de su recorrido por la tubería del serpentín. Para calcular el coeficiente de convección interno al serpentín de calentamiento, se hará uso de las correlaciones para cuando el fluido térmico se condensa dentro de tubos horizontales, tanto para flujo máscico bajo (correlación de J. Chato) o flujo máscico alto (correlación de M. Soliman) según el valor del número de Reynolds del flujo interno a la tubería. El diámetro nominal de la tubería utilizada para la fabricación del serpentín de calentamiento y las dimensiones de su sección serán las mostradas en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Dimensiones de la sección de tubería seleccionada para el serpentín. JAHESA [8]

	Dimensiones (mm)	Clase
Nominales	1" (25,4 mm)	10
Externo (ϕ_{ex})	33,40	
Interno (ϕ_{is})	27,86	

La velocidad del vapor de agua recomendada dentro de la tubería deberá estar entre 15 y 30 m/s para comprobar si las dimensiones de la tubería son las indicadas. La velocidad del vapor de agua se estima mediante la ecuación [2.4] y en la Tabla 2.11 se muestra los valores de las velocidades calculadas para los procesos de calentamiento.

$$v_{v.a.} = \frac{4\dot{m}_{v.a.}}{\pi\phi_{is}^2 \rho_v} \quad [2.4]$$

Tabla 2.11 Valores de las velocidades del vapor para ambos casos presentados.

	$v_{v.a.}$ (m/s)	Observación
Para alcanzar los niveles del proceso de maceración	29,71	Admisible
Para alcanzar los niveles del proceso de cocción	15,51	Admisible

Para el uso de cualquiera de los dos casos, se divide la tubería del serpentín en 10 tramos. Para cada uno de los tramos se evaluará el número de Reynolds de vapor (Re_v) con las siguientes consideraciones:

- Si: $Re_v > 35000$, el cálculo seguirá las correlaciones para flujo máscico alto.
- Si: $Re_v < 35000$, el cálculo seguirá las correlaciones para flujo máscico bajo.

El Reynolds de vapor se calcula con la ecuación [2.5]. En esta ecuación G es la velocidad de masa que se obtiene de la ecuación [2.6].

$$Re_v = \frac{G\phi_{is}\bar{x}}{\mu_v} \quad [2.5]$$

$$G = \frac{4\dot{m}_{v,a.}}{\pi\phi_{is}^2} \quad [2.6]$$

Una vez evaluado el Reynolds de vapor se hará uso de las correlaciones dependiendo del flujo másico de vapor de agua. Para los primeros tramos, en ambos casos, se obtuvo que el flujo másico de vapor era alto y la correlación que se usó (M. Soliman) fue la de la ecuación [2.7].

$$Nu_{1j} = 0,0054 Re_v^{0,9} Pr_L^{0,65} \frac{\mu_v}{\mu_L} \left(\frac{\rho_L}{\rho_v}\right)^{0,5} \quad [2.7]$$

El valor de la calidad del vapor varía según cada tramo. Se consideró un cambio de calidad $\Delta X=0,1$ entre tramos. Para determinar el valor del coeficiente de convección interior al serpentín de calentamiento para cada tramo, se despeja de la ecuación 2.8.

$$\alpha_{1j} = \frac{Nu_{1j} \times k_l}{\phi_{is}} \quad [2.8]$$

Para determinar el coeficiente de convección exterior al serpentín, se harán uso de las correlaciones dadas en las separatas del curso de transferencia de calor para intercambiadores de calor helicoidales [9], las cuales dependerán del valor del número de Reynolds. Las correlaciones que se muestran en las ecuaciones [2.9] y [2.10].

$$Nu_{2j} = 0,6 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,31} \quad \text{para: } 50 < Re_f < 10^4 \quad [2.9]$$

$$Nu_{2j} = 0,36 Re_f^{0,55} Pr_f^{0,33} \left(\frac{\mu_f}{\mu_{w1}}\right)^{0,14} \quad \text{para: } Re_f > 10^4 \quad [2.10]$$

El valor de la viscosidad a la temperatura superficial externa a la tubería (μ_{w1}) deberá ser comprobada luego mediante la ecuación [2.17]. El número de Reynolds del fluido a calentar (Re_f) se evalúa con la ecuación [2.11]. El diámetro equivalente (D_E) es evaluado mediante la ecuación [2.12]. El volumen libre (V) es calculado mediante la siguiente ecuación [2.13] y es necesario para estimar el valor del diámetro equivalente (D_E). Para el cálculo del coeficiente de convección externo al serpentín de calentamiento para cada tramo, se hará uso de la ecuación [2.14]

$$Re_f = \frac{\rho_f \times v_f \times D_E}{\mu_f} \quad [2.11]$$

$$D_E = \frac{4 \times V}{\pi \times \phi_{es} \times L_s} \quad [2.12]$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot \left[N \cdot P_s \cdot (D_t^2) - (\phi_{es}^2 \cdot L_s) \right] \quad [2.13]$$

$$\alpha_{2j} = \frac{k_f \times Nu_{2j}}{\phi_{es}} \quad [2.14]$$

Una vez se tienen los coeficientes de convección tanto internos como externos al serpentín de calentamiento, se calcula el coeficiente de transferencia parcial en el que se incluye la conductividad térmica del acero inoxidable $k_{ac} = 16,3 \frac{W}{m^{\circ}C}$. El coeficiente de transferencia de calor parcial será el que se muestra en la ecuación [2.15]. El valor de la longitud del tramo se calcula mediante la ecuación [2.16]. Finalmente se deberá comprobar la temperatura superficial exterior a la tubería del serpentín de calentamiento mediante la ecuación [2.17]. En la Figura 2.2 se muestra un esquema donde se indican las temperaturas utilizadas para los cálculos del serpentín.

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_i}\right) + \left(\frac{\phi_{is} \ln\left(\frac{\phi_{es}}{\phi_{is}}\right)}{2k_{ac}}\right)} \quad [2.15]$$

$$L_{ij} = \frac{\dot{m}_{v,a} \times h_{fg} \times \Delta X}{\pi \times \phi_{is} \times \alpha_{ij} \times (T_{v,a} - T_{w1})} \quad [2.16]$$

$$T_{w1j} = \frac{(\alpha_{ij} \times T_{v,a} \times \phi_{is}) + (\alpha_{2j} \times T_b \times \phi_{es})}{(\alpha_{ij} \times \phi_{is}) + (\alpha_{2j} \times \phi_{es})} \quad [2.17]$$

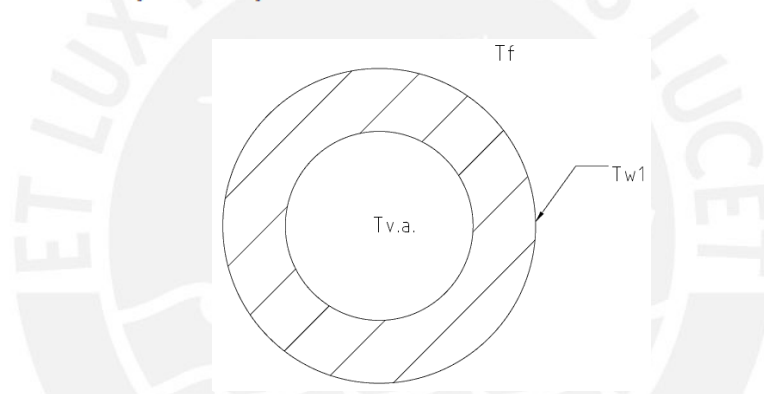


Figura 2.2 Sección de tubería del serpentín con las temperaturas involucradas en el cálculo.

El cálculo será iterativo para cada tramo y el parámetro de comparación para el cálculo será la temperatura superficial. Cuando se obtenga un valor de Reynolds de vapor tal que el flujo másico de vapor sea bajo, entonces el coeficiente de convección interior al serpentín de calentamiento el resto de la tubería se considera como un solo tramo y se deberá hacer uso de la correlación de J. Chato indicada en la ecuación [2.18].

$$\alpha_{1j} = 0,555 \left(\frac{\rho_L (\rho_L - \rho_v) g h'_{fg} k_L^3}{\mu_L \phi_{is} (T_{v,a} - T_{w1})} \right)^{0,25} \quad [2.18]$$

Para este cálculo las propiedades del fluido interno fueron obtenidas a la temperatura media de película (T_{Ff}). Para esta correlación es necesario obtener el valor del cambio total de entalpía para el proceso de condensación pelicular (h'_{fg}) que se obtiene de la ecuación [2.19].

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pL} (T_{v,a} - T_{w1}) \quad [2.19]$$

Se hará uso de un coeficiente de transferencia de calor parcial que se calcula mediante la ecuación [2.15]. Así mismo, se calcula el coeficiente de convección exterior mediante las ecuaciones [2.9], [2.10], [2.11], [2.12], [2.13] y [2.14]. La temperatura superficial externa se deberá comprobar mediante la ecuación [2.17] y será el parámetro para dar fin a las iteraciones y determinar la longitud del tramo final del serpentín. La longitud del tramo es evaluado mediante la ecuación [2.16]. La temperatura en este tramo no sigue con la tendencia obtenida para los valores de temperaturas superficiales calculadas para flujo másico de vapor alto, debido a que en el segundo caso, el valor de la temperatura superficial es un valor promedio. Los cálculos a detalle se presentan en las hojas de Excel en el Anexo 7. En la Tabla 2.12 se presentan las propiedades del vapor de agua usado en el calentamiento. Como se había mencionado, la tubería fue dividida en 10 tramos. Para cada uno se hizo el dimensionamiento respectivo y finalmente luego de comprobar la temperatura superficial exterior se estimó la longitud total de la misma.

Tabla 2.12 Propiedades del vapor de agua para el cálculo del coeficiente de convección interior para alcanzar las condiciones de maceración y cocción evaluadas a la temperatura de masa.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Viscosidad dinámica de la fase vapor a la temperatura de saturación	μ_v	12,96x10 ⁻⁶	Pa.s
Viscosidad dinámica de la fase líquida a la temperatura de saturación	μ_L	231,62x10 ⁻⁶	Pa.s
Número de Prandtl de la fase líquida a la temperatura de saturación	Pr_L	1,44	-
Densidad de la fase líquida a la temperatura de saturación	ρ_L	942,94	kg/m ³
Densidad de la fase vapor a la temperatura de saturación	ρ_v	1,13	kg/m ³
Conductividad térmica de la fase líquida a la temperatura de saturación	k_L	0,68	W/m.°C

Las dimensiones del serpentín se calculan según las siguientes ecuaciones:

$$L_s = N \cdot \sqrt{P_s^2 + (\pi \cdot D_H)^2} \quad [2.20]$$

$$P_s = 1,5 \cdot \phi_{es} \quad [2.21]$$

$$D_H = D_t - 2w_b - 2\phi_{es} \quad [2.22]$$

$$D_{H1} = D_H - \phi_{es} \quad [2.23]$$

$$D_{H2} = D_H + \phi_{es} \quad [2.24]$$

En la Tabla 2.13 se muestran los valores de las dimensiones del serpentín obtenidas con las ecuaciones anteriores tanto para el proceso térmico que compete a alcanzar los niveles de maceración como el de cocción.

Tabla 2.13 Dimensiones del serpentín

Proceso para alcanzar los niveles de maceración y de cocción					
N (Vueltas)	L_s (mm)	P_s (mm)	D_H (mm)	D_{H1} (mm)	D_{H2} (mm)
6	7328	67	388	355	422

Para el proceso de maceración de cocción, se requiere determinar la temperatura de masa del fluido a procesar para calcular sus propiedades termofísicas y determinar de esta manera los coeficientes de convección exteriores de cada tramo y el coeficiente de convección exterior total. Además el fluido estará sometido a la presión absoluta de 1 bar. En la Tabla 2.14 se muestran los niveles de temperatura máximos y mínimos, la temperatura de masa del fluido y el DMLT. Este último fue calculado según la ecuación [2.25]. La temperatura de masa del fluido será calculada mediante las ecuaciones [2.26] y [2.27] tanto para el fluido de menor o mayor nivel de temperatura del análisis respectivamente. Además, si el flujo másico de vapor es bajo, entonces las propiedades termofísicas del fluido en proceso serán determinadas a la temperatura media de película, la cual se obtiene según la ecuación [2.28]. Los valores utilizados en los cálculos también se indican en la Tabla 2.14.

$$DMLT = \frac{(T_{CE} - T_{FS}) - (T_{CS} - T_{FE})}{\ln\left(\frac{T_{CE} - T_{FS}}{T_{CS} - T_{FE}}\right)} \quad [2.25]$$

$$T_{bf} = \frac{T_{FE} + T_{FS}}{2} \quad \text{para el fluido de menor temperatura} \quad [2.26]$$

$$T_{bf} = \frac{T_{CE} + T_{CS}}{2} \quad \text{para el fluido de mayor temperatura} \quad [2.27]$$

$$T_{Ff} = \frac{T_{bf} + T_{w1}}{2} \quad [2.28]$$

Tabla 2.14 Niveles de temperatura involucrados en los cálculos térmicos

	T_{CE} (°C)	T_{CS} (°C)	T_{FE} (°C)	T_{FS} (°C)	T_{bf} (°C)	T_{Ff} (°C)	DMLT (°C)
Para alcanzar los niveles del proceso de maceración	120,12	120,12	15	67	41	108,68	76,28
Para alcanzar los niveles del proceso de cocción	120,12	120,12	62	100	81	114,78	35,92

En la Tabla 2.15, se muestra los resultados parciales y las longitudes de cada tramo para el proceso térmico que compete a alcanzar los niveles de maceración. Para el cálculo del coeficiente de convección externo, el fluido alcanza una velocidad axial de $v = 0,65 \text{ m/s}$ gracias al agitador. En la Figura 2.3 se aprecia un esquema con la tubería dividida en tramos para el análisis.

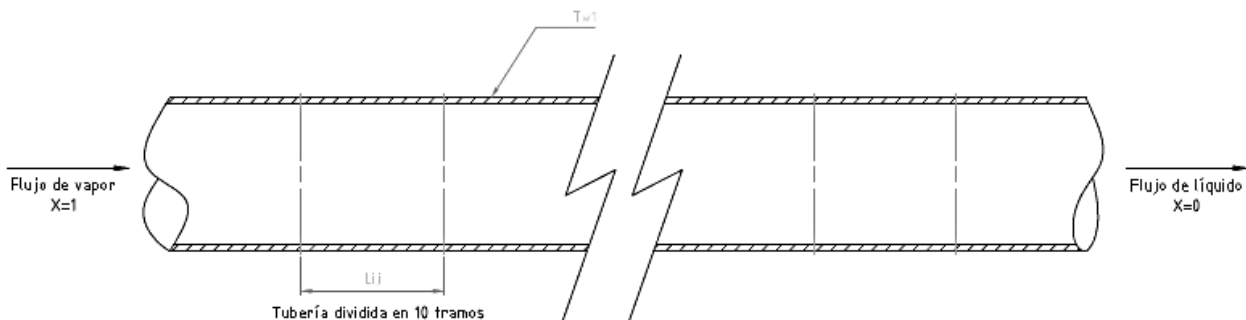


Figura 2.3 Esquema de tubería dividida en tramos para análisis térmico

Tabla 2.15 Resultados parciales para alcanzar los niveles del proceso de maceración

Tramo (j)	Re_{vj}	Nu_{1j}	α_{1j} (W/m ² °C)	α_{ij} (W/m ² °C)	T_{w1j} (°C)	$\mu_{w1j} \times 10^{-6}$ (Pa.s)	Re_f	Nu_{2j}	α_{2j} (W/m ² °C)	L_{ij} (m)
1	68506,02	248,92	6103,67	3136,96	95,29	296,469	480074,37	860,73	1200,96	0,67
2	61294,86	225,21	5522,26	2975,93	94,41	299,381	480074,37	859,55	1199,32	0,68
3	54083,70	201,22	4933,95	2796,25	93,34	302,933	480074,37	858,14	1197,34	0,69
4	46872,54	176,90	4337,72	2594,17	92,03	307,405	480074,37	856,38	1194,89	0,71
5	39661,38	152,21	3732,21	2364,73	90,38	313,224	480074,37	854,13	1191,75	0,74
6	32450,22	-	7770,00	3525,62	97,20	290,417	480074,37	863,22	1204,43	3,21

En la Tabla 2.16 se muestran los resultados parciales y las longitudes para cada tramo para el proceso térmico que compete a alcanzar los niveles de cocción. Para el cálculo del coeficiente de convección externo, el fluido alcanza una velocidad axial teórica de $v = 0,65 \text{ m/s}$ gracias al agitador.

Tabla 2.16 Resultados parciales para alcanzar los niveles del proceso de cocción

Tramo (j)	Re_{vj}	Nu_{1j}	α_{1j} (W/m ² °C)	α_{ij} (W/m ² °C)	T_{w1j} (°C)	$\mu_{w1j} \times 10^{-6}$ (Pa.s)	Re_f	Nu_{2j}	α_{2j} (W/m ² °C)	L_{ij} (m)
1	35758,64	138,66	3399,99	2226,86	104,66	268,524	480074,37	869,91	1220,97	0,78
2	31994,57	-	9480,00	3839,49	109,34	256,336	480074,37	873,58	1225,67	5,87

La longitud total de tubería requerida para alcanzar tanto los niveles de maceración como el de cocción se determina mediante la ecuación [2.29].

$$L_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} \quad [2.29]$$

- Donde: n=número total de tramos utilizados en cada cálculo.

Una vez obtenidas las longitudes de tubería, se podrá calcular el coeficiente de convección del fluido interior y exterior al serpentín de calentamiento mediante la ecuación [2.30] y [2.31].

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_{1j} L_{ij}}{L_i} \quad [2.30]$$

$$\alpha_2 = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_{2j} L_{ij}}{L_i} \quad [2.31]$$

- Donde: n= número total de tramos utilizados en cada cálculo.

En la Tabla 2.17 se muestran las longitudes totales calculadas para el caso de la maceración y cocción y los coeficientes de convección del fluido interior y exterior al serpentín de calentamiento.

Tabla 2.17 Longitud total de tubería para cada proceso

	L_i (m)	α_1 (W/m ² °C)	α_2 (W/m ² °C)
Para alcanzar los niveles del proceso de maceración	6,69	6273,16	1200,42
Para alcanzar los niveles del proceso de cocción	6,65	8761,31	1224,73

Se deben comprobar las longitudes de tubería necesarias para el serpentín de calentamiento y que las dimensiones del serpentín ya dimensionado pueda entrar dentro del recipiente y que la altura del mismo sea menor a la altura que alcanza el fluido a calentar. Para calcular el coeficiente global de transmisión (k_G), se deben incluir los coeficientes de convección del fluido interior y exterior al serpentín de calentamiento, y el efecto de la conducción en las paredes de la tubería del serpentín. La ecuación [2.32] muestra la forma como se calculó k_G . En la Tabla 2.18 se muestran los coeficientes globales de transmisión para ambos casos de calentamiento.

$$k_G = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_2}\right) + \left(\frac{\phi_{es} \ln\left(\frac{\phi_{es}}{\phi_{is}}\right)}{2k_{ac}}\right) + \left(\frac{\phi_{es}}{\phi_{is}\alpha_1}\right)} \quad [2.32]$$

Tabla 2.18 Coeficientes globales de transmisión para los procesos de calentamiento

	k_G (W/m ² °C)
Para alcanzar los niveles del proceso de maceración	826,53
Para alcanzar los niveles del proceso de cocción	877,91

Debe comprobarse que la altura del serpentín sea menor a la altura del fluido a calentar. Los valores de los volúmenes desplazados y las alturas del fluido y del serpentín se indican en la Tabla 2.19. Las variables involucradas en la comprobación de la altura del serpentín respecto a la del fluido se estiman mediante las ecuaciones [2.33], [2.34], [2.35], [2.36] para los volúmenes ocupados y desplazados y las ecuaciones [2.37] y [2.38] para las alturas del fluido y del serpentín respectivamente. Los cálculos se realizaron en una hoja Excel que se adjunta en el Anexo 9 y Anexo 10.

$$V_{DS} = \left(\frac{\pi}{4} \times \phi_{es}^2\right) \times L_S \quad [2.33]$$

$$V_{DM} = V_{azúcar} + V_{jora} \quad [2.34]^5$$

$$V_{f\ cono} = \frac{\pi}{24} \times \tan(\alpha) \times D_c^3 \quad [2.35]^6$$

$$V_{f\ cil} = V_f - V_{f\ cono} \quad [2.36]$$

$$H_{FC} = \frac{4V_{f\ cil}}{\pi D_c^2} + \frac{4(V_{DS} + V_{DM})}{\pi D_c^2} \quad [2.37]$$

$$H_S = (N \cdot P_S) + \phi_{es} \quad [2.38]^7$$

En la Tabla 2.19 se muestra el valor del área de transmisión, calculada según la ecuación [2.39] con la longitud del serpentín que se obtuvo mediante la ecuación [2.20]. Esta deberá ser similar al área de transmisión obtenida con la ecuación [2.40] y

⁵ Para la cocción, el volumen se considerará como el 35% de la suma debido a efectos de la disolución de la materia prima en el agua durante el proceso de maceración.

⁶ El volumen del fluido ocupado en el cono variará en los procesos de calentamiento y en el de enfriamiento pues cada recipiente tiene diferente ángulo (α) de la base.

⁷ El cálculo de la altura del serpentín está sobredimensionado considerándolo como un caso crítico para las dimensiones del serpentín.

con dicha valor se comprobará el valor de la longitud de tubería mediante la ecuación [2.41] para luego comprobar el número de vueltas del serpentín mediante la ecuación [2.42]. Los cálculos a detalle se hicieron con ayuda de las hojas de cálculo de Excel que se adjuntan en los Anexo 9 y Anexo 10.

Tabla 2.19 Volúmenes desplazados, áreas de transmisión, longitud de tubería del serpentín y número de vueltas comprobados.

	Para alcanzar el proceso de maceración	Para alcanzar el proceso de cocción
Volumen desplazado por serpentín (V_{DS})	6,42 L	6,42 L
Volumen desplazado por sólidos (V_{DM})	60,83 L	60,83 L
Altura del fluido solo en el cilindro (H_{FC})	0,91 m	0,90 m
Altura del serpentín (H_S)	0,53 m	0,53 m
Área de transmisión de calor (A_T)	0,77 m ²	0,77 m ²
Área de transmisión de calor (A_T')	0,72 m ²	0,75 m ²
Longitud de tubería (L_t)	6,88 m	7,18 m
Número de vueltas (N')	5,64	5,88

$$A_T = \pi \times L_S \times \phi_{es} \quad [2.39]$$

$$A_T' = \frac{\dot{Q}_j}{k_G \times DMLT} \quad [2.40]$$

$$L_t = \frac{A_T'}{\pi \phi_{es}} \quad [2.41]$$

$$N' = \frac{L_t}{\sqrt{P_s^2 + (\pi \cdot D_H)^2}} \quad [2.42]$$

2.4.2 Cálculo de cantidad de fluido evaporado

En el proceso de cocción, el mosto alcanza la temperatura de saturación y comienza a evaporarse. La cantidad de fluido necesario para calcular los procesos de enfriamiento será menor y por tanto deberá determinarse cuanto es la cantidad de mosto que se evapora. El cálculo térmico hecho fue realizado usando las correlaciones simplificadas para el agua dadas por la VDI para procesos de ebullición presentada en la ecuación [2.43] y según lo indicado en las separatas del curso de transferencia de calor [10].

$$\alpha_{2s} = 0,0108491(T_{w1} - T_f)^{\left(\frac{0,72}{0,28}\right)} p_f^{0,24} \quad [2.43]$$

Para el cálculo del calor requerido para evaporar el fluido procesado, se hará uso de la ecuación [2.44]. Para comprobar la temperatura superficial en la pared externa de la tubería del serpentín de calentamiento se estima mediante la ecuación [2.45]. La cantidad de fluido evaporado se calculará mediante la ecuación [2.46].

$$\dot{Q}_{ev} = \frac{2\pi L_i (T_{v.a.} - T_f)}{\left(\frac{2}{\alpha_1 \phi_{is}}\right) + \left(\frac{\ln\left(\frac{\phi_{es}}{\phi_{is}}\right)}{k_{ac}}\right) + \left(\frac{2}{\alpha_2 \phi_{es}}\right)} \quad [2.44]$$

$$T'_w = \frac{(\alpha_1 \times \phi_{is} \times T_{v.a.}) + (\alpha_{2e} \times \phi_{es} \times T_f)}{(\alpha_1 \times \phi_{is}) + (\alpha_{2e} \times \phi_{es})} \quad [2.45]$$

$$m_{ev} = \frac{Q_{ev} \times t_{cocción}}{h_{fg_{ev}}} \quad [2.46]^8$$

En la Tabla 2.20 se muestran los valores de entrada para el cálculo y en la Tabla 2.21 se muestran los valores de los resultados del cálculo. El cálculo se realizó en una hoja Excel que se adjunta en el Anexo 11.

