



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR
ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA
MULTIPLICACION DEL HONGO *TRICHODERMA SP*”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO QUIMICO

PATRICIA ELIZABETH JIMENEZ MONTE

VALERIA ELIZABETH PANTOJA PONCE

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por iluminar nuestras vidas y ser nuestra constante fuerza para llegar a esta nuestro mayor anhelo.

A nuestros Padres y Hermanos que con su apoyo infinito nos brindaron su amor en cada instante de nuestra vida.

Nuestros agradecimientos profundos a la Dra. Marcia Pesantez, Ing. Rosita Castro, Dr. Gerardo León, Ing. Mario Villacrés quienes a más de brindarnos todo el apoyo y colaboración para el desarrollo de esta investigación nos entregaron su amistad y confianza absoluta.

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH y al Departamento de Sanidad Vegetal, Sección de Fitopatología y también a todos quienes laboraban, en especial al Sr. Antonio Ramírez con quien compartimos innumerables momentos de trabajo y de alegría.

DEDICATORIA

Yo, Valeria Elizabeth Pantoja Ponce dedico primeramente a Dios por ser quien ilumina y guía mi camino. A mis padres Gustavo Pantoja y Magdalena Ponce a las personas que más amo quienes con su apoyo, paciencia y esfuerzo me han ayudado a desarrollarme como ser humano y profesional. A mis hermanos Gustavo y Mariuxi por su cariño incondicional en el transcurso de mi vida. Y a la Dra. Marcia Pesantez por ser más que una guía, una amiga que con su experiencia y paciencia me ayudo en el desarrollo de la tesis.

Yo, Patricia Elizabeth Jiménez Monte dedico especialmente a Dios por ser quien ilumina mi vida día tras día. A mi madre quien a pesar de tener tantas contrariedades me apoyado y a mi padre quien a pesar de que ahora ya no está conmigo, él con su paciencia y experiencia fue un pilar fundamental. A mi hermano y hermana por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional durante toda mi vida.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez

.....

.....

DECANO FAC.CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés

.....

.....

DIRECTOR ESC.ING.QUIMICA

Ing. Mario Villacrés

.....

.....

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo León

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tec. Carlos Rodríguez

.....

.....

DIRECTOR CENTRO INVESTIGACION

“Nosotras **PATRICIA ELIZABETH JIMENEZ MONTE Y VALERIA ELIZABETH PANTOJA PONCE**, autoras y ejecutoras de la presente tesis nos responsabilizamos de las ideas, pensamientos y resultados expuestos en el presente investigación, siendo la ESPOCH la dueña intelectual de la misma”

Patricia E. Jiménez Valeria E. Pantoja

INDICE DE ABREVIATURAS

A	Área de Transferencia de Calor
C_p	Capacidad calorífica
W	Caudal de aire en peso.
Q_s	Calor del sustrato
Q_a	Calor del arrocillo
Q_m	Calor de la melaza
Q_c	Calor de la cascarilla
Q_M	Calor del material
Q_A	Calor del agua
H	Coefficiente de convección
U	Coefficiente Global de Transferencia de Calor
K	Constante, típica para cada material, llamada <i>conductividad térmica</i> .
R	Constante universal de los gases
ρ	Densidad
E	Eficiencia de absorción
S	Esfuerzo del material
Q	Flujo de calor
ΔT	Gradiente de Temperatura
MLDT	Media Logarítmica de Temperatura
N	Número de esporas
P_w	Potencia necesaria para cada soplante.
P₁	Presión absoluta a la entrada

P_2	Presión absoluta a la salida
P_s	Presión de seguridad
P_o	Presión de operación
P_T	Presión total
r	Radio interno en pulgadas
q_r	Rapidez de calor
ΣR	Sumatoria de resistencias térmicas
T_s	Temperatura en la superficie del cuerpo.
T_{inf}	Temperatura del fluido lejos del cuerpo
t	Tiempo
W	Velocidad angular
N_A	Velocidad de transferencia de oxígeno

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJADE RESPONSABILIDAD	
INDICE DE CONTENIDO	
IDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE ECUACIONES	
INDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	i
SUMMARY	I
INTRODUCCIÓN	III
ANTECEDENTES	V
JUSTIFICACION.....	VIII
OBJETIVOS	IX
CAPITULO I	
1 MARCO TEORICO	1
1.1 FERMENTACION	1
1.1.1 TIPOS DE FERMENTACIONES	1
1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS REACCIONES DE FERMENTACIÓN	2
1.1.2.1 SEGÚN EL AGENTE	2
1.1.2.2 SEGÚN EL CONSUMO DE OXÍGENO	3
1.2 FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO (FES).....	3
1.2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO	3
1.2.2 HISTORIA Y DESARROLLO DE LA FES.....	5
1.2.3 ASPECTOS BIOQUÍMICOS E INGENIERILES DE LA FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO	6

1.2.4 DIFERENCIAS ENTRE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO (FES) Y FERMENTACIÓN EN CULTIVO SUMERGIDO (FCS)	12
1.2.5 APLICACIONES DE LA FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO.....	13
1.3 TRICHODERMA SP.....	14
1.3.1 ORIGEN.....	14
1.3.2 IMPORTANCIA	14
1.3.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	15
1.3.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	16
1.3.5 IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIES DE TRICHODERMA SP.	17
1.3.6 ECOLOGÍA.....	17
1.3.7 MECANISMO DE CONTROL BIOLÓGICO.....	17
1.3.8 VENTAJAS.....	18
1.3.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL BIOFORMULADO EN SUSTRATO SÓLIDO A BASE DE TRICHODERMA HARZIANUM.....	19
1.3.9.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS	19
1.3.9.2 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.....	20
1.4 BIORREACTOR.....	21
1.4.1 FERMENTADORES DISCONTINUOS (BACH, LOTES)	23
1.4.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	23
1.4.1.2 VENTAJAS	24
1.4.1.3 DESVENTAJAS	24
1.4.1.4 PARTES PRINCIPALES DE UN BIORREACTOR CON AGITACION.....	25
1.4.1.4.1 SISTEMA DE AGITACION.....	25
1.4.1.4.1.1 PARTES DE UN SISTEMA DE AGITACIÓN	26
1.4.1.4.1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACION.....	32
1.4.1.4.1.3 POTENCIA REQUERIDA PARA ACTIVAR UN AGITADOR.....	33
1.4.1.4.2 TIPOS DE TAPAS	34
1.4.1.4.3 LOS DISPOSITIVOS DE ADICIÓN, EXTRACCIÓN Y CONTROL	36
1.4.1.4.3.1 TERMOCUPLAS	36
1.4.1.4.3.2 PH.....	39

1.4.1.4.3.3 HUMEDAD	39
1.4.1.4.3.3.1 HUMEDAD DE SOLIDOS	39
1.4.1.4.4 LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR ...	40
1.4.1.4.4.1 SERPENTINES DE TUBOS	40
1.4.1.4.4.2 CÁMARA DE CALEFACCIÓN	41
1.4.1.4.4.3 CAMARA DE EBULLICION	42
1.4.1.4.4.4 TIPOLOGÍA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN REACTOR.....	42
1.4.1.4.4.5 TRANSMISION DE CALOR POR CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN	42
1.4.1.4.4.6 SISTEMAS RADIALES – CILINDROS	44
1.4.1.4.4.7 EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL	46
1.4.1.4.5 SISTEMA DE AIREACION	48
1.4.1.5 PROPIEDADES QUE DEBEN TENER Y REQUISITOS QUE DEBEN LLENAR LOS MATERIALES	51
1.4.1.6 DEFINICIONES	52
1.4.2 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL FERMENTADOR	54
1.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL FERMENTADOR	55
1.4.3.1 CALCULO DE LA ALTURA DEL SOLIDO	55
1.4.3.2 CALCULO DEL VOLUMEN DEL SUSTRATO A OCUPAR	55
1.4.3.3 CALCULO DE LA PRESIÓN TOTAL	56
1.4.3.4 CALCULO DEL ESPESOR DEL CASCO CILINDRICO CON MARGEN DE CORROSION	56
1.4.3.5 CALCULO DEL ESPESOR DE LA TAPA PLANA CON MARGEN DE CORROSION	57
1.4.3.6 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN	58
1.4.3.7 CALCULO DE LA ALTURA DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN	58
1.4.3.8 CALCULO DE LA ALTURA DE CÁMARA DE CALEFACCIÓN	58
1.4.3.9 CALCULO DEL VOLUMEN REAL DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN.....	59
1.4.3.10 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN	59
1.4.3.11 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR DEL SUSTRATO	61
1.4.3.12 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA FINAL DEL AGUA.....	62
1.4.3.13 CALCULO DE LA RAPIDEZ DE CALOR	63

1.4.3.14 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR.....	63
--	----

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL	64
-----------------------------------	-----------

2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS	64
-------------------------------------	-----------

2.1.1 MÉTODOS.....	64
--------------------	----

2.1.1.1 INDUCTIVOS.....	64
-------------------------	----

2.1.1.2 DEDUCTIVOS.....	65
-------------------------	----

2.1.2 TÉCNICAS	65
----------------------	----

2.2 DATOS EXPERIMENTALES.....	66
--------------------------------------	-----------

2.2.1 SIMULACIÓN.....	66
-----------------------	----

2.2.1.1 DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUSTRATO	66
---	----

2.2.1.2 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD PERDIDA 1.....	67
--	----

2.2.1.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD PERDIDA 1	68
---	----

2.2.1.4 DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO ESTÉRIL	69
--	----

2.2.1.5 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD	70
---	----

2.2.1.6 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN	71
--	----

2.2.1.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.....	72
---	----

2.2.1.8 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA MELAZA	73
---	----

2.2.1.9 DETERMINACION DE LA MASA DE LA CASCARILLA	74
---	----

2.2.1.10 DETERMINACION DE LA MASA DEL ARROCILLO	75
---	----

2.2.2 VALIDACION DEL EQUIPO.....	76
----------------------------------	----

2.2.2.1 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE ESPORAS.....	76
---	----

2.2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO.....	77
---	----

2.3 DATOS ADICIONALES.....	79
-----------------------------------	-----------

CAPITULO III

3 CALCULOS Y RESULTADOS	81
--------------------------------------	-----------

3.1 CALCULOS.....	81
--------------------------	-----------

3.1.1 CALCULOS DE LA SIMULACION.....	81
--------------------------------------	----

3.1.1.1 DETERMINACION DEL PESO DEL SUSTRATO.....	81
--	----

3.1.1.2 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD PERDIDA 1.....	81
--	----

3.1.1.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD PERDIDA 1	82
3.1.1.4 DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO ESTÉRIL	82
3.1.1.5 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD	83
3.1.1.6 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN	83
3.1.1.7 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL SUSTRATO	83
3.1.1.8 DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE ESPORAS	84
3.1.2 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL FERMENTADOR	84
3.1.2.1 CALCULO DEL VOLUMEN DEL SUSTRATO A OCUPAR	84
3.1.2.2 CALCULO DE LA ALTURA DEL SOLIDO	85
3.1.2.3 CALCULO DE LA PRESIÓN TOTAL	85
3.1.2.4 CALCULO DEL ESPESOR DEL CASCO CILINDRICO CON MARGEN DE CORROSION	86
3.1.2.5 CALCULO DEL ESPESOR DE LA TAPA PLANA CON MARGEN DE CORROSION	86
3.1.2.6 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN	87
3.1.2.7 CALCULO DE LA ALTURA DE CAMARA DE EBULLICION	87
3.1.2.8 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN	88
3.1.2.9 CALCULO DE LA ALTURA DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN	88
3.1.2.10 CALCULO DEL VOLUMEN REAL DE LA CAMARA DE CALEFACCION	89
3.1.2.11 CALCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACION	89
3.1.2.12 CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE	91
3.1.2.13 BALANCE DE MASA Y ENERGIA	93
3.1.2.13.1 BALANCE DE MASA	93
3.1.2.13.2 BALANCE DE ENERGÍA	98
3.1.2.13.2.1 CALCULO DEL CALOR DEL SUSTRATO	98
3.1.2.13.2.2 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA FINAL DEL AGUA	99
3.1.2.13.2.3 CALCULO DE LA GRADIENTE DE TEMPERATURA	101
3.1.2.13.2.4 CALCULO DE LA RAPIDEZ DE CALOR	101
3.1.2.13.2.5 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR	103
3.1.2.13.3 CALCULO DEL AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR	104

3.1.2.13.3.1	CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	104
3.1.2.13.3.2	CALCULO DEL CALOR QUE TRANSMITE.....	105
3.1.2.13.3.3	CALCULO DE LA POTENCIA DE LAS NIQUELINAS	105
3.1.2.14	CALCULOS DEL SISTEMA DE AIREACIÓN	105
3.1.2.14.1	CALCULO DEL CAUDAL DEL AIRE	105
3.1.2.14.2	CALCULO DE LA POTENCIA DEL COMPRESOR	106
3.2	CONSTRUCCIÓN.....	107
3.2.1	CONSTRUCCIÓN DEL FERMENTADOR.....	107
3.2.2	CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE AGITACION	107
3.2.3	MONTAJE DEL FERMENTADOR	108
3.2.4	PREPARACIÓN DEL SUSTRATO	108
3.2.5	MANEJO Y OPERACIÓN DEL FERMENTADOR	109
3.2.6	MANTENIMIENTO DEL FERMENTADOR.....	109
3.3	RESULTADOS.....	110
3.3.1	SIMULACIÓN DEL PROCESO.....	110
3.3.2	DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR	116
3.3.3	VALIDACION DEL EQUIPO	118
3.3.4	REQUERIMIENTOS PRESUPUESTARIOS	119
3.3.4.1	RECURSOS HUMANOS	119
3.3.4.2	RECURSOS DE MATERIALES	119
3.3.4.3	RECURSOS ECONÓMICOS	120
3.3.4.4	FUENTES DE FINANCIAMIENTO.....	120
CAPITULO IV		
4	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	121
CAPITULO V		
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	123
5.1	CONCLUSIONES.....	123
5.2	RECOMENDACIONES.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	Pp.
1.4.1.1-1 Curva de crecimiento de un fermentador discontinuo	23
1.4.1.4.1.1-1 Agitadores de paletas	31
1.4.1.4.1.1-2 Agitadores de turbina	32
1.4.1.4.3.1-1 Esquema de una termocupla y de un sistema de medición	37
1.4.1.4.4.6-1 Flujo de calor unidimensional a traves de un cilindro hueco y su analogo electrico	44
1.4.1.4.4.6-2 Flujo de calor unidimensional a traves de secciones cilindricas multiples y su analogo electrico.	46
1.4.1.4.4.7-1 Analogia de resistencias para un cilindro hueco con fronteras de conveccion ...	47
3.1.2.11-1 Diagrama para el calculo de la potencia del moto-reductor.....	87
3.1.2.12.1-1 Balance de masa en el biorreactor.....	93
3.1.2.12.2.4-1 Esquema del equipo para el balance de energia.....	97
3.3.1-1 Curva de crecimiento del Trichoderma sp en botellas.	113
3.3.1-1 Curva de crecimiento del Trichoderma sp en en el fermentador.	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Pp.
1.2.4-1 Cuadro comparativo entre FES Y FCS	13
1.2.5-1 Aplicaciones de la fes divididas en diferentes sectores.....	13
1.4.1.4.3.1-1 Termocuplas según IEC 584-1	38
1.4.1.4.3.1-2 Termocuplas según DIN 43710.....	39
2.2.1.1-1 Determinacion del masa del sustrato.....	67
2.2.1.2-1 Determinacion de la humedad perdida 1	68
2.2.1.3-1 Determinacion del porcentaje de humedad perdida 1	69
2.2.1.4-1 Determinacion del sustrato esteril	70
2.2.1.5-1 Determinacion del porcentaje de humedad	71
2.2.1.6-1 Determinacion del porcentaje despues del proceso de fermentacion.....	71
2.2.1.7-1 Determinacion de la densidad	72
2.2.1.8-1 Determinacion de la densidad de la melaza	73
2.2.1.9-1 Determinacion de la masa de cascarilla	74
2.2.1.10-1 Determinacion de la masa del arrozillo.....	75
2.2.2.1-1 Determinacion de la concentracion de esporas	77
2.2.2.2 -1 Determinacion de la curva de crecimiento.....	78
2.3-1 Valores del calor específico	80
2.3-2 Esfuerzo permisible del material.....	80
2.3-3 Datos adicionales para la determinacion de la transferencia de calor.....	80
2.3-4 Datos adicionales para la determinacion de la transferencia de calor.....	80
2.3-5 Datos adicionales para la determinacion del caudal del aire.....	80
3.3.1-1 Humedad del proceso de fermentacion en botellas.....	110
3.3.1-2 Humedad con que sale el producto de las botellas.....	111
3.3.1-3 Densidad del sustrato	111
3.3.1-4 Datos para curva de crecimiento en las botellas	113
3.3.1-5 Eficiencia de la fermentacion del producto obtenido en el equipo.....	114
3.3.1-6 Datos para curva de crecimiento en el fermentador.....	115

3.3.1- 7	Parámetros del proceso de fermentacion según la Hoja Tecnica de Datos de Seguridad del Trichoderma sp	115
3.3.1-8	Caracterizacion de la materia prima en base húmeda	116
3.3.2-1	Hoja tecnica de diseño.....	116
3.3.3-1	Resultado de validacion del equipo.....	118
3.3.3-2	Resultado de validacion del equipo.....	118
3.3.4.1-1	Recursos humanos.....	119
3.3.4.2 -1	Recursos de materiales	119
3.3.4.3-1	Recursos económicos	120
3.3.4.4-1	Fuentes de financiamiento.....	120

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	Pp.
1.4.1.4.1.3-1 Cálculo del momento a la salida del reductor.....	33
1.4.1.4.1.3-2 Cálculo del momento a la entrada del reductor.....	33
1.4.1.4.1.3-3 Cálculo de la potencia.....	33
1.4.1.4.4.4-1 Cálculo del calor del sistema.....	42
1.4.1.4.4.5-1 Transferencia por conducción.....	43
1.4.1.4.4.5-2 Transferencia por convección.....	44
1.4.1.4.4.6-1 Transferencia por conducción.....	45
1.4.1.4.4.6-2 Transferencia por conducción en sistemas cilíndricos.....	45
1.4.1.4.4.6-3 Flujo de calor a través de secciones cilíndricas múltiples.....	46
1.4.1.4.4.7-3 Transferencia de calor total por conducción y convección.....	48
1.4.1.4.4.7-4 Coeficiente de transferencia de calor.....	48
1.4.1.4.5-1 Cálculo de la potencia del compresor.....	50
1.4.1.4.5-2 Cálculo del flujo volumétrico de aire.....	50
1.4.3.1-2 Cálculo de la altura del sólido.....	55
1.4.3.2-1 Cálculo del volumen del sustrato.....	55
1.4.3.3-1 Cálculo de la presión total del equipo.....	56
1.4.3.4-1 Cálculo del espesor del casco cilíndrico con margen de corrosión.....	56
1.4.3.5-1 Cálculo del espesor de la tapa plana con margen de corrosión.....	57
1.4.3.6-1 Cálculo del volumen de la cámara de ebullición.....	58
1.4.3.7-2 Cálculo de la altura de la cámara de ebullición.....	58
1.4.3.8-1 Cálculo de la altura de la cámara de calefacción.....	58
1.4.3.9-1 Cálculo del volumen real de la cámara de calefacción.....	59
1.4.3.10-1 Cálculo de la altura del agitador.....	59
1.4.3.10-2 Cálculo de la longitud del brazo.....	60
1.4.3.10-3 Cálculo del espesor del brazo del agitador.....	60
1.4.3.10-4 Cálculo del diámetro del rodete.....	60
1.4.3.10-5 Cálculo de la distancia entre el fondo y el rodete.....	61
1.4.3.10-6 Cálculo del alto de la paleta.....	61

1.4.3.11-1 Cálculo del flujo de calor del sustrato.....	62
1.4.3.12-1 Determinación de la temperatura final del agua.....	62
1.4.3.13-1 Calculo de rapidez de calor.....	63
1.4.3.14-1 Cálculo del flujo de calor.....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	Pp.
1. Tablas para el cálculo del caudal del aire.....	131
2. Propiedades físicas y mecánicas del acero AISI 304.....	132
3. Valores del coeficiente convectivo.....	133
4. Diseño del Fermentador, Tapa plana y Agitador de Paletas Planas.....	134
5. Limpieza y desinfección del fermentador.....	135
6. Elaboración y esterilización del sustrato.....	136
7. Preparación del inóculo.....	137
8. Inoculación del sustrato.....	138
9. Producto terminado.....	139

RESUMEN

Se diseñó y se construyó un fermentador rotatorio de fase sólida para la multiplicación del hongo *Trichoderma sp.*, en el Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Los métodos utilizados en esta investigación fueron inductivos y deductivos. En el inductivo se realizó pruebas de laboratorio, donde se estableció parámetros: Temperatura, humedad, pH, densidad, eficiencia y tiempo de fermentación. Se realizaron cálculos para determinar los volúmenes de la cámara de ebullición, calefacción, potencia y sistema de agitación-aireación. Según esto el fermentador es de forma cilíndrica de acero inoxidable AISI 304, con una camisa externa, calentado con niquelinas, controlador de temperatura, lectores de humedad y pH, un sistema abatible, capacidad de 8,60 kg de sustrato sólido, altura nominal 35 cm, diámetro 35cm, potencia del motor de agitación de 1/2 Hp y un caudal de aireación de 62,4 L/min. Dentro del deductivo se investigó la producción de biofungicidas a nivel nacional y local donde se vio la necesidad de implementar un equipo más sofisticado para obtener un producto en el menor tiempo.

La eficiencia del fermentador es 97,6% con un pH de 6,8, tiempo 192 horas, densidad 0,34 g/mL, temperatura $27 \pm ^\circ\text{C}$, olor característico, color verde botella.

Se concluye con estas características que el producto obtenido en el fermentador está en condiciones idóneas y adecuadas para ser utilizado en la agricultura.

Se recomienda tomar en cuenta la limpieza, manejo y operación, carga eléctrica ya esto es lo principal para la vida útil del fermentador.

SUMMMARY

In this work the design and construction of a solid phase rotary fermentation equipment for multiplication of the fungus *Trichoderma sp* was performed. This study was done in the laboratory of Plant Pathology. Faculty of Natural Resources at the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

The methods used in this research were inductive and deductive. In the inductive laboratory testing was performed which established parameters time.

Calculations were performed to determine the volumes of the boiler, heating, power and agitation- aeration system. Accordingly, the fermented is cylindrical AISI 304 stainless steel with an outer jacket, heated with niquelinas, temperature controller, humidity and pH readers, a folding system, capacity of 8.60 Kg. Solid substrate, nominal height 35 cm, diameter 35 cm, power output Hp ½ agitation and aeration flow rate of 62.4 L/min. Within this deductive research the national and local biofungicide production was analyzed. Therefore is needed to implement more sophisticated equipment to produce a product in the shortest time.

The Fermentation efficiency value is 97.6 % with a pH of 6.8 during 192 hours. The density is 0.34 g/ml. The temperature is $27 \pm ^\circ\text{C}$. It has a characteristic odor and a Green bottle color.

With these characteristics is concluded that the product obtained in the fermentation equipment is in good condition and suitable for use in agriculture.

It is recommended the cleaning and handling operation, as well the electrical charge issues. These parameters are the most important for the equipment life.

INTRODUCCIÓN

Considerando en general bio plaguicidas actualmente hay unos 50 productos biológicos formulados en el mercado internacional que proceden mayoritariamente de USA e Israel y se aplican sobre todo en pulverización o a las semillas. Un 68% va dirigido a patógenos de suelo y solo un 20% a enfermedades de partes aéreas.

Dentro de los bio plaguicidas están los bio fungicidas los cuales son utilizados en la agricultura ecológica, están compuestos de microorganismos beneficiosos tales como hongos o bacterias que actúan sobre enfermedades patógenas en las plantas. Los bio fungicidas constituyen una alternativa a los fungicidas químicos y se utilizan como parte de un programa de control de enfermedades con el objetivo de reducir el riesgo de las plantas de contraer enfermedades que desarrollan resistencias a los fungicidas químicos.

El *Trichoderma harzianum* es un ejemplo de bio fungicida para el control de enfermedades de plantas producidos por hongos como: *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* y *Fusarium* entre otros, debido a su facilidad para ser aisladas y cultivadas, a su crecimiento rápido en un gran número de sustratos y a que no atacan a plantas superiores. Las especies de *Trichoderma* actúan como hiperparásitos competitivos que producen metabolitos anti fúngicos y enzimas hidrolíticas a los que se les atribuyen los cambios estructurales a nivel celular.

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de un fermentador en fase sólida para la multiplicación del hongo *Trichoderma sp.* mediante el cual se va a obtener bio fungicida el mismo que va a ejercer una acción benéfica en los diferentes cultivos.

Se ha usado como materia prima cascarilla de arroz, melaza y arrocillo, ya que son productos donde el hongo *Trichoderma sp.* crece en mayor proporción y con mayor intensidad.

El proceso de multiplicación consiste en poner a remojo la cascarilla junto con la melaza durante 24 horas, seguido del envasado y la esterilización a 121°C durante 45 min, luego

la inoculación con el hongo *Trichoderma* sp. y después el proceso de fermentación durante 8 días, con una temperatura de 27°C, humedad de 36% y un pH casi neutro.

Siendo este punto una alternativa para la producción de sustrato sólido de *Trichoderma* sp. el cual será utilizado como bio fungicida el cual va ejercer una acción benéfica en los cultivos aplicados a nivel de todo el país.

ANTECEDENTES

A nivel mundial podemos encontrar una variedad de empresas que se dedican a la producción y comercialización de productos biológicos, formulados a base de hongos y bacterias tales como *Azotobacter vinelandii* y *Trichoderma*, etc, una de estas empresas es IAB, S. L. (Investigaciones y Aplicaciones Biotecnológicas, S.L) que se encuentra en Valencia, España que es pionera en la introducción del concepto de Control Biológico de Plagas y Enfermedades. Sus productos son muy bien aceptados debido a que son altamente respetuosos con el medio ambiente, cumpliendo las características de biopesticidas, tanto a nivel de fabricación, como a nivel de estándares de calidad regidos por la Unión Europea. También CANNA ESPAÑA es reconocida en el mundo como líder en tecnología para plantas, y los productos de la misma se encuentran a disposición de toda Europa, Australia, Norte América, Oriente Medio y África.

En Latinoamérica, se destaca ORIUS BIOTECNOLOGIA la encontramos en Colombia y se dedica a la investigación, el desarrollo, la producción, el mercadeo y la comercialización de soluciones con biotecnología para la implementación de propuestas sostenibles en la producción agropecuaria; la misma que es reconocida en este sector como organización líder en Colombia Latinoamérica. Uno de sus productos TRICHOD, que es un Agente Biológico que actúa en el suelo como biofungicida preventivo, bioregulador y antagonista de los fitopatógenos que enferman los cultivos agrícolas, para lograr un suelo sano y un cultivo con menos enfermedades, es formulado con esporas en latencia del hongo *Trichoderma harzianum*. Otra empresa colombiana es SOLUCIONES ORGANICAS la cual es líder en la producción y utilización de insumos biológicos fúngicos como TRICHOBIO, BASSIANIL, LILACINOL, METABIOL, VERTLEC. También tenemos a la empresa SEMICOL.S.A que en la actualidad produce, insumos biológicos y químicos.

Cuba posee una biofábrica la cual reproduce microorganismos (hongos y bacterias) para controlar algunas plagas y enfermedades que perjudican los rendimientos agroforestales, trabaja con *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Bacillus thuringiensis*, *Trichoderma sp.*, *Azospirillum sp.* y *Lactobacillus sp.*

En Venezuela resalta AGROBICA C.A es una empresa privada dedicada a la elaboración, distribución y venta de productos biológicos para combatir la gran mayoría de plagas y enfermedades que afectan a la totalidad de las plantas, y simplemente consiste en la utilización de organismos vivos para limitar las poblaciones de otros. Esta empresa ha desarrollado un Fungicida Biológico, TRICOBIO, producto empleado para controlar hongos fitopatógenos del suelo, asociados con enfermedades como marchitamiento, pudrición de la raíz y el cuello de la planta, este producto protege a los cultivos contra *Phytium*, *Fusarium*, y otros hongos patógenos.

En cuanto al uso de microorganismos benéficos en el Ecuador no existe ninguna empresa que se dedique a la producción de *Trichoderma harzianum*, aunque existe distribuidor autorizado "NATURALITE, que se dedica a la venta de bio fertilizantes orgánicos, los cuales son importados de CUSTOMBIO, que se encuentra en Boca Ratón, Florida. El producto es Custom GP, que es un producto natural, biológico, diseñado para bio aumentar y bio recuperar suelos agrícolas, que ayudan a degradar la materia orgánica como paja, hojas, cascaras, frutos, que recuperan en el sitio de cultivo después de la cosecha.

A nivel local tenemos la unidad de Producción de Microorganismos Antagonistas y entomopatógenos del Departamento de Fitopatología de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo MIKROBEN, actualmente cuenta con 19 años de investigación a nivel de laboratorio y campo, este proceso permite poner a disposición de los agricultores de la región: Sierra, Costa y Oriente, productos biológicos.

Los microorganismos producidos en este laboratorio son elaborados con cepas nativas aisladas de suelos ecuatorianos, sin manipulación genética, son reconocidos como productos permitidos según las normas de la agricultura ecológica, de la unión Europea definidas por el reglamento # 2092/91 de la misma. Además estos productos actualmente tienen el registro del ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador

Los productos son recomendados y han sido probados con muy satisfactorios resultados en cultivos como: Tomate riñón, arveja, papas, col, lechuga, ajo, cebolla, maíz, babaco,

mora, flores de exportación, melón, sandía, pimiento, café, cacao, arroz, pimienta, palma africana, banano, cítricos y otros.

Los mismos que son producidos con un proceso artesanal, lo cual implica mayor costo de producción, consumo de energía, consumo de recursos materiales y humanos, que de contar con un equipo de fermentación permitirá tecnificar el proceso y disminuir los costos antes mencionados.

Nuestra visión es poder contar con un equipo de fermentación en fase sólida que permita satisfacer estándares de elevada calidad y rendimiento, para ello se hace indispensable el uso de equipos adecuados en el proceso y es donde interviene la ingeniería dando soluciones apropiadas, promoviendo el desarrollo sustentable de manera que se satisfaga las demandas del mercado. Razón por la cual es necesario el aporte de la empresa privada para lograr los objetivos.

JUSTIFICACION

La unidad de Producción de Microorganismos Antagonistas y Entomopatógenos del Departamento de Fitopatología de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo MIKROBEN tiene una producción mensual 2000 L en épocas altas y en épocas bajas 200 L, con cuatro personas que laboran ocho horas diarias de lunes a viernes, debido a los rigurosos controles sobre el medio ambiente y en especial a la calidad del producto y solución de problemas en base a la humedad, tiempo tanto de trabajo como de fermentación, contaminación del sustrato, mayor utilización de materiales (botellas de vidrio, papel , ligas ,etc.) es necesario el diseño y construcción de un fermentador.

Para mejorar el proceso de fermentación como profesionales y entes productivos en el área industrial y más aún en el campo biotecnológico, mediante los conocimientos claves acerca de los procesos microbiológicos de fermentación, control de variables entre otras , hemos visto la necesidad imperiosa de la realización del presente estudio de investigación con la finalidad de realizar un diseño y construcción de un equipo fermentador rotatorio en fase sólida donde se va a realizar una fermentación eficaz y en el menor tiempo posible para la multiplicación del hongo *Trichoderma sp.* mediante el cual se va a obtener bio fungicida el mismo que va a ejercer una acción benéfica en los diferentes cultivos. Esto permitirá al laboratorio buscar nuevas alternativas en los productos, ajustando las variables como temperatura, humedad, tiempo, pH óptimos para entregar un producto de calidad además de incrementar su volumen de producción con el menor costo.

Es importante considerar que este estudio nos ha permitido desarrollar y fortalecer la destreza para diseñar un equipo de fermentación en forma práctica, estar en la capacidad de establecer las condiciones operativas óptimas de proceso, y predecir los resultados mediante el cálculo y la interpretación de indicadores del proceso de fermentación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un fermentador rotatorio de fase sólida para la multiplicación del hongo *Trichoderma sp.*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la simulación del proceso para la producción del biofungicida.
- Obtener los datos experimentales del proceso.
- Identificar las variables de proceso para la toma de decisiones.
- Realizar cálculos técnicos, dimensionamiento o capacidad, tipología de materiales, control y requerimiento presupuestario para el diseño de ingeniería.
- Efectuar el ensamblaje y construcción del fermentador.
- Realizar la validación de diseño del equipo.

CAPITULO I

1 MARCO TEORICO

1.1 FERMENTACION

La fermentación es un tipo de catabolismo parcial, que se caracteriza por ser un proceso de oxidación incompleta, típico de los organismos anaeróbicos. Se realiza, pues, sin la intervención del oxígeno. Durante la fermentación, la energía obtenida procede, igual que en la respiración aerobia, de las reacciones de óxido-reducción habidas durante el catabolismo de la glucosa (glucólisis), pero en la fermentación las coenzimas reducidas no ceden sus electrones a una cadena cuyo aceptor final es el oxígeno, sino que los ceden directamente a un compuesto orgánico que se reduce.

La fermentación es un proceso que realizan muchos microorganismos, efectuando reacciones sobre algunos compuestos orgánicos y liberando energía. Hay muchos tipos diferentes de fermentación, pero en condiciones fermentativas solamente se efectúa una oxidación parcial de los átomos de carbono del compuesto orgánico y, por consiguiente, sólo una pequeña cantidad de la energía potencial disponible se libera.

En si es la desasimilación anaeróbica de compuestos orgánicos por la acción de microorganismos u otras células o de extractos celulares; además, es un conjunto de reacciones bioquímicas a través de las cuales una sustancia orgánica se transforma en otras por acción de ciertos microorganismos (bacilos, bacterias, células de levadura), que en general van acompañadas de un desprendimiento gaseoso y de un efecto calorífico.

1.1.1 TIPOS DE FERMENTACIONES

El tipo de fermentación depende del producto obtenido, y pueden ser fermentaciones acéticas, alcohólicas, butíricas, de la glicerina, lácticas o pútridas.

- **FERMENTACIÓN ACÉTICA**

Fermentación de tipo bacteriana que transforma alcoholes en ácido acético como producto final.

- **FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA**

Fermentación producida en ausencia de oxígeno que en la cual se procesan hidratos de carbono como glucosa, sacarosa o almidón para obtener alcohol.

- **FERMENTACIÓN BUTÍRICA**

Fermentación bacteriana anaeróbica en la cual se transforman glúcidos (moléculas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno) en ácido butírico.

- **FERMENTACIÓN LÁCTICA**

Fermentación anaeróbica en la cual mediante glucosa se obtiene como producto ácido láctico.

- **FERMENTACIÓN PÚTRIDA**

Fermentación en la cual se degradan sustratos que tienen naturaleza proteica originando productos como escatol, cadaverinas e indol, característicos por su fuerte aroma.¹

1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS REACCIONES DE FERMENTACIÓN

1.1.2.1 SEGÚN EL AGENTE

Hay dos clases bien definidas que son:

- **Fermentación microbiana**

Promovidas o catalizadas por microorganismos. La reproducción de los microorganismos conlleva a que la reacción tenga un comportamiento auto catalítico siendo la concentración de los microorganismos variable. Dentro de este tipo de reacción hay 2 clases bien definidas:

¹ www.unavarra.es/genmic/microgral/Tema%202002.%20Cultivo%20de%20microorganismos.pdf

- Cultivos de tejidos o macro organismos (células vegetales y animales).
- Reactores microbianos en sí (cultivo de microorganismos).

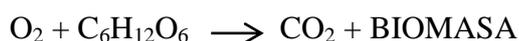
- **Reacciones enzimáticas**

Catalizadas por enzimas, el agente catalítico no se reproduce y cuando se opera discontinuamente este permanece constante.

1.1.2.2 SEGÚN EL CONSUMO DE OXÍGENO

- **Aeróbicas**

Aquí los microorganismos necesitan de oxígeno para poder sobrevivir. Por ejemplo la reacción de transformación de la glucosa



- **Anaeróbicas**

Aquí los microorganismos no necesitan de oxígeno para su supervivencia. Por ejemplo la reacción de transformación de la glucosa por vía glucolítica.



1.2 FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO (FES)

1.2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO

“La fermentación en estado sólido (FES) se basa en el crecimiento de microorganismos sobre soportes sólidos húmedos en ausencia de agua libre. En este sistema, el agua está presente en el sustrato, cuya capacidad de retención de líquido varía según el tipo de material.

La FES es una técnica que se ha utilizado tradicionalmente en países del Sudeste asiático, África y América central para la obtención de alimentos a partir de cereales, yuca, etc.

Típicos ejemplos de productos tradicionalmente obtenidos mediante FES son:

- El “koji” japonés, que utiliza arroz al vapor como sustrato sólido y *Aspergillus oryzae* como inóculo.
- El “tempeh” de Indonesia, que se obtiene por fermentación de la soja mediante el hongo *Rhizopus oryzae*.
- El “queso Roquefort”, obtenido por fermentación de queso fresco con *Penicillium roqueforti*.

La definición más general y reciente de la FES fue formulada por Viniegra-González y col. en 1997, quienes la describen como un proceso microbiológico que ocurre comúnmente en la superficie de materiales sólidos con capacidad para absorber y contener agua, ya sea con o sin nutrientes soluble. Por este motivo, se trata de un proceso donde el sólido presenta una baja actividad del agua (a_w), que influye en aspectos fisiológicos de los microorganismos como son el tipo de crecimiento, la esporulación y la germinación de esporas, además de la producción de metabolitos y enzimas y la actividad de las mismas.

El agua presente en los sistemas de FES se encuentra en una forma compleja dentro de la matriz sólida como una fina capa, bien absorbida sobre la superficie de las partículas o con una interacción más débil en las regiones porosas del sólido. El agua libre sólo aparece cuando se supera la capacidad de saturación de la matriz sólida.

Debido a la baja actividad del medio de cultivo en la FES, los hongos que en ella intervienen tienden a acumular en sus células polioles como glicerol, manitol, eritrol y arabitól. La composición de la mezcla de polioles depende de las condiciones de crecimiento y representa una adaptación a la baja humedad del medio en FES, necesaria para mantener la presión de turgencia de las células (presión que proporciona rigidez a las células). El micelo excreta estas sustancias, que serán metabolitos que posteriormente se encuentran en el material fermentado.

Otra clase de compuestos producidos en los cultivos de FES son los ácidos orgánicos. Así, por ejemplo, el hongo *Aspergillus nigeres* un potente productor de ácido cítrico,

cuya producción puede alcanzar 1g/kg de sustrato; *A. oryzae* produce ácido oxálico y la bacteria *Lactobacillus del brueckii* produce ácido láctico.

La FES es una técnica que está principalmente enfocada a la producción de alimentos, enzimas hidrolíticas, ácidos orgánicos, giberelinas, sabores y biopesticidas.

Generalmente, para la obtención de estos productos se utilizan como sustratos sólidos residuos agroindustriales, lo que resulta de gran interés ya que, por un lado, se obtienen productos de interés industrial y, por otro, se resuelven problemas de deposición de residuos sólidos. De esta forma, sustratos de bajo coste como son los residuos de fruta y verdura, cortezas de árboles, cáscara de frutos secos, salvado de trigo, cáscara de café, bagazo de caña de azúcar, etc. pueden ser utilizados para la producción de etanol, enzimas, ácidos orgánicos, aminoácidos, metabolitos secundarios biológicamente activos, etc.

1.2.2 HISTORIA Y DESARROLLO DE LA FES

La fermentación en estado sólido es una técnica que ha sido utilizada desde la antigüedad principalmente en países del sudeste asiático, África y América Central.

En la tabla 1.2.2-1 se expone de forma resumida la evolución histórica de la fermentación en estado sólido.

Los procesos de fermentación en estado sólido fueron prácticamente ignorados en los países occidentales después del año 1940, debido a la adaptación de la tecnología de fermentación sumergida. La producción de penicilina mediante fermentación en cultivo sumergido (FCS) y su enorme importancia durante la 2ª Guerra Mundial, hicieron que esta última tecnología se convirtiera en el modelo para la producción de cualquier compuesto vía fermentación. Por esta razón, investigadores de la época pusieron toda su atención en la fermentación en cultivo sumergido, desatendiendo a la fermentación en estado sólido

TABLA 1.2.2-1.1.2.2

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA FES

PERIODO	DESARROLLO
2600 a. C	Producción de pan por los egipcios
Antes del nacimiento de Cristo	Producción de queso en Asia utilizando <i>Penicillium roqueforti</i>
2500 d.C	Fermentación de pescado /conservación con azúcar, almidón, sales, etc y obtención de koji.
Siglo VII	Obtención de vinagre a partir de orujo
Siglo XVIII	Producción de ácido gálico que se utiliza en bronceado y en imprenta.
1860- 1900	Tratamiento de aguas residuales
1900- 1920	Producción de enzimas fúngicas
1920- 1940	Producción de otras enzimas fúngicas, ácido glucónico y ácido cítrico.
1940 – 1950	Producción de penicilina
1950-1960	Transformación de esteroides por cultivos de hongos
1960-1980	Producción de mico toxinas, enriquecimiento de alimentos con proteínas
1980 - presente	Producción de productos de alto valor añadido como alcohol y ácido giberélico.

FUENTE: [HTTP://SERVICIOPUBLICACIONES.UCA.ES/UPLOADS/TIENDA/TESIS/9788469333495.PDF](http://serviciopublicaciones.uca.es/uploads/tesis/9788469333495.pdf)

1.2.3 ASPECTOS BIOQUÍMICOS E INGENIERILES DE LA FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO

El estudio de parámetros como la temperatura, la aireación, la humedad, la agitación, el tamaño de partícula, el diseño del reactor, etc., es fundamental para el éxito de la FES debido a que de ellos va a depender tanto el crecimiento del microorganismo como la formación del producto final.

1. TEMPERATURA

La temperatura es uno de los parámetros ambientales más influyentes en la velocidad de crecimiento de los microorganismos. De esta forma, existe una temperatura óptima en la que dicha velocidad es máxima y por encima de la cual la velocidad de crecimiento decae bruscamente produciéndose la muerte celular.

La temperatura es un factor para determinar la cantidad y la tasa de crecimiento de estos organismos (hongos) (Moore – Landecker, 1996). Varios estudios han evaluado el efecto de la temperatura en la germinación de las esporas y el crecimiento del tubo germinal, crecimiento del micelio, habilidades competitivas y producción de metabolitos volátiles y no volátiles en las especies de *Trichoderma*, estableciendo que la temperatura óptima de crecimiento difiere entre las especies; sin embargo al igual que la mayoría de los hongos, estos se desarrollan en rangos de temperaturas mesofílicas entre 10° y 40°C, pero en la mayoría de los casos, la temperatura óptima se encuentra entre 15 y 30°C (Nampoothiri y col, 2004).

De este modo, el efecto de la temperatura sobre la especie de *Trichoderma sp.*, en el desarrollo de procesos biológicos es tal que esta puede generar denaturación de proteínas, inhibición de enzimas, promoción o suspensión de la producción de un metabolito particular, viabilidad y muerte celular (Nampoothiri y col, 2004).

Por tanto, el diseño del reactor y, en particular los reactores de FES, debe tener en cuenta este rango óptimo. Durante la fermentación en estado sólido se genera, además, una gran cantidad de calor que es directamente proporcional a la actividad metabólica de los microorganismos. La disipación de este calor puede estar limitada por su transmisión dentro o entre las partículas, o por la transferencia entre la superficie de la partícula y la fase gaseosa.

Generalmente, los sustratos usados para la fermentación en estado sólido tienen bajas conductividades térmicas, lo que origina que la eliminación del calor sea un proceso muy lento, produciéndose gradientes de temperatura en el interior del sólido. Este hecho, junto

con los bajos contenidos de humedad presentes en la FES, dificulta la transferencia de calor.

2. AIREACIÓN

La aireación tiene diferentes funciones: la oxigenación de los microorganismos, la eliminación del CO₂ generado durante la fermentación, la disipación del calor (regulando la temperatura del medio), la distribución del vapor de agua (regulando la humedad) y la distribución de los compuestos volátiles producidos durante el metabolismo.

Así pues, la aireación es un parámetro muy importante en la FES, ya que el ambiente gaseoso puede afectar significativamente a los niveles relativos de biomasa y a la producción enzimática.

3. HUMEDAD

El contenido en humedad del lecho es un factor crítico de los procesos en FES, ya que esta variable influye muy significativamente en el crecimiento microbiano, en la biosíntesis y secreción de diferentes metabolitos.

De esta forma, un bajo contenido en humedad dificulta la accesibilidad de los nutrientes del sustrato resultando un pobre crecimiento microbiano. Por otra parte, altos niveles de humedad provocan la disminución de la porosidad del sustrato, lo que dificulta la difusión de los nutrientes. Además, en estas condiciones se puede producir un impedimento estérico provocado por el crecimiento excesivo del hongo reduciendo la porosidad de la matriz sólida, lo cual dificultaría la transferencia de oxígeno.

Por este motivo, es conveniente buscar el nivel óptimo de humedad con objeto de optimizar el crecimiento del microorganismo o, en su caso, obtener una mayor producción de metabolitos (enzimas, ácidos orgánicos, etc.).

El contenido óptimo de humedad para el crecimiento de los hongos sobre sustratos sólidos en la FES se encuentra entre el 40 y el 70%, pero depende del microorganismo y el sólido utilizado para cada cultivo.

Como se comentó anteriormente, en la FES el agua libre únicamente aparece cuando se supera la capacidad de saturación de la matriz sólida. Sin embargo, el nivel de humedad a partir del cual aparece agua libre varía considerablemente según el sustrato, encontrándose ejemplos desde un nivel bajo como en la corteza de arce (40%) o en el arroz y la casa va (50-55%), o altos como en la mayoría de los sustratos lignocelulósicos (80%).

4. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula también es un factor importante a tener en cuenta. Sustratos de partículas pequeñas proporcionan una gran área específica, lo que afecta de manera positiva al desarrollo del microorganismo. Sin embargo, un tamaño de partícula demasiado pequeño, que genere a su vez un espacio interarticular reducido, disminuye la eficiencia de la respiración/aireación dificultando el crecimiento microbiano. Debido a esto es necesario alcanzar un compromiso para el tamaño de partícula según el proceso del que se trate.

Kumar y col. estudiaron la influencia del tamaño de partícula del sustrato en la producción de ácido cítrico a partir de bagazo de caña de azúcar utilizando el hongo *Aspergillus niger*. Los tamaños de partículas evaluados se encontraban en un rango comprendido entre 0,64 y 2 mm. Los resultados del estudio determinaron que la máxima producción se obtenía cuando se utilizaban partículas de 1,2-1,6 mm, mientras que los valores más bajos se analizaban con partículas de 1,6-2 mm. Esto podría deberse a que las partículas de tamaño medio utilizadas presentaban mayor porosidad, lo que provoca una mejor transferencia de calor y materia aumentando la producción de ácido cítrico. Como ya se ha comentado, las partículas de mayor tamaño disponían de una menor superficie específica para el crecimiento del hongo, obteniéndose concentraciones de producto más bajas. Del mismo modo, cuando el sustrato tenía el tamaño de partícula menor se impedía la transferencia de calor y materia, determinándose bajas concentraciones de ácido cítrico.

5. PH

El rango de pH óptimo para el desarrollo de los microorganismos se encuentra próximo a la neutralidad, generalmente entre 5 y 8, aunque la mayor parte de los hongos están adaptados a un rango más amplio de pH. Sin embargo, para la mayoría de ellos alteraciones bruscas del pH del medio podrían tener efectos adversos sobre el microorganismo, afectando a la membrana y al transporte de solutos, inhibiendo la actividad de las enzimas, etc. Por este motivo, es muy importante controlar este parámetro durante la fermentación.

Como consecuencia del crecimiento microbiano y la actividad metabólica se puede producir un cambio en el balance de los protones y, por tanto, en el pH del medio de cultivo. La razón más obvia para esta variación es la secreción por el microorganismo de ácidos orgánicos como son el ácido cítrico, acético o láctico, los cuales podrían disminuir el pH del medio, tal y como ocurriría con el consumo de las sales de amonio. Por otro lado, la asimilación de ácidos orgánicos, los cuales pueden estar presentes en ciertos medios, podría producir un aumento del pH, al igual que sucedería con la hidrólisis de la urea.

La cinética de variación del pH está muy relacionada con el microorganismo utilizado. La mayoría de cepas de *Trichoderma* tienen la habilidad de crecer en un amplio rango de pH de 4 a 8 con un óptimo de 6,5 (Kredics y col, 2003)

La naturaleza del sustrato también tiene gran influencia en la cinética del pH, aunque los materiales lignocelulósicos, que son los que normalmente se utilizan en la FES, presentan efectos tamponantes por su compleja composición.

La medida y el control del pH durante todo el proceso de fermentación se hacen necesarios para evitar alcanzar valores donde puede llegar a producirse la muerte del microorganismo. Además, el control del pH permite reducir o eliminar los riesgos de contaminación bacteriana en fermentaciones en estado sólido de hongos y levaduras.

6. AGITACIÓN

La agitación y la rotación se utilizan en FES normalmente con dos fines; establecer un contacto homogéneo entre las partículas y el aire y, por otro lado, acelerar la transferencia de calor y materia.

Los procesos de aireación y agitación convierten la difusión molecular de la fase gaseosa en una difusión conectiva. Sin embargo, en contrapartida, plantean inconvenientes como daños ocasionados al micelio, reducción de la porosidad de los sustratos o posibles desnaturalizaciones de las enzimas producidas.

Con algunos sustratos (como el heno) ocurre que, cuando las partículas de sólido están húmedas se agrupan de forma que las partes internas no se ven afectadas por la agitación, siendo muy limitada la efectividad del proceso.

7. DISEÑO DEL REACTOR

Un aspecto muy importante de la fermentación en estado sólido es la búsqueda del diseño más conveniente de birreactor para solventar problemas como la transferencia de calor y materia. Es muy importante que el diseño del reactor sea tal que haga posible mantener constantes la temperatura y el contenido en humedad del sólido simultáneamente, lo cual resulta complicado en procesos de gran escala. ”²

8. CANTIDAD DE LUZ

El crecimiento de la mayoría de hongos aparentemente no es afectado por la luz. El efecto más visible es la inhibición en una exposición de luz fuerte. La luz también puede afectar la formación de estructuras reproductivas o puede controlar la orientación de movimientos fotos trópicas de estructuras.

En algunos casos la luz puede afectar la esporulación de algunos hongos pudiendo ser inductora o inhibitoria en la formación de estructuras reproductivas y esporas. Los

² www.monografias.com/trabajos73/fermentacion/fermentacion.shtml

efectos de la luz en la reproducción de los hongos son muy complejos, ya que especies cercanas o diferentes aislamientos de la misma especie pueden diferir en su respuesta a la luz. (Moore -Landecker, 1996)

La mayoría de especies del genero *Trichoderma* son fotosensibles, esporulando rápidamente sobre sustratos naturales o artificiales, en patrones anulares concéntricos en respuesta a la alternancia diaria de la luz y oscuridad, con producción de conidios durante el periodo luminoso. La máxima actividad foto inductiva se encuentra entre los 380nm y 440nm rango visible, no ocurriendo esporulación bajo los 245nm.(Danielson, 1989) .

1.2.4 DIFERENCIAS ENTRE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO (FES) Y FERMENTACIÓN EN CULTIVO SUMERGIDO (FCS)

“La fermentación en estado sólido es una técnica que transcurre en ausencia o casi ausencia de agua entre partículas. Sin embargo, en la fermentación en cultivo sumergido (FCS), tanto los nutrientes como los microorganismos se encuentran distribuidos homogéneamente en agua.

En toda fermentación el crecimiento microbiano y el metabolismo normalmente ocurren en contacto con la fase acuosa, en la cual se produce la difusión del soluto y/o los sustratos. Por otra parte, el intercambio de CO₂ y O₂ puede ocurrir en la fase líquida o la gaseosa. En la FES, la fase líquida representa una fina película acuosa que rodea las partículas mientras que la fase gaseosa ocupa el espacio entre partículas.

Aunque la sustitución de la fase líquida por la gaseosa mejora la transferencia de oxígeno, puede dificultar la difusión de solutos y sustratos e interferir considerablemente en el crecimiento microbiano. Las tres fases (sólida, líquida y gaseosa) están presentes tanto en la FES como en la FCS pero no en la misma proporción; esto implica que aparezcan diferencias en las características cinéticas, reológicas y termodinámicas de ambas (actividad del agua, presión osmótica, etc.).

Además, en los procesos en estado sólido, la proporción de cada fase depende del tipo de sustrato utilizado.

En la siguiente tabla se presentan de forma simplificada las principales diferencias entre ambas técnicas.

TABLA 1.2.4-1

CUADRO COMPARATIVO ENTRE FES Y FCS

FACTOR	FERMENTACION EN CULTIVO SUMERGIDO	FERMENTACION EN ESTADO SOLIDO
Sustrato	Sustrato soluble (azucares)	Polímeros insolubles
Agua	Alto consumo de agua	Consumo limitado de agua
Calor metabólico	Fácil eliminación del calor	Baja capacidad de transferencia de calor
Aireación	Limitación de oxígeno soluble. Se requiere grandes cantidades de niveles de aire.	Fácil aireación y alta superficie de intercambio aire/sustrato.
Control de Ph	Fácil control de pH	Sustratos sólidos tamponados
Agitación mecánica	Buena homogenización	Preferible condiciones estáticas
Escala	Equipación industrial disponible	Necesidad de diseño de equipos
Inoculación	Sencilla	Inoculación con esporas
Modo de operación	Proceso continuo	Proceso discontinuo(Batch)
Contaminación	Riesgo de contaminación por bacterias	Bajo riesgo de contaminación por hongos.
Consideraciones energéticas	Alto consumo de energía	Bajo consumo de energía
Volumen equipo	Volúmenes grandes y tecnología de alto coste.	Volúmenes pequeños y bajo coste del equipo.
Efluentes y contaminación	Grandes volúmenes de efluentes contaminantes	No se generan efluentes, menos polución.
Concentración de sustratos y productos	30- 80g/L	100- 0g/L

FUENTE: [HTTP://SERVICIOPUBLICACIONES.UCA.ES/UPLOADS/TIENDA/TESIS/9788469333495.PDF](http://serviciopublicaciones.uca.es/uploads/tesis/9788469333495.pdf)

1.2.5 APLICACIONES DE LA FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO

En la siguiente tabla se resumen las aplicaciones más importantes de la FES divididas en tres sectores económicos: medioambiental, agroindustrial y aplicación en procesos industriales.”

TABLA 1.2.5-1

APLICACIONES DE LA FES DIVIDIDAS EN DIFERENTES SECTORES

SECTOR ECONOMICO	APLICACIÓN
Medioambiental	Biorremediación y detoxificación biológica de compuestos peligrosos.
Agroindustrial	Biotransformación de cosechas o residuos de cosechas.
Aplicación en procesos industriales	Pulpeado biológico Producción de compuestos bioactivos Producción de ácidos orgánicos Producción de enzimas Producción de bioetanol Producción de otros compuestos de interés

FUENTE: [HTTP://SERVICIOPUBLICACIONES.UCA.ES/UPLOADS/TIENDA/TESIS/9788469333495.PDF](http://serviciopublicaciones.uca.es/uploads/tienda/tesis/9788469333495.pdf)

1.3 TRICHODERMA SP.

1.3.1 ORIGEN

“Las primeras investigaciones fueron realizadas por Porter en 1924, pero estos estudios fueron abandonados por el auge de controles químicos (Bell: citado por Aimacaña, 2007).

1.3.2 IMPORTANCIA

Trichoderma sp., son hongos comunes en casi todos los suelos y son antagonistas a otros hongos patógenos. Algunos aislamientos producen antibióticos volátiles y no volátiles. La habilidad para producir sustancias anti fúngicas varía con la cepa aislada, aún dentro de la misma especie. De la bibliografía parece ser que los más efectivos antagonistas pertenecen a las especies *Trichoderma harzianum* (Dennis y Webster, 1971 a, b; citado por Aimacaña, 2007).

Cuando ningún efecto de *Trichoderma* puede ser directamente observado o detectado, pero su actividad de control en suelos naturales es significativa, debe considerarse la posibilidad de competición entre el agente de biocontrol y el patógeno (Alexander, 1982; Cook y Baker, 1983; citado por Aimacaña, 2007).

Trichoderma sp., es un Bio-regulador que inhibe el desarrollo de fitopatógenos y contribuye con la nutrición en la planta al bio-transformar las celulosas y ligninas de los materiales orgánicos que se encuentran en el suelo.

Crece y coloniza muy rápidamente el suelo, protegiendo las raíces de las plantas, quitándole espacio a los fitopatógenos por antagonismo. Es un Bio-Regulador de las enfermedades en los lotes altamente contaminados y las disminuye en un mediano plazo.

Cuando la población de fitopatógenos es muy alta y las enfermedades son drásticas hay que recurrir al manejo integrado utilizando fungicidas. Luego se establecen los Bio-Reguladores y Antagonistas naturales de los fitopatógenos, para evitar la reinfestación y ataques más severos en un corto plazo (TrichoD, 2006).

1.3.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Rifai (1969; citado por Rivas, 1994), manifiesta lo siguiente:

A. Colonia

Pueden formar colonias flojas o compactas, y presentar estas dos características sobre una misma colonia, dicha compactación está relacionada con la estructura de los conidióforos.

Su color se debe a la pigmentación de las fialosporas y a la cantidad de esporas producidas, su color típico es el verde oscuro.

B. Micelio

Está constituido por hifas hialinas, septadas, de paredes lisas y abundante ramificación.

C. Clamidosporas

Están presentes en muchas especies; son intercaladas, ocasionalmente terminales o sobre una ramificación lateral de una hifa corta, globosa, elipsoidal, incolora de pared lisa.

D. Conidióforos

Tienen estructura compleja por su abundante ramificación son cónicos o piramidales.

Sobre las ramificaciones principales de los conidióforos se producen ramificaciones laterales.

E. Fiálides

Son estructuras que se parecen a un frasco o a una pera; reducida en su base, hinchada en la parte media, cono angosto en el ápice y cuello sub cilíndrico.

Se disponen en grupos irregulares de hasta 5 alrededor del extremo de las penúltimas células de las ramificaciones u originarse a lo largo de las mismas en forma individual.

F. Esporas

Son fialosporas producidas individualmente o sucesivamente acumuladas en el ápice de los fiálides conformando una cabeza de esporas de diámetro menor a 15 μ , o pueden estar en cadenas cortas, son lisas o de pared rugosa, hialinas, verde amarillentas u oscuras; de forma su globosa, ovoide, elíptica, cilíndrica o casi oblonga.

1.3.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Agrios (1995), el hongo se ubica taxonómicamente de la siguiente manera:

REINO	Mycetae
DIVISIÓN	Eumycota
SUBDIVISIÓN	Deuteromycotina
CLASE – FORMA	Hyphomycetes
ORDEN – FORMA	Hyphales (Moniales)

GENERO – FORMA *Trichoderma*

ESPECIE *harzianum*

1.3.5 IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIES DE *TRICHODERMA SP.*

(Duner, 1982; citado por Cali, 1993).

Trichoderma harzianum: presenta conidióforos gruesos y cortos recogidos en penachos, con ramificaciones casi en ángulo recto, conidias globosas, sub-globosas o sub-ovoidales; con una relación largo ancho menor de 1,25 y dimensiones de 2,8-3,2 x 2,5-2,8 um.

1.3.6 ECOLOGÍA

Trichoderma sp., es un hongo cosmopolita que se encuentra en forma natural en todos los suelos. De este hongo se aislaron varias cepas, siendo la más común *Trichoderma harzianum* que es un hongo mico-parasítico (FAO, 2002).

Trichoderma harzianum sobrevivió más tiempo en suelos húmedos que en suelos secos (Chet, 1987; citado por Macas, 1994).

Trichoderma, es un microorganismo experimentado como antagonista, resiste el calor mejor que los patógenos (Phillips, 1990; citado por Benavides, 2001).

1.3.7 MECANISMO DE CONTROL BIOLÓGICO

Durante su evolución, *Trichoderma* fue adquiriendo la capacidad de parasitar y/o excluir a otros hongos competidores, característica que poseen algunas especies y que les permiten ser exitosas en el dominio de un substrato. Esta cualidad de *Trichoderma*, ha permitido su utilización en el control biológico de numerosas enfermedades vegetales:

- Parasitismo directo.
- Producción de antibióticos.
- Competencia por nutrientes y espacio.

- Inactivación de enzimas del patógeno.
- Inducir resistencia en la planta.
- Mejorar el desarrollo radicular.
- Estimular crecimiento de la planta

La forma más común que tiene el *Trichoderma* de parasitar a otros hongos, es el parasitismo directo, lo cual se logra envolviendo las células del hongo (hifas) a parasitar (huésped) en forma de tirabuzón. Además, *Trichoderma* secreta enzimas (celulasas, glucanasas, lipasas, proteasas y quitinasas) que ayudan a disolver la pared celular de las hifas del huésped, facilitando la inserción de estructuras especializadas y del micelio de *Trichoderma*, los que se encargan de absorber los nutrientes del interior del hongo huésped. Al final el micelio del hongo parasitado queda vacío y con perforaciones provocadas por la inserción de las estructuras especializadas de *Trichoderma*.

El parasitismo directo no es el único método que tiene *Trichoderma* para parasitar a otros hongos, también produce antibióticos que le permiten inhibir el desarrollo de otros hongos o bacterias que compiten por nutrientes y espacio (Cervantes, A. 2005).

1.3.8 VENTAJAS

- Por su acción antagonista permite ejercer un efectivo control biológico contra organismos fitopatógenos.
- Aumenta la capacidad de captura de nutrientes y de humedad, así como mejora rendimientos en condiciones de estrés hídrico.
- No requiere equipamiento especial para su aplicación.
- Compatible con inoculantes de leguminosas y posibilidad de aplicar a semillas que han sufrido un tratamiento fungicida químico.
- Disminuyen y en algunos casos eliminan la necesidad de tratar con fungicidas químicos, reduciendo los costes y reduciendo el uso de fertilizantes, pues las plantas tienen más raíces y los utilizan mejor.

1.3.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL BIOFORMULADO EN SUSTRATO SÓLIDO A BASE DE *TRICHODERMA HARZIANUM*

1.3.9.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS

Es un agente biológico que actúa como Biofungicida, biorregulador, y antagonista de Fitopatógenos que enfrentan los cultivos agrícolas, como son *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotium*, *Fusarium sp.*, *Botrytis sp.*, *Phytophthora sp.*, *Phytium sp.*, *Sclerotium cepivorum*, *Alternaria sp.*, *Mycosphaerella sp.*, para lograr un suelo sano.

- **Ingrediente Activo:** Esporas en latencia de *Trichoderma harzianum*.
- **Nombre Biológico:** *Trichoderma harzianum*.
- **Nombre comercial:** TRIKOFUN
- **Registro MAG:** 020611018
- **Nombre Común:** Inoculante del Suelo
- **Tipo de sustancia:** Es un Microorganismo
- **Sinónimos:** SPOROPLANT, TRICHOFIN
- **Grupo de Insumo:** Agente biológico. Biofungicida y bioregulador de Fitopatógenos del suelo.
- **Aspecto:** sustrato sólido homogéneo.
- **Color:** verde botella
- **Olor:** Característico fermentesible.
- **pH:** en solución acuosa: en torno a la neutralidad.
- **Tamaño de partícula:** 4*2mm.
- **Punto/Rango de congelación:** -4°C
- **Punto de inflamación:** N/A
- **Suspensibilidad promedio:** 100 % a los 30 minutos
- **Suspensión en agua:** alta
- **Densidad:** 0.34 g/ml
- **Porcentaje de volatilidad:** Bajo

1.3.9.2 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

- **Concentración:** $2,5 \times 10^9$ u.p.c /g de producto
u. p. c: unidades propagadoras de colonias
- **Germinación:** 85 % entre 24 y 48 horas
- **Pureza:** 85 - 95 %

1.3.10 PREPARACION DEL BIOFORMULADO SOLIDO A BASE DE *TRICHODERMA HARZIANUM*

a. Preparación del sustrato

Para la utilización del sustrato es necesario que el mismo se encuentre libre de impurezas y contaminantes y que sea lo más homogéneo posible.

Una vez que el sustrato (cascarilla de arroz + arrocillo) fue liberado de impurezas, se pesó 80 g del mismo y se colocó en frascos de vidrio de tamaño estándar, se les sometió a remojo por dos horas, transcurrido este tiempo se desechó el excedente de agua y se procedió a sellar los frascos con papel Kraft al cual se lo aseguró con ligas y se esterilizó en el Autoclave a 121°C y a 1 atmósfera de presión por el lapso de una hora.

b. Inoculación de *Trichoderma harzianum*

Una vez que el sustrato estuvo estéril fue necesario proceder a una homogenización del mismo, para lo cual se sacudió cada uno de los frascos de vidrio con sustrato para evitar la formación de grumos y/o apelsonamientos.

A continuación se inoculó 1 cm² del cultivo puro de *Trichoderma harzianum* en PDA, se distribuyó homogéneamente y se selló el frasco con papel kraft. Se colocaron los frascos en la cámara de incubación por 8 días a $27 \pm 1^\circ\text{C}$, período de tiempo en el cual se va controlando diariamente parámetros como: temperatura, humedad, procesos de desinfección y posible contaminación.

Una vez que el hongo ha desarrollado biomasa conidial óptima sobre toda la superficie del sustrato, se procedió a cosechar el material, el cual es empacado en fundas plásticas

transparentes, conteniendo un peso neto de 1 Kg de producto, colocamos posteriormente otra funda adicional para garantizar la calidad del producto, éste es colocado en refrigeración a 4°C, condiciones en las cuales el producto puede permanecer por un periodo de 6 meses, finalmente para ser distribuido se etiqueta y se colocan los adhesivos de seguridad correspondientes.”³

1.4 BIORREACTOR

"Un **biorreactor** es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaeróbico. Estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable.

Un biorreactor puede ser también un dispositivo o sistema empleado para hacer crecer células o tejidos en operaciones de cultivo celular. Estos dispositivos se encuentran en desarrollo para su uso en ingeniería de tejidos.

En términos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etcétera) al organismo o sustancia química que se cultiva. En función de los flujos de entrada y salida, la operación de un biorreactor puede ser:

Por la forma de operarlos:

- Lote (batch)

3

www.biblioteca.upibi.ipn.mx/Archivos/Material%20Didactico/Manual%20de%20pr%C3%A1cticas%20del%20laboratorio%20de%20biorreactores2.pdf

- Lote alimentado (fed - batch)
 - Continuo o quimios tato
- a) **Discontinuo** (batch): por lotes o tandas, sin alimentación (F); se coloca dentro del biorreactor la carga total de cada proceso (tanda o lote) de cultivo o fermentación y se dejar que se lleve a cabo el proceso productivo o la fermentación por el tiempo que sea necesario; el cuál se denomina tiempo de retención.
 - b) **Semicontinuo** (fed-batch): por lotes alimentados, con alimentación de entrada (F1); se alimenta una línea de entrada o alimentación (F1) para que el sistema de cultivo tenga un producto (biomasa) con máximo de crecimiento (exponencial) y aumente la productividad.
 - c) **Continuo** (continuos): por quimioestado, se alimenta una línea de entrada F1 o alimentación y se drena una línea de salida F2 o lavado; de manera que los flujos o caudales de ambas líneas sean iguales y la producción sea continua

Por su forma física:

a) Reactor tanque:

Es el de uso más común y está equipado con medios de agitación y transferencia de calor. El tanque produce un mezclado casi perfecto.

b) Reactor tubular:

Es un tubo continuo o varios en paralelo y los reactivos ingresan en un extremo y el producto sale por el otro.

c) Reactor de torre:

Estructura cilíndrica vertical. Y se utiliza para procesos continuos.”⁴

⁴ www.bionity.com/es/productos/127077/el-mejor-fermentador.html

1.4.1 FERMENTADORES DISCONTINUOS (BACH, LOTES)

1.4.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

“Una fermentación por lotes (Batch) o discontinua puede ser considerada como un "sistema cerrado". Al inicio de la operación se añade la solución esterilizada de nutrientes y se inocula con el microorganismo, permitiendo que se lleve a cabo la incubación en condiciones óptimas de fermentación.

A lo largo de toda la fermentación no se añade nada, excepto oxígeno (en forma de aire), una gente antiespumante y ácidos o bases para controlar el pH.

La composición del medio de cultivo, la concentración de la biomasa y la concentración de metabolitos cambia generalmente como resultado del metabolismo de las células observándose las cuatro fases típicas de crecimiento: fase de latencia, fase logarítmica, fase estacionaria y fase de muerte. Cuando se ha alcanzado el nivel deseado de reacción, se vacía el reactor, se limpia y el proceso se repite.

En los procesos comerciales la fermentación frecuentemente se interrumpe al final de la fase logarítmica (metabolitos primarios) o antes de que comience la fase de muerte (metabolitos secundarios).

La naturaleza compleja del crecimiento de microorganismos por lotes, se muestra tal como sigue:

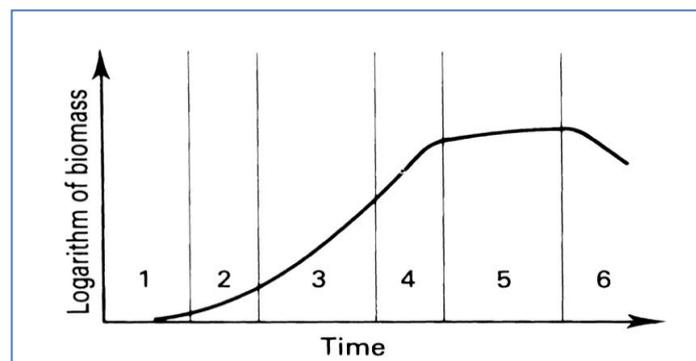


Fig. 1.4.1.1-1 CURVA DE CRECIMIENTO DE UN FERMENTADOR DISCONTINUO

La fase 1 o “lag”, es un tiempo de aparente no crecimiento, pero estudios bioquímicos demuestran actividad metabólica, indicando que las células están en proceso de adaptación a las condiciones ambientales y que un nuevo crecimiento comenzará, eventualmente.

Existe, luego, una **fase de aceleración transitoria** cuando el inóculo comienza a crecer que es seguida, rápidamente, por una fase de crecimiento exponencial.

En la **fase exponencial**, el crecimiento microbiano ocurre a la máxima velocidad posible para ese microorganismo, con nutrientes en exceso, parámetros de crecimiento ideales y ausencia de inhibidores.

Sin embargo, en cultivos por lote, el crecimiento exponencial es de duración limitada y, a medida que las condiciones nutricionales cambian, la velocidad de crecimiento disminuye y se entra en la **fase de deceleración**, seguida de la **fase estacionaria**, donde el crecimiento global no se obtiene, por falta de nutrientes.

La fase final del ciclo es la **fase de muerte**, cuando la velocidad de crecimiento ha cesado.

La mayoría de los procesos biotecnológicos por lotes se detiene antes de esta fase, debido a la disminución en el metabolismo y a la lisis celular.

1.4.1.2 VENTAJAS

Las principales son: menor riesgo de contaminación, flexibilidad operacional cuando los fermentadores se utilizan para distintos productos, un control más cercano de la estabilidad genética del organismo, una mejor coordinación con estadios del proceso entre lotes previos y posteriores.

1.4.1.3 DESVENTAJAS

- La principal es la alta proporción de tiempo improductivo en la operación del fermentador, dificultad de diseño y la operación de procesos que no están en estado estacionario y la variabilidad entre lotes.

- Los fermentadores deben ser vaciados, limpiados, esterilizados y recargados antes de cada fermentación, operaciones todas esenciales pero no productivas.
- En procesos por lotes, estas operaciones pueden tomar tanto tiempo como la fermentación misma.
- En un proceso continuo, por el contrario, una corrida puede durar semanas o meses, es decir que el tiempo no productivo es, en proporción, pequeño.”

1.4.1.4 PARTES PRINCIPALES DE UN BIORREACTOR CON AGITACION

“Son las siguientes:

- Sistema de agitación (motor e impulsores)
- Tapas
- Dispositivos de adición, extracción y control.
- Sistema de aireación.
- Sistema de transferencia de calor

1.4.1.4.1 SISTEMA DE AGITACION

La agitación es la operación que crea o que acelera el contacto entre dos o varias fases. Una adecuada agitación es esencial para la fermentación ya que produce los siguientes efectos:

- Dispersión de aire en la solución de nutrientes.
- Homogeneización, para igualar la temperatura, pH, concentración de nutrientes.
- Suspensión de los microorganismos de nutrientes sólidos.
- Dispersión de los líquidos inmiscibles.

Cuando mayor sea la agitación, mejor será el crecimiento. La agitación excesiva puede romper las células grandes e incrementar la temperatura ocasiona un descenso en la viabilidad celular.

Un sistema de agitación tiene la función de generar la potencia necesaria para producir una mezcla perfecta para el sistema de cultivo y producir un régimen de agitación

adecuado que, maximice la difusión de gases en el líquido y minimice la producción de esfuerzos cortantes y la presión hidrodinámica local y global, para optimizar los fenómenos de transferencia de momentum, calor y masa.”⁵

1.4.1.4.1.1 PARTES DE UN SISTEMA DE AGITACIÓN

1. MOTOR IMPULSOR

Suministra la potencia al eje de potencia; debe ser de corriente alterna (a.c), preferiblemente de inducción y su potencia debe calcularse para manejar el doble (200%) de la potencia teórica requerida para agitar el fluido y el cultivo a $Re \geq 3000$.

Motor de Inducción (A.C): dado que un biorreactor debe operar de forma continua durante todo el proceso de cultivo; se requiere un motor capaz de resistir largos periodos de operación continua y trabajo duro; por eso, el motor debe ser de inducción de corriente alterna (a.c) y debe ser acorazado, preferiblemente en acero inoxidable.

Control de Velocidad del Motor: los motores de inducción de corriente alterna (a.c) tienen velocidades nominales de rotación de 1800rpm o 3600rpm. Estas velocidades son muy altas para los sistemas biológicos causando la destrucción de las células y microorganismos en cultivo. La velocidad de rotación del motor debe entonces reducirse a un máximo de 600rpm (revoluciones por minuto) para que no cause daño celular. Usualmente se acopla a la salida de eje del rotor una caja de reducción de 1/3 o 1/6 para bajar la velocidad de rotación a 600rpm. Adicionalmente se coloca un control de velocidad que puede ser analógico o digital al motor para un control más fino y preciso de la velocidad de rotación.

2. EJE TRASMISOR DE LA POTENCIA

⁵ www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/puntoDos.htm

Es una barra cilíndrica de acero inoxidable y por lo general se diseña en diámetros estándar: $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , etcétera para mayor facilidad de ajuste a los estándares de motores a.c. Su longitud depende de la profundidad del contenedor (tanque). Transmite la potencia del motor al impulsor, a través de, las hojas de agitación. Existen ejes en los cuales ya vienen incorporadas hojas o aspas de agitación, se diseñan para operar en uno de dos sistemas de flujo, según sea, la orientación espacial de las hojas o aletas:

- **Flujo axial:** suministran mayor efectividad de mezclado (distribución) y reducen la potencia de mezclado requerida, al distribuir mejor la mezcla; sus hojas u aspas son planas.
- **Flujo radial:** generan mayor potencia de mezclado (turbulencia) y pueden causar daño celular; sus hojas o aspas son del tipo hélice.

Acople del Eje Transmisor: ajusta y fija al motor, el eje transmisor de potencia. Existen dos tipos de acople.

- **Acople-adaptador de tipo taladro:** el puerto de entrada se acopla al eje del motor por fijación directa. El puerto de salida es un dispositivo que se adapta a varios diámetros de broca y sujeta o abraza firmemente el eje transmisor de potencia por presión y abrasión; similar al que utilizan los taladros mecánicos.
- **Acople-ajustador de tipo tornillo-rosca:** el puerto de entrada se “enrosca” o se fija firmemente al eje del motor. El puerto de salida es un dispositivo que “abraza” el eje transmisor de potencia por un mecanismo de tornillo-rosca.

En ambos casos, el diámetro del puerto de entrada del acople que es la unión de éste con el eje del motor debe ser de diámetro interno igual al diámetro externo del eje del motor y el diámetro del puerto de salida que es dispositivo sujetador del eje transmisor de potencia debe ser el mismo que el diámetro externo del respectivo eje.

3. PUERTO DE ENTRADA DEL BIORREACTOR

Se denomina puerto a la superficie física sobre el cual se instala un dispositivo de entrada o salida al biorreactor, un anclaje o un aparato mecánico o de medición; **el puerto** es el medio por el cual, se ajusta o fija, tal dispositivo o artefacto a la pared o superficie del tanque o del biorreactor.

Sello Mecánico: su función es triple: evitar la contaminación, mantener hermético el sistema, servir de amortiguador de fricción. El sello mecánico también debe permitir la esterilización in situ del biorreactor, mediante una línea de vapor sobrecalentado. Un sello mecánico, generalmente se diseña en una de dos configuraciones:

- **Cartucho rígido:** que permite el rodamiento del eje de potencia a través de soporte de cuerpo rígido que sella y aísla el paso de cualquier materia al interior del depósito.
- **Cartucho flexible:** que permite el rodamiento del eje de potencia a través de un soporte fijo al exterior pero flexible en el interior y que también sella y aísla el paso de contaminantes al interior del depósito.

En ambos casos el sello mecánico se especifica de acuerdo al diámetro externo del eje transmisor de potencia; el cual es el diámetro interno del puerto del sello mecánico. Dentro de lo posible se recomienda el uso de sellos flexibles ya que amortiguan mejor las vibraciones mecánicas del eje transmisor de potencia; la desventaja es que esa flexibilidad obliga a cambiarlos más frecuente, pues el desgaste es mayor.

4. IMPULSORES

Son los dispositivos que impulsan el fluido y el movimiento, mediante hojas o aspas unidas al eje transmisor de potencia.

- **AGITADOR**

Es un impulsor formado por hojas o aspas de agitación conectadas al eje transmisor de potencia; pueden tener una distribución de flujo axial o radial.

Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas, y de turbina. Cada uno de estos tipos comprende muchas variaciones y subtipos que no consideraremos aquí. En algunos casos también son útiles agitadores especiales, pero con los tres tipos antes citados se resuelven, quizás, el 95% de los problemas de agitación de líquidos y sólidos.

- **Agitadores de Hélice**

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1.150 ó 1.750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1500m^3 se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque.

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos.

Existen en tres diseños básicos de hélices que dependen de la orientación espacial:

- Plano XY,
- Plano ZX,
- Plano ZY.

Cada orientación (plano) describe una superficie curva que es determinada por dos (2) de tres (3) ángulos de diseño:

- Plano XY, determina el ángulo de inclinación (α), este varía $15^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$;
- Plano ZX, determina el ángulo de torsión (β), este varía $16^\circ \leq \beta \leq 32^\circ$;
- Plano ZY, determina el ángulo de tensión (γ), este varía $15^\circ \leq \gamma \leq 45^\circ$.

- Hélices de superficie curva en el Plano XY están determinadas por los ángulos α, β ;
- Hélices de superficie curva en el Plano ZX están determinadas por los ángulos α, γ ;
- Hélices de superficie curva en el Plano ZY están determinadas por los ángulos γ, β .

- **Agitadores de Paletas**

Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son corrientes los agitadores formados por dos y 3 paletas. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del

diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

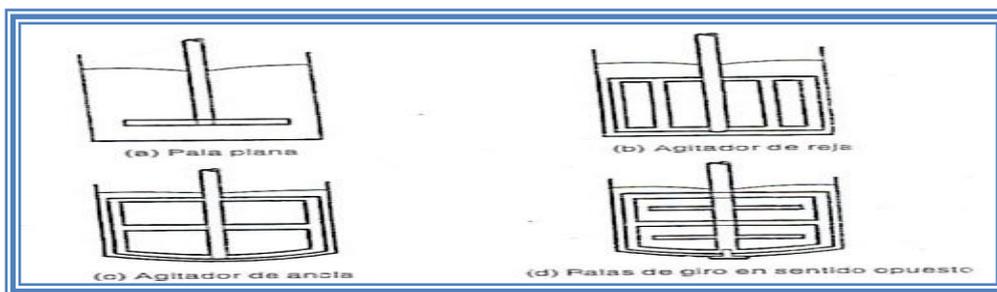


Fig. 1.4.1.4.1.1-1 AGITADORES DE PALETAS

○ **Agitadores de Turbina**

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior

del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

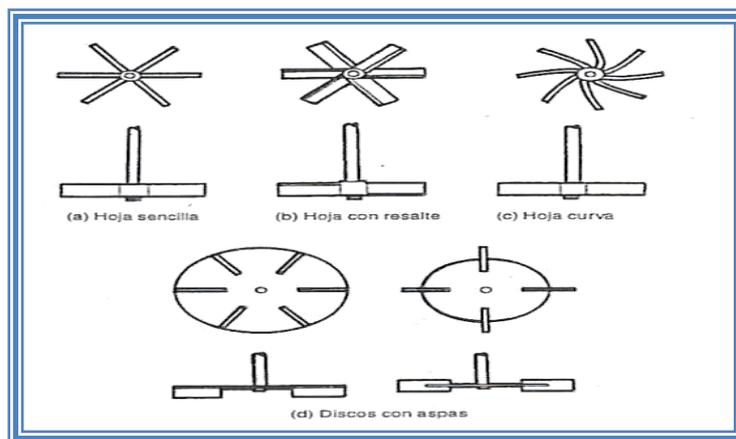


Fig. 1.4.1.4.1.1-2 AGITADORES DE TURBINA

1.4.1.4.1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACION

Para diseñar agitadores es necesario determinar la potencia para accionar el rodete del sistema del agitador; el cálculo de la potencia deberá realizarse a partir de datos experimentales, es decir, mediante un procedimiento – experimental, las dimensiones de este, su tipo y las características del sistema que se van a agitar.⁶

En general los factores que condicionan las características de un agitador son:

- Sistema agitador (Rodete- recipiente)
- Sistema agitado
- Efecto que se pretende obtener con el agitador
- Tiempo en el que se quiere tener el efecto
- Potencia puesta en juego para accionar el agitador

⁶ www.ibt.unam.mx/alfredo/Consumodepotencia.pdf

1.4.1.4.1.3 POTENCIA REQUERIDA PARA ACTIVAR UN AGITADOR

Primero se determina el momento a la salida del reductor mediante la siguiente expresión:

$$M_2 = F \times d \quad \text{Ec 1.4.1.4.1.3-1}$$

Donde:

M_2 = momento a la salida del reductor

F = fuerza para mover el sustrato (124lbf o 551,576N)

d = distancia (0,14m)

Y luego se determina el momento a la entrada del reductor mediante:

$$M_1 = \frac{M_2}{u \times N} \quad \text{Ec 1.4.1.4.1.3-2}$$

Donde:

M_1 = momento a la entrada del reductor

M_2 = momento a la salida del reductor

u = relación de reducción (50:1)

N = rendimiento del reductor (90%)

Por lo tanto la potencia del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = M_1 \times W \quad \text{Ec 1.4.1.4.1.3-3}$$

Donde:

P = potencia del agitador

M_1 = momento a la entrada del reductor

W = número de revoluciones del motor

1.4.1.4.2 TIPOS DE TAPAS

Para cerrar recipientes cilíndricos se utilizan varios tipos de tapas, entre otras tenemos las siguientes:

- **TAPAS PLANAS**

Se utilizan para recipientes sujetos a presión atmosférica, generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo. Se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.

- **TAPAS TORIESFERICAS**

Son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es que el radio del abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 m. (11.8 - 236.22 pulg).

- **TAPAS SEMIELIPTICAS**

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa tori esférica es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las tori esféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 m.

- **TAPAS SEMIESFERICAS**

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas, como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.

- **TAPA 80:10**

El radio de abombado es el 80% de diámetro y el radio de esquina o de nudillos es igual al 10% del diámetro. Estas tapas las utilizamos como equivalentes a la semielíptica 2:1.

- **TAPAS CONICAS**

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana.

- **TAPAS TORICONICAS**

A diferencia de las tapas cónicas, este tipo de tapas tienen en su diámetro, mayor radio de transición que no deberá ser menor al 6% del diámetro mayor ó 3 veces el espesor. Tiene las mismas restricciones que las cónicas a excepción de que en México no se pueden fabricar con un diámetro mayor de 6 más.

- **TAPAS PLANAS CON CEJA**

Estas tapas se utilizan generalmente para presión atmosférica, su costo es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 m. De diámetro máximo.

- **TAPAS ÚNICAMENTE ABOMBADAS**

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones

relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada, al efectuar un cambio brusco de dirección.

La Tapa que se diseñó para el Fermentador es una tapa tipo Plana por lo tanto:

$$V= 0$$

Donde:

V= volumen

1.4.1.4.3 LOS DISPOSITIVOS DE ADICIÓN, EXTRACCIÓN Y CONTROL

“Los dispositivos de adición y los de extracción son puertos o aberturas en los reactores, que permiten la adición de los antiespumantes, el medio de cultivo y los microorganismos así como el drenaje del caldo de fermentación.

Los dispositivos de control son sensores del pH, la temperatura, la humedad y el oxígeno disuelto.

Todos estos dispositivos se colocan en la tapa del fermentador y deben estar bien sellados para impedir que el caldo se contamine con los microorganismos presentes en el ambiente.

1.4.1.4.3.1 TERMOCUPLAS

- **PRINCIPIO Y FUNCIONAMIENTO**

Una termocupla consiste de un par de conductores de diferentes metales o aleaciones (termopar o termoelementos); uno de los extremos, la junta de medición está colocado en el lugar donde se ha de medir la temperatura.

Los dos conductores (termoelementos) salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la junta de referencia. Se produce entonces una fuerza electromotriz (fem) que es función de la diferencia de temperatura entre las dos juntas. **Fig.1.4.1.4.3.1-1**

Dado que el principio de medición se basa en la diferencia de temperatura entre la junta de medición y la de referencia, la temperatura en la junta de referencia debe ser conocida y constante. De no ser esto posible, dicha temperatura deberá ser determinada por un segundo sensor.

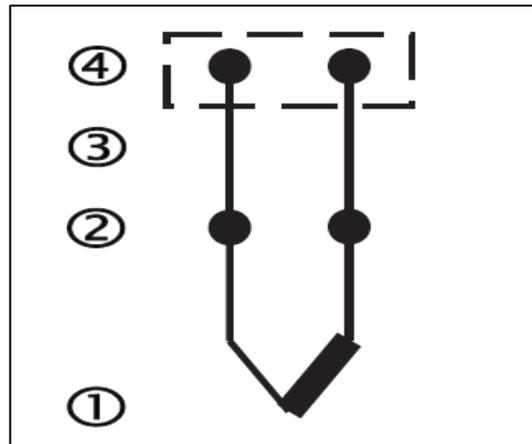


Fig. 1.4.1.4.3.1-1 ESQUEMA DE UNA TERMOCUPLA Y DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN

1. Junta de medición
2. Junta de conexión
3. Cable compensado
4. Junta de referencia

▪ **TERMOCUPLAS SEGÚN LAS NORMAS IEC-584 Y DIN 43 710**

Debido al gran número de posibles combinaciones de metales, algunas de ellas han sido seleccionadas (Tablas 1 y 2) y sus tablas de valores termoeléctricos y de tolerancias han sido incorporados en especificaciones estándar (tabla). Nótese que han sido estandarizados dos tipos de termocuplas (Hierro vs. Cobre-Níquel) y (Cobre vs. Cobre-Níquel) tanto en IEC 584 y DIN 43 710 pero en la actualidad las termocuplas tipo L y U se utilizan con menos frecuencia.

En las termocuplas listadas en la tabla el primer conductor siempre es el positivo y los colores se aplicarán tanto a los conductores como a los cables. En los casos en los que los

conductores en las termocuplas no estén identificados por color se podrán identificar de la siguiente forma:

- **Tipo J:** El conductor positivo es magnético.
- **Tipo T y U:** El conductor positivo es color cobre.
- **Tipo K:** El conductor negativo es magnético.
- **Tipo S y R:** El conductor negativo es más maleable que el positivo.”⁷

Estas distinciones no se aplican a los cables compensados.

TABLA 1.4.1.4.3.1-1

TERMOCUPLAS SEGÚN IEC 584-1

TERMOCUPLA	RANGO DE USO	CONDUCTOR POSITIVO	CONDUCTOR NEGATIVO
Tipo J, (Fe-CuNi)	-40 a +750 C	Negro	Blanco
Tipo T, (Cu - CuNi)	-40 a +350 C	Marrón	Blanco
Tipo K, (NiCr-Ni)	-40 a + 1200 C	Verde	Blanco
Tipo E, (NiCr-CuNi)	-40 a +900 C	Violeta	Blanco
Tipo N, (NiCrSi-NiSi)	-40 a +1200C	Purpura	Blanco
Tipo S,(Pt 10% Rh -Pt)	-40 a +1600 C	Naranja	Blanco
Tipo R,(Pt 13% Rh-Pt)	0 a + 1600C	Naranja	Blanco
Tipo B, (Pt 30% Rh-Pt 6% Rh)	+600 a 1700C	---	----

FUENTE: [HTTP://WWW.METRING.COM/NOTES/HI-10-10-MT2009.PDF](http://www.metring.com/notes/HI-10-10-MT2009.PDF)

TABLA 1.4.1.4.3.1-2

TERMOCUPLAS SEGÚN DIN 43710

⁷ www.metring.com/notes/HI-10-10-MT2009.pdf

TERMOCUPLA	RANGO DE USO	CONDUCTOR POSITIVO	CONDUCTOR NEGATIVO
Tipo L, Hierro Vs. Cobre –Níquel	600 C	Rojo	Azul
Tipo U, Cobre vs. Cobre – Níquel	-40 a 600 C	Rojo	Marrón

FUENTES: [HTTP://WWW.METRIN.COM/NOTES/HI-10-10-MT2009.PDF](http://www.metrin.com/notes/hi-10-10-mt2009.pdf)

1.4.1.4.3.2 PH

El pH es una medida de la actividad de los iones hidronio (H⁺) en una disolución acuosa y está definida por la siguiente ecuación.

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Para la medición y control de pH se utiliza un electrodo de vidrio en forma aséptica el cual va estar en contacto con la muestra que se va obtener del proceso de fermentación.

Un electrodo de pH consiste de dos celdas: un elemento sensor del pH y un elemento de referencia. El elemento sensor consiste de un alambre de plata cubierto con cloruro de plata inmerso en una solución de buffer (usualmente de pH 7), en un tubo sellado que termina con un fino bulbo de vidrio sensible al pH. El elemento de referencia consiste de otro alambre de plata cubierto de cloruro de plata inmerso en una solución buffer saturada de cloruro de potasio y un diafragma poroso que comunica con la sustancia a la que medirá el pH.

1.4.1.4.3.3 HUMEDAD

1.4.1.4.3.3.1 HUMEDAD DE SOLIDOS

La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido.

Es una variable importante en muchos ámbitos; por ejemplo, en procesos de fabricación que deben ser ejecutados respetando condiciones de humedad específicas para garantizar

los productos. A veces la clave está en la humedad del aire ambiental, y otras en la humedad de los productos mismos. Este apunte se refiere a la medición de la humedad absorbida en sólidos, mediante secado en hornos o por radiación infrarroja, mediante alteraciones de resistencias o capacidades eléctricas, y mediante absorción electromagnética.

En nuestro caso se decidió utilizar para tomar la lectura de humedad un sensor pequeño, modelo AR847.

1.4.1.4.4 LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR

“Es necesario mantener el proceso de fermentación a la temperatura en la que se logra el óptimo desarrollo de los microorganismos.

1.4.1.4.4.1 SERPENTINES DE TUBOS

El serpentín de tubos proporciona uno de los medios más baratos de obtener superficie para transferencia de calor. Para el diseño de serpentines para transferencia de calor se debe determinar el área de transmisión de calor necesaria para mantener el líquido o sólido contenido dentro del tanque a una temperatura constante o para aumentarla o disminuirla, en un tiempo determinado. Los serpentines de calentamiento se colocan en la zona baja del tanque, mientras que los de enfriamiento se sitúan en la parte alta del tanque. Pueden también estar colocados en pendiente para facilitar su drenaje.

Generalmente, los serpentines se fabrican en gran variedad de configuraciones y materiales partiendo de las aplicaciones y geometría de recipiente. Se construyen doblando longitudes variables de tubería de cobre, acero o aleaciones, para darle forma de hélices, o serpentines helicoidales dobles en los que la entrada y salida están convenientemente localizadas lado alado. El espesor de pared a seleccionar varía con el tipo de servicio y el material. En el caso de serpentines de acero al carbón se fabrican con tubería catálogo 80 o superior para que pueda resistir cierto grado de corrosión. Los de acero inoxidable u otras aleaciones resistentes a la corrosión, pueden utilizarse tubería

catalogo 5 o 10 para obtener costos mínimos, aunque se requieren soldaduras de alta calidad para este tipo de paredes delgadas, a fin de asegurar un servicio sin problemas.

- **TIPOS DE SERPENTINES**

- **Serpentines helicoidales de cualquier tipo**

Se instalan frecuentemente en recipientes cilíndricos verticales, ya sea con agitador o sin él, y siempre se provee de espacio entre el serpentín y la pared del recipiente para circulación. Cuando estos serpentines se usan con agitación mecánica, el eje vertical del agitador corresponde usualmente al eje vertical del cilindro.

- **Serpentines de doble espiral**

Pueden instalarse dentro de corazas con sus conexiones pasando a través de la coraza o sobre su tapa. Tales aparatos son similares a un intercambiador tubular, aunque limitados a pequeñas superficies.

- **Serpentín de espiral plano**

Espiral enrollado en un plano de manera que se puede localizar cerca del fondo de un recipiente para transferir calor por convección libre.”⁸

Para la transferencia de calor en el fermentador se utilizó un serpentín tipo espiral plano de 1000 W.

1.4.1.4.4.2 CÁMARA DE CALEFACCIÓN

También conocida como camisa externa o chaqueta, es la estructura que va por la parte exterior del reactor. Cede calor latente a la cámara de ebullición. En su parte interior puede contener agua o vapor, según sea el caso.

⁸ www.es.scribd.com/doc/54218042/6/Serpentines-de-tubos

1.4.1.4.4.3 CAMARA DE EBULLICION

También conocida como cámara interna, es la que va alojar al sustrato solido en su interior. Dicho sustrato va incrementar su temperatura gradualmente. Absorbe calor latente de la cámara de calefacción.

1.4.1.4.4.4 TIPOLOGÍA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN REACTOR

Se produce en las dos tipologías conocidas como: Conducción en el cual el calor se transmite de partícula a partícula, es decir es propia de los sólidos la convección que consiste en la transferencia de calor por la diferencia de densidades, esta es propia de los líquidos.

Independientemente del tipo de mecanismo de transporte de energía para que se lleve a cabo la transferencia de calor, el flujo del mismo se rige por:

$$Q = U \times A \times \Delta T \qquad \text{Ec 1.4.1.4.4.4-1}$$

Donde:

Q = Flujo de calor que transmite

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = Área de transferencia

ΔT = Gradiente de temperatura

1.4.1.4.4.5 TRANSMISION DE CALOR POR CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN

“De acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, el calor pasa siempre de las regiones de mayor temperatura a las de temperatura más baja. De este modo dos objetos, aislados térmicamente con respecto a otros objetos, se aproximan gradualmente a una temperatura final común.

- **CONDUCCIÓN**

Cuando dos objetos a temperaturas T_1 y T_2 se conectan mediante una barra, la transferencia de calor entre ellos y su diferencia de temperaturas están relacionadas según la ley

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{L} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.5-1}$$

Donde:

L = es la longitud de la barra

A = es el área de su sección transversal

k = es una constante, típica para cada material, llamada *conductividad térmica*

La cantidad $H = \Delta Q / \Delta t$ es llamada **flujo de calor**.

Mientras mayor la conductividad térmica, mejor conductor de calor es el material en consideración. Los metales son buenos conductores de calor, con k del orden de 10^3 a 10^4 veces más grandes que buenos aislantes, como asbesto o lana mineral.”⁹

▪ CONVECCION

“Se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido.

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

⁹ www.ing.unrc.edu.ar/materias/energia_solar/archivos/teoricos/teorico_conveccion.pdf.

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s (T_s - T_{inf})$$

Ec 1.4.1.4.4.5 -2

Donde:

h = coeficiente de convección

A = área del cuerpo en contacto con el fluido

T_s = temperatura en la superficie del cuerpo

T_{inf} = temperatura del fluido lejos del cuerpo.

1.4.1.4.4.6 SISTEMAS RADIALES – CILINDROS

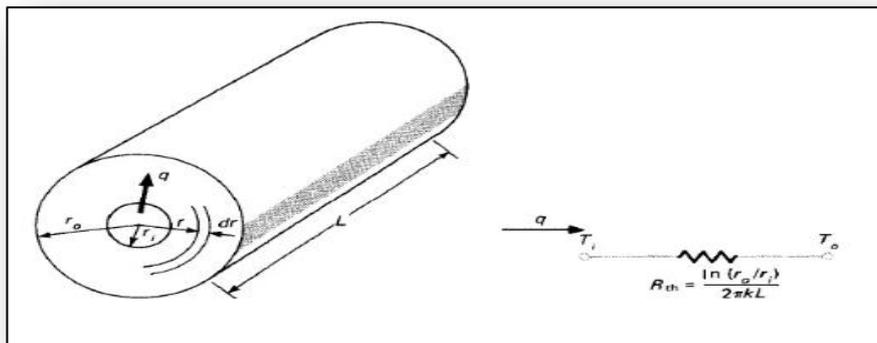


Fig. 1.4.1.4.4.6-1 FLUJO DE CALOR UNIDIMENSIONAL A TRAVES DE UN CILINDRO HUECO Y SU ANALOGO ELECTRICO

Considérese un cilindro largo con un radio interno r_i , un r_o y una longitud L , tal como se muestra en la siguiente figura. Exponemos este cilindro a una diferencia de temperaturas $T_i - T_o$ y preguntamos cual será el flujo de calor. Se puede suponer que el calor fluye en una dirección radial, de manera que r es la única coordenada espacial necesaria para especificar el sistema. Una vez más se utiliza la ley de Fourier introduciendo la relación de área adecuada. El área para el flujo de calor en el sistema cilíndrico es:

$$A_r = 2\pi r L$$

Así la ley de Fourier se escribe:

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr}$$

$$q_r = -2\pi krL \frac{dT}{dr} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.6-1}$$

Con condiciones de frontera:

$$T = T_i \quad \text{en } r = r_i$$

$$T = T_o \quad \text{en } r = r_o$$

La solución a la Ec. 1.4.1.4.4.7-1 es:

$$q = \frac{2\pi kL(T_1 - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.6-2}$$

En este caso la resistencia térmica es:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kL}$$

El concepto de resistencia térmica puede usarse para paredes cilíndricas multicapas, tal es el caso para el sistema de tres capas que se muestra en la siguiente figura, la solución es:

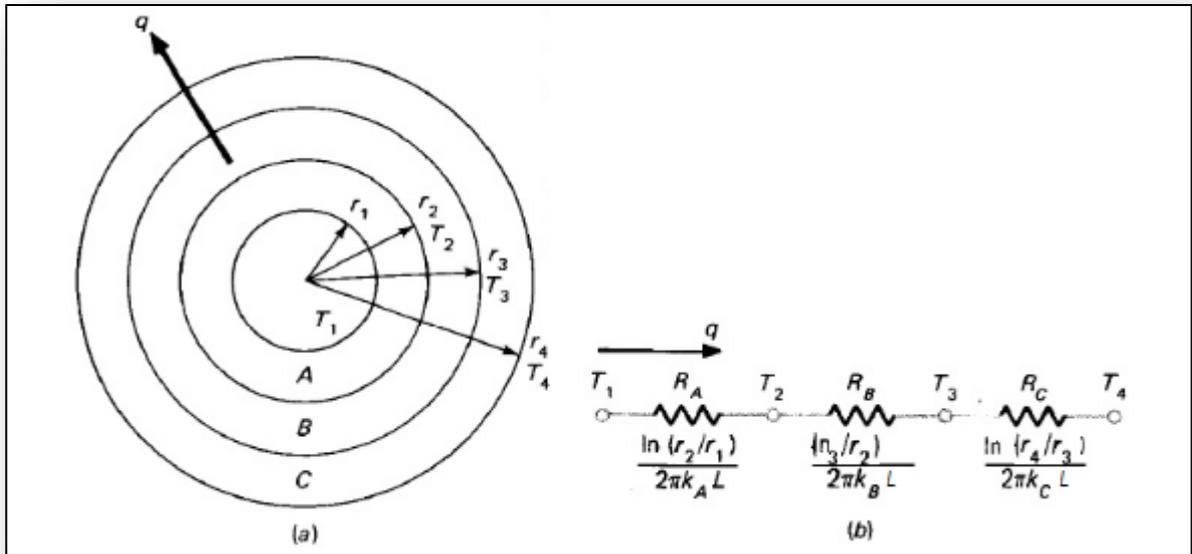


Fig. 1.4.1.4.4.6-2 FLUJO DE CALOR UNIDIMENSIONAL A TRAVES DE SECCIONES CILINDRICAS MULTIPLES Y SU ANALOGO ELECTRICO.

$$q = \frac{2\pi L(T_1 - T_4)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_a} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_b} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_c}} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.6-3}$$

1.4.1.4.4.7 EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL

“Considérese que la pared plana que se muestra en la siguiente figura se encuentra expuesta a un fluido caliente A de un lado y un fluido B más frío que el otro. La transferencia de calor se expresa por:

$$q = h_1 A (T_A - T_1) = \frac{kA}{\Delta x} (T_1 - T_2) = h_2 A (T_2 - T_B)$$

El proceso de transferencia de calor puede expresarse por la ley de resistencias, y la transferencia de calor total se calcula como la razón de la diferencia de la temperatura total a la suma de las resistencias térmicas.

$$q = \frac{(T_A - T_B)}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.7-1}$$

Obsérvese que se usa el valor $\frac{1}{hA}$ para representar la resistencia de convección. La transferencia de calor total por conducción y convección combinadas, con frecuencia se expresa en términos de un coeficiente de transferencia de calor total U definido por la relación:

$$q = U \times A \times \Delta T_T \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.7-2}$$

En donde A es cierta área adecuada para el flujo de calor. De acuerdo con la Ec.1.4.1.4.4.7-1 el coeficiente de transferencia total sería:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Para un cilindro hueco expuesto a un medio de convección en sus superficies interior y exterior, a analogía de resistencia eléctrica aparecería tal como en la siguiente figura, en donde, una vez más, T_A y T_B son las temperaturas de los dos fluidos.

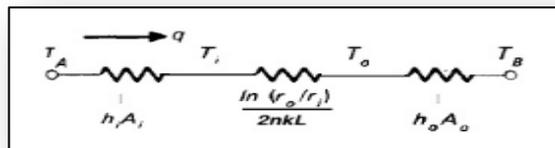


Fig. 1.4.1.4.4.7-1 ANALOGIA DE RESISTENCIAS PARA UN CILINDRO HUECO CON FRONTERAS DE CONVECCION

Obsérvese que en este caso, el área para convección no es la misma para ambos fluidos; estas áreas dependen del diámetro interno del tubo y del espesor de la pared.

En este caso la transferencia de calor total se expresaría por:

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.7-3}$$

De acuerdo con la red térmica que se muestra en la figura anterior. Los términos A_i y A_o representan las áreas de superficie interna y externa del tubo interior. Coeficiente de transferencia de calor total puede basarse en el área interior o exterior del tubo. En consecuencia.”¹⁰

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{2\pi k L} + \frac{A_i}{A_o h_o}} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.7-4}$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_i}{A_o h_i} + \frac{A_o \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}} \quad \text{Ec 1.4.1.4.4.7-5}$$

1.4.1.4.5 SISTEMA DE AIREACION

La mayoría de los procesos industriales requieren oxígeno (en mayor o menor cantidad) para el desarrollo de los microorganismos. El oxígeno es muy poco soluble en agua, por lo que se debe suministrar continuamente. El aire se incorpora mediante una bomba y es esterilizado a través de filtros e inyectando por la parte inferior del fermentador, cerca de las paletas de agitación, para que estas se encarguen de su distribución en todo el sustrato fermentado.

El sistema de aireación externamente comprende las líneas de entrada F_i y salida de aire F_f e internamente debe optimizar la transferencia de gases nutrientes (aire) hacia el sustrato sólido. Un sistema de aireación consta de cuatro partes mecánicas: fuente de aire; tubería y filtros de entrada; boquilla y difusor de aire; tubería y filtros de salida. Y

¹⁰ HOLMAN.J.P., Transferencia de Calor., D.F-México., McGraw- Hill., 1986., Pp.45-49.

tres partes de control: control de flujo aire; control de presión de aire; control de difusión de oxígeno disuelto.

- **FUENTE DE AIRE**

Dado que el sistema de aireación, en su conjunto, depende de la correcta elección del dispositivo que suministrará la fuente de aire consta de las siguientes partