

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
NOMENCLATURA	x
1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	4
1.2 OPORTUNIDAD.....	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 ALCANCES.....	5
1.4.1 Alcances del software.....	6
1.5 METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR.....	7
2 ASPECTOS TEÓRICOS	9
2.1 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.	9
2.2 BIORREACTORES DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA:	10
2.2.1 Características generales	10
2.2.2 Elementos constituyentes.....	10
2.2.3 Materiales de fabricación.....	11
2.2.4 Cultivo discontinuo	12
2.3 CINÉTICA MICROBIANA	12
2.4 APLICACIONES DE PRINCIPIOS MECÁNICOS.....	14
2.4.1 Balance de masa.....	14
2.4.2 Balance de energía	15
2.5 PROPIEDADES DEL MOSTO.....	17
2.6 ESTANQUES AGITADOS.....	18

2.6.1	Deflectores.....	18
2.6.2	Impulsores	19
2.6.3	Potencia de agitación	19
2.7	ESTANQUES A PRESIÓN.....	21
2.7.1	Reglamento Nacional	21
2.7.2	Noma ASME Sección VIII División 1.....	21
2.8	CAMISA DE REFRIGERACIÓN DE HOYUELOS	26
2.9	SOFTWARE DE DESARROLLO	27
2.10	CARACTERÍSTICAS DE AUTODESK® INVENTOR®.....	28
2.10.1	Autodesk® Inventor® API.....	29
3	MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS.....	31
3.1	INTRODUCCIÓN	31
3.2	PROPIEDADES DEL MOSTO.....	31
3.2.1	Densidad.....	31
3.2.2	Conductividad térmica	33
3.2.3	Calor específico	35
3.2.4	Difusibilidad térmica	36
3.2.5	Viscosidad dinámica.....	37
3.3	ESTANQUES A PRESIÓN.....	39
3.3.1	Presión admisible máxima de trabajo para estanques atmosféricos.....	39
3.3.2	Esfuerzo admisible máximo.....	40
3.3.3	Espesor de coraza cilíndrica.....	40
3.3.4	Casquillos conformados con presión en el lado cóncavo.....	41
3.3.5	Detalle de uniones entre casquillos y cilindro.....	50
3.4	VOLUMEN DEL ESTANQUE	52
3.5	ESTANQUES AGITADOS.....	54
3.5.1	Potencia de agitación	54
3.5.2	Geometría recomendada.....	56
3.6	CAMISA DE REFRIGERACIÓN DE HOYUELOS	57

3.6.1	Presión y dimensiones	57
3.6.2	Coeficiente global de transferencia de calor.....	60
3.7	CINÉTICA DEL BIORREACTOR DISCONTINUO.....	64
4	CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE	70
4.1	Diseño de biorreactor	71
4.1.1	Cálculo del estanque.....	72
4.1.2	Cálculo del sistema de agitación.....	75
4.1.3	Cálculo de la camisa de refrigeración de hoyuelos.....	76
4.2	SIMULACIÓN DE BIORREACTOR	77
4.2.1	Alcances de la simulación	77
4.2.2	Simulación estática	78
4.2.3	Simulación sobre diseño.....	80
4.3	PROPIEDADES TERMO-FÍSICAS	81
4.4	INFORMACIÓN.....	82
4.5	INSTALACIÓN	82
4.6	BASES DE DATOS.....	83
4.7	COMPILADOR.....	83
4.8	EXPORTACIÓN A AUTODESK® INVENTOR®	83
4.9	EXPORTACIÓN DE DATOS A MICROSOFT® EXCEL®.....	85
4.10	RESULTADOS OBTENIDOS	85
5	CONCLUSIONES.....	86
	BIBLIOGRAFÍA	89
	ANEXOS.....	91
ANEXO A	EJEMPLO DE CÁLCULO	92
A.1	Cálculo del estanque.....	92
A.2	Cálculo del sistema de agitación	95
A.3	Cálculo de la camisa de refrigeración de hoyuelos	98
A.4	Cálculo de la concentración de contenidos del mosto, en un instante determinado... 99	
ANEXO B	CROQUIS DE EQUIPO EXPORTADO A AUTODESK® INVENTOR®.....	107

ANEXO C	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS	109
ANEXO D	COMPROBACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS.....	115
D.1	Análisis de las propiedades del mosto en relación a la temperatura.....	115
D.2	Análisis de contenidos del mosto en una simulación de un biorreactor discontinuo.	117
ANEXO F	NORMAS UTILIZADAS	118
ANEXO G	MANUAL DEL SOFTWARE	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Modelos de crecimiento microbiano	12
Tabla 2.2 Métodos AOAC para la determinación de contenidos en sustancias orgánicas.....	18
Tabla 2.3 Tipos de impulsores comunes.....	20
Tabla 2.4 Características de impulsores comunes	20
Tabla 2.5 Máxima eficiencia de unión permisible	26
Tabla 3.1 Densidad de contenidos de materia orgánica.....	32
Tabla 3.2 Resumen - Detalle del cálculo de la densidad del mosto.	33
Tabla 3.3 Conductividad térmica de contenidos de materia orgánica	34
Tabla 3.4 Resumen - Detalle del modelo de cálculo de la conductividad térmica para el mosto	35
Tabla 3.5 Calor específico de contenidos de materia orgánica.....	36
Tabla 3.6 Resumen - Detalle del modelo para el cálculo del calor específico del mosto.....	36
Tabla 3.7 Resumen - Detalle del modelo de cálculo de la difusibilidad térmica para el mosto...	37
Tabla 3.8 Constantes para determinar la viscosidad de sustancias.....	38
Tabla 3.9 Resumen - Detalle del modelo de cálculo de la viscosidad dinámica del mosto.....	39
Tabla 3.10 Resumen - Detalle cálculo de presión admisible máxima de trabajo.....	40
Tabla 3.11 Resumen - Detalle cálculo del espesor de la coraza cilíndrica.....	41
Tabla 3.12 Resumen - Detalle cálculo del espesor del casquillo elipsoidal con dimensiones estándar.....	43
Tabla 3.13 Resumen - Detalle cálculo del espesor del casquillo toriesférico.	43
Tabla 3.14 Resumen - Detalle cálculo del espesor del casquillo hemisférico.....	44
Tabla 3.15 Resumen - Detalle cálculo del espesor del casquillo toricónico.....	46
Tabla 3.16 Resumen - Detalle cálculo del espesor del casquillo toricónico.....	47
Tabla 3.17 Resumen - Detalle cálculo del espesor de casquillos planos.	50
Tabla 3.18 Resumen - Detalle cálculo de la potencia de agitación	55
Tabla 3.19 Detalle cálculo de las dimensiones de la camisa de refrigeración	60
Tabla 3.20 Resumen - Detalle cálculo de coeficiente global de transferencia de calor.....	63
Tabla 3.21 Resumen - Detalle del cálculo de la cinética del biorreactor	68
Tabla A1 Resumen de las variables involucradas para el diseño del estanque.....	92
Tabla A2 Resumen de las variables involucradas para el diseño del sistema de agitación.....	96
Tabla A3 Resumen de las variables involucradas para el diseño de la camisa de refrigeración de hoyuelos.....	98
Tabla A4 Resumen de datos de la camisa de refrigeración.....	99
Tabla A5 Parámetros cinéticos de crecimiento microbiano.....	100
Tabla A6 Valores de parámetros del proceso recursivo de cálculo durante la fermentación alcohólica.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Principales elementos de un biorreactor	11
Figura 2.2 Número de potencia para impulsores comunes.....	19
Figura 2.3 Efecto de la potencia en sistemas de doble impulsor	21
Figura 2.4 Contenidos generales de la Norma ASME Sección VIII División 1.....	22
Figura 2.5 Esfuerzo admisible máximo para aceros de alta aleación en función de la temperatura de diseño del metal	24
Figura 2.6 Ubicación de las categorías de unión.....	25
Figura 2.7 Ventana de tabla de parámetros para la modificación directa de todas las dimensiones de la pieza o ensamble en Inventor®.....	28
Figura 3.1 Dimensiones principales de casquillos típicos	42
Figura 3.2 Uniones para casquillos planos.....	50
Figura 3.3 Detalle de uniones con espesores de casquillo diferentes del espesor de la coraza cilíndrica.....	51
Figura 3.4 Detalle de uniones traslapadas	52
Figura 3.5 Potencia de agitación requerida en relación a la temperatura de fermentación variable	55
Figura 3.6 Esquema del sistema de agitación para un reactor de dos impulsores.	57
Figura 3.7 Área de la placa que sostiene el hoyuelo	58
Figura 3.8 Dimensiones para el diseño de camisas de refrigeración de hoyuelos	62
Figura 4.1 Distribución de ventanas del software	70
Figura 4.2 Panel de navegación del software y Formulario de ingreso de registro de proyecto del software	71
Figura 4.3 Ventana general del software	72
Figura 4.4 Diagrama para avanzar en el cálculo, utilizando las secciones numeradas	73
Figura 4.5 Sección numerada para definir eficiencia de unión.....	74
Figura 4.6 Algunos modelos matemáticos, para el cálculo de la velocidad específica de crecimiento, presentes en DBR Software	78
Figura 4.7 Concentración de contenidos del mosto en una simulación sobre diseño, con los parámetros de diseño proporcionados en el Anexo A Ejemplo de cálculo	79
Figura 4.8 Sección “Propiedades de la camisa y del refrigerante”, presente en la herramienta de simulación sobre diseño	80
Figura 4.9 Gráfico viscosidad versus temperatura, de cuatro materias orgánicas, registradas en DBR Software	81
Figura 4.10 Esquema de acceso al formulario de ingreso de materia orgánica	82

Figura 4.11 Ejemplos de ilustraciones renderizadas de diseños de biorreactores generados por DBR Software exportados a Autodesk® Inventor®	84
Figura B1 Croquis del diseño calculado por DBR Software y exportado a Autodesk® Inventor®.....	108
Figura C1 Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la densidad del mosto. Diagrama de flujo del modelo para el cálculo del calor específico del mosto. Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la difusibilidad térmica del mosto. Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la viscosidad dinámica del mosto.....	109
Figura C2 Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la difusibilidad térmica del mosto. Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la viscosidad dinámica del mosto.....	109
Figura C3 Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la conductividad térmica del mosto. Diagrama de flujo, del modelo para el cálculo de la geometría del casquillo elipsoidal.....	110
Figura C4 Diagrama de flujo, para el cálculo de la presión admisible máxima de trabajo. Diagrama de flujo, para el cálculo del espesor de la coraza cilíndrica. Diagrama de flujo, para el cálculo del espesor del casquillo toriesférico.....	110
Figura C5 Diagrama de flujo, para el cálculo de espesor de la corona de casquillos toricónicos. Diagrama de flujo, para el cálculo del espesor casquillos toriesféricos. Diagrama de flujo, para el cálculo del espesor del nudillo de casquillos toricónicos.....	111
Figura C6 Diagrama de flujo, para el cálculo de espesor de casquillos planos. Diagrama de flujo, para el cálculo de la potencia de agitación.....	111
Figura C7 Diagrama de flujo, para el cálculo de espesor de casquillos toriesféricos con $t_h/L \geq 0,002$	112
Figura C8 Primera comprobación del diámetro de unión del hoyuelo. Segunda comprobación del diámetro de unión del hoyuelo.....	113
Figura C9 Diagrama para la determinación del coeficiente global de transferencia de calor.....	114
Figura D1 Comprobación del comportamiento de las propiedades termo-físicas del mosto, en la medida que varía la temperatura, en relación al agua.....	116
Figura D2 Comparación de concentración de contenidos del mosto, durante la fermentación alcohólica, entre la curva generada por DBR Software y la curva obtenida por Jin (2010).....	117
Figura F1 Primera página de norma ASME PTB-4-2012 ASME Sección VIII División 1 Manual de problemas ejemplo, ASME BPE-2012 Equipos de bio-procesos y ASME-2010 Sección II Parte D Propiedades (Métrico)	118
Figura F2 Primera página de norma ASHRAE-2009 Manual de fundamentos Capítulo 30 Propiedades térmicas de los refrigerantes y ASHRAE-2006 Manual de refrigeración Capítulo 9 Propiedades térmicas de los alimentos.....	119

NOMENCLATURA

a	=	(Subíndice) Contenido de ceniza de la materia orgánica.
a_d	=	Ancho de deflector, m.
A_{asb}	=	Área admisible de soporte para cada hoyuelo, m ² .
A_c	=	(Sección 3.2.5) Constante del soluto, m/s ² .
A_c	=	(Sección 3.6.1) Área que soporta cada hoyuelo, m ² .
A_{max}	=	Área máxima de flujo dentro de la camisa de hoyuelos, m ² .
A_{min}	=	Área mínima de flujo dentro de la camisa de hoyuelos, m ² .
A_{sb}	=	Área de la soldadura de la unión en el hoyuelo, m ² .
A_t	=	Área de transferencia de calor, m ² .
A_w	=	Primera constante del solvente, kg·m/s.
A_x	=	Área de la soldadura paralela al eje de la unión, m ² .
B_c	=	Segunda constante del soluto, K.
B_w	=	Segunda constante del solvente, K.
c	=	(Subíndice) Contenido de carbohidratos de la materia orgánica.
c_{mol}	=	1 mol de hexosa, 0,18015768 kg/mol
C_c	=	(Sección 3.2.5) Concentración del soluto, kg soluto/m ³ solvente.
C_c	=	(Sección 3.6.1) Factor según tipo de unión de punto. Tiene un valor de 2,1, para conjuntos soldados con extremos fijos, con espesor no mayor 11 mm, y 2,2 para conjuntos con las mismas características, pero con espesor mayor a 11 mm.
C_p	=	Calor específico de la materia orgánica, kJ/ (kg·K).
C_{pE}	=	Calor específico del etanol, kJ/ (kg·K).
C_{pi}	=	Calor específico del componente de la materia orgánica i, kJ/ (kg·K).
$C_{p_{re}}$	=	Calor específico del refrigerante a la entrada de la camisa, kJ/ (kg·K).
$C_{p_{rs}}$	=	Calor específico del refrigerante a salida de la camisa, kJ/ (kg·K).
d	=	Longitud menor interior del conjunto casquillo-cilindro, m.
d_o	=	Diámetro equivalente externo del hoyuelo m.
d_{sb}	=	Diámetro de la soldadura de la unión, m.
D	=	(Sección 3.5.2) Diámetro interior del estanque, m.
D	=	(Sección 3.3.4.1) Diámetro interior de la falda de la casquillo, m.
D_1	=	Diámetro del impulsor inferior, m.
D_2	=	Diámetro del impulsor medio, m.
D_3	=	Diámetro del impulsor superior, m
D_i	=	(Sección 3.5.1) Diámetro de impulsor, m.

D_i	=	(Sección 3.3.4.4) Diámetro interior de la porción cónica de un casquillo toricónico en el punto de tangencia hacia el nudillo, medido perpendicularmente al eje del cono, m.
dS/dt	=	Masa de sustrato acumulado en el biorreactor en un tiempo determinado, kg/s.
dX/dt	=	Biomasa acumulado en el biorreactor en tiempo determinado, kg/s.
dP/dt	=	Masa de producto acumulado en el biorreactor en un tiempo determinado, kg/s.
E	=	Eficiencia de unión.
E_T	=	Módulo de elasticidad, Pa.
f	=	(Subíndice) Contenido de fibras de la materia orgánica.
f_e	=	Factor de ensuciamiento dentro de la camisa de refrigeración, $m^2 \cdot K/W$. Para sistemas con camisas de refrigeración se estima en $0,00018 m^2 \cdot K/W$
f_i	=	Factor de ensuciamiento dentro del estanque de fermentación, $m^2 \cdot K/W$. Para fluidos orgánicos se estima en $0,00018 m^2 \cdot K/W$
f_j	=	(Sección 3.7) Factor de nulidad del contenido j. Para el contenido de materia orgánica cuya fracción de masa presente en el mosto es mayor de cero, tiene un valor de 1, en el caso que no exista está este contenido en el medio de fermentación, el factor de nulidad de contenido es igual a 0.
F_w	=	Caudal de refrigerante que ingresa a la camisa, m^3/s .
g	=	Aceleración de gravedad, m/s^2 .
g	=	(Subíndice) Contenido de grasa de la materia orgánica.
h	=	(Sección 3.3.4.1) Mitad del eje menor (profundidad de la casquillo menos la falda), m.
h	=	(Sección 3.5.2) Altura del líquido dentro del estanque, m.
h_d	=	Altura del deflector, m.
\bar{h}_e	=	Coefficiente pelicular convectivo medio de la pared de la camisa de refrigeración, $W/(m^2 \cdot K)$.
h_f	=	Altura de fondo conformado, m.
\bar{h}_i	=	Coefficiente pelicular convectivo medio al interior del estanque, $W/(m^2 \cdot K)$.
H	=	Altura de nivel del mosto, m.
j_w	=	Factor de transferencia de calor de Coburn.
k	=	Conductividad térmica del mosto, $W/(m \cdot K)$.
k_E	=	Conductividad térmica del etanol, $W/(m \cdot K)$.
k_j	=	Conductividad térmica del contenido de la materia orgánica j.
k_m	=	Conductividad térmica del metal del estanque, $W/(m \cdot K)$.
K_s	=	Constante de saturación, kg sustrato/ m^3 solvente.
K_{si}	=	Parámetro inhibidor de sustrato, kg/m^3 .

L	=	Radio interno de corona, m.
L_{asb}	=	Carga admisible en la unión del hoyuelo, N.
L_{sb}	=	Carga total producida en la unión por la presión dividida en el área soportada por cada hoyuelo, N.
m	=	Razón entre el espesor requerido de la coraza cilíndrica sin costura t' , con el espesor nominal de la coraza cilíndrica t .
m_s	=	Tasa de mantenimiento del sustrato.
M	=	Factor geométrico para casquillos y secciones toriesféricas.
n	=	Cantidad de contenidos no nulos.
N	=	Velocidad angular del eje de agitación, rad/s.
NF	=	Número de hoyuelos, por cada fila.
N_{hoyu}	=	Número de hoyuelos en una camisa de refrigeración.
N_p	=	Número de potencia.
N_u	=	Número de Nusselt en el interior del estanque.
N_{u_w}	=	Número de Nusselt en el interior de la camisa.
p	=	(Subíndice) Contenido de proteína de la materia orgánica.
p	=	Concentración de producto en el mosto, kg producto/ m ³ .
p_d	=	Distancia entre la pared del estanque y el deflector, m.
p_h	=	Distancia horizontal entre uniones de punto, m.
p_m	=	Parámetro inhibidor de producto, kg/m ³ .
p_{max}	=	Distancia mayor entre uniones de punto, m.
p_v	=	Distancia vertical entre uniones de punto, m.
P	=	Presión admisible máxima de trabajo, Pa.
P_a	=	(Sección 3.5.1) Potencia de agitación de un impulsor específico, kW.
P_a	=	(Sección 3.3.1) Presión atmosférica, Pa.
P_c	=	Presión de trabajo admisible máxima, Pa.
P_{ck}	=	Presión interna que resulta en la falla del nudillo de la coraza, Pa.
P_e	=	Presión interna en la cual se espera que se produzca el pandeo elástico, Pa.
P_{r_w}	=	Número de Prandtl en el interior de la camisa.
P_y	=	Presión interna en la cual se espera que se produzca la deformación irreversible en el límite elástico del material, Pa.
q_p	=	Velocidad específica de formación de producto kg producto/ (kg biomasa · s).
Q_m	=	Calor generado por el metabolismo de los microorganismos, al fermentar un mol de hexosas, 98,324 kJ/mol.
\dot{Q}_m	=	Flujo de calor generado por el metabolismo de los microorganismos, al fermentar un mol de hexosas, kW.

\dot{Q}_r	=	Flujo de calor de refrigeración, kW.
Q_w	=	Caudal de refrigerante que pasa por cada intersticio entre hoyuelos, m ³ /s.
r	=	Radio de nudillo, m.
R	=	Radio interior del cilindro del estanque, m.
Re_i	=	Número de Reynolds para el impulsor i.
Re_w	=	Número de Reynolds dentro de la camisa de refrigeración.
R_o	=	Radio externo del estanque, m.
s	=	Concentración del sustrato limitante, kg sustrato/ m ³ solvente.
S	=	(Sección 3.7) Masa de sustrato en el mosto, kg.
S	=	(Sección 3.3.3) Esfuerzo máximo admisible, Pa.
S_1	=	Distancia entre el impulsor inferior y fondo del estanque, m.
S_2	=	Distancia entre el impulsor inferior y el impulsor medio, m.
S_3	=	Distancia entre el impulsor medio y el impulsor superior, m.
S_c	=	Esfuerzo admisible máximo en la camisa de refrigeración de hoyuelos, Pa.
S_e	=	Esfuerzo de pandeo elástico, Pa.
S_i	=	(Sección 3.5.1) Distancia entre impulsores, m.
S_i	=	(Sección 3.7) Masa de sustrato inicial en el mosto, kg.
S_y	=	Esfuerzo en el límite elástico, MPa.
t	=	Espesor mínimo requerido para corazas cilíndrica, m.
t'	=	Espesor requerido de coraza cilíndrica sin costura con $E = 1$, m.
t_a	=	Espesor adicional por posible efecto de corrosión, m.
t_c	=	(Sección 3.3.4.4) Mínimo espesor requerido para la zona cónica del casquillo toricónico, m.
t_c	=	(Sección 3.3.3) Espesor mínimo de corazas cilíndricas considerado para las uniones circunferenciales bajo presión interna, m.
t_c	=	Espesor mínimo de placa de camisa de hoyuelos, m.
t_h	=	Espesor mínimo de casquillos de cabezas o fondo, m.
t_h^i	=	Mínimo espesor de casquillo elipsoidal o toriesférico, calculado en la iteración i, m.
t_h^{i+1}	=	Mínimo espesor de casquillo elipsoidal o toriesférico, calculado en la iteración i+1, donde $t_h^{i+1} > t_h^i$, m.
t_l	=	Espesor mínimo de corazas cilíndricas considerado para las uniones longitudinales bajo presión interna, m.
t_r	=	Mínimo espesor requerido para el nudillo de un casquillo toricónico, m.
T	=	Temperatura del mosto, °C.
T_o	=	Temperatura de referencia, 0°C.

TC	=	Tipo de cabeza.
T_{me}	=	Temperatura media del refrigerante, °C.
T_{re}	=	Temperatura de entrada del refrigerante, °C.
T_{rs}	=	Temperatura de salida del refrigerante, m ² .
u	=	(Sección 3.6.2) Velocidad máxima del flujo dentro de la camisa de refrigeración, m/s.
u	=	(Sección 2.4.2) Variación de la energía interna, kJ.
v	=	Velocidad, m/s.
V	=	Volumen de mosto en el biorreactor, m ³ .
V_h	=	Volumen del fondo conformado, m ³ .
w	=	Altura de impulsor, m.
w	=	(Subíndice) Contenido de agua de la materia orgánica.
\dot{W}_m	=	Potencia del motor, kW.
x	=	(Sección 2.4.1.1) Concentración de biomasa del volumen de control, kg biomasa/ m ³ .
x	=	(Sección 3.3.5.2) Ancho de falda de unión casquillo-cilindro, m.
x'	=	Alto de cordón de soldadura, para unión traslapada, considerando soldadura doble, m.
x''	=	Alto de cordón de soldadura, para unión traslapada, considerando soldadura única, m.
x_c	=	Concentración del soluto kg soluto/kg solvente.
x_i	=	Fracción másica del contenido i (no considera CO ₂), kg contenido i/ kg total.
x_{ii}	=	Fracción másica inicial del contenido i (no considera CO ₂), kg contenido i/ kg total.
x_j	=	Fracción de masa del contenido de mosto j, kg contenido j/ kg materia orgánica.
x_j^v	=	Fracción de volumen del contenido j.
y	=	Alto de falda de unión casquillo-cilindro, m.
y'	=	Distancia entre el vértice de la coraza cilíndrica y la línea tangente del casquillo del cilindro, m.
y_c	=	Espesor del cordón de soldadura, en los extremos de la camisa, m.
y_F	=	Espesor de garganta de filete, m.
$Y_{p/s}$	=	Factor de rendimiento del producto en sustrato, kg producto / kg sustrato.
$Y_{p/x}$	=	Factor de rendimiento del producto en biomasa, kg producto / kg biomasa.
$Y_{x/s}$	=	Factor de rendimiento de biomasa en sustrato, kg células / kg sustrato.
z	=	(Sección 2.4.2) Altura de nivel de líquido, m.

z	=	(Sección 3.3.5.2) Diferencia entre ejes en la unión casquillo-cilindro, m.
z'	=	Distancia entre vértices de casquillo y cilindro, para unión traslapada, considerando soldadura doble, m.
z''	=	Alto del cilindro formado en el casquillo, para la unión traslapada, considerando soldadura única, m.
α	=	Ángulo de ataque o de inclinación, corresponde a la mitad del ángulo de un cono de la línea central del casquillo °.
α_d	=	Difusibilidad térmica del mosto, m ² /s.
β	=	Velocidad de muerte de biomasa, s ⁻¹ .
ε	=	Porosidad de la materia orgánica.
θ	=	Variación de temperatura, °C.
μ	=	Viscosidad dinámica de la solución, Pa·s.
μ_m	=	Velocidad específica de crecimiento máxima, s ⁻¹ .
μ_p	=	Viscosidad dinámica en la pared interior del estanque.
μ_w	=	Viscosidad dinámica del agua, Pa·s.
μ_x	=	Velocidad específica de crecimiento, s ⁻¹ .
ρ	=	Densidad del mosto, kg/m ³ .
ρ_E	=	Densidad del etanol, kg/m ³ .
ρ_j	=	Densidad de la fracción de masa del contenido del mosto j, kg/m ³ .
ρ_{r_e}	=	Densidad del refrigerante a la entrada de la camisa, kg/m ³ .
ρ_{r_s}	=	Densidad del refrigerante a la salida de la camisa, kg/m ³ .
ρ_w	=	Densidad del solvente kg solvente / m ³ solvente.
Δp	=	Producto producido, kg producto / m ³ .
Δs	=	Sustrato consumido, kg sustrato / m ³ .
Δt	=	Periodo de tiempo, s.
Δx	=	Biomasa producida, kg biomasa / m ³ .