Tabla 2.20 Valores de los datos de entrada para el cálculo del fluido evaporado.

Variable		Unidad	Valor
Nombre	Símbolo		
Temperatura superficial externa del serpentín de calentamiento	T_{w1}	°C	111,39
Temperatura del fluido	T_f	°C	100,00
Temperatura del vapor de agua	$T_{v.a.}$	°C	120,21
Presión absoluta del fluido	p_f	bar	1
Entalpía de vaporización	$h_{fg_{ev}}$	kJ/kg	2256,04
Tiempo de cocción	$t_{cocción}$	minutos	90
Coefficiente de convección del fluido interior al serpentín de calentamiento	α_1	kW/m ² °C	8,76
Longitud de tubería	L_i	m	7,33

Tabla 2.21 Valores de los datos de salida para el cálculo del fluido evaporado.

Variable		Unidad	Valor
Nombre	Símbolo		
Coefficiente de convección del fluido exterior al serpentín de calentamiento	α_{2e}	kW/m ² °C	5,66
Calor requerido para evaporar el fluido en proceso	Q_{ev}	kW	31,13
Temperatura comprobada de la superficie externa del serpentín de calentamiento	T'_{w1}	°C	111,39
Masa evaporada de fluido procesado	m_{ev}	kg	74,49
Volumen de fluido evaporado	V_{ev}	L	74,49

2.4.3 Cálculo del espesor de aislante requerido en el calentamiento

Es necesario que la temperatura de la pared exterior del fermentador sea menor a 45°C por protección para los operadores de la máquina. El aislante utilizado para el fermentador fue lana de roca mineral. Las características indicadas en las separatas del curso de transferencia de calor [11] son las siguientes:

- Baja conductividad térmica
- Un material no combustible
- Es de uso general desde bajas hasta medias temperaturas

⁸ La masa del fluido evaporado básicamente es agua y es aproximadamente igual al volumen en litros si consideramos la densidad del fluido como si fuera agua ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$).

Se calculará un coeficiente de convección exterior al fermentador que incluye la radiación de la superficie de aluminio y la convección natural del flujo de aire exterior al fermentador. El cálculo se hizo para el tramo cilíndrico que es donde hay mayor área de transferencia de calor. En la Figura 2.4 se muestra un esquema de una parte del recipiente recubierto con el aislamiento y la chapa metálica de protección. La ecuación [2.47] muestra el cálculo necesario para el coeficiente de convección natural del aire exterior al fermentador. Debido a las bajas velocidades del aire, el flujo es considerado laminar. El efecto de la radiación se incluye y se muestra en la ecuación [2.48].

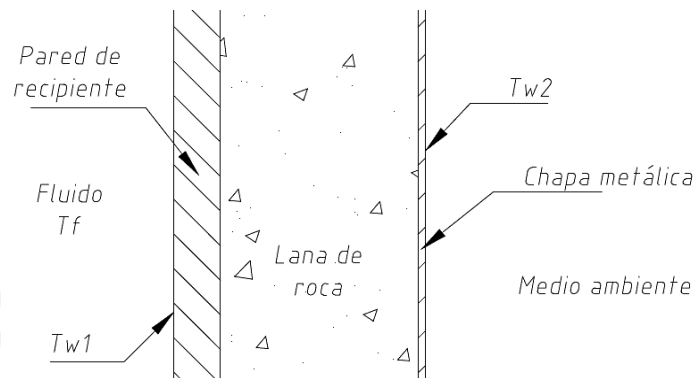


Figura 2.4 Esquema de la pared del recipiente con el aislamiento y la chapa protectora.

$$\alpha_3 = 1,32 \left(\frac{T_{w2} - T_{amb}}{D_{t_{ext}} + 2e + 2e_c} \right)^{\frac{1}{4}} \quad [2.47]$$

$$\alpha_{3r} = \alpha_3 + \frac{\epsilon_r \cdot \sigma \cdot ((T_{w2} + 273)^4 - (T_{amb} + 273)^4)}{T_{w2} - T_{amb}} \quad [2.48]$$

El calor transferido hacia el exterior del fermentador es calculado mediante la ecuación [2.49]. Debido a que el cálculo es iterativo, se deberá comprobar el valor de la temperatura superficial exterior al fermentador. Para ello, se utilizó la ecuación [2.50].

$$\dot{Q}_{ex} = \frac{2\pi L_r (T_f - T_{amb})}{\left(\frac{2}{\alpha_2 e D_t} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{D_{t_{ext}}}{D_t} \right)}{k_{ac}} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{D_{t_{ext}} + 2e}{D_{t_{ext}}} \right)}{k_{ai}} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{D_{t_{ext}} + 2e + 2e_c}{D_{t_{ext}} + 2e} \right)}{k_{ai}} \right) + \left(\frac{2}{\alpha_{3r} (D_{t_{ext}} + 2e + 2e_c)} \right)} \quad [2.49]$$

$$T'_{w2} = \left(\frac{\dot{Q}_{ex}}{\alpha_{3r} \pi L_c (D_{t_{ext}} + 2e + 2e_c)} \right) + T_{amb} \quad [2.50]$$

En la Tabla 2.22 se muestran los valores de entrada para el cálculo del espesor del aislante necesario y en la Tabla 2.23 los resultados. El cálculo para los espesores de aislamientos térmicos se realizó en una hoja de cálculo de Excel que junto con los catálogos que proporcionan sus características se adjuntan en el Anexo 12.

Tabla 2.22 Valores de los datos de entrada para el cálculo del espesor de aislante.

Variable		Unidad	Valor
Nombre	Símbolo		
Coeficiente de convección del fluido exterior al serpentín de calentamiento	α_{2e}	kW/m ² °C	5,66
Temperatura superficial externa del fermentador	T_{w2}	°C	41,15
Temperatura del medio ambiente	T_{amb}	°C	12,0
Coeficiente de radiación de la capa de aluminio del aislante	ϵ_r	-	0,05
Coeficiente de Stefan-Boltzmann	σ	W/m ² K ⁴	5,6697x10 ⁻⁸
Diámetro interno del fermentador	D_t	m	0,545
Diámetro externo del fermentador	$D_{t,ext}$	m	0,551
Espesor de aislante	e	pulg. (m)	1 (0,0254)
Espesor chapa protectora	e_c	mm	0,5
Longitud del cuerpo cilíndrico	L_c	mm	1076
Conductividad del acero inoxidable	k_{ac}	W/m °C	16,30
Conductividad del Aluminio	k_{Al}	W/m °C	209,30
Conductividad del aislante (lana mineral)	k_{ai}	W/m °C	0,05

Tabla 2.23 Valores de los datos de salida para el cálculo del espesor de aislante.

Variable		Unidad	Valor
Nombre	Símbolo		
Coeficiente de convección del fluido exterior al fermentador	α_{3r}	W/m ² °C	3,79
Temperatura superficial externa del fermentador comprobada	T'_{w2}	°C	41,19
Flujo de calor disipado hacia el exterior del fermentador	\dot{Q}_{ex}	kW	0,23

2.4.4 Cálculo del serpentín de enfriamiento

Para alcanzar los niveles de operación para los procesos de enfriamiento, fermentación y maduración es necesario disminuir la temperatura del mosto por debajo de la temperatura ambiente. Se eligió el propilenglicol mezclado con agua debido a las siguientes características referenciadas del manual de ASHRAE [12]:

- Permite la reducción del punto de congelamiento del agua.
- Cuando está correctamente inhibido, tiene un nivel de corrosión bajo.
- Baja volatilidad.
- Baja toxicidad.

El uso de esta mezcla de propilenglicol y agua resulta ser más adecuado que el uso de un fluido refrigerante por un tema económico y de protección del medio ambiente [13]. La concentración usada de propilenglicol en la mezcla con agua se consideró de 20%, debido a que si se usa más concentración se tiene problemas en la viscosidad que demandaría una mayor potencia de bombeo, a pesar de que el fluido tiene mejor capacidad para transferir calor y un tema de toxicidad de la sustancia. Para la concentración de 20 %, se estiman los valores de densidad, viscosidad, conductividad térmica del fluido y calor específico del agua glicolada a la temperatura de masa de la

misma. Para empezar, primero se comprueba que la velocidad del agua glicolada dentro de la tubería del serpentín deberá estar dentro del rango de 1 – 2 m/s, para evitar problemas de sedimentación dentro de la tubería si es muy baja o de vibraciones si es muy alta. En el cálculo, se asumió primero un diámetro de tubería con el que se determinó el área interna de la tubería. Con el valor de densidad aproximado de la Tabla 10 del documento Physical properties of secondary coolants del Handbook de ASHRAE [14] y asumiendo una velocidad de 1,5 m/s, se determinó el valor del flujo másico de glicol requerido mediante la ecuación [2.51]. Las Tablas 10, 11, 12 y 13 de las propiedades de la mezcla se adjuntan en el Anexo 14. Asumiendo un valor de calor específico aproximado de la Tabla 11 de ASHRAE [15], un valor de temperatura de entrada de la mezcla al serpentín de enfriamiento y despejando de la ecuación [2.52] se obtiene el valor de la temperatura de salida del portador de energía. Esta temperatura deberá ser tal que cumpla la primera Ley de la termodinámica y que a la temperatura media de masa el valor de la densidad y el calor específico sean aproximadamente iguales a los que se asumieron en el cálculo inicial.

$$\dot{m}_{ag} = \rho_{ag} \times v_{ag} \times \left(\frac{\pi \phi_{is}^2}{4} \right) \quad [2.51]$$

$$T_{FS} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{ag} \times C_{p_{ag}}} + T_{FE} \quad [2.52]$$

Esto se repite en los casos donde se requiere alcanzar los procesos de fermentación y maduración. En la Tabla 2.25 se muestran los valores de temperaturas, flujos másicos, densidades, viscosidades dinámicas, calores específicos, conductividades térmicas del agua glicolada y el diámetro interno de la tubería usada para el serpentín de enfriamiento. Estas propiedades fueron determinadas a la temperatura media del agua glicolada que se obtiene de la ecuación [2.54]. El diámetro de tubería utilizado fue el de 1" nominal. Las dimensiones son indicadas en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24 Dimensiones de la sección de la tubería seleccionada para el serpentín. Se tomó del catálogo de JAHESA [16]

	Dimensiones (mm)	Clase
Nominales	1" (25,4 mm)	Ø
Externo (ϕ_{es})	33,40	
Interno (ϕ_{is})	27,86	

Tabla 2.25 Valores de temperaturas, flujos másicos, densidades, viscosidades dinámicas, calores específicos y conductividades térmicas del agua glicolada.

Proceso	T_{FE} (°C)	T_{FS} (°C)	T_{br} (°C)	\dot{Q} (kW)	ρ_{ag} ($\frac{kg}{m^3}$)	μ_{ag} (Pa.s)	$C_{p_{ag}}$ ($\frac{kJ}{kg}$)	k_{ag} ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)	ϕ_{is} (mm)	\dot{m}_{ag} ($\frac{kg}{s}$)
Fermentación	0	2,58	1,29	8,62	1024,45	$3,87 \times 10^{-3}$	3,93	0,46	26,64	0,86
Maduración	0	0,93	0,47	3,13	1025,71	$4,08 \times 10^{-3}$	3,93	0,46	26,64	0,86

El número de Prandtl del fluido se calcula con el valor de la viscosidad dinámica (μ_{ag}), el calor específico ($C_{p_{ag}}$) y la conductividad térmica del fluido (k_{ag}) y se estima mediante la ecuación [2.53].

$$Pr_{ag} = \frac{C_{p_{ag}} \mu_{ag}}{k_{ag}} \quad [2.53]$$

$$T_{br} = \frac{T_{FE} + T_{FS}}{2} \quad [2.54]$$

Las dimensiones del serpentín de enfriamiento se calculan según las siguientes ecuaciones [2.20], [2.21], [2.22], [2.23] y [2.24] también utilizadas para el serpentín de calentamiento. En la Tabla 2.26 se muestran los valores de las dimensiones obtenidas para el serpentín de enfriamiento.

Tabla 2.26 Dimensiones del serpentín

Proceso para alcanzar los niveles de fermentación y maduración					
N (Vueltas)	L_s (mm)	P_s (mm)	D_H (mm)	D_{H1} (mm)	D_{H2} (mm)
6,0	6478	67	343	310	377

Con las propiedades termofísicas se calculó los coeficientes de convección. En ambos casos se estimó el número de Reynolds del flujo interno a la tubería con la ecuación [2.55]. El número de Nusselt del agua glicolada se estimó con la correlación de Gnielinski [2.56], según separata del curso de transferencia de calor [17].

$$Re_{ag} = \frac{4\dot{m}_{ag}}{\pi \mu_{ag} \phi_{is}} \quad [2.55]$$

$$Nu_{ag} = 0,012(Re_{ag}^{0,87} - 280)Pr_{ag}^{0,4}, \text{ Si: } 3000 \leq Re_{ag} \leq 10^6 \text{ y } 1,5 \leq Pr_{ag} \leq 500 \quad [2.56]$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu_{ag} \times k_{ag}}{\phi_{is}} \quad [2.57]$$

Finalmente, se calcula el valor del coeficiente de convección del agua glicolada interior a la tubería del serpentín según la ecuación [2.57]. Debido al efecto de la curvatura del serpentín, el coeficiente de convección interior deberá ser modificado multiplicándosele por un factor de corrección. Este coeficiente de convección corregido se calculará mediante la ecuación [2.58]. Para estimar el coeficiente de convección del fluido exterior se hizo uso de las ecuaciones [2.9] o [2.10], [2.11], [2.12], [2.13], [2.14]. La velocidad del medio dependerá de las revoluciones del agitador y su cálculo se detalla páginas adelante. La velocidad usada es de 0,95 m/s. Con el valor de la temperatura de masa media del fluido, se obtienen los valores de las propiedades termofísicas para el cálculo del número de Nusselt y con ello el coeficiente de convección exterior al serpentín. Como la correlación utilizada es la de la ecuación [2.10] y requiere de la viscosidad dinámica del fluido a la temperatura superficial de la

pared exterior de la tubería, es necesario comprobar dicha temperatura mediante la ecuación [2.17]. En la Tabla 2.27 se muestran los resultados de los coeficientes de convección tanto interno como externo. Además en la Tabla 2.28 se muestran los valores de la temperatura inicial, final, temperatura media de masa y el DMLT. Los cálculos, variables involucradas, parámetros y propiedades se muestran en una hoja de Excel que se adjunta en el Anexo 13 y Anexo 14.

$$\alpha_1' = \alpha_1 \times \left(1 + 3,5 \left(\frac{\phi_{is}}{D_H} \right) \right) \quad [2.58]$$

Tabla 2.27 Resultados de los coeficientes de convección interior y exterior

	$\alpha_1 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$	$\alpha_1' \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$	$\alpha_2 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$
Fermentación	2422,48	3081,11	4015,71
Maduración	2381,64	3029,17	3778,11

Tabla 2.28 Niveles de temperatura involucrados en los cálculos térmicos

	T_{CE} ($^\circ C$)	T_{CS} ($^\circ C$)	T_{FE} ($^\circ C$)	T_{FS} ($^\circ C$)	T_{bf} ($^\circ C$)	DMLT ($^\circ C$)
Para alcanzar los niveles del proceso de fermentación	20	7	0	2,85	13,5	11,43
Para alcanzar los niveles del proceso de maduración	8	2	0	0,93	5	4,01

En esta última parte se comprueba las longitudes de tubería necesarias para el serpentín de enfriamiento y que este pueda entrar dentro del recipiente y que la altura del mismo sea menor a la altura que alcanza el fluido a enfriar. Para calcular el coeficiente global de transmisión (k_G), se incluye los coeficientes de convección del fluido interior y exterior al serpentín de enfriamiento, y el efecto de la conducción en las paredes de la tubería del serpentín. La ecuación [2.32] muestra el cálculo de k_G . En la Tabla 2.29 se muestran los coeficientes globales de transmisión para ambos casos de enfriamiento.

Tabla 2.29 Coeficientes globales de transmisión

	k_G (W/m ^{2o} C)
Para alcanzar los niveles del proceso de fermentación	1120,62
Para alcanzar los niveles del proceso de maduración	1092,87

Además se comprueba que la altura del serpentín sea menor a la del mosto. Los valores de los volúmenes desplazados y las alturas del fluido y del serpentín se indican en la Tabla 2.30. También muestra el valor del área de transmisión calculada mediante la ecuación [2.39]. Esta deberá ser similar al área de transmisión que se obtiene del cálculo de la ecuación [2.40] y con dicha área se comprueba el valor de la longitud de tubería mediante la ecuación [2.41] para luego comprobar el número de

vueltas del serpentín mediante la ecuación [2.42]. Los cálculos involucrados se realizaron en la hoja de cálculo adjunta en el Anexo 13 y Anexo 14.

Tabla 2.30 Volúmenes desplazados, áreas de transmisión, longitud de tubería del serpentín y número de espiras comprobados

	Para alcanzar el proceso de fermentación	Para alcanzar el proceso de maduración
Volumen desplazado por serpentín	5,71 L	5,71 L
Volumen desplazado por sólidos	21,29 L	21,29 L
Altura del fluido solo en el cilindro	0,56 m	0,56 m
Altura del serpentín	0,54 m	0,54 m
Área de transmisión de calor (A_T)	0,68 m ²	0,68 m ²
Área de transmisión de calor comprobada (A_T')	0,67 m ²	0,71 m ²
Longitud de tubería (L_t)	6,40 m	6,78 m
Número de vueltas (N)	5,9	6,3

2.4.5 Cálculo del espesor de aislante requerido en el enfriamiento

En los procesos de enfriamiento se debe alcanzar bajos niveles de temperatura, existirá un flujo de calor desde el medio ambiente hacia el fluido que producirá un aumento de temperatura en el interior del recipiente y afectará los procesos. Por eso, se cubre el recipiente con aislante de lana de roca mineral. Además se reduce el consumo de agua glicolada para enfriamiento. El mayor flujo de calor se dará en el proceso de maduración pues la diferencia de temperatura entre el fluido y el medio ambiente es mayor. El cálculo es similar al estimado para el recipiente de calentamiento usando las ecuaciones [2.47], [2.48], [2.49] y [2.50]. Los valores de las variables necesarias y los resultados se muestran en la Tabla 2.31 y 2.32. La temperatura del medio ambiente asumida para este cálculo será el valor máximo considerado en días calurosos ($T_{amb} = 32\text{ }^\circ\text{C}$). El coeficiente de convección en el medio ambiente se estima mediante la correlación indicada en la ecuación [2.59] para flujo laminar [18]. El efecto de la radiación se incluye en la ecuación [2.60].

$$\alpha_3 = 1,32 \left(\frac{T_{amb} - T_{w2}}{D_{t_{ext}} + 2s + 2s_c} \right)^{\frac{1}{4}} \quad [2.59]$$

$$\alpha_{3r} = \alpha_3 + \frac{\epsilon_r \cdot \sigma \cdot ((T_{amb} + 273)^4 - (T_{w2} + 273)^4)}{T_{amb} - T_{w2}} \quad [2.60]$$

El calor transferido hacia el exterior del fermentador es calculado mediante la ecuación [2.61]. Debido a que el cálculo es iterativo, se deberá comprobar el valor de la temperatura superficial exterior al fermentador. Para ello, se utilizó la ecuación [2.62].

$$\dot{Q}_{ex} = \frac{2\pi L_r (T_{amb} - T_f)}{\left(\frac{2}{\alpha_{2e} D_t} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{D_{t_{ext}}}{D_t} \right)}{k_{ac}} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{D_{t_{ext}} + 2e}{D_{t_{ext}}} \right)}{k_{ai}} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{D_{t_{ext}} + 2s + 2s_c}{D_{t_{ext}} + 2e} \right)}{k_{Al}} \right) + \left(\frac{2}{\alpha_{3r} (D_{t_{ext}} + 2s + 2s_c)} \right)} \quad [2.61]$$

$$T'_{w2} = T_{amb} - \left(\frac{Q_{ex}}{\alpha_{3r}\pi L_c (D_{t_{ext}} + 2e + 2e_c)} \right) \quad [2.62]$$

Tabla 2.31 Valores de los datos de entrada para el cálculo del espesor de aislante.

Variable		Unidad	Valor
Nombre	Símbolo		
Coefficiente de convección del fluido exterior al serpentín de calentamiento	α_2	kW/m ² °C	3,78
Temperatura superficial externa del fermentador	T_{w2}	°C	16,05
Temperatura del medio ambiente	T_{amb}	°C	32
Coefficiente de radiación de la capa de aluminio del aislante	ϵ_r	-	0,05
Coefficiente de Steffan-Boltzmann	σ	W/m ² K ⁴	5,6697x10 ⁻⁸
Diámetro interno del fermentador	D_t	m	0,500
Diámetro externo del fermentador	$D_{t_{ext}}$	m	0,506
Espesor de aislante	e	pulg. (m)	½ (0,0127)
Espesor de chapa protectora	e_c	mm	0,5
Longitud del cuerpo cilíndrico	L_c	m	0,75
Conductividad del acero inoxidable	k_{ac}	W/m °C	16,30
Conductividad del aislante (lana mineral)	k_{ai}	W/m °C	0,05
Conductividad del aluminio	k_{Al}	W/m °C	209,3

Tabla 2.32 Valores de los datos de salida para el cálculo del espesor de aislante.

Variable		Unidad	Valor
Nombre	Símbolo		
Coefficiente de convección del fluido exterior al fermentador	α_{3r}	W/m ² °C	3,39
Temperatura superficial externa del fermentador comprobada	T_{w2}	°C	16,05
Flujo de calor disipado hacia el exterior del fermentador	Q_{ex}	W	67,63

El cálculo para los espesores del aislamiento térmico se realizó en una hoja de Excel que en conjunto con los catálogos que proporcionan las características del aislamiento térmico, se adjuntan en el Anexo 15.

2.5 Cálculo de los espesores del recipiente.

Para el dimensionamiento de los recipientes es necesario conocer su espesor de pared, el cual deberá soportar la presión interna de operación del recipiente y no fallar ante algún golpe o una presión externa adicional o durante la descarga. El recipiente estará fabricado de planchas de acero AISI 316 para el cuerpo, la base cónica y la tapa. El diseño del recipiente será según el código ASME VIII División 1 [19] y algunas secuencias de cálculo dadas por Moss [20] y las recomendaciones de diseño de las especificaciones para Recipientes a presión de Repsol [21]. Primero, las condiciones necesarias para el cálculo serán las características del material y las presiones de diseño para ambos recipientes. Estos datos se muestran en la Tabla 2.33.

Tabla 2.33 Datos necesarios para el cálculo de presión del recipiente

Material del recipiente	Acero inoxidable	AISI 316
Densidad del material (ρ_{ac})	7850	kg/m ³
Esfuerzo admisible (σ_{Adm})	115	MPa
Módulo de elasticidad (E_{acero})	193000	MPa
Eficiencia de la soldadura (E)	0,85 ⁹	-
Presión interna de diseño para recipiente de calentamiento ¹⁰ (P_{di})	14,51 [1]	Psi (g) [bar (g)]
Presión interna de diseño para recipiente de enfriamiento ¹¹ (P_{di})	29,01 [2]	Psi (g) [bar (g)]
Presión externa de diseño para recipiente de calentamiento (P_{de})	-4,36 [0,3]	Psi (g) [bar (g)]
Presión externa de diseño para recipiente de enfriamiento (P_{de})	-2,18 [0,15]	Psi (g) [bar (g)]

2.5.1 Cálculo del espesor con la presión interna

2.5.1.1 Espesor del cuerpo cilíndrico

Siguiendo con el estándar ASME Sec. VIII Div.1 [22], para el cálculo del espesor en recipientes cilíndricos se estima mediante las ecuaciones [2.63] para esfuerzos circunferenciales y la ecuación [2.64] para esfuerzos longitudinales.

$$t_r = \frac{P \cdot D_t}{2 \cdot (\sigma_{Adm} \cdot E - 0,6 \cdot P)} \quad [2.63]$$

$$t_r = \frac{P \cdot D_t}{2 \cdot (2 \cdot \sigma_{Adm} \cdot E + 0,4 \cdot P)} \quad [2.64]$$

Para determinar la presión P, se deberá sumar la presión interna de diseño p_d y la presión hidrostática máxima. Esta última se estima mediante la ecuación [2.65]. La presión total de diseño se estima como la suma entre la presión interna de diseño más la presión hidrostática del fluido según la ecuación [2.66].

$$p_h = H_{FC} \times g \times \rho_f \quad [2.65]$$

$$P = p_h + p_{di} \quad [2.66]$$

Con el valor de la presión, y conociendo las características de material y el diámetro del recipiente, el espesor de pared calculado será el máximo de los resultados de las ecuaciones [2.63] y [2.64]. A este espesor calculado se deberá añadir el efecto del espesor de corrosión¹² con el que se obtiene un nuevo valor de espesor, el espesor total, el cuál será el resultado obtenido por la ecuación [2.67]. Con este valor se estima el espesor comercial de la plancha de acero inoxidable austenítico AISI SAE 316 con

⁹ El valor de la efic. de la soldadura utilizada en la construcción del recipiente se estima según la Tabla UW-12 del estándar ASME Sec. VIII Div.1. para el caso de uniones por juntas a tope.

¹⁰ La presión para el recipiente de calentamiento está sobredimensionada en 1 bar (g). Normalmente la máxima presión solicitada durante los procesos es de 0 bar (g).

¹¹ La presión para el recipiente de enfriamiento está sobredimensionada en 2 bar (g). Normalmente la máxima presión solicitada durante los procesos de enfriamiento suele ser hasta 1 bar (g).

¹² El espesor de corrosión será una recomendación que se toma de la información de las especificaciones de REPSOL. La Tabla de referencia se adjunta en el anexo 6.

el que se fabricará el recipiente. Con el espesor comercial se obtendrá el espesor afectado por la corrosión mediante la ecuación [2.68], según el código ASME [23].

$$t_T = t_r + e_c \quad [2.67]$$

$$t_{corr} = t_{com} - e_c \quad [2.68]$$

Además se estima el valor de la MAWP (la presión de trabajo máxima admisible) que será la presión máxima interna o externa que puede admitir el recipiente a las condiciones de operación establecidas e incluyendo el espesor de este con la influencia de la corrosión, según Moss [24]. Será el valor mínimo de las ecuaciones [2.69] y [2.70].

$$MAWP = \frac{2 \cdot \sigma_{Adm} \cdot E \cdot t_{corr} - p_h}{\frac{D_t}{2} - 0,4 \cdot t_{corr}} \quad [2.69]$$

$$MAWP = \frac{\sigma_{Adm} \cdot E \cdot t_{corr} - p_h}{\frac{D_t}{2} + 0,6 \cdot t_{corr}} \quad [2.70]$$

2.5.1.2 Espesor del fondo cónico

Según lo indicado por el estándar ASME Sec. VIII Div. 1 [25], el espesor calculado se obtiene mediante la ecuación [2.71]. Para este caso P también se estima mediante la ecuación [2.66], con la excepción que en este caso la presión hidrostática es mayor debido a la columna de agua contenida en la cavidad cónica. La presión hidrostática se estima según la ecuación [2.72]. El espesor total se calcula igual que el caso presentado anteriormente mediante la ecuación [2.67]. Luego se obtiene un valor de espesor comercial y a continuación se estima un espesor afectado por la corrosión mediante la ecuación [2.68]. Para este caso también se estima el MAWP, el cual se obtiene mediante la ecuación [2.73] según Moss [26].

$$t_r = \frac{P \cdot D_t}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (\sigma_{Adm} \cdot E - 0,6 \cdot P)} \quad [2.71]$$

$$p_h = (H_{FC} + H_{FCONO}) \times g \times \rho_f \quad [2.72]$$

$$MAWP = \frac{2 \cdot \sigma_{Adm} \cdot E \cdot t_{corr} \cdot \cos \alpha}{D_t + (1,2 \cdot t_{corr} \cdot \cos \alpha)} - p_h \quad [2.73]$$

2.5.1.3 Espesor de la tapa toriesférica

El diseño seguido es el de una tapa toriesférica siguiendo las recomendaciones de la norma DIN 28011 [27] y Moss [28]. El espesor mínimo calculado se obtiene mediante la ecuación [2.74], según Moss [29].

$$t_r = \frac{P \cdot M \cdot r_1}{2 \cdot \sigma_{Adm} \cdot E - 0,2 \cdot P} \quad [2.74]$$

La presión total de diseño es igual a la presión de diseño interna al recipiente con ausencia de presión hidrostática ($P = p_{di}$). Donde M es un factor que se obtiene de la ecuación [2.75] recomendada por Moss [30] que depende de la geometría de la tapa.

$$M = 0,25(3 + \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}) \quad [2.75]$$

En la Figura 2.5 se muestra la geometría de la tapa con las dimensiones recomendadas según lo indicado por la norma DIN 28011 [31].

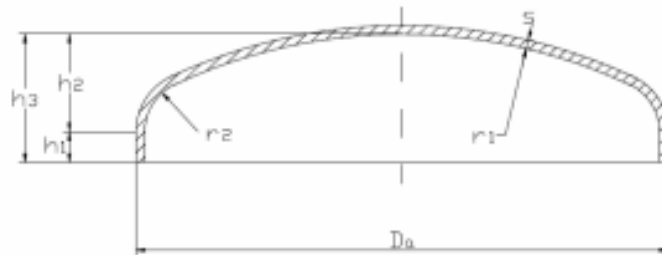


Figura 2.5 Para con las dimensiones recomendadas para el techo según DIN 28011.

Las dimensiones se calculan según lo indicado por las ecuaciones [2.76] para el valor de r_1 , la ecuación [2.77] para el valor de r_2 , la ecuación [2.78] para el valor de h_1 , la ecuación [2.79] para el valor de h_2 y la ecuación [2.80] para la altura total del techo toriesférico h_3 .

$$r_1 = D_t \quad [2.76]$$

$$r_2 = 0,1D_t \quad [2.77]$$

$$h_1 = h + 3,5t_{com} \quad [2.78]$$

$$h_2 = 0,1935D_t + 0,455t_{com} \quad [2.79]$$

$$h_3 = h_1 + h_2 \quad [2.80]$$

El espesor total se estima mediante la ecuación [2.67]. Una vez obtenido dicho valor se busca un valor de espesor comercial. Luego se estima el espesor afectado por la corrosión mediante la ecuación [2.68]. Finalmente se estima el valor de la MAWP mediante la ecuación [2.81].

$$MAWP = \frac{2 \cdot \sigma_{Adm} \cdot E \cdot t_{corr}}{r_1 \cdot M + 0,2 \cdot t_{corr}} \quad [2.81]$$

De los tres casos presentados se presentan los resultados en la Tabla 2.34 para el recipiente de calentamiento y para el recipiente de enfriamiento. Los detalles del cálculo se presentan en una hoja de cálculo de Excel que se adjunta en el Anexo 16 para el recipiente de calentamiento y el Anexo 18 para el recipiente de enfriamiento.

Tabla 2.34 Resultados para el recipiente de calentamiento

Variable	Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Capacidad del recipiente	280	L	160	L
Diámetro interno del recipiente (D_t)	545	mm	500	mm
Altura del cilindro (H_{cil})	1076	mm	750	mm
Altura del cono (H_{cono}) ¹³	471,98	mm	250	mm
Altura de nivel del fluido ($H_{FC} + H_{Fcono}$)	1374,55	mm	1000	mm
MAWP ¹⁴	349,48	kPa	380,92	kPa
Espesor de techo ¹⁵	3	mm	3	mm
Espesor del fondo ¹⁶	3	mm	3	mm
Espesor del cuerpo ¹⁷	3	mm	3	mm

2.5.2 Cálculo del espesor por presión externa

Este cálculo se realizó según el estándar ASME Sec. VIII Div. 1 [32] y las recomendaciones de Moss [33].

2.5.2.1 Espesor del cuerpo cilíndrico

Para iniciar el cálculo, se asume un espesor t^{18} con el que se estima los valores de D_t/t y L/D_t . Con dichos valores se obtiene el valor de un factor A de la figura G que se encuentra en la Sub-parte 3 de la Sec. II Parte D del código ASME [34] y que se adjunta en el Anexo 17. Luego, con dicho factor A y el Módulo de elasticidad del acero inoxidable AISI SAE 316 se obtiene el factor B de la figura HA-1 obtenida de la sub-parte 3 Sec. II Parte D [35] y que se adjunta en el Anexo 17. Con el factor B se estima la presión externa admisible mediante la ecuación [2.82]. Con el factor A obtenido, se estima la presión externa admisible mediante la ecuación [2.83].

$$P_{eadm} = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_t}{t_{corr}} \right)} \quad [2.82]$$

$$P_{eadm} = \frac{2 \cdot A \cdot E_{acero}}{3 \cdot \left(\frac{D_t}{t_{corr}} \right)} \quad [2.83]$$

El menor de los valores obtenidos anteriormente deberá ser mayor que la presión externa de diseño (p_{de}) para asegurar que el recipiente soportará un cierto nivel de presión externa.

¹³ H_{cono} es considerado el mismo que el valor de H_{Fcono}

¹⁴ Se considera el menor valor de los obtenidos para el caso del análisis en el cuerpo cilíndrico, en la base cónica y en el techo toriesférico.

¹⁵ Espesor de valor comercial.

¹⁶ Espesor de valor comercial.

¹⁷ Espesor de valor comercial.

¹⁸ Un valor tentativo podría ser el valor de espesor afectado por la corrosión (t_{corr}) que se estimó en el cálculo de recipientes sometidos a presión interna.

2.5.2.2 Espesor del fondo cónico

Se asume un valor de t con el que se estima un valor de espesor efectivo que se calcula según la ecuación [2.84]. Con este valor de espesor efectivo se estima D_t/t_e y L/D_t . Luego, se procede según las indicaciones seguidas para el cálculo del espesor de pared del cuerpo cilíndrico recomendadas por el código ASME [36] y Moss [37].

$$t_e = t_{corr} \cdot \cos \alpha \quad [2.84]$$

2.5.2.3 Espesor de la tapa toriesférica

Se asume un espesor con el que se estima el valor de R/t . Con dichos valores se obtiene el valor del factor A y B como en el caso anterior. Con el factor B obtenido, se estima la presión externa admisible mediante la ecuación [2.85]. Con el factor A obtenido, se estima la presión externa admisible mediante la ecuación [2.86].

$$p_{eadm} = \frac{B}{R/t_{corr}} \quad [2.85]$$

$$p_{eadm} = \frac{0,0625 \cdot E}{\left(R/t_{corr}\right)^2} \quad [2.86]$$

El menor de los valores obtenidos anteriormente deberá ser mayor que la presión externa de diseño (p_{des}). En la Tabla 2.35 se muestran los resultados obtenidos para el recipiente de calentamiento y enfriamiento. El cálculo de recipientes a presión por presión externa se realizó en hojas de cálculo de Excel y se adjuntan en el Anexo 17 para el recipiente de calentamiento y en el Anexo 19 para el de enfriamiento.

Tabla 2.35 Resultados para los recipientes a presión

Variable	Recipiente de calent.		Recipiente de enfr.	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Capacidad del recipiente	280	L	160	L
MAWP ¹⁹	-26,10	kPa (g)	-37,90	kPa (g)
Espesor del fondo ²⁰	3	mm	3	mm
Espesor del cuerpo ²¹	3	mm	3	mm
Espesor del techo ²²	3	mm	3	mm

2.6 Cálculo de los soportes

Para los soportes del recipiente se usará perfiles angulares soldados a la pared inferior del cilindro. Estos serán del mismo material del recipiente acero AISI 316. El detalle de

¹⁹ Se considera el menor valor de los obtenidos para el caso del análisis en el cuerpo cilíndrico, en la base cónica y en el techo plano.

²⁰ Espesor de valor comercial.

²¹ Espesor de valor comercial.

²² Espesor de valor comercial.

los soportes se presenta en los planos anexos. En la Figura 2.6 se muestra un esquema de los soportes para el recipiente de calentamiento como ejemplo. Para el recipiente de enfriamiento es similar. Se hizo un análisis de verificación para la resistencia del material y de pandeo a las patas del mismo. Se estimó las cargas soportadas, las cuales se muestran en la Tabla 2.36 y cuyos cálculos estimados se realizaron en la hoja de cálculo de Excel mostrada en el Anexo 20. El peso del fluido se calculó mediante la ecuación [2.88], el del serpentín mediante la ecuación [2.89] y el del aislamiento mediante la ecuación [2.90]. El peso del cuerpo se calcula mediante la ecuación [2.91] para la parte cilíndrica, la ecuación [2.92] para la parte del fondo y el techo se estima según la ecuación [2.93].

$$W_f = 1000 \times \gamma \times g \times V \quad [2.88]$$

$$W_s = \rho_{ac} \times L_s \times \left(\frac{\pi \times (\phi_{ex}^2 - \phi_{is}^2)}{4} \right) \times g \quad [2.89]$$

$$W_{ais} = \rho_{ais} \times (\pi \times D_{t_{ext}}) \times H_{cil} \times e \times g \quad [2.90]$$

$$W_{cil} = \pi \times D_t \times H_{cil} \times t_{com} \times \rho_{ac} \times g \quad [2.91]$$

$$W_{fondo} = \frac{\pi \times D_t^2 \times t_{com} \times \rho_{ac} \times g}{4 \times \cos(\alpha)} \quad [2.92]$$

$$W_{techo} = 0,917 \times D_t^2 \times t_{com} \times \rho_{ac} \times g \quad [2.93]$$

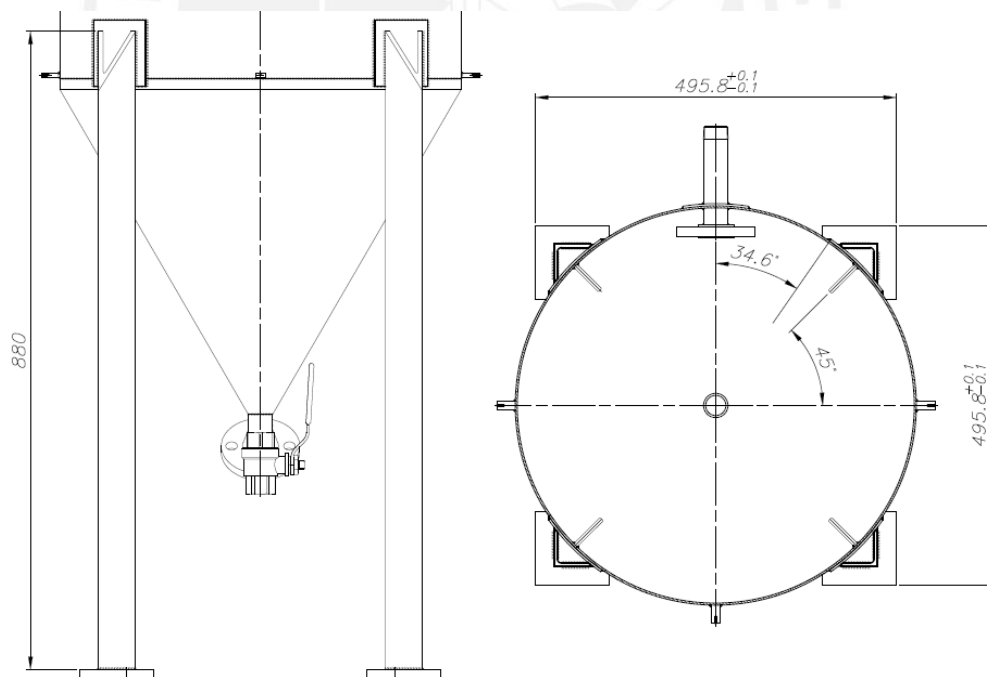


Figura 2.6 Soportes para el recipiente de calentamiento.

El peso del agitador se estima en un valor de 30 kg y depende del modelo seleccionado. Además se considera un 20% del peso total para los demás equipos, instrumentos en el recipiente y las conexiones.

Tabla 2.36 Cargas soportadas

	Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Peso del fluido (W_f)	2,75	kN	1,57	kN
Peso del serpentín (W_s)	0,15	kN	0,16	kN
Peso del agitador (W_{ag})	0,30	kN	0,30	kN
Peso del aislamiento (W_{ais})	0,06	kN	0,02	kN
Peso del cuerpo cilíndrico (W_{cil})	0,43	kN	0,27	kN
Peso del techo (W_{techo})	0,06	kN	0,05	kN
Peso del fondo (W_{fondo})	0,11	kN	0,06	kN
Peso total (W_T) ²³	4,72	kN	3,02	kN

2.6.1 Análisis por resistencia de materiales

Se hará uso de 4 soportes cuyas características se especifican en la Tabla 2.37. Estos perfiles estarán soldados a unas planchas de refuerzo que estarán soldadas a las paredes del cuerpo cilíndrico del recipiente como se muestra en el esquema representativo de la Figura 2.7.

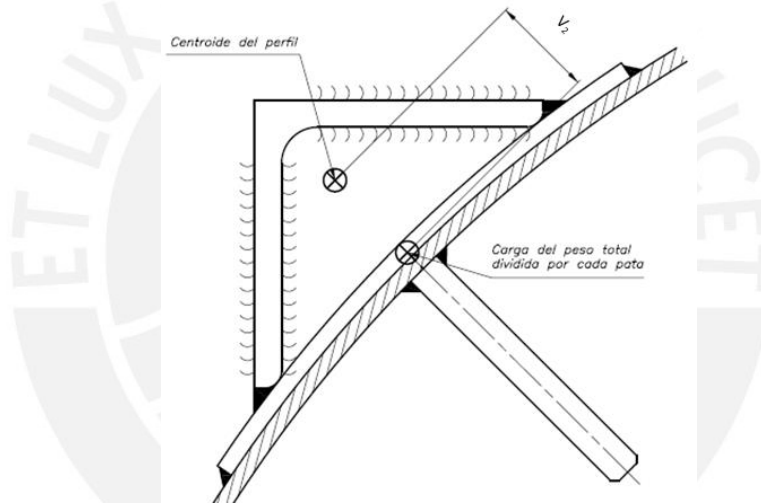


Figura 2.7 Esquema de la ubicación de la carga aplicada a cada pata y la distancia del brazo de palanca que produce un momento flector en cada soporte.

Tabla 2.37 Características de los perfiles elegidos para las patas.

	Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Perfil angular	L 2 x 3/16 "		L 2 x 3/16 "	
Número de soportes	4	-	4	-
Área del soporte	4,80	cm ²	4,80	cm ²
Inercia respecto al eje x	11,00	cm ⁴	11,00	cm ⁴
Inercia respecto al eje y	11,00	cm ⁴	11,00	cm ⁴
Inercia respecto al eje neutro n	4,59	cm ⁴	4,59	cm ⁴
Distancia al eje neutro	19,50	mm	19,50	mm

Definida la geometría, se realizó los análisis de los perfiles por resistencia de materiales. El diseño considera un mínimo de longitud de ala del perfil de 2" para

²³ El peso total será la suma de todos los pesos involucrados más un 20% adicional que incluye la instrumentación y otros accesorios del recipiente.

mayor seguridad. Para la verificación por resistencia de materiales se estima el esfuerzo normal debido a la carga axial en cada soporte mediante la ecuación [2.94].

$$\sigma_n = \frac{W_T}{\#S \cdot A_s} \quad [2.94]$$

Para el esfuerzo normal debido a la carga de flexión, se debe primero conocer el momento de flexión involucrado que se estima mediante la ecuación [2.95] y luego se estima el valor del esfuerzo mediante la ecuación [2.96].

$$M_f = \frac{W_T}{\#S} \times b \quad [2.95]^{24}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f \cdot v_1}{I_n} \quad [2.96]$$

Analizando el punto más crítico, se tiene que este será el de la parte de la sección que se indica en la Figura 2.8. El esfuerzo resultante es de compresión y resulta de la suma de los anteriores. Se tiene el factor de seguridad que se obtiene de este esfuerzo combinado y el esfuerzo límite del material estimado mediante la ecuación [2.97]. Este factor de seguridad deberá ser mayor al factor de seguridad recomendado.

$$\frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{eq}} = FS > FS_R \quad [2.97]$$

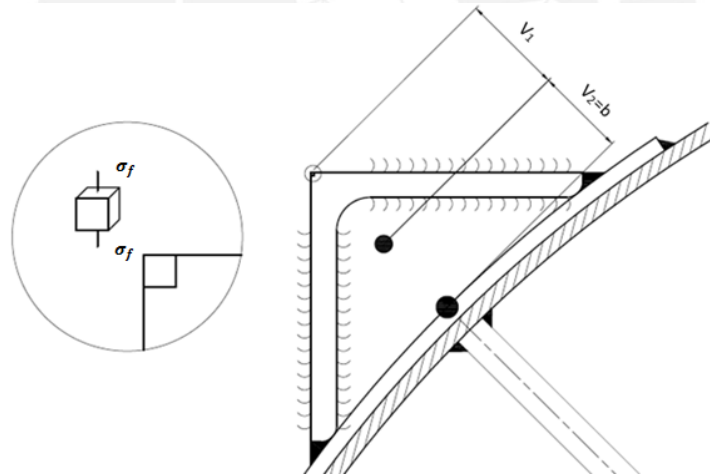


Figura 2.8 Análisis de la sección y el punto crítico de la pata soporte.

2.6.2 Verificación por pandeo

Para la verificación por pandeo se analizará la estructura como conjunto y luego cada soporte en forma individual según lo indicado por el método Omega aprendido en el curso de Resistencia de materiales 2 [38] para verificación de elementos estructurales basado en el Eurocódigo. Según el esquema mostrado en la Figura 2.9 para el análisis de la estructura como conjunto, se hace un análisis tanto para el eje x como para el eje y, pero debido a la configuración simétrica, solo bastará con analizar uno de los dos.

²⁴ El brazo de palanca b se considera la distancia v_2 .

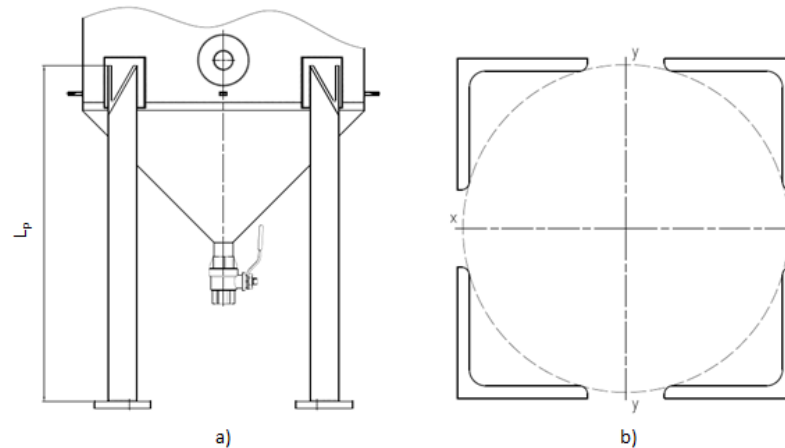


Figura 2.9 Disposición de perfiles para soporte de recipientes.

Se estima el radio de giro de la estructura mediante la ecuación [2.98]. Luego el grado de esbeltez según la ecuación [2.99]. La longitud de pandeo se considera como la longitud total del soporte según lo indicado por el libro de Resistencia de materiales 2 [39]. El factor M, está ligado a los ejes libres. Para este caso debido a la configuración, toma un valor de 2. El grado de esbeltez corregido se estima mediante la ecuación [2.100]. Con este valor se estima un valor del coeficiente omega según la norma DIN 4114, (Rodríguez [40]). Para este caso se toma como referencia el material St37 de donde se obtiene la tabla y los valores referenciales del coeficiente omega (ω). Esta tabla se adjunta en el Anexo 24. Se debe verificar la siguiente ecuación [2.101]. El esfuerzo admisible σ_{Fadm} será 205 N/mm².

$$i_x = \sqrt{\frac{4I_x + A_S \cdot d^2}{4A_S}} \quad [2.98]$$

$$\lambda_x = \frac{L_p}{i_x} \quad [2.99]$$

$$\lambda_{xi} = \sqrt{\lambda_x^2 + 25M} \quad [2.100]$$

$$\omega \frac{W_T}{4A_S} \leq \sigma_{Fadm} \quad [2.101]$$

Para estimar una carga individual, los pasos son similares pero el análisis se realiza respecto al eje neutro debido a que para una misma área de la sección presentará un menor radio de giro, según lo indicado por Rodríguez [41]. Este último se estima mediante la ecuación [2.102]. El grado de esbeltez se calcula mediante la ecuación [2.103] donde la longitud de pandeo también será la longitud de todo el soporte. Con este resultado se obtiene un valor del factor omega (ω) de la Tabla adjunta y con ello se verifica la ecuación [2.104]. Los cálculos se muestran en la hoja de cálculo de Excel que se presenta en el Anexo 20 y Anexo 21 para el recipiente de calentamiento y el de enfriamiento respectivamente.

$$i_{\eta} = \sqrt{\frac{I_{\eta}}{A_s}} \quad [2.102]$$

$$\lambda_n = \frac{L_p}{i_{\eta}} \quad [2.103]$$

$$\omega \frac{W_T}{\#S \cdot 4A_s} \leq \sigma_{Fadm} \quad [2.104]$$

2.6.3 Análisis por vibraciones

Se verifica que los perfiles no fallen debido a la frecuencia normal de resonancia. Se analizó el modo de cabeceo al cual podría estar sometido el sistema, un movimiento en dirección transversal a los perfiles como se muestra en la Figura 2.10a. Se calcula primero la rigidez del sistema mediante la ecuación [2.105]. La frecuencia natural se estima mediante la ecuación [2.106]. En la Tabla 2.38 se muestran las frecuencias naturales calculadas, las cuales no igualan a la frecuencia de los motores de 60 Hz. En el Anexo 23 se muestra un cálculo más a detalle. El cálculo del momento de inercia se realizó con ayuda del programa AutoCAD.

$$k_{eq} = \frac{3 \cdot E_{acero} \cdot I_{sistema}}{L_p^3} \quad [2.105]$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} \quad [2.106]$$

Tabla 2.38 Frecuencias naturales calculadas

	Recipiente de calentamiento	Recipiente de enfriamiento
Inercia del sistema $I_{Sistema} (mm^4)$	81287000	69324700
Frecuencia natural ω_n (rad/s)	512,54	1017,76

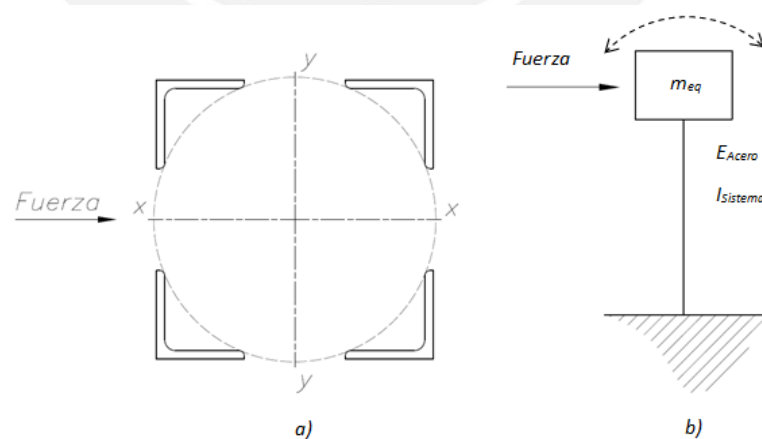


Figura 2.10 Sistemas que indican los dos modos de vibración analizados.

2.6.4 Cálculo de juntas soldadas para la unión en las patas

Se verifica las uniones soldadas entre los perfiles que sirven de patas y las placas de refuerzo unidas al cuerpo cilíndrico del recipiente. El cordón de soldadura usado en

este segundo caso será alrededor de todo el contorno de la placa de refuerzo y así evitar dejar alguna luz que pueda ser un potencial punto de corrosión. Se analizará la unión entre la pata y la placa de refuerzo, debido a ser la más crítica por tener menor área. Para evaluar la soldadura, se hizo uso del método de cálculo para uniones soldadas de elementos de máquinas sometidos a esfuerzos estáticos. Para la sección que se tiene en el esquema de la Figura 2.11b, se estiman los esfuerzos involucrados en la unión soldada. Primero se calcula el área y el momento de inercia de la sección mediante la ecuación [2.107] y la ecuación [2.108]. Luego se estima el esfuerzo normal al cateto del cordón de soldadura el cual es igual al esfuerzo normal debido a la carga de flexión que se calcula mediante la ecuación [2.109]. Se estima el esfuerzo paralelo al cateto del cordón y longitudinal al mismo mediante la ecuación [2.110]. Se calcula el esfuerzo equivalente y el esfuerzo admisible mediante las ecuaciones [2.111] y [2.112]. El factor de carga estática v y el factor de calidad de la unión v_2 , se obtienen de las tablas adjuntas en el Anexo 23, las cuales se obtienen de la información dada en el curso de Elementos de máquinas 1. Se considera un factor de seguridad recomendado de 1,5. Además, el espesor recomendado se obtiene dentro de un rango, donde el mínimo es una recomendación que depende de los espesores de los objetos a soldar. El espesor máximo será el mínimo valor de los espesores de las piezas dividido entre $\sqrt{2}$. En el Anexo 23, se incluye la hoja de cálculo donde se verifican los cordones de soldadura. La longitud del cordón deberá ser mayor o igual a 15 veces el espesor de garganta pero como máximo 60 veces el espesor de garganta.

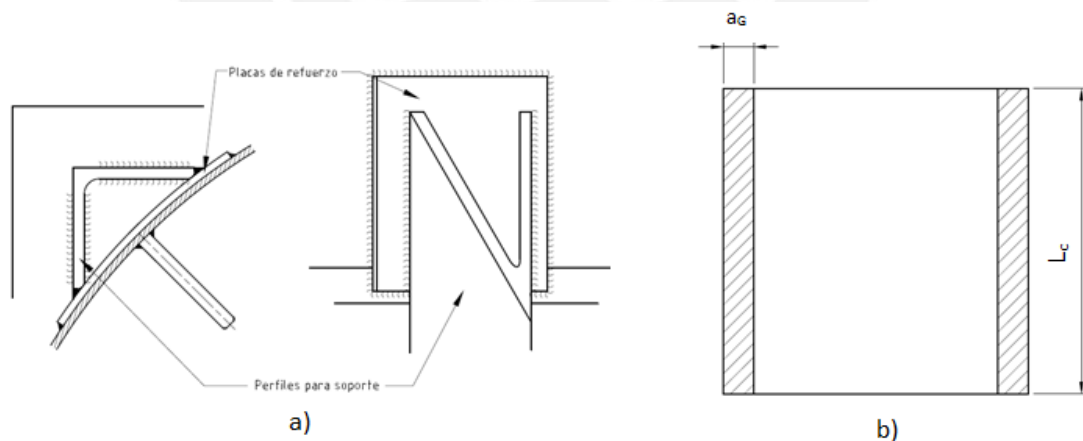


Figura 2.11 a) unión de las patas al recipiente; b) área proyectada de la unión soldada entre las patas y las placas de refuerzo

$$A_{sol} = 2 \cdot a_G \cdot L_C \quad [2.107]$$

$$I_{sol} = 2 \cdot \frac{a_G \cdot L_C^3}{12} \quad [2.108]$$

$$n = \frac{M_f \cdot L_C}{2 \cdot I_{sol}} \quad [2.109]$$

$$t_a = \frac{W_{Ti}}{2 \cdot a_G \cdot L_C} \quad [2.110]$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{n^2 + 1,8t_a^2} \quad [2.111]$$

$$\sigma_{Adm} = \frac{v \cdot v_2 \cdot \sigma_F}{FS_R} \quad [2.112]$$

En la Tabla 2.39 se muestran los valores de los esfuerzos equivalentes y los esfuerzos admisibles para cada recipiente respectivamente.

Tabla 2.39 Esfuerzos equivalentes y admisibles para la evaluación de las uniones soldadas.

	Recipiente de calentamiento	Recipiente de enfriamiento
Esfuerzo equivalente (N/mm ²)	68,69	40,70
Factor de carga estática (v)	0,8 ²⁵	
Factor de calidad de la unión soldada (v ₂)	1 ²⁶	
Esfuerzo admisible (N/mm ²)	109,33	109,33

2.6.5 Espesor de las placas base para los soportes

Se verifica las placas base de los soportes y donde se colocarán los pernos de anclaje. Las patas serán de plancha de acero inoxidable AISI 316. Las dimensiones de los mismos se especifican en la Tabla 2.40 y los cálculos se muestran en la hoja de cálculo de Excel presentada en el Anexo 25. Las cargas consideradas para el cálculo será como si una sola pata soportara todo el peso del recipiente. El espesor mínimo de 1/2" es por recomendación ante fallas por sismos, vibraciones y la carga del viento.

Tabla 2.40 Resultados para las bases de las patas y el perno de anclaje.

	Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Carga axial	1,18	kN	0,76	kN
Momento de fuerza	20,8	N.m	13,4	N.m
Espesor de placa	1/2	pulg	1/2	pulg
Ancho de la placa	4	pulg	4	pulg
Largo de la placa	4	pulg	4	pulg
Diámetro de perno de anclaje	1/2"		1/2"	

Para el diseño de las bases de las patas, se considera el caso de una carga axial y un momento de volcadura como lo presenta Moss [42]. Para este cálculo se presentan dos opciones que dependerán del valor de la excentricidad. Para valores de excentricidad $e_{ex} \leq D/6$ se considera la opción #1 de compresión completa y para

²⁵ EL factor de carga estática toma este valor, pues las uniones son angulares.

²⁶ Se considera una calidad I.

valores de excentricidad $e_{ex} > D/6$ se considera la opción #2 de compresión parcial.

Ambas opciones se presentan en la Figura 2.12.

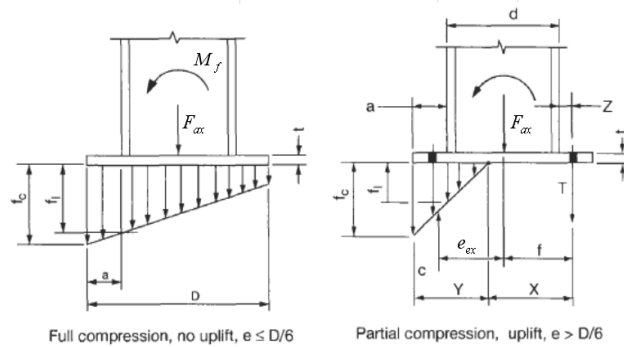


Figura 2.12 Opciones presentadas para el cálculo del espesor de la placa base de las patas.

La excentricidad se calcula mediante la ecuación [2.113].

$$e_{ex} = \frac{M_f}{F_{ax}} \quad [2.113]$$

Para la opción #2 se utiliza la ecuación [2.114] para estimar el coeficiente n que dependerá del material del piso y de la base de las patas. La ecuación [2.115] sirve para estimar el valor de la dimensión f_c señalada en la Figura 2.12 de las placas base de las patas y hacer el cálculo debido solo a la carga axial. Luego se estima para este caso el espesor de la placa base mediante la ecuación [2.116]. Después se estima el coeficiente f para el caso de carga axial combinada con un momento flector con la ecuación [2.117] Para determinar los factores útiles en el procedimiento de cálculo de la longitud Y se utiliza las ecuaciones [2.118], [2.119], [2.120] y [2.121]. Para el cálculo de la fuerza de tensión se utiliza la ecuación [2.122]. Con la ecuación [2.123] se podrá estimar la presión máxima que soporte la base. Luego, mediante la ecuación [2.124] se estima la dimensión X con el cual se estima el momento debido a la carga de tensión mediante la ecuación [2.125]. Después se estima la presión resultante mediante la ecuación [2.126]. A continuación se estima el momento que es el efecto de las cargas de compresión mediante la ecuación [2.127]. Finalmente mediante la ecuación [2.128] se estimará el espesor de la placa utilizada para la base.

$$n = \frac{E_S}{E_C} \quad [2.114]$$

$$f_c = \frac{F_{ax}}{BD} \quad [2.115]$$

$$t_p = \sqrt{\frac{3 \cdot f_c \cdot m^2}{F_b}} \quad [2.116]$$

$$f = D_t - X^2 \quad [2.117]$$

$$K_1 = 3 \cdot \left(e_{ex} + \frac{D}{2} \right) \quad [2.118]$$

$$K_2 = \frac{6 \cdot n \cdot A_s}{B} \cdot (e_{ex} + f) \quad [2.119]$$

$$K_3 = -K_2(0,5D + f) \quad [2.120]$$

$$Y^3 + K_1 Y^2 + K_2 Y + K_3 = 0 \quad [2.121]$$

$$T = -F_{ax} \cdot \left[\frac{\frac{D}{2} - \frac{Y}{3} - e_{ex}}{\frac{D}{2} - \frac{Y}{3} + f} \right] \quad [2.122]$$

$$f_c = \frac{2 \cdot (F_{ax} + T)}{Y \cdot B} < f_c' \quad [2.123]$$

$$x = 0,5D + f - Y \quad [2.124]$$

$$M_t = T x \quad [2.125]$$

$$f_1 = f_c \left(\frac{Y - a}{Y} \right) \quad [2.126]$$

$$M_c = \frac{B a^2}{6} (f_1 + 2f_c) \quad [2.127]$$

$$t = \sqrt{\frac{6 \sqrt{(M_t^2 + M_c^2)}}{B F_b}} \quad [2.128]$$

2.7 Cálculo de los agitadores

Para el diseño del sistema de agitación necesario para la mezcla y agitación del medio fluido en proceso (mosto en los procesos de calentamiento y cerveza en el enfriamiento) es necesario considerar ciertos parámetros necesarios para el dimensionamiento del mismo. En la Tabla 2.41 se muestran dichos parámetros.

Tabla 2.41 Parámetros considerados para el diseño del agitador

	Procesos de calentamiento		Procesos de enfriamiento	
	Variable	Unidad	Variable	Unidad
Velocidad de giro del rotor (n)	68	rpm	100	rpm
Densidad del fluido (ρ_f) ²⁷	1030	kg/m ³	1030	kg/m ³
Viscosidad dinámica del fluido (μ_f)	1,68	mPa.s	1,68	mPa.s

Las velocidades utilizadas para este diseño se encuentran dentro del rango de utilización recomendada por Warren [43] entre velocidades de 20 a 150 rpm y serán aquellas que se consiguen comercialmente, según Couper [44]. El rotor del agitador que se usa será del tipo axial de hélice marina como se muestra en la Figura 2.13. La velocidad axial es adecuada para mantener los sólidos en suspensión y la potencia consumida por el agitador es menor. Además, la velocidad axial mejora la transferencia de calor del fluido exterior al serpentín pues eleva el número de

²⁷ Las densidades y viscosidades del fluido utilizadas para el diseño de los agitadores será similar a la del agua. Para cada caso (procesos de calentamiento y de enfriamiento) se usará el valor que origine la situación más crítica.

Reynolds del fluido. Este tipo de agitadores es adecuado para recipientes pequeños con baja agitación y fluidos de baja viscosidad. Luego de tener definidas las dimensiones del agitador se determina el número de Reynolds del fluido mediante la ecuación [2.129]. Dependiendo del valor que adopte el Reynolds del fluido se determinará el tipo de régimen del flujo. Si $Re_f < 10$ es laminar, si $10 < Re_f < 10000$ el flujo es turbulento en el agitador y laminar en las partes más alejadas y si $Re_f > 10000$ el flujo es completamente turbulento según Martín Hernández [45].

$$Re_f = \frac{N \cdot D_a^2 \cdot \rho_f}{\mu_f} \quad [2.129]$$

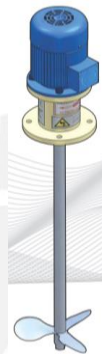


Figura 2.13 Modelo de agitador de turbina axial de hélices marinas.

Para estimar la potencia consumida, se hace uso del cuadro mostrado en la Figura 2.14 con el que se necesita el Re_f y el tipo de rotor utilizado. Con estos datos se estima el número de potencia (N_p) y de la ecuación [2.130] se despeja la potencia consumida por el rotor.

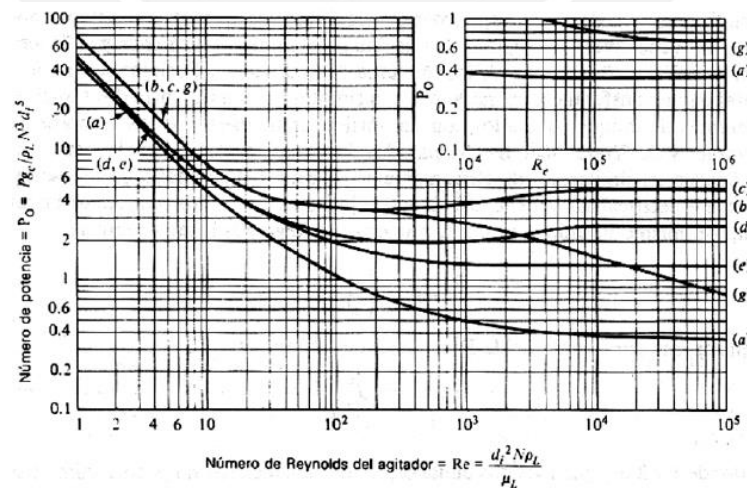


Figura 2.14 N_p vs. Re_f (Fuente: “Operaciones de transferencia de masa”- Robert Treybal)

$$P_r = \rho_f \cdot N_p \cdot N^3 \cdot D_a^5 \quad [2.130]$$

En la Tabla 2.42 se muestran los valores utilizados para el cálculo y los resultados del mismo.

Tabla 2.42 Valores de los parámetros representativos de los agitadores

	Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
Diámetro del rotor (D_a)	240	mm	250	mm
Velocidad de giro del rotor (N)	68	RPM	100	RPM
Densidad del fluido (ρ_f)	1030	kg/m ³	1030	kg/m ³
Número de potencia (N_P)	0,35	-	0,35	-
Número de Reynolds (Re)	255773	-	408134	-
Potencia del rotor (P_r)	0,11	kW	0,94	kW
Longitud del agitador (L_{ag})	1000	mm	600	mm

Las velocidades axiales dentro de cada recipiente se obtienen de un concepto teórico para rotores axiales. Según la teoría del curso de Turbomáquinas [46], la Figura 2.15 muestra un esquema para el análisis del rotor axial.

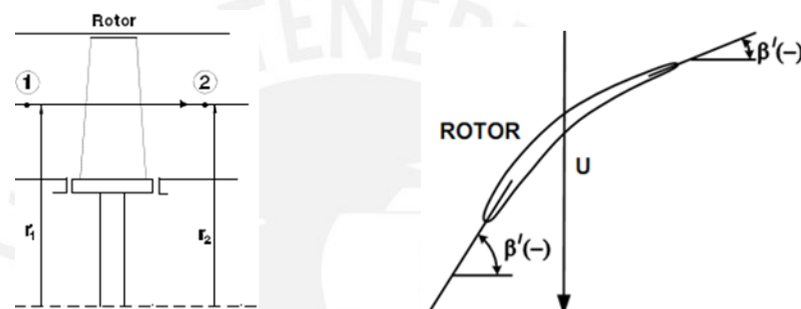


Figura 2.15 A la izquierda se muestra el perfil de un rotor axial y en la vista de la derecha se muestra la sección para un mismo radio.

El triángulo de velocidades para este tipo de rotores se muestra en la Figura 2.16. Para facilitar el cálculo de la velocidad axial del fluido, se considera que el ángulo del álabe de entrada es $\beta_1=20^\circ$.

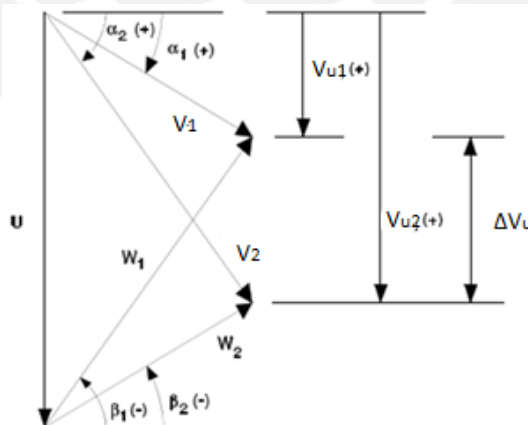


Figura 2.16 Triángulo de velocidades para rotor axial.

Además, se considera que la entrada al rotor tiene solo componente axial ($V_{a1}= V_{a2}= V_a$). Por tanto, el triángulo de velocidades se modifica según la Figura 2.17. Además se cumple para un radio medio del rotor que la velocidad tangencial de entrada y salida son iguales ($U_1=U_2=U$). Se puede estimar teóricamente que la velocidad axial

dependerá del ángulo de la entrada en el álabe. Así, la velocidad tangencial se estima mediante la ecuación [2.131]. Entonces se tiene que el cálculo de la velocidad axial se determina mediante la ecuación [2.132].

$$U = \frac{N \cdot \pi \cdot D_a}{30} \quad [2.131]$$

$$V_a = U \times \tan(\beta_1) \quad [2.132]$$

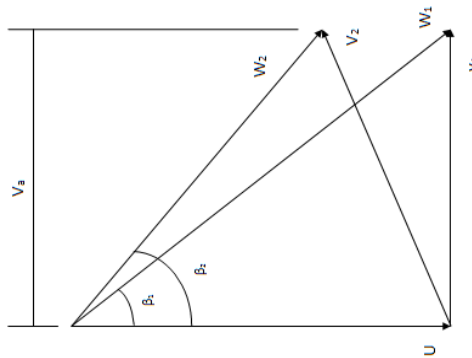


Figura 2.17 Triángulo de velocidades para el rotor del agitador

Con esta ecuación se determinan los valores de las velocidades axiales necesarias para estimar los Reynolds en el dimensionamiento de los serpentines de calentamiento y enfriamiento. Las velocidades axiales del fluido se muestran en la Tabla 2.43. El agitador fue cotizado como un equipo constructivo. Se debe garantizar un buen nivel de asepsia en la operación del agitador, por lo que se debe garantizar un buen sello y evitar el contacto entre el fluido y las grasas. El agitador cotizado fue de la compañía ABS Importaciones y representaciones S.A.C. En el Anexo 26 y Anexo 27 se adjunta la cotización y los datos del agitador seleccionado.

Tabla 2.43 Velocidades de giro del motor y velocidades axiales del fluido

	Rec. de calentamiento		Rec. de enfriamiento	
Diámetro del rotor (D_a)	240	mm	250	mm
Velocidad de giro (N)	68	RPM	100	RPM
Velocidad tangencial (U)	1,70	m/s	2,62	m/s
Velocidad axial (V_a)	0,65	m/s	0,95	m/s

La brida para conexión del agitador al recipiente de presión será según la norma DIN 2576 del tipo slip-on de DN 125 y PN 10 que se soldará a una boquilla fabricada de la plancha de acero inoxidable con la que fue fabricado el tanque. Las dimensiones de dicha boquilla se muestran en la Tabla 2.44 siguiendo las recomendaciones dadas por Megyesy [47].

Tabla 2.44 Velocidades de giro del motor y velocidades axiales del fluido

	Recipiente de calentamiento		Recipiente de enfriamiento	
Brida de conexión (según DIN 2576)	DN 25 PN 10		DN 25 PN 10	
Altura de boquilla de conexión	150	mm	150	mm
Diámetro de cuello de boquilla de conexión	134,8	mm	134,8	mm

2.8 Cálculos para las bombas

Las tuberías de succión y descarga se dimensionarán según la Norma ANSI B36.19 en pulgadas con dimensiones estándar. Los rangos de velocidades permisibles para succión y descarga se indican en la Tabla 2.45. Estos valores fueron tomados como recomendaciones para estimar los diámetros de las tuberías de succión y descarga.

Tabla 2.45 Rangos permisibles de velocidades para el diseño de tuberías

	Velocidad mínima (m/s)	Velocidad máxima (m/s)
Tuberías de succión	0,5	0,9
Tuberías de descarga	1	2

El material de las tuberías de succión y descarga para transporte del producto, serán de acero inoxidable austenítico AISI 304. Se debe indicar las propiedades hidráulicas, térmicas y factores de cálculo involucrados e indicar los valores de las variables indicadas en la Tabla 2.46.

Tabla 2.46 Propiedades y parámetros de los fluidos en estudio.

	Bomba para agua glicolada		Bomba para mosto	
	Valor	Unid.	Valor	Unid.
Temperatura de diseño (T_d)	0	°C	100	°C
Densidad del fluido (ρ_f)	1025,84	Kg/m ³	958,35	Kg/m ³
Viscosidad dinámica (μ_f)	4,05	Cp	0,28	Cp
Caudal de operación (Q_{op})	3,0	m ³ /h	0,45	m ³ /h
Caudal de diseño (Q_d) ²⁸	3,6	m ³ /h	0,54	m ³ /h
Presión en el techo de la succión (p_s) ²⁹	1	bar	1	bar

Los cálculos se realizan para la tubería de succión y la tubería de descarga para ambas bombas necesarias para el proceso. Primero, se determinará el régimen de operación al calcular el Reynolds mediante la ecuación [2.133]. La velocidad será calculada según la ecuación [2.134]

$$Re_f = \frac{\rho_f \times v_f \times \phi_i}{\mu_f} \quad [2.133]$$

$$v_f = \frac{4 \times Q_d}{\pi \times \phi_i^2} \quad [2.134]$$

Para valores de Reynolds mayores a 2300 el régimen del flujo será turbulento y para valores de Reynolds menores a 2300 el régimen será laminar. Dependiendo del régimen del flujo se calculará el coeficiente de fricción. Para régimen laminar el coeficiente de fricción se determina mediante la ecuación [2.135] y para régimen

²⁸ Para determinar el caudal de diseño (Q_d), lo consideraremos como el 120% del caudal de operación (Q_{op}).

²⁹ Se considera que la presión en el techo de la succión será de 1 bar (g).

turbulento con la ecuación [2.136]. El valor de ε es la rugosidad de la tubería y dependerá del material de la tubería. Para las tuberías de acero inoxidable $\varepsilon = 0,085 \text{ mm}$. Se deberá estimar la caída de presión debido a la fricción en las tuberías tanto en la succión como en la descarga de la bomba. Esta se estimará mediante la ecuación [2.137]. La caída de presión debido a la fricción en los accesorios y en los equipos³⁰ dentro de la línea de recorrido tanto en la succión como en la descarga de la bomba se estima mediante la ecuación [2.138].

$$f = \frac{64}{Re\mu} \quad [2.135]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7\phi_i} + \frac{2,51}{Re\mu\sqrt{f}} \right) \quad [2.136]$$

$$h_{ft} = f \times \frac{L_t \times v_f^2}{2 \times g \times \phi_i} \quad [2.137]$$

$$h_{fa} = \sum f \times \frac{L_g \times v_f^2}{2 \times g \times \phi_i} + h_e \quad [2.138]$$

Para el cálculo de los accesorios se utilizó los valores de L_g/ϕ_i indicados en la tabla adjunta en el Anexo 30 tomada de MAFOREM [48] en combinación con las obtenidas de las Tablas y gráficos de mecánica de fluidos [49]. Luego, para estimar la caída de presión tanto para la succión como para la descarga se utiliza la ecuación [2.139]. Debido a que puede ocurrir riesgo de cavitación en la succión de la bomba se estima el valor del $NPSH_{disponible}$ mediante la ecuación [2.140].

$$h_{fp} = h_{ft} + h_{fa} + h_{ac} \quad [2.139]$$

$$NPSH_{disponible} = h_{sp} \pm h_s - h_{fp} - h_v \quad [2.140]$$

Donde:

- h_{sp} : Cabeza de presión estática aplicada al fluido (en escala absoluta) expresada en metros de altura de columna de fluido.
- h_s : Diferencia de elevación entre el nivel del fluido en el depósito y la entrada a la bomba. Positivo cuando la bomba está por debajo del depósito (preferido) y negativa cuando está por encima del mismo.
- h_{fp} : Pérdida por fricción en la tubería de succión, expresada en metros.
- h_v : Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo expresada en metros de altura de columna del fluido.
- h_{ac} : Pérdidas debido a la aceleración del sistema.

³⁰ La pérdida de presión en los equipos expresada en metros (h_e) depende de las características del mismo. La caída de presión en el intercambiador de placas según Alfa Laval, serán 37 kPa para el agua glicolada y 84 kPa para el mosto caliente.

³¹ Al término h_{ft} se le añade el término h_{ac} pero expresado en metros.

Para la bomba de mosto que es del tipo diafragma, el cálculo del $NPSH_{disponible}$ es diferente e incluye el efecto de la aceleración del sistema. Este término se le añade a las pérdidas por fricción en la tubería y se calcula con la ecuación [2.141]

$$h_{ac} = \frac{L_t \cdot R \cdot \gamma \cdot Q_d}{640 \cdot \phi_{is}^2} \quad [2.141]$$

Donde:

- h_{ac} está en bar³³
- L_t es la longitud real de la tubería dada en m
- R es la frecuencia de embolada dada en carrera/minuto
- γ es la densidad relativa del mosto
- Q_d es el caudal de bombeo dado en l/h

Para la descarga se necesita el valor de la altura disponible total (ADT) que es el valor máximo de la altura dinámica del sistema y se estima mediante la ecuación [2.142].

$$ADT = h_T + h_f + h_{sal} \quad [2.142]$$

Donde:

- h_T : Altura estática total. (Diferencia entre la altura de descarga y la de succión)
- h_{fp} : Caída de presión total por efecto de la fricción en la descarga.
- h_{sal} : Presión requerida a la salida de la tubería.

La potencia hidráulica solicitada se estima mediante la ecuación [2.143]. En la Tabla 2.47 se muestran los resultados para la selección de las bombas. Los cálculos se presentan en la Hoja de cálculo de Excel adjunta en el Anexo 28 para la selección de la bomba para el mosto caliente y en el Anexo 29 para la bomba para agua glicolada. En la Figura 2.18 se muestran los esquemas para el cálculo de pérdidas en tuberías.

$$P_h = \rho_f \times g \times Q_d \times ADT \quad [2.143]$$

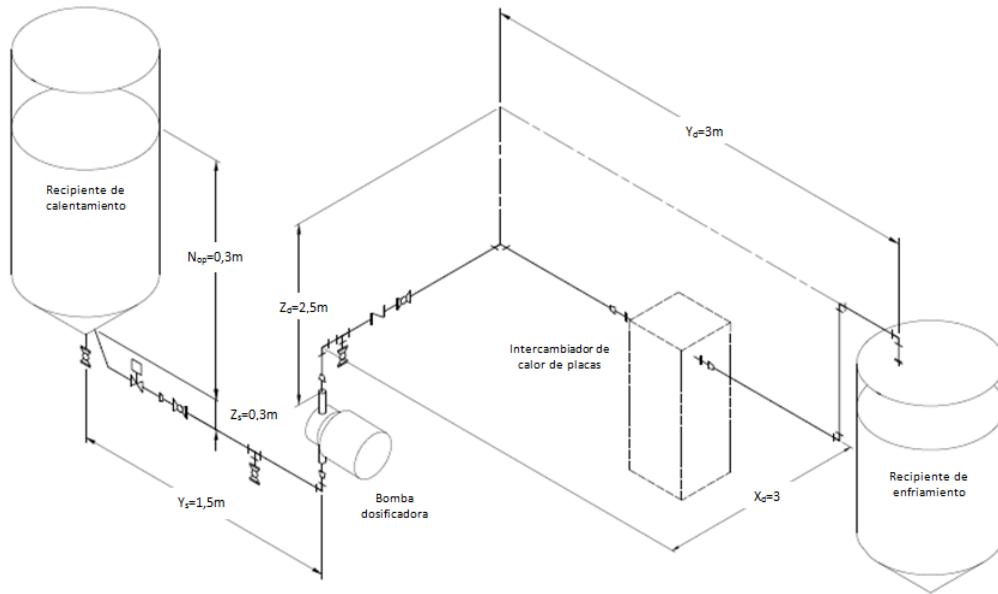
Tabla 2.47 Resultados y parámetros utilizados para la selección de bombas

	Bomba para agua glicolada		Bomba para mosto	
	Valores	Unid.	Valores	Unid.
Caudal de operación (Q_{op})	3,0	m ³ /h	0,45	m ³ /h
$NPSH_{disponible}$	10,3	m	9,8	m

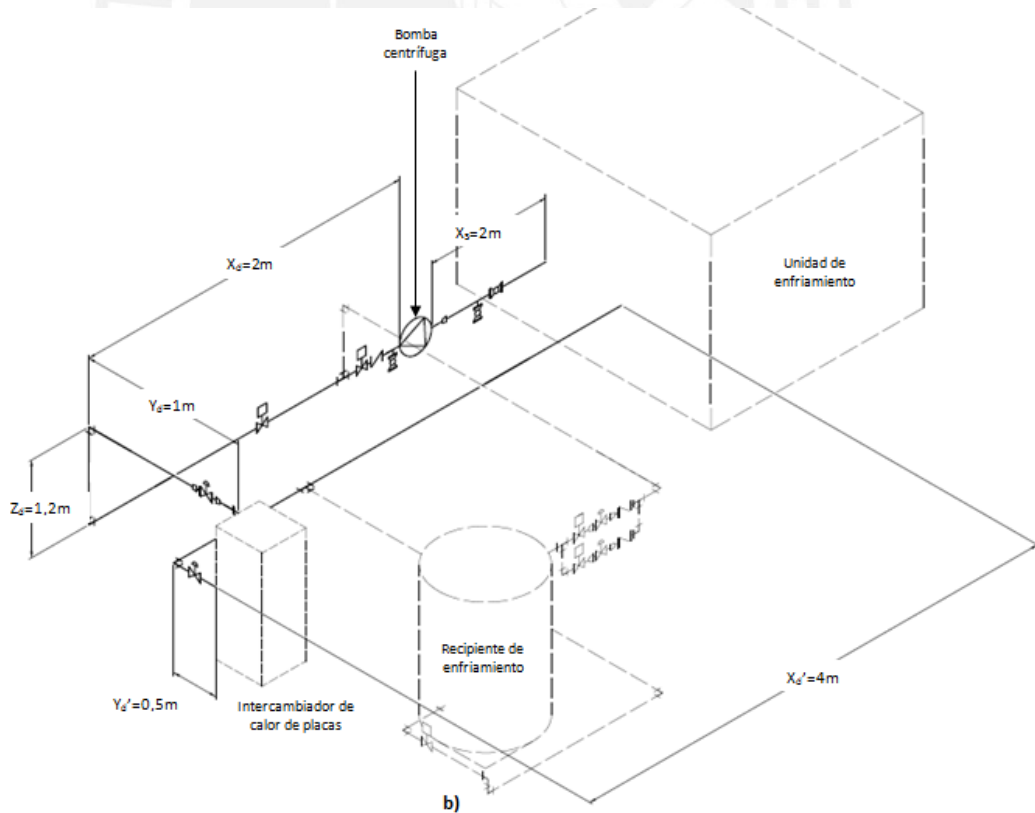
³² Esta ecuación se aplica para fluidos con una viscosidad dinámica menor a 50 cP.

³³ Se deberá pasar a metros para sumar el efecto a las pérdidas en fricción.

CONTINUACIÓN DE TABLA 2.47				
Altura disponible total (ADT)	21,0	m	14,4	m
Potencia hidráulica (P_h)	211	W	20	W



a)



b)

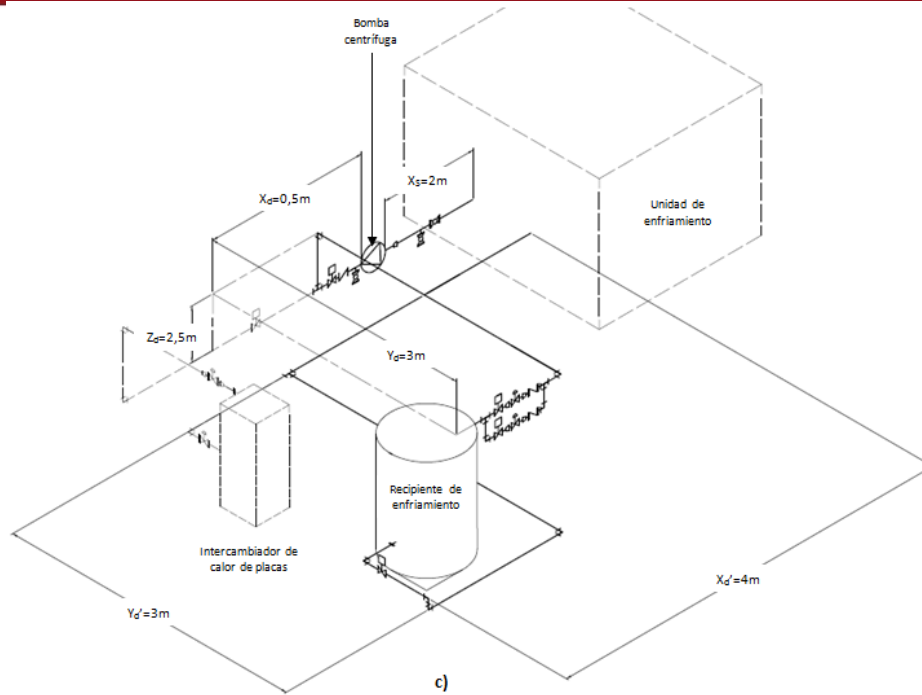


Figura 2.18 a) Esquema del circuito para las tuberías de transporte de mosto, b) y c) Esquema del circuito para las tuberías de transporte de agua glicolada. De estos últimos se escoge el esquema c) por presentar las mayores pérdidas.

La bomba utilizada para llevar el mosto caliente hacia el intercambiador de calor de placas y luego al recipiente de enfriamiento es de un caudal bajo por lo que el uso de una bomba centrífuga sería ineficiente. Por ello, para este fluido se hará uso de una bomba de desplazamiento positivo tipo dosificadora de membrana que además sea de características sanitarias. La bomba seleccionada fue del proveedor Prominent cuyos datos técnicos y la curva de selección se adjuntan en el Anexo 28. Para la bomba del agua glicolada se hará uso de una bomba centrífuga del proveedor de bombas Calpeda cuyos datos técnicos se adjuntan en el Anexo 29 además de las curvas de selección. En la Tabla 2.48 se indica las características de las bombas seleccionadas.

Tabla 2.48 Resultados y parámetros utilizados para la selección de bombas

	Bomba para agua glicolada ³⁴		Bomba para mosto	
	Valores	Unid.	Valores	Unid.
Tipo de bomba	Centrífuga		Dosificadora	
Modelo	C 22E-60		Sigma 3 070410	
Potencia Eléctrica (P_E)	0,55	kW	0,75	kW
Frecuencia	60	Hz	60	Hz
Velocidad de giro (N)	3450	RPM	1750	RPM
Voltaje (V)	220/380	V	220/380	V
Frecuencia	60	Hz	60	Hz
Fases	3	-	3	-
Eficiencia (η)	36	%	-	%
Diámetro de succión ³⁵	1	pulg	1	pulg
Diámetro de descarga	1	pulg	1	pulg

³⁴ El cálculo de pérdidas para esta bomba incluye la caída de presión en el intercambiador de placas.

³⁵ Las boquillas de succión y descargas de la bomba se modificaron de 2" a 1".

2.9 Cálculos para unión atornillada de la tapa

El tipo de tornillos y la cantidad de los mismos utilizados en la sujeción de la tapa con el cuerpo cilíndrico serán pernos de cabeza hexagonal M6 x 30 según DIN 931 y serán 16 unidades separadas la misma distancia. El material de los pernos, tuercas y arandelas será de acero inoxidable AISI 304. Además, se considera un espesor de 2 mm de empaquetadura de teflón. Las tuercas a utilizar serán de la misma métrica según la norma DIN 934 y las arandelas según norma DIN 125. Estos pernos fueron calculados según la teoría para tornillos del curso de Elementos de Máquinas 1 [50]. En la Tabla 2.49 se indican las dimensiones principales de los pernos.

Tabla 2.49 Dimensiones principales de los pernos

	Valores	Unidad
Tipo tornillo	T. Hex. M6X30	
Diámetro nominal (d)	6	mm
Diám. superf. apoyo de la cabeza (d ₁)	10	mm
Diámetro primitivo (d ₂)	5,350	mm
Diámetro de raíz (d ₃)	4,773	mm
Ángulo de hélice (φ)	3,41	°
Ángulo entre flancos (α)	60	°
Diámetro del agujero (D _{ag}) ³⁶	6,60	mm

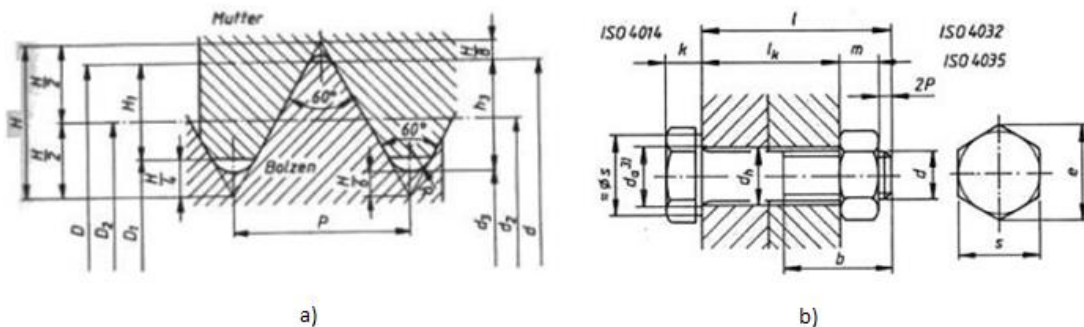


Figura 2.19 Dimensiones generales para el cálculo de tornillos.

Las características del tornillo se muestran en la Tabla 2.50. Estos valores se extrajeron de las Tablas que se adjuntan en el Anexo 31.

Tabla 2.50 Propiedades mecánicas de pernos y placas

	Valores	Unidad
Esfuerzo de fluencia (σ_F)	210	N/mm ²
Esfuerzo máxima de tracción (σ_B)	490	N/mm ²
Presión admisible (p_{Adm})	1000	N/mm ²

La unión atornillada del techo tendrá que soportar la fuerza ejercida por la presión manométrica de 2bar (g)³⁷ dentro del recipiente sobre el área proyectada del techo.

³⁶ Agujero según DIN 69.

Esta fuerza se dividirá entre el número de tornillos y actúa como una fuerza externa (F_{ext}). Se estiman luego las constantes de rigidez para el conjunto de placas – empaque³⁸ y para los tornillos. Luego se estima el factor de distribución de carga ϕ con el que se calcula el efecto de la fuerza externa sobre los tornillos ($F_{ext/t}$) y las placas ($F_{ext/p}$). En la Tabla 2.51 se muestran las fuerzas involucradas en el cálculo.

Tabla 2.51 Cargas producto de la presión dentro del recipiente.

	Valores	Unidad
Presión	2	bar (g)
Área proyectada ³⁹	233282,89	mm ²
Fuerza	46,67	kN
Número de uniones	16	-
Fuerza externa (F_{ext})	2,92	kN
Constante de rigidez del tornillo (C_t)	138681,92	N/mm
Constante de rigidez de las placas (C_p)	481432,95	N/mm
Factor de distribución de carga (ϕ)	0,22	-
Fuerza externa en el tornillo ($F_{ext/t}$)	0,65	kN
Fuerza externa en las placas ($F_{ext/p}$)	2,26	kN

Luego, se estima un valor de fuerza de montaje máximo ($F_{Mm\acute{a}x}$) de la ecuación [2.144] que deriva de la evaluación del tornillo sometido a esfuerzo en el montaje.

$$F_{Mm\acute{a}x} = \frac{0,9 \cdot \sigma_F}{\sqrt{\left(\frac{4}{\pi \cdot d_0^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{8 \cdot d_2 \cdot \tan(\varphi + \rho')}{\pi \cdot d_0^3}\right)^2}} \quad [2.144]$$

Una vez obtenido dicho valor se calcula la fuerza máxima en el tornillo ($F_{m\acute{a}x/t}$) con la cual se evaluará el tornillo sometido a una carga exterior estática según apuntes del curso Elementos de máquinas 1 [51]. En la Tabla 2.52 se muestran los resultados de las fuerzas y los esfuerzos involucrados en el cálculo del tornillo.

Tabla 2.52 Resultado de fuerzas y esfuerzos involucrados en el cálculo del tornillo

	Valores	Unidad
Fuerza de montaje máxima ($F_{Mm\acute{a}x}$)	3,24	kN
Montaje torsor de montaje (M_{tM})	1,32	N.m
Fuerza máxima en el tornillo ($F_{m\acute{a}x/t}$)	3,89	kN
Esfuerzo normal máximo debido a la fuerza de tracción ($\sigma_{m\acute{a}x/t}$)	193,42	N/mm ²
Esfuerzo cortante debido al momento torsor de montaje (τ_{tM})	52,01	N/mm ²
Esfuerzo equivalente (σ_{eq})	198,60	N/mm ²

³⁷ Presión que resulta del CO₂ producido en la fermentación.

³⁸ Para estimar la constante de rigidez entre placas se evalúan 3 casos según la teoría de Uniones atornilladas del curso de Elementos de máquinas 1. Para esta situación particular se presenta el Caso 2 donde la distribución de esfuerzos se representa por dos conos.

³⁹ Área proyectada para el recipiente de calentamiento con el que se obtendrá la mayor fuerza de empuje.

Una vez terminado dicho análisis se verifica que no haya deformación por aplastamiento en las placas de acero⁴⁰ debido a la presión ejercida por la tuerca y la arandela. En la Tabla 2.53 se muestra los valores involucrados en este análisis. Finalmente se estiman los momentos necesarios para el ajuste y el desajuste de los pernos y los valores se muestran en la Tabla 2.54.

Tabla 2.53 Resultado de análisis de la deformación debido a la presión en las caras.

	Valores	Unidad
Área de contacto (A_c)	7923,25	mm ²
Presión de contacto (p)	0,41	N/mm ²
<ul style="list-style-type: none"> Estimada para la máxima fuerza ($F_{máx/t}$) 		

Tabla 2.54 Momentos de torsión necesarios para el ajuste y el desajuste del tornillo

	Valores	Unidad
Momento de ajuste (M_{Ajuste})	3,10	N.m
Momento de desajuste ($M_{Desajuste}$)	2,35	N.m

Los cálculos se realizaron con una hoja de Excel que se adjunta en el Anexo 26 junto con las tablas de la geometría de los tornillos y de las propiedades mecánicas de los mismos. Para los tornillos utilizados en la sujeción de la plancha protectora de aluminio para el aislamiento se utilizaron pernos tipo Socket M3 según norma DIN 912. La Tabla de dimensiones de este tipo de tornillos de adjunta en el Anexo 32.

2.10 Cálculo del intercambiador de placas

Para el proceso de enfriamiento rápido se utiliza un intercambiador de placas que se instala entre la descarga de la bomba que transportará el mosto caliente del recipiente de calentamiento al de enfriamiento. Se estima el cálculo térmico con las dimensiones del intercambiador y la caída de presión en el mismo según el procedimiento de las separatas de Transferencia de calor para el cálculo de PHE [52]. Primero, se definen las condiciones de las sustancias que intervienen en el proceso de transferencia de calor. En la Tabla 2.55 se muestran las condiciones de operación de los fluidos.

Tabla 2.55 Condiciones de operación del mosto caliente y del agua glicolada

		Agua glicolada (20% propilenglicol)		Mosto caliente	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Sustancia	kg/h	2245,0		432,0	
Temperatura	°C	0	18	100	10
Densidad	kg/m ³	1025,84	1019,77	958,35	999,7
Viscosidad	cP	4,05	2,16	0,28	1,31
Calor específico	kJ/kg°C	3,93	3,97	4,22	4,20

⁴⁰ Las placas de acero según el diseño serán 2 pares de platinas de ¼" de espesor que estarán soldadas para formar un solo cuerpo. Para el cálculo se consideran como una sola placa.

CONTINUACIÓN DE TABLA 2.55					
Conductividad	W/m°C	0,456	0,483	0,679	0,580
Presión de entrada	bar (g)	1		1	
Velocidad	m/s	1 a 2		1 a 2	
Factor de ensuciamiento	m ² °C/W	0,000352		0,000528	
Calor transferido	kW	43,79			

Para ambos casos, se evalúan las propiedades termofísicas a la temperatura de masa. Con los valores de temperatura que se tiene para ambos fluidos se calcula el valor del DMLT. Con este valor se estima el NTU mediante la ecuación [2.145]. Asumiendo un número de pasos se obtiene el valor del factor de corrección F del diagrama F vs. NTU para las curvas a diferentes números de pasos y según la configuración de las corrientes de fluido. Esta gráfica aparece adjunta en el Anexo 33. Luego se evalúa la parte geométrica estimando el diámetro equivalente y la sección por la que atraviesa el fluido. Para esto se consideró que el ancho de la placa es aproximadamente igual al ancho de la carcasa del intercambiador. Este diámetro se estima mediante la ecuación [2.146] y la sección mediante la ecuación [2.147]. El área de las placas y el espesor de las mismas son datos del fabricante. Se asume un valor de coeficiente global de transmisión y para la carga térmica necesaria para el enfriamiento se estima el número de placas térmicas a utilizar en el equipo mediante la ecuación [2.148] y con ello el número de pasos mediante la ecuación [2.149]. Con los valores calculados se estima el Número de Reynolds para el mosto caliente y para el agua glicolada según la ecuación [2.150] respectivamente. Luego se estima el valor del coeficiente de convección para cada fluido mediante las ecuaciones [2.151] si el flujo es turbulento o la ecuación [2.152] si el flujo es laminar.

$$NTU = \frac{T_{FS} - T_{FE}}{DMLT} \quad [2.145]$$

$$D_e = \frac{4 \cdot L_1 \cdot L_2}{2(L_1 + L_2)} \quad [2.146]$$

$$S = L_1 \cdot L_2 \quad [2.147]$$

$$N_p = \frac{Q_3}{DMLT \cdot F \cdot A_p \cdot k_G} \quad [2.148]$$

$$n_i = \frac{N + 1}{2} \quad [2.149]$$

$$Re_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag} \cdot D_e}{\mu_{ag} \cdot S \cdot n_i} \quad [2.150]$$

$$Nu = 0,2536 \cdot (Re)^{0,65} (Pr)^{0,4} \wedge \alpha = \frac{Nu \cdot k}{D_e} ; \text{ para } Re > 400 \quad [2.151]$$

$$\alpha = 0,742 \cdot C_p \cdot \frac{\dot{m}}{S} \cdot Re^{-0,62} \cdot Pr^{-0,667} \cdot \left(\frac{\mu_B}{\mu_W}\right)^{0,14} ; \text{ para } Re < 400 \quad [2.152]$$

Con los coeficientes de convección calculados, la conductividad de las placas y los factores de ensuciamiento para ambos fluidos se estima el coeficiente global de

transmisión mediante la ecuación [2.153] y se comprueba con el valor obtenido anteriormente. Luego con este nuevo valor se estima el número de placas térmicas y el número de corrientes necesarias según las ecuaciones [2.154] y [2.155]. Así se continúa iterando hasta que el número de placas obtenido por la ecuación [2.156] sean similares a los valores asumidos para estimar los coeficientes de convección y el de transmisión global. El cálculo se hizo en una hoja Excel que se adjunta en el Anexo 33.

$$k_G = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ag}} + \frac{\Delta x}{k_{ac}} + \frac{1}{\alpha_f} + R_{sag} + R_{sf}} \quad [2.153]$$

Además se estima la caída de presión teórica en el intercambiador de placas. Se calcula la longitud de recorrido que dependerá si el flujo es en serie o paralelo. Si es el primer caso, la longitud de recorrido será igual al largo de la placa multiplicado por el número de corrientes (n_i), de lo contrario solo será igual al largo de la placa. La velocidad de masa se estima mediante la ecuación [2.154]. Luego se estima el número de Reynolds según el fluido a evaluar mediante la ecuación [2.155] si el flujo está en serie o la ecuación [2.156] si es en paralelo. Con este valor se estima el coeficiente de fricción con la ecuación [2.157] y luego la caída de presión con la ecuación [2.158].

$$G = \frac{\dot{m}}{S} \quad [2.154]$$

$$Re = \frac{G \cdot D_E}{\mu} \quad [2.155]$$

$$Re = \frac{G \cdot D_E}{\mu \cdot n_i} \quad [2.156]$$

$$f = 2,5 \cdot Re^{-0,3} \quad [2.157]$$

$$\Delta p_f = \frac{2 \cdot f \cdot L \cdot G^2}{\rho \cdot D_E} \quad [2.158]$$

En la Tabla 2.56 se presentan el número de placas calculados y la caída de presión tanto en el lado del mosto como en el de agua glicolada, según la teoría aprendida en el curso de transferencia de calor y los valores calculados por el proveedor Alfa Laval. Las conexiones son de 25 mm según DIN o 1" según ASME, según se concrete con el proveedor para conexiones bridadas según ASME B16.5. En cuanto a la selección del equipo, el proveedor recomendó que los flujos estén a contracorriente para mejorar la transferencia de calor. Se hizo un reajuste de los flujos por optimización, lo cual fue recomendación del proveedor. La cotización, planos y dimensiones del equipo se adjuntan en el Anexo 33.

Tabla 2.56 Resultados del intercambiador de placas obtenidos por cálculo y los recomendados por el proveedor.

		Resultados obtenidos por cálculo		Resultados proporcionados por proveedor	
Mosto caliente	Caudal	418	kg/h	406	kg/h
	Agrupamiento	1/6	-	1/1+3/2	-
	Caída de presión	10,8	kPa	84	kPa
Agua + propilenglicol	Caudal	2245,5	kg/h	2120	kg/h
	Agrupamiento	1/6	-	1/6	-
	Caída de presión	102,3	kPa	37	kPa
Número de placas		22	-	14	-

2.11 Línea de alimentación de agua destilada para proceso

La línea de agua destilada será tal que permita llenar el recipiente de calentamiento con la cantidad necesaria de fluido. Para esta línea, se considera una velocidad (v) del fluido entre 1 m/s - 2 m/s. El volumen de líquido necesario son 180 L de agua que se requiere llenar en 5 minutos. Así se tiene la ecuación [2.159] que permite determinar el área de la tubería necesaria para la línea de llenado. Del área se despeja el diámetro requerido mediante la ecuación [2.160]. El diámetro requerido para la tubería de alimentación de agua destilada será de 1”.

$$A = \frac{V_{ad}}{v} \quad [2.159]$$

$$A = \frac{180 \text{ L}}{1,5 \text{ m/s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1}{5 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\phi_{ad} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad [2.160]$$

$$\phi_{ad} = \sqrt{\frac{4 \times 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}} \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{25,4 \text{ mm}} = 0,89 \text{ pulg} \cong 1 \text{ pulg}$$

2.12 Conductores eléctricos

Para la alimentación de los motores eléctricos que accionarán las máquinas utilizadas, se requieren cables de alimentación con un área mínima según norma. La selección fue según el CNE (Código Nacional de Electricidad). Fueron seleccionados del catálogo de JORVEX y son los del tipo XHHW. Estos son conductores comprimidos de cobre aislados con polietileno reticulado (XLPE), de alta calidad, resistente a la humedad, calor y retardante a la llama. Se seleccionaron de este tipo, debido a las precauciones que se esperan tomar en caso que haya incendio por las condiciones de operación del lugar de trabajo. Los interruptores a usar son del tipo termomagnético y del tipo caja moldeada pues proporcionan protección contra las sobrecorrientes. Estos

fueron tomados del catálogo de ABB [53] siguiendo la norma IEC60947-2 sobre el uso de interruptores para uso industrial. Para el dimensionamiento primero se parte de las cargas que necesitan alimentación eléctrica. Estas se indican en la Tabla 2.57.

Tabla 2.57 Cargas presentes en la mini planta piloto de bebidas alcohólicas

Sección	Cantidad	Potencia Unitaria (HP)	Potencia Instalada (HP)
Motor de agitador de mosto	1	0.5	0.5
Motor de agitador de agua glicolada	1	0.5	0.5
Motor de bomba para mosto	1	0.75	0.75
Motor de bomba para agua glicolada	1	0.75	0.75
TOTAL (kW)			1.87

Los motores son todos trifásicos y su alimentación es con una tensión de 380 V y una frecuencia eléctrica de 60Hz. Algunos de los parámetros eléctricos utilizados en el cálculo fueron los siguientes:

- Factor de potencia promedio: 0.80
- Rendimiento promedio de motores de bombas y agitadores: 88%
- Caída de tensión admisible para circuito de fuerza: 3%
- Caída de tensión admisible para circuito de alimentación: 4%

Para el cálculo, primero se estima la corriente de operación mediante la ecuación [2.161]. Luego, se le añade el 25% de la misma para obtener la corriente de diseño ($I_{diseño} = 1.25 I_{op}$).

$$I_{op} = \frac{P \times F.D.}{\sqrt{3} \times U \times F.P. \times \eta} \quad [2.161]$$

Una vez obtenida la corriente de diseño se hace el dimensionamiento de los conductores. La corriente de diseño se corrige con un factor de temperatura (K_T) dependiendo de las condiciones de operación, mediante la ecuación [2.162]. El factor K_T se obtiene de unas Tablas proporcionadas por el CNE y se adjunta en el Anexo 34. Luego se corrige la corriente por un factor de agrupamiento K_N que depende del número de ternas en caso se utilicen conduits. Para este caso, debido a las bajas cargas, tan sólo se usará una terna para cada máquina y para la alimentación. La ecuación utilizada es la [2.163].

$$I_{correct.T} = \frac{I_{diseño}}{K_T} \quad [2.162]$$

$$I_{correct.N} = \frac{I_{correct.T}}{K_N} \quad [2.163]$$

Con el valor de corriente obtenida, se busca un valor inmediato superior, empezando por los cables de menor sección. Estos valores fueron obtenidos de la Tabla 2 del

CNE adjunta en el Anexo 34. Como mínimo se utilizarán los cables de sección 2,5 mm². En la Tabla 2.58 se indican los conductores seleccionados para cada motor.

Tabla 2.58 Conductores seleccionados

	Conductor		Conduit	
	Tipo de cable	Sección (mm ²)	Material	Diámetro (mm)
Motor de agitador de mosto	XHHW	2,5	PVC	15
Motor de agitador de agua glicolada	XHHW	2,5	PVC	15
Motor de bomba para mosto	XHHW	2,5	PVC	15
Motor de bomba para agua glicolada	XHHW	2,5	PVC	15

Para comprobar la selección del conductor, se verifica la caída de tensión admisible estimando el área mínima requerida para los conductores, mediante la ecuación [2.164]. Los conduits para los conductores, serán de tubería de PVC. Estos se seleccionan según la Tabla 6 del CNE que se adjunta en el Anexo 34. Los conduits seleccionados se indican en la Tabla 2.59. Para la selección de los interruptores se estima el valor de la corriente nominal, el cual se considera 15% adicional a la corriente de operación de cada motor según lo indicado en la ecuación [2.165]. El valor de la corriente nominal del interruptor deberá ser mayor al resultado obtenido. Los interruptores seleccionados se presentan en la Tabla 2.59.

$$A_{min} = \frac{0,03092 \times I_{op} \times L \times \cos\phi}{\Delta U\% \times U} \times 100\% \quad [2.164]$$

$$I_{nominal} = 1,15 \times I_{operación} \quad [2.165]$$

Tabla 2.59 Características de los interruptores para los motores y las válvulas solenoides.

	Modelo	Curva	Capacidad nominal	Tensión
Motores	S-270	B	10 A	230/400
Válvulas solenoides	S-270	B	10 A	230/400

2.13 Sistema de tuberías

Las tuberías serán de acero inoxidable AISI 304 y las dimensiones serán según la norma ANSI B36.19. Las conexiones serán soldadas. Las bridas utilizadas soldadas a las tuberías para las uniones serán del tipo Welding Neck (bridas con cuello). A continuación, en la Tabla 2.60 se muestra un listado de accesorios utilizados tales como bridas, uniones, codos, tees y las válvulas manuales utilizadas. Las dimensiones de los accesorios toman como referencia el catálogo de Válvulas Industriales S.A. [54].

Tabla 2.60 Accesorios típicos utilizados en las conexiones de las tuberías

Accesorio	Diámetro nominal	Material	Norma	Observaciones
Tubería	3/4" Sch. 10	AISI 304	ASME B36.19	Línea de descarga del mosto de la bomba de mosto al recipiente de enfriamiento.
Tubería	1" Sch. 10	AISI 304	ASME B36.19	Tubería de agua destilada. Tramo de succión de la bomba de mosto.

CONTINUACIÓN DE TABLA 2.60				
Tubería	1" Sch. 40	ASTM A-53 Gr. B	ASME B36.10	Línea de agua glicolada (Excepto la del serpentín) y de vapor.
Brida	3/4" #150	AISI 304	ASME B16.5	Welding Neck. Para la línea de descarga de mosto.
Brida	3/4" #150	AISI 304	ASME B16.5	Slip-on. Para el venteo del recipiente
Brida	1" #150	AISI 304	ASME B16.5	Welding Neck. Para la línea de alimentación de agua destilada y conexión del intercambiador de placas
Brida	1 1/4" #150	AISI 304	ASME B16.5	Welding Neck. Para la línea de alimentación de agua destilada.
Brida	1 1/2" #150	AISI 304	ASME B16.5	Welding Neck. Para la línea de alimentación de agua destilada.
Brida	1" #150	ASTM A-182	ASME B16.5	Welding Neck. Línea de agua glicolada (Excepto la del serpentín) y de vapor.
Brida	DN 25 PN 16	AISI 316	DIN 2633	Welding Neck. Brida para conexión de agitadores.
Codo 90°	3/4" Sch. 10	AISI 304	ANSI B16.9	Butt welding (BW). Para línea de descarga mosto.
Codo 90°	1" Sch. 10	AISI 304	ANSI B16.9	Butt welding (BW). Para línea de alimentación de agua destilada.
Codo 90°	1" Sch. 40	ASTM A-234	ANSI B16.9	Butt welding (BW). Para línea de vapor y de agua glicolada.
Tee	1" Sch. 40	ASTM A-234	ANSI B16.9	Butt welding (BW). Para línea de vapor y de agua glicolada.
Cople	1 1/2"	AISI 304	ANSI B16.3	Roscado para la conexión de la bomba dosificador a de diafragma.
Cople	1"	AISI 304	ANSI B16.3	Roscado para la conexión de la bomba dosificador a de diafragma.
Reducción concéntrica	3/4" – 1"	AISI 304	ANSI B16.9	Butt welding (BW). Para línea de descarga mosto en la conexión con intercambiador de placas y las conexiones con los serpentines.
Reducción concéntrica	1 1/2" – 1"	ASTM A-234	ANSI B16.9	Butt welding (BW). Para línea de vapor y de agua glicolada.
Válvula de bola	3/4" #150	Acero inoxidable	ANSI B16.34	Roscada. Purgas de las líneas de succión de la misma.
Válvula de compuerta	3/4" #150	Acero inoxidable	ANSI B16.34	Bridada. Línea de descarga del mosto de la bomba de diafragma.
Válvula de compuerta	1" #150	Acero inoxidable	ANSI B16.34	Bridada. Línea de agua destilada y línea de succión de bomba de diafragma para el mosto además de las purgas.
Válvula de compuerta	1" #150	Acero al carbono	ANSI B16.34	Bridada. Línea de agua glicolada (Excepto la del serpentín) y de vapor.
Válvula de compuerta	1 1/2" #150	Acero al carbono	ANSI B16.34	Bridada. Línea de agua glicolada.
Válvula de retención	3/4"	Acero inoxidable	ANSI B16.34	Bridada. Línea de descarga del mosto del recipiente de calentamiento al de enfriamiento.
Válvula de retención	1"	Acero al carbono	ANSI B16.34	Bridada. Línea de agua glicolada (Excepto la del serpentín).
Válvula de retención	3/4"	Acero al carbono	ANSI B16.34	Bridada. Línea de condensado de vapor.
Filtro en Y	1"	Acero al carbono	ANSI B16.34	Bridada. Línea de vapor.

2.14 Accesorios

En este apartado se presentan los accesorios adicionales a los recipientes y al sistema de tuberías recomendados.

2.14.1 Válvulas de alivio de presión

Primero, es necesario que la presión dentro de los recipientes esté limitada. Para el recipiente de calentamiento se limita a 1 bar (g) del vapor producido y en el de

enfriamiento se limita a una presión de 2 bar (g) del CO₂ producido por la fermentación. Por ello, en la tapa de los recipientes se instala una válvula de alivio o limitadora de presión con las características proporcionadas por Spirax Sarco [55]. Las características de las mismas se presentan en la Tabla 2.61 y en el Anexo 35.

Tabla 2.61 Características de las válvulas de alivio para el vapor y el CO₂

	Válvula para recipiente de calentamiento	Válvula para recipiente de enfriamiento
Modelo	15C3A5Y3O	15C3A5T3O
Sustancia	Vapor de agua	Dióxido de carbono
Conexión de entrada / salida	1" / 1"	1" / 1"

2.14.2 Trampa de vapor

La trampa de vapor seleccionada será del tipo flotador. Para ello son necesarios los siguientes datos:

- Presión diferencial ⁴¹ : $\Delta p = p_1 - p_2$

Donde:

- p_1 es la presión al ingreso de la trampa de vapor. Se asume que la presión de entrada es de 3 bar (a).
- p_2 es la presión a la salida de la trampa de vapor. Se asume que la presión de salida es de 1 bar (a).

$$\Delta p = 3 \text{ bar (a)} - 1 \text{ bar (a)} = 2 \text{ bar}$$

- Flujo másico de vapor ⁴²: $\dot{m}_{v.a.} = 1,2 \times \left(0,020 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 1,2 \times \left(72 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) = 86,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Con estos datos se selecciona de los diagramas de Spirax Sarco [56] para válvulas FT14 adjuntas en el Anexo 37. Las características de la trampa de vapor seleccionada serán las que se muestran a continuación:

- Modelo : FT14-14
- Tipo : Flotador
- Conexión : Horizontal
- Tamaño : DN 20 (3/4")
- Conexión : Bridas (ASME 150)
- Presión máx. permisible : 16 bar g
- Material : Fierro fundido (GGG-40)

⁴¹ Diferencia de presiones entre la presión de entrada a la trampa de vapor y la salida de la misma.

⁴² Para la selección se consideró el flujo máximo de condensado producido como el máximo valor de vapor consumido en los procesos de calentamiento con un adicional del 20%.

2.14.3 Instrumentación

Para poder realizar el proceso de fabricación es necesario también contar con la instrumentación adecuada. Es necesario el uso de algunos elementos como sensores, válvulas solenoides, válvulas de control automático y un PLC. En la Tabla 2.62 se indican las líneas presentes en el proceso de elaboración de la chicha.

Tabla 2.62 Listado de líneas de tubería de proceso y de servicios auxiliares

Código	Servicio
VA-1"-001	Vapor de agua
VA-1"-002	Vapor de agua
VA-1"-003	Vapor de agua
VA-1"-004	Vapor de agua
VA-3/4"-005	Condensado
AD-1"-006	Agua destilada
MP-1"-007	Mosto procesado
MP- ³ / ₄ "-008	Mosto procesado
MP- ³ / ₄ "-009	Mosto procesado
AG-1 ¹ / ₂ "-010	Agua + propilenglicol
AG-1"-011	Agua + propilenglicol
AG-1"-012	Agua + propilenglicol
AG-1"-013	Agua + propilenglicol
AG-1"-014	Agua + propilenglicol
AG-1"-015	Agua + propilenglicol

Para el control del proceso se hace uso de válvulas accionadas mediante solenoides tan solo para abrir y cerrar y así dejar o cortar el paso de los fluidos por una señal eléctrica. En la Tabla 2.63 se muestra la lista de válvulas utilizadas en el proceso.

Tabla 2.63 Listado de válvulas de tubería de proceso y de servicios auxiliares

Código	Servicio	Tipo de válvula	Tipo de accionamiento
V01-1"	Vapor de agua	Válvula de compuerta	Manual
V02-1"	Vapor de agua	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V03-1"	Vapor de agua	Válvula de control autoactuante	Bulbo
V04-1"	Vapor de agua	Filtro en Y	-
V05-1"	Vapor de agua	Válvula de compuerta	Manual
V06-1"	Vapor de agua	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V07-1"	Vapor de agua	Válvula de control autoactuante	Bulbo
V08-1"	Vapor de agua	Filtro en Y	-
V09-1"	Vapor de agua	Válvula de compuerta	Manual
V10-1"	Vapor de agua	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V11-1"	Vapor de agua	Filtro en Y	-
V12-1"	Vapor de agua	Válvula de compuerta	Manual
V13-1"	Vapor de agua	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V14-1"	Vapor de agua	Filtro en Y	-
V15-3/4"	Agua destilada	Válvula de check	Manual
V16-3/4"	Agua destilada	Válvula de compuerta	Manual
V17-1"	Agua destilada	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V18-1"	Agua destilada	Válvula de compuerta	Manual
V19-1"	Mosto procesado	Válvula de compuerta	Manual
V20-1"	Mosto procesado	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V21- ³ / ₄ "	Mosto procesado	Válvula check	Manual
V22- ³ / ₄ "	Mosto procesado	Válvula de compuerta	Manual
V23-1 ¹ / ₂ "	Agua + propilenglicol	Válvula de compuerta	Manual
V24-1"	Agua + propilenglicol	Válvula check	Manual
V25-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de compuerta	Manual
V26-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF

CONTINUACIÓN DE TABLA 2.63			
V27-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de compuerta	Manual
V28-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V29-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de control autoactuante	Mecánico
V30-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V31-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de compuerta	Manual
V32-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V33-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de control autoactuante	Mecánico
V34-1"	Agua + propilenglicol	Válvula check	Manual
V35-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de compuerta	Manual
V36-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V37-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de control autoactuante	Mecánico
V38-1"	Agua + propilenglicol	Válvula check	Manual
V39-1"	Agua + propilenglicol	Válvula de asiento	Solenoide / ON-OFF
V40-1"	Producto	Válvula de globo	Manual
V41-1"	Purga Producto	Válvula de bola	Manual
V42-3/4"	Purga Producto	Válvula de bola	Manual
V43-3/4"	Purga Producto	Válvula de bola	Manual
V44-3/4"	Purga Producto	Válvula de bola	Manual
V45-3/4"	Purga Producto	Válvula de bola	Manual
V46-3/4"	Purga agua glicolada	Válvula de bola	Manual
V47-3/4"	Purga agua glicolada	Válvula de bola	Manual
V48-3/4"	Producto	Válvula de bola	Manual
V49-1"	Producto	Válvula de alivio de presión	Automática
V50-3/4"	Producto	Válvula de bola	Manual
V51-1"	Producto	Válvula de alivio de presión	Automática

Los sensores utilizados para el control de los procesos se muestran en la Tabla 2.64.

Tabla 2.64 Listado de válvulas de tubería de proceso y de servicios auxiliares

Código	Ubicación	Tipo de sensor
LSH	Recipiente de calentamiento	Sensor de nivel
LSL	Recipiente de calentamiento	Sensor de nivel
TT1	Recipiente de calentamiento	Sensor de temperatura
TT2	Recipiente de enfriamiento	Sensor de temperatura

Se usará válvulas de control auto-actuante las cuales regulan su apertura o cierre mediante el impulso dado por un bulbo que se mueve según la dilatación o contracción de un fluido interno dependiendo de la temperatura del medio. Ello servirá para controlar el flujo másico de los fluidos y cumplir con lo indicado en el proceso. Las válvulas de control utilizadas serán los proporcionados por la marca Spirax Sarco [57]. Los detalles y diagramas necesarios para la selección de este tipo de válvulas se adjuntan en el Anexo 36. Estas válvulas tienen las siguientes características que se muestran a continuación:

- Válvula V03-1":

Válvula para regularizar el flujo de vapor en el proceso de maceración:

Tipo	:	KA33
Material	:	Fierro fundido
Tamaño	:	DN 25 (mm)
Brida	:	PN 16

- | | | |
|--------------------------|---|------------------|
| Máx. Presión diferencial | : | 4,5 (bar) |
| Sistema de control | : | SA121 |
| Rango de temperaturas | : | 3 (95°C – 160°C) |
| Material del capilar | : | Latón |
| Longitud del capilar | : | 8 m |
- Válvula V07-1":
Válvula para regularizar el flujo de vapor en el proceso de cocción:
- | | | |
|--------------------------|---|------------------|
| Tipo | : | KA33 |
| Material | : | Fierro fundido |
| Tamaño | : | DN 25 (mm) |
| Brida | : | PN 16 |
| Máx. Presión diferencial | : | 4,5 (bar) |
| Sistema de control | : | SA121 |
| Rango de temperaturas | : | 3 (95°C – 160°C) |
| Material del capilar | : | Latón |
| Longitud del capilar | : | 8 m |
- Válvula V29-1"
Válvula para regularizar el flujo del agua glicolada en el proceso de enfriamiento:
- | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|
| Tipo | : | KX43 |
| Material | : | Acero al carbono fundido |
| Tamaño | : | DN 25 (mm) |
| Brida | : | PN 40 |
| Máx. Presión diferencial | : | 3,5 (bar) |
| Sistema de control | : | SA121 |
| Rango de temperaturas | : | 1 (-15°C – 50°C) |
| Material del capilar | : | Latón |
| Longitud del capilar | : | 8 m |
- Válvula V33-1":
Válvula para regularizar el flujo del agua glicolada en el proceso de fermentación:
- | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|
| Tipo | : | KX43 |
| Material | : | Acero al carbono fundido |
| Tamaño | : | DN 25 (mm) |
| Brida | : | PN 40 |
| Máx. Presión diferencial | : | 3,5 (bar) |
| Sistema de control | : | SA121 |
| Rango de temperaturas | : | 1 (-15°C – 50°C) |
| Material del capilar | : | Latón |

Longitud del capilar : 8 m

- Válvula V37-1”:

Válvula para regularizar el flujo del agua glicolada en el proceso de maduración:

Tipo : KX43
 Material : Acero al carbono fundido
 Tamaño : DN 25 (mm)
 Brida : PN 40
 Máx. Presión diferencial : 3,5 (bar)
 Sistema de control : SA121
 Rango de temperaturas : 1 (-15°C – 50°C)
 Material del capilar : Latón
 Longitud del capilar : 8 m

2.14.4 Válvulas solenoide

Las válvulas solenoides para el paso o bloqueo del flujo de vapor o de agua tienen las siguientes características obtenidas de la marca Danfoss S.A. [58] y [59]:

- Válvulas V02-1”, V06-1”, V10-1”, V13-1”

Modelo : EV225B
 Conexión : NPT 1 / ASME B1.20.1
 Función : NC
 Presión diferencial : 0,2 a 10 bar
 Temperatura del fluido : -30 a 140 °C
 Tamaño del orificio : 1”
 Material de la junta : PTFE
 Material del cuerpo : Latón
 Modelo actuador : BN
 Alimentación : 24 VC
 Consumo : 20 W

La válvula para el mosto caliente y el agua destilada tendrán las siguientes características según Danfoss [60] y [61]:

- Válvulas V17-1”, V20-1”

Modelo : EV220B
 Conexión : NPT 1” / ASME B1.20.1
 Función : NC
 Presión diferencial : 0,3 a 16 bar
 Temperatura del fluido : -30 a 140 °C

Tamaño del orificio	:	1"
Material de la junta	:	EDPM
Material del cuerpo	:	Acero inoxidable
Modelo actuador	:	BN Coil
Alimentación	:	220 – 230 VAC / 50-60Hz
Consumo	:	20 W

Las válvulas utilizadas para el agua glicolada serán según la información técnica brindada por ASCO [62]. Las características técnicas son las siguientes:

- Válvulas V26-1", V28-1", V30-1", V32-1", V36-1", V39-1"		
Modelo	:	8210LT Series 2/2
Conexión	:	NPT 1" / ASME B1.20.1
Función	:	NC
Presión diferencial	:	0,3 a 6,89 bar
Temperatura del fluido	:	-59 a 49 °C
Tamaño del orificio	:	1"
Material de la junta	:	PTFE
Material del cuerpo	:	Latón
Alimentación	:	24 VDC
Consumo	:	40,6 W

Si bien las válvulas solenoides tienen conexiones roscadas, por un tema de mantenimiento se adecuará la misma para instalarla y desinstalarla mediante bridas. Las características de las válvulas solenoides se adjuntan en el Anexo 38.

2.14.5 Sensores

El sensor de nivel superior LSH estará ubicado en el recipiente de calentamiento e indicará el límite superior que alcanzará el fluido en la carga al empezar el proceso. Este enviará una señal al PLC, que accionará la válvula de alimentación de agua destilada. El sensor de nivel inferior LSL ubicado en el recipiente de calentamiento indicará el límite inferior que alcanzará el fluido en la descarga. Este enviará una señal al PLC que accionará la válvula de descarga del mosto producido. Las características del mismo serán las mostradas a continuación de la marca SIEMENS [63] y un extracto se adjunta en el Anexo 39:

• Modelo	:	Pointek CLS 300
• Tipo	:	Capacitivo
• Salida	:	Tipo Relé
• Rango de temperatura	:	-40 a 200 °C
• Rango de presión	:	-1 a 35 bar(g)

- Protección : IP65
- Tensión de alimentación : 12 a 250 VAC/DC – 0 a 60 Hz
- Comunicación : PROFIBUS PA

Los sensores de temperatura usados en los recipientes para accionar los temporizadores una vez alcanzadas las condiciones esperadas para iniciar cada proceso tienen las características mostradas a continuación de los sensores de la marca SIEMENS [64]:

- Modelo : SITRANS TF
- Tipo : RTD (PT100)
- Salida : 4-20mA
- Protección : IP67
- Rango de medición : -200 a 850 °C
- Comunicación : HART
- Tensión de alimentación : 24 VDC

2.14.6 PLC

Para el accionamiento de las válvulas y el control automático de los procesos de elaboración de las bebidas se hará uso de una unidad PLC y se recomienda una unidad para cada recipiente. Los módulos de entrada digital leen los valores de salida de los interruptores de nivel y accionarán las válvulas solenoides y los motores de los agitadores y de las bombas. Las características del modelo son las siguientes:

- Modelo : S7-200 / CPU 224
- Alimentación : 110 / 220 VAC
- Entradas digitales (DI) : 14 DI a 24 VDC
- Salidas digitales (DO) : 10 DO 24 VDC
- Puerto de comunicación : RS-485

A este PLC, se le adicionará un módulo con 8 salidas adicionales del tipo relé, debido a que en total se requieren controlar un total de 17 bobinas, por lo que se requieren 17 salidas y el PLC trae consigo solo 10 salidas. Las características del módulo son las siguientes:

- Modelo : 6ES7222-1HF22-0XA0
- Salidas : 8 tipo Relé
- Tensión de alimentación : 24 V

Estos datos son los provistos por Siemens en su catálogo [65] y del cual se adjunta un extracto en el Anexo 39. Las conexiones hechas en el PLC se adjuntan en el Plano 14

y en la Tabla 2.65 se indican las variables de entradas y salidas relacionadas a los sensores, pulsadores y bobinas conectados al PLC.

Tabla 2.65 Lista de variables de entrada y salida relacionadas a la conexión del PLC.

Variables		Equipo relacionado		Nomenclatura conexión
I0	Entrada	Pulsador de encendido	-	P1
I1	Entrada	Pulsador de parada general	-	P2
I2	Entrada	Interruptor de nivel superior	LSH	S1
I3	Entrada	Sensor de temperatura del recipiente de calentamiento	TT1	S2
I4	Entrada	Interruptor de nivel inferior	LSL	S3
I5	Entrada	Sensor de temperatura del recipiente de calentamiento	TT2	S4
O0	Salida	Válvula solenoide de vapor de agua	V07-1"	KM1
O1	Salida	Válvula solenoide de vapor de agua	V08-1"	KM2
O2	Salida	Válvula solenoide de agua destilada	V09-1"	KM3
O3	Salida	Contactador para motor de agitador - Recip. Calent.	M1	KM4
O4	Salida	Válvula solenoide de vapor de agua	V01-1"	KM5
O5	Salida	Válvula solenoide de vapor de agua	V04-1"	KM6
O6	Salida	Válvula solenoide de mosto	V10-1"	KM7
O7	Salida	Contactador para motor de bomba de mosto	M2	KM8
O8	Salida	Contactador para motor de bomba de agua glicolada	M3	KM9
O9	Salida	Válvula solenoide de agua glicolada	V17-1"	KM10
O10	Salida	Válvula solenoide de agua glicolada	V19-1"	KM11
O11	Salida	Válvula solenoide de agua glicolada	V16-1"	KM12
O12	Salida	Válvula solenoide de agua glicolada	V20-1"	KM13
O13	Salida	Contactador para motor de agitador - Recip. Enfr.	M4	KM14
O14	Salida	Válvula solenoide de agua glicolada	V26-1"	KM15
O15	Salida	Válvula solenoide de agua glicolada	V23-1"	KM16

2.14.7 Contactores

Como las válvulas solenoides son alimentadas a 220 VAC, será necesario el uso de contactores para su accionamiento. El PLC enviará una señal de 24 VDC sobre el contactor y energizará una bobina. Esta cerrará el contacto y permitirá la conexión tanto de las válvulas solenoides como de los motores trifásicos de los equipos. Las características de los contactores recomendados de la marca ABB tienen las siguientes características, indicadas en la Tabla 2.66.

Tabla 2.66 Características de los contactores eléctricos.

	Modelo	Tipo	Capacidad nominal	Potencia consumida
Motores	A 9-30-10	AC-3	9 A	3 kW
Válvulas solenoides	A 9-30-10	AC-1	25 A	3 kW

REFERENCIAS CAPÍTULO 2

- [1] OWEN P. WARD,
1989 Biotecnología de la fermentación. Editorial ACRIBIA S.A., 2da. Edición.
- [2] ENRIQUE FLORIO RAMÍREZ,
1986 Estudio de la fermentación de la chicha de jora, Universidad Agraria La Molina.
- [4] Ibid.
- [5] Ibid.
- [3] STEMM
s/f Tabla de densidades. [en línea]
< http://www.stemm.com/espanol/pdf/Tabla_densidades.pdf>
- [6] J.S. HOUGH,
Biotecnología de la cerveza y de la Malta. Editorial ACRIBIA S.A.
- [7] HAYES, George
1992 “Manual de datos para ingeniería de los alimentos”. Editorial ACRIBIA S.A.,
- [8] JAHESA
s/f “JAHESA – Aceros inoxidables” – Catálogo de productos
<<http://www.jahesa.com/jahesa.pdf>>
- [16] Ibid.
- [9] ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Correlaciones de convección en equipos de transmisión de calor” - Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- [10] ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Convección con cambio de fase” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- [11] ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Aislamientos térmicos” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- [12] ASHRAE
2009 “Handbook”. Chapter 31: Physical properties of secondary coolants.
- [14] Ibid.
- [15] Ibid.
- [13] CERVECEROS CASEROS
2006 “Los glicoles empleados en refrigeración” [en línea]
<http://www.cerveceroscaseros.com.ar/interior/todoslostitulos.php?aj_go=more&id=1144208709&archive=&start_from=&ucat=29>
- [17] ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Aspectos fluido – mecánicos de la convección” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- [18] Ibid.
- [19] ASME Sección VIII, DIV. 1
2013
- [22] Ibid.
- [23] Ibid.
- [25] Ibid.
- [32] Ibid.
- [36] Ibid.

- [20] DENNIS MOSS,
2004 "Pressure vessel design manual". Tercera Edición. Burlington – USA. Editorial:
Elsevier Inc.
- [24] Ibid.
[26] Ibid.
[28] Ibid.
[29] Ibid.
[30] Ibid.
[33] Ibid.
[37] Ibid.
[42] Ibid.
- [21] ESPECIFICACIONES DE REPSOL YPF
2006 "Recipientes a presión" – Especificación de diseño ED-C-01.00-02. Segunda
Edición.
- [27] TRUBOTVOD
s/f "Heads, DIN-ASME Standar" [en línea]
< http://www.trubotvod.ru/e-store/element/standarts/DIN_28013.pdf>
- [31] Ibid.
- [34] ASME Sección II, Parte D
2013
[35] Ibid.
- [38] ING. JORGE RODRÍGUEZ
2010 "Resistencia de materiales 2" – Área de diseño. Sección Ingeniería mecánica.
[39] Ibid.
[40] Ibid.
[41] Ibid.
- [43] WARREN McCABE, JULIAN C. SMITH.
2003 "Operaciones básicas de Ingeniería Química". Volumen I. Editorial Reverté
S.A.. Barcelona-España
- [44] COUPER, James R.
2005 Chemical Process Equipment: Selection and design. Segunda Edición. Editorial
Elsevier Science Limited-Estados Unidos.
- [45] MARTÍN HERNÁNDEZ, PABLO
2007 "Predicción de datos de diseño en reactores provistos de turbina de flujo axial
mediante CFD". Universidad de Cataluña.
- [46] ING. ATURO MALDONADO
2012 "Compresores Centrifugos" – Separatas del curso de Turbomáquinas y
máquinas de desplazamiento positivo.
- [47] EUGENE F. MEGYESI,
1989 "Manual de recipientes a presión". Primera edición. México D.F.: Editorial
LIMUSA S.A.
- [48] MAFOREM
s/f Características de los accesorios para las tuberías [en línea]. Curso de tuberías
para plantas de proceso.
<<http://es.scribd.com/doc/140834655/Http-Cetiquimica-files-wordpress-com-2011-02-Accesorios-Para-Tuberias-y-Bridas>>

- [49] ING. ESTELA ASSUREIRA
2011 Tablas y gráficos de Mecánica de fluidos. Capítulo 8 – Corrientes viscosas Internas
- [50] PAULSEN MOSCOSO, KURT FERNANDO
2011 “Elementos de máquinas – Uniones atornilladas”. Área de Diseño – Separatas del curso de Elementos de máquinas 1
- [51] Ibid.
- [52] ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Intercambiador de placas (PHE)” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- [53] ABB
s/f “Aparatos de maniobra - Contactores y relés de sobrecarga” [en línea].
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/e699a7e5c3d8c9f2c125791b00302baa/\\$file/Aparatos%20de%20Maniobra.Contactores%20y%20Reles%20de%20sobrecarga_1T.XA100024C0701-0709.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/e699a7e5c3d8c9f2c125791b00302baa/$file/Aparatos%20de%20Maniobra.Contactores%20y%20Reles%20de%20sobrecarga_1T.XA100024C0701-0709.pdf)>
- [54] VÁLVULAS INDUSTRIALES
s/f Válvulas-Fittings-Cañerías-Accesorios [en línea]
< <http://www.valvulaslimaperu.com.pe/>>
- [55] SPIRAX SARCO
s/f “Safety Valves for use with steam, gas and liquids” – Catálogo
- [56] SPIRAX SARCO S.A.
s/f “FT14 Ball Float Steam Trap (Flanged)” – N° de documento TI-S02-06 St Issue 7
- [57] SPIRAX SARCO
s/f “Self-acting temperature controls with 2-ports valves” – Catálogo
- [58] DANFOSS
s/f Válvula solenoide servo-accionada de 2/2 vías Tipo EV225B – Folleto Técnico.
[en línea]
<<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.300.E2.05.pdf>>
- [59] DANFOSS
s/f Válvula solenoide servo-accionada de 2/2 vías Tipo EV225B – Catálogo. [en línea]
<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/ES_Steam-valve-insert_LOW.pdf>
- [60] DANFOSS
s/f Válvula solenoide servo-accionada de 2/2 vías Tipo EV220B – Folleto Técnico [en línea]
<<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.200.D6.05.pdf>>
- [61] DANFOSS
s/f Electroválvulas servoaccionadas de 2/2 vías. Modelo EV220B 15-50 Conexión NPT. – Especificaciones técnicas [en línea]
<<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/ICPD200DN105.pdf>>
- [62] DANFOSS
s/f Cryogenic and Liquid CO₂ Valves [en línea]
<<http://www.ascovalve.com/Common/PDFFiles/Product/CryogenicR3.pdf>>

- [63] SIEMENS
s/f Temperaturas elevadas, condiciones rudas – Pointek CLS300. Catálogo [en línea]
<http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/sc/pi/Documentsu20Brochures/CLS300_flyer_sp.pdf>
- [64] SIEMENS
s/f Medida de temperatura – catálogo.
<http://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap02.pdf>
- [65] SIEMENS
s/f SIMATIC S7-200. Tecnología de control al máximo nivel. [en línea]
<<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200-CAT.PDF>>
- ALICIA HERNÁNDEZ,
Microbiología Industrial. Editorial: EUNED, p.p. 36 - 61, 1era. Edición 2003
- FRANCISCO CARRETERO CASADO,
2006 “Innovación tecnológica en la industria de bebidas”. Proyecto Final de carrera. Escuela Universitaria de ingeniería técnica industrial de Barcelona. Parte I: Procesos de fabricación de bebidas alcohólicas.
- RUTILO ANTONIO SANTANA RAMÍREZ,
2009 “Análisis comparativo de soportes tipo IPR para recipientes sujetos a presión”.
- CLAUDIO GELMI WESTON,
2006 Fundamentos de operaciones unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química.
- ING. JOAO DE ALVARENGA BARRETTO / ING. GUILHERME SASSA MAROCCHIO
“SEMCO Soluções em agitação”
s/f “Mixing and agitation” [en línea]. Consulta: 15 de marzo de 2013.
<http://www.pacontrol.com/process-information/book/Mixing%20and%20Agitation%2093851_10.pdf>
- ERAZO SORIA, PABLO FRANCISCO / VIZUETE BENÍTEZ, RICARDO JAVIER
2011 “Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 L”.
- EISENKRAETZER, Detlef / HAUG, Andreas
2007 “Agitador”. Oficina Española de patentes y marcas. N° publicación: 2281861.
- ALFA LAVAL
2013 “Close at hand – Components and solutions for hygienic use, 2012/2013” – Handbook
- PROMINENT
s/f “Dosificación segura, precisa y económica – Bombas dosificadoras de baja presión de hasta 1000 L/h”
- CALPEDA
2012 Centrifugal Pumps with open impeller – Modelo C 60Hz. Catálogo [en línea]
<<http://it.calpeda.com/file/e97756159f06a77f0175a1f79cd149df.pdf>>

CAPÍTULO 3

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

3.1 Costos directos de materiales y elementos

Para determinar los costos de los materiales y equipos utilizados en la fabricación del sistema fermentador se dividió en 5 partes que son recipiente de calentamiento, recipiente de enfriamiento, sistema de tuberías e instrumentación, equipos y sistema eléctrico. A continuación se muestran los costos de cada uno de los elementos involucrados en los grupos mencionados. Se consideró una contingencia del 12%.

3.1.1 Recipiente de calentamiento

Para el recipiente de calentamiento, los costos estimados de los materiales involucrados en la construcción se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Plancha AISI 316 de 4 ft x 8 ft x 3mm	3	\$ 424.00	\$ 1272.00
Tubo Redondo AISI 304 1" SCH.10 x 6m	2	\$ 120.00	\$ 240.00
Perfil AISI 316 ANSI L 1"x1"x1/8" x 6m	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Platina AISI 316 2" x 1/4" x 1m	8	\$ 150.00	\$ 1200.00
Kilogramos de soldadura AWS E308L-16	2	\$ 24.00	\$ 48.00
Brida Slip-on DN125 (DIN2576) PN10 AISI 304L	1	\$ 290.00	\$ 290.00
Brida Slip-on 1" #150 AISI 316	10	\$ 60.00	\$ 600.00
Plancha Aluminio 1/2 mm	2	\$ 30.00	\$ 60.00
Manta de lana de roca mineral 1" - 1kg	6	\$ 30.00	\$ 180.00
Tornillo de cabeza Hex. M6x1 1/4" AISI 304 -DIN931	16	\$ 11.11	\$ 177.78
Tuerca Hex. M6 AISI 304 - DIN934	16	\$ 3.70	\$ 59.26
Arandela plana M6 AISI 304 - DIN125	16	\$ 1.85	\$ 29.63
Tornillos Socket M3x8 AISI 304 - DIN912	12	\$ 7.41	\$ 88.89
Pernos U-Bolt ϕ 1" x M6 - AISI 316	4	\$ 7.41	\$ 29.63
Retazos 4"x4"x1/2" AISI 316	4	\$ 1.20	\$ 4.80
Válvula de alivio de presión 1"/1"	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Total			\$ 4404.99
* Usando una contingencia de 12%			\$ 4933.58

3.1.2 Recipiente de enfriamiento

Para el recipiente de enfriamiento, los costos estimados de los materiales involucrados en la construcción se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Plancha AISI 316 de 4 ft x 8 ft x 3mm	3	\$ 424.00	\$ 1272.00
Tubo Redondo AISI 316 1" SCH.10 x 6m	2	\$ 120.00	\$ 240.00
Perfil AISI 316 ANSI L 1"x1"x1/8" x 6m	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Platina AISI 316 2" x 1/4" x 1m	8	\$ 150.00	\$ 1200.00
Kilogramos de soldadura AWS E308L-16	2	\$ 24.00	\$ 48.00
Brida Slip-on DN125 (DIN2576) PN10 AISI 304L	1	\$ 290.00	\$ 290.00
Brida Slip-on 1" #150 AISI 316	10	\$ 60.00	\$ 600.00
Plancha Aluminio 0,5 mm (3x1m)	2	\$ 30.00	\$ 60.00
Manta de lana de roca mineral 1" - 1 kg	6	\$ 30.00	\$ 180.00
Tornillo de cabeza Hex. M6x1 1/4" AISI 304 -DIN931	16	\$ 11.11	\$ 177.78
Tuerca Hex. M6 AISI 304 - DIN934	16	\$ 3.70	\$ 59.26
Arandela plana M6 AISI 304 - DIN125	16	\$ 1.85	\$ 29.63
Tornillos Socket M3x8 AISI 304 - DIN912	12	\$ 7.41	\$ 88.89
Pernos U-Bolt ϕ 1" x M6 - AISI 316	4	\$ 7.41	\$ 29.63
Retazos 4"x4"x1/2" AISI 316	4	\$ 1.20	\$ 4.80
Válvula de alivio de presión 1"/1"	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Total			\$ 4404.99
* Usando una contingencia de 12%			\$ 4933.58

3.1.3 Sistema de tuberías e instrumentación

Los costos estimados de los materiales utilizados en la construcción del sistema de tuberías y la instrumentación requerida para el control del proceso se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Tubería 1" SCH.10 x 6m AISI 304. ASME B36.19	2	\$ 70.00	\$ 140.00
Tubería 3/4" SCH.10 x 6m AISI 304. ASME B36.19	2	\$ 175.00	\$ 350.00
Tubería 1" SCH.40 x 6m ASTM A-53 Gr-B.ASME B36.10	3	\$ 40.00	\$ 120.00
Brida Welding neck 3/4" #150 AISI 304. ASME B16.5	7	\$ 40.00	\$ 280.00
Brida Welding neck 1" #150 AISI 304. ASME B16.5	6	\$ 40.00	\$ 240.00
Brida Welding neck 1 1/4" #150 ATM-182. ASME B16.5	4	\$ 30.00	\$ 120.00
Brida Welding neck 1 1/2" #150 ATM-182. ASME B16.5	6	\$ 30.00	\$ 180.00
Brida Welding neck 1" #150 ATM-182. ASME B16.5	34	\$ 30.00	\$ 1020.00
Codo 90° Butt weld 3/4" SCH.10 AISI 304. ANSI B16.9	9	\$ 11.00	\$ 99.00
Codo 90° Butt weld 1" SCH.40 ASTM A-234. ANSI B16.9	8	\$ 3.00	\$ 24.00
Tee 1" SCH.40 ASTM A-234. ANSI B16.9	5	\$ 3.00	\$ 15.00
Cople 1 1/2" AISI 304. ANSI B16.3	2	\$ 10.00	\$ 20.00
Cople 1 1/2" AISI 304. ANSI B16.3	4	\$ 10.00	\$ 40.00
Reducción concéntrica 3/4"-1" AISI 304. ANSI B16.9	3	\$ 12.00	\$ 36.00
Reducción concéntrica 1 1/2"-1" ASTM A-234. ANSI B16.9	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Válvula de bola 3/4" #150 Ac. Inox. ANSI B16.34. Roscadas	5	\$ 3.00	\$ 15.00
Válvula de bola 1" #150 Ac. Inox. ANSI B16.34	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Válvula de compuerta 3/4" #150 Ac. Inox. ANSI B16.34	1	\$ 30.00	\$ 30.00
Válvula de compuerta 1" #150 Ac. Inox. ANSI B16.34	2	\$ 35.00	\$ 70.00
Válvula de globo 1" #150 Ac. Inox. ANSI B16.34	1	\$ 32.00	\$ 32.00
Válvula de compuerta 3/4" #150 Ac. Forjado ANSI B16.34	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Válvula de compuerta 1" #150 Ac. Carbono ANSI B16.34	8	\$ 20.00	\$ 160.00
Válvula de compuerta 1 1/2" #150 Ac. Carbono ANSI B16.34	1	\$ 30.00	\$ 30.00
Válvula de retención 3/4" Ac. Inox. ANSI B16.34	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Válvula de retención 3/4" Fundición Gris. ANSI B16.34	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Válvula de retención 1" Fierro fundido. ANSI B16.34	3	\$ 10.00	\$ 30.00
Filtro en Y 1" Ac. Carbono. ANSI B16.34	2	\$ 5.00	\$ 10.00

CONTINUACIÓN DE TABLA 3.3			
Trampa de vapor FT14-14 3/4" / Flotador. Embridado - Spirax Sarco	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Válvula auto-controlada KA33 DN25 Ac. Carbono / SA121 - Spirax Sarco	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Válvula auto-controlada KA33 DN25 Ac. Carbono / SA121 - Spirax Sarco	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Válvula auto-controlada KX43 DN25 Ac. Carbono / SA121 - Spirax Sarco	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Válvula auto-controlada KX43 DN25 Ac. Carbono / SA121 - Spirax Sarco	2	\$ 500.00	\$ 1000.00
Válvula solenoide EV220B 1" NPT1 / ASME B1.20.1. Latón - Danfoss	9	\$ 500.00	\$ 4500.00
Válvula solenoide EV220B 3/4" NPT3/4 / ASME B1.20.1. Latón - Danfoss	2	\$ 500.00	\$ 1000.00
Interruptor de nivel Pointek CLS 300 Capacitivo / ProfiBUS PA - Siemens	2	\$ 544.00	\$ 1088.00
Sensor de temp. SITRANS TF RTD (PT100) / HART - Siemens	5	\$ 500.00	\$ 2500.00
PLC S7-200 / CPU 224 / RS-485 - Siemens	1	\$ 575.00	\$ 575.00
Módulo de salidas digitales EM222 / 8 salidas - Siemens	1	\$ 167.00	\$ 167.00
Total			\$ 15657.00
* Usando una contingencia de 12%			\$ 17535.84

3.1.4 Equipos

Los costos de los equipos utilizados en el proceso de elaboración de bebidas fermentadas como bombas, agitadores e intercambiador de calor se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Intercambiador de placas Alfa Laval M3-Base Line / 14 placas	1	\$ 4030.00	\$ 4030.00
Bomba dosificadora Prominent Sigma 3 070410/ 7bar / 580l/h	1	\$ 3640.00	\$ 3640.00
Bomba centrífuga Calpeda C 222E-60 / 22,5m / 1,5 m ³ /h	1	\$ 1500.00	\$ 1500.00
Agitador turbina axial AGITACER 0,5 HP con tapa bridada 120 L	1	\$ 2950.00	\$ 2950.00
Agitador turbina axial AGITACER 0,5 HP con tapa bridada 220 L	1	\$ 2980.00	\$ 2980.00
Total			\$ 15100.00
* Usando una contingencia de 12%			\$ 16912.00

3.1.5 Sistema eléctrico

Los costos estimados de los materiales involucrados en la instalación del sistema eléctrico para accionamiento de motores y válvulas solenoides se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Cables XHHW 2,5 mm ² x 1m	100	\$ 0.50	\$ 50.00
Conduit PVC serie liviana 15mm x 1m	10	\$ 5.00	\$ 50.00
Interruptores Termomagnéticos	4	\$ 150.00	\$ 600.00
Contactores	2	\$ 20.00	\$ 40.00
Total			\$ 740.00
* Usando una contingencia de 12%			\$ 828.80

3.2 Costos de fabricación y montaje

Para el estimado de costos de la fabricación y montaje de las máquinas y sistemas de tuberías y eléctricos se consideró el tiempo necesario para cada tarea y la cantidad de personas involucradas en cada actividad. Además se consideró un 10% de contingencias. Para el costo de horas hombre se consideró personal capacitado en trabajo metalmeccánico y el sueldo promedio mensual que perciben. Las horas trabajadas se consideran 8 horas por día y al mes se trabajan 20 días. El estimado de costos se presenta en la Tabla 3.6. Con esta información el costo de horas hombre se puede estimar de la siguiente manera:

$$C_{H/h} = \frac{14 \cdot S/.2500}{12 \text{ meses}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hora}} = S/.18,20$$

Tabla 3.6

Descripción	Cantidad personal	Horas	Precio unitario	Precio total
Cortado y doblado de planchas y tubos	2	3	S/. 18.20	S/. 109.20
Fabricación de tapa	1	5	S/. 18.20	S/. 91.00
Ensamble del cuerpo y base del recipiente	2	2	S/. 18.20	S/. 72.80
Fabricación y montaje de patas al recipiente	1	2	S/. 18.20	S/. 36.40
Fabricación de baffles y montaje en el recipiente	2	2	S/. 18.20	S/. 72.80
Montaje del serpentín	1	2	S/. 18.20	S/. 36.40
Montaje de boquillas de conexión al recipiente	2	2	S/. 18.20	S/. 72.80
Montaje de aislamiento térmico y protección	2	6	S/. 18.20	S/. 218.40
Montaje de tapa y agitador	1	3	S/. 18.20	S/. 54.60
Montaje de equipos	2	8	S/. 18.20	S/. 291.20
Conexiones eléctricas e instrumentación	2	8	S/. 18.20	S/. 291.20
Total				S/. 1881.88

En la tabla 3.7 se presenta el estimado de costos para la soldadura en el montaje. Los costos unitarios traen como referencia los documentos de REPSOL.

Tabla 3.7

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Soldadura para montaje recipiente de calentamiento	29.58 m	S/. 0.67	S/. 19818.6
Soldadura para montaje recipiente de enfriamiento	25.91 m	S/. 0.67	S/. 17359.7
Corte y preparación de tuberías	200 und.	S/. 40.00	S/. 8000
Soldadura para empalmes de tuberías	250 und.	S/. 45.00	S/. 11250
Total			S/. 62071.13

3.3 Costos de diseño

Para el estimado del costo de diseño se consideró el tiempo necesario para cada actividad. Para el costo de horas ingeniero se consideró que el diseñador cobrará un total de S/. 3500 soles mensuales, el dibujante S/. 3000 al mes y el supervisor S/.1000 al mes. El estimado de costos se presenta en la Tabla 3.8. Los costos de horas-

ingeniero, horas-supervisor y horas-dibujante se calculan como se muestra a continuación:

$$C_{H/i} = \frac{14 \cdot S/.3500}{12 \text{ meses}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hora}} = S/.25,52$$

$$C_{H/s} = \frac{14 \cdot S/.1000}{12 \text{ meses}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hora}} = S/.7,30$$

$$C_{H/d} = \frac{14 \cdot S/.3000}{12 \text{ meses}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hora}} = S/.21,88$$

Tabla 3.8

Descripción	Cantidad personal	Horas	Precio unitario	Precio total
Pre-diseño	1	80	S/. 25.52	S/. 2041.60
Ingeniería y diseño	1	240	S/. 25.52	S/. 6124.80
Dibujo y elaboración de planos	1	20	S/. 21.88	S/. 437.60
Supervisión	1	20	S/. 7.30	S/. 146.00
Total				S/. 8750.00

3.4 Costo total

El costo estimado total del proyecto será el resultado de la suma de los subtotales de cada sub-total de los ítems mencionados anteriormente. Los valores estimados se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9

Descripción	Precio total	Precio total
Materiales	\$ 45143.81	S/. 121888.28
1.1 Recipiente de calentamiento	\$ 4933.58	S/. 13320.68
1.2 Recipiente de enfriamiento	\$ 4933.58	S/. 13320.68
1.3 Sistema de tuberías e instrumentación	\$ 17535.84	S/. 47346.77
1.4 Equipos	\$ 16912.00	S/. 45662.40
1.5 Sistema eléctrico	\$ 828.80	S/. 2237.76
Fabricación y montaje	\$ 23686.30	S/. 63953.01
Ingeniería y diseño	\$ 3564.81	S/. 9625.00
Total	\$ 72394.92	S/. 195466.29

CONCLUSIONES

1. En la producción de otro tipo de bebidas fermentadas, por las distintas etapas y/o tiempos de proceso, se requiere de una regulación tanto del calentamiento con vapor de agua de baja (2 bar y 120°C) y el de enfriamiento con fluidos refrigerados (mezcla de agua y propilenglicol al 20% de concentración), y por ello se cuenta con la instrumentación seleccionada para dicha tarea (sensores de nivel del tipo capacitivo, sensores de temperatura del tipo RTD, válvulas solenoides normalmente cerradas, válvulas de control para regular los flujos, y un PLC). El sistema considera los procesos de calentamiento y enfriamiento separados en dos módulos independientes.
2. Los recipientes de calentamiento y de enfriamiento fueron diseñados para una capacidad nominal de 280 litros y de 160 litros respectivamente. Además, el primero de ellos soporta una presión máxima nominal de 3,5 bar mientras que el segundo 3,8 bar. Ambos serán fabricados de chapa de acero inoxidable AISI 316 de 3 mm de espesor con un acabado superficial interior de 0,8 μm por condiciones de higiene. Además cada recipiente cuenta con un hand-hole de 8" que permitirá la limpieza interior y cumpla la función de carga de la malta en el recipiente de calentamiento y de levadura en el recipiente de enfriamiento. Los agitadores también son de acero inoxidable.
3. Cada recipiente cuenta con una tapa torisférica según norma DIN 28011, desmontable para realizar mantenimiento al interior. El material utilizado será acero inoxidable AISI 316 con un acabado superficial de 0,8 μm . Las tapas contarán con entradas bridadas para las conexiones de las tuberías de fluidos de vapor, agua destilada, refrigerante, válvulas de alivio y conexión del motor.
4. El diseño facilita la optimización del sistema de control y automatización con el uso de un controlador PID para regular los flujos de fluidos térmicos. Además podría incluirse un variador de frecuencia en el motor de los agitadores y regular la velocidad axial del fluido dentro de los recipientes, los caudales de las bombas y mejorar sus eficiencias.
5. El costo total referido a este proyecto ascienden a S/. 195'466,29 lo cual parece ser elevado. Por otra parte los costos de ingeniería del proyecto alcanza aproximadamente el 7% del costo total y el costo principal se da en los materiales e instrumentación. Si se planifica una fabricación en serie, el costo total del sistema de fermentación podría ser menor, considerando la versatilidad para producir diferentes bebidas en volumen comercial en aplicaciones de Restaurantes o bares.

BIBLIOGRAFÍA

- CHAVARREA ARÉVALO, MARÍA PAULINA
2011 ELABORACIÓN Y CONSERVACIÓN CON FINES AGROINDUSTRIALES Y COMERCIALES DE LA CHICHA DE JORA Y QUINUA EN LAS COMUNIDADES BENEFICIARIAS DEL PROYECTO "RUNA KAWSAY", Escuela de Ingeniería Agroindustrial-Universidad Nacional de Chimborazo-2011, p.p. 6 – 16
- FELIPE GUAMÁN POMA DE AYALA
Nueva Crónica y Buen Gobierno, Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia.
- ORIANA PARDO B.
Las chichas en el Chile Precolombino, Revista Chloris Chilensis, Año 7 N°2
- MINSA
2009 Tablas peruanas de composición de alimentos, Depósito Legal – Biblioteca Nacional del Perú - Lima, p.p. 44, 8va. Edición 2009
- ANGELICA BAYAS, DENISSE JINES, GALO SALAZAR, FREDDY DEL POZO
s/f MODELIZACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO EN LA DENSIDAD Y GRADOS BRUX DE LA CHICHA ELABORADA A PARTIR DE CEBADA GERMINADA ENRIQUECIDA CON MAÍZ AMARILLO, Artículo.
- DE FLORIO RAMÍREZ, ENRIQUE
1986 Estudio de la fermentación de la chicha de jora, Universidad Agraria La Molina.
- ALICIA HERNÁNDEZ
2003 Microbiología Industrial, Editorial: EUNED, p.p. 36 - 61, 1era. Edición 2003
- OWEN P. WARD
1989 Biotecnología de la fermentación, Editorial ACRIBIA S.A., 1 – 14, 47 – 88, 133 – 148, 249 – 255, 2da. Edición 1989
- ATKINSON, ROBERT
1986 Reactores Bioquímicos, Editorial Reverté S.A. Barcelona – España.
- J.S. HOUGH
Biotecnología de la cerveza y de la Malta, Editorial ACRIBIA S.A., p.p. 1 – 7, 133 – 156
- WULF CRUEGER, ANNELIESE CRUEGER
1993 Biotecnología: manual de microbiología industrial, Editorial ACRIBIA S.A., p.p. 67 – 170, Año: 1993
- VOGEL, HENRY / TODARO, CELESTE
2007 Fermentation and Biochemical Engineering Handbook, Segunda Ed.: Principles, Process Design and Equipment. Editor: William Andrew – EE.UU.
- DARWIN.USUAL
s/f Tema 11. Procesos fermentativos [en línea]
<<http://darwin.usal.es/profesores/pfmg/sefin/MI/WebPresentacionesPDF/Tema11Fermentadores.pdf>>
- BOULTON CHRIS / BROOKES PETER
2004 Brewing: Science and Practice. Editorial: CRC Press.
- BERNARDO UNGRÍA
1972 Tanque Autovaciante, España, N° 183224, Año 1972

- JOSÉ MORALES CERVANTES Y ÁNGEL JOSÉ ENRIQUE SOTO-PORRUA
2006 Cambiador de calor para tanque de fermentación, Oficina Española de Patentes y Marcas N° 2262421.
- CANALES HUMALA, M.T.
2011 Estudio de la estabilización de la chicha de jora. Tesis: Ingeniería de Industrias Alimentarias – Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- RICARDO LUGO AGUIRRE
2011 Fermentación de la chicha y la cerveza, Corporación universitaria Minuto de Dios, 01 de abril del 2011
- BACKUS S.A.
2012 Nuestras marcas, [en línea] ¿Cómo hacemos tus cervezas?
<<http://www.backus.com.pe/wb.website/como-hacemos-cerveza.html>>
- RAFO LEÓN, ANTONIO ZAPATA
2009 Chicha peruana, una bebida, una cultura, Universidad de San Martín de Porres, p.p. 8 – 70, Fondo Editorial 2009.
- ANDONI GARRITZ
1998 Química, Editorial: Pearson Prentice Hall, p.p. 829, 1era. Edición 1998
- RODOLFO GARIBAY
2004 Biotecnología alimentaria, Editorial Limusa, p.p. 282 – 296, 5ta. Edición 2004.
- MARIO TAPIA, ANA MARÍA FRIES
2007 Guía de Campo de los cultivos Andinos, FAO y ANPE – Lima, p.p. 69 – 74, Primera Edición
- JORGE VALERA: MEDICINA NATURAL
s/f Guía plantas medicinales [en línea], Chicha de Jora
<http://www.medicinasnaturistas.com/help/guia_plantas/chica_de_jora_usos_plantas_medicinales_propiedades_enfermedades.php>
- STEMM
s/f Tabla de densidades. [en línea]
< http://www.stemm.com/espanol/pdf/Tabla_densidades.pdf>
- HAYES, George
1992 “Manual de datos para ingeniería de los alimentos”. Editorial ACRIBIA S.A.,
- JAHESA
s/f “JAHESA – Aceros inoxidables” – Catálogo de productos
<<http://www.jahesa.com/jahesa.pdf>>
- ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Correlaciones de convección en equipos de transmisión de calor” - Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Convección con cambio de fase” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- ING. ENRIQUE BARRANTES
s/f “Aislamientos térmicos” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.
- ASHRAE
2009 “Handbook”. Chapter 31: Physical properties of secondary coolants (brines).

CERVECEROS CASEROS

2006 “Los glicoles empleados en refrigeración” [en línea]
<http://www.cerveceroscaseros.com.ar/interior/todoslostitulos.php?aj_go=more&id=1144208709&archive=&start_from=&ucat=29>

ING. ENRIQUE BARRANTES

s/f “Aspectos fluido – mecánicos de la convección” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.

ASME Sección VIII, DIV. 1
2013

ASME Sección II, Parte D
2013

DENNIS MOSS,

2004 “Pressure vessel design manual”. Tercera Edición. Burlington – USA. Editorial: Elsevier Inc.

ESPECIFICACIONES DE REPSOL YPF

2006 “Recipientes a presión”–Especificación de diseño ED-C-01.00-02. 2da. Edición.

TRUBOTVOD

s/f “Heads, DIN-ASME Standar” [en línea]
< http://www.trubotvod.ru/e-store/element/standarts/DIN_28013.pdf>

ING. JORGE RODRÍGUEZ

2010 “Resistencia de materiales 2” – Área de diseño. Sección Ingeniería mecánica.

WARREN McCABE, JULIAN C. SMITH.

2003 “Operaciones básicas de Ingeniería Química”. Volumen I. Editorial Reverté S.A.. Barcelona-España

COUPER, James R.

2005 Chemical Process Equipment: Selection and design. Segunda Edición. Editorial Elsevier Science Limited-Estados Unidos.

MARTÍN HERNÁNDEZ, PABLO

2007 “Predicción de datos de diseño en reactores provistos de turbina de flujo axial mediante CFD”. Universidad de Cataluña.

ING. ATURO MALDONADO

2012 “Compresores Centrífugos” – Separatas del curso de Turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo.

EUGENE F. MEGYESI,

1989 “Manual de recipientes a presión”. Primera edición. México D.F.: Editorial LIMUSA S.A.

MAFOREM

s/f Características de los accesorios para las tuberías [en línea]. Curso de tuberías para plantas de proceso.
<<http://es.scribd.com/doc/140834655/Http-Cetiquimica-files-wordpress-com-2011-02-Accesorios-Para-Tuberias-y-Bridas>>

ING. ESTELA ASSUREIRA

2011 Tablas y gráficos de Mecánica de fluidos. Capítulo 8 – Corrientes viscosas Internas

PAULSEN MOSCOSO, KURT FERNANDO

2011 “Elementos de máquinas – Uniones atornilladas”. Área de Diseño – Separatas del curso de Elementos de máquinas 1

ING. ENRIQUE BARRANTES

s/f “Intercambiador de placas (PHE)” – Separatas del curso MEC236 Transferencia de calor.

ABB

s/f “Aparatos de maniobra - Contactores y relés de sobrecarga” [en línea].
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/e699a7e5c3d8c9f2c125791b00302baa/\\$file/Aparatos%20de%20Maniobra.Contactores%20y%20Reles%20de%20sobrecarga_1TXA100024C0701-0709.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/e699a7e5c3d8c9f2c125791b00302baa/$file/Aparatos%20de%20Maniobra.Contactores%20y%20Reles%20de%20sobrecarga_1TXA100024C0701-0709.pdf)>

VÁLVULAS INDUSTRIALES

s/f Válvulas-Fittings-Cañerías-Accesorios [en línea]
< <http://www.valvulaslimaperu.com.pe/>>

SPIRAX SARCO

s/f “Safety Valves for use with steam, gas and liquids” – Catálogo

SPIRAX SARCO S.A.

s/f “FT14 Ball Float Steam Trap (Flanged)”–Nº de documento TI-S02-06 St Issue 7

SPIRAX SARCO

s/f “Self-acting temperature controls with 2-ports valves” – Catálogo

DANFOSS

s/f Válvula solenoide servo-accionada de 2/2 vías Tipo EV225B – Folleto Técnico. [en línea]
<<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.300.E2.05.pdf>>

DANFOSS

s/f Válvula solenoide servo-accionada de 2/2 vías Tipo EV225B – Catálogo. [en línea]
<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/ES_Steam-valve-insert_LOW.pdf>

DANFOSS

s/f Válvula solenoide servo-accionada de 2/2 vías Tipo EV220B – Folleto Técnico [en línea].
<<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.200.D6.05.pdf>>

DANFOSS

s/f Electroválvulas servoaccionadas de 2/2 vías. Modelo EV220B 15-50 Conexión NPT. – Especificaciones técnicas [en línea]
<<http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/ICPD200DN105.pdf>>

DANFOSS

s/f Cryogenic and Liquid CO₂ Valves [en línea]
<<http://www.ascovalve.com/Common/PDFFiles/Product/CryogenicR3.pdf>>

SIEMENS

s/f Temperaturas elevadas, condiciones rudas – Pointek CLS300. Catálogo [en línea]
<http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/sc/pi/Documentu20Brochures/CLS300_flyer_sp.pdf>

SIEMENS

s/f Medida de temperatura – catálogo.
<http://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap02.pdf>

SIEMENS

s/f SIMATIC S7-200. Tecnología de control al máximo nivel. [en línea]
<<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Document/s/S7200-CAT.PDF>>

FRANCISCO CARRETERO CASADO,

2006 “Innovación tecnológica en la industria de bebidas”. Proyecto Final de carrera. Escuela Universitaria de ingeniería técnica industrial de Barcelona. Parte I: Procesos de fabricación de bebidas alcohólicas.

RUTILO ANTONIO SANTANA RAMÍREZ,

2009 “Análisis comparativo de soportes tipo IPR para recipientes sujetos a presión”.

CLAUDIO GELMI WESTON,

2006 Fundamentos de operaciones unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química.

ING. JOAO DE ALVARENGA BARRETTO / ING. GUILHERME SASSA MAROCCHIO
“SEMCO Soluções em agitação”

s/f “Mixing and agitation” [en línea]. Consulta: 15 de marzo de 2013.
<http://www.pacontrol.com/process-information-book/Mixing%20and%20Agitation%2093851_10.pdf>

ERAZO SORIA, PABLO FRANCISCO / VIZUETE BENÍTEZ, RICARDO JAVIER

2011 “Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 L”.

EISENKRAETZER, Detlef / HAUG, Andreas

2007 “Agitador”. Oficina Española de patentes y marcas. Nº publicación: 2281861.

ALFA LAVAL

2013 “Close at hand – Components and solutions for hygienic use, 2012/2013” – Handbook

PROMINENT

s/f “Dosificación segura, precisa y económica – Bombas dosificadoras de baja presión de hasta 1000 L/h”

CALPEDA

2012 Centrifugal Pumps with open impeller – Modelo C 60Hz. Catálogo [en línea]
<<http://it.calpeda.com/file/e97756159f06a77f0175a1f79cd149df.pdf>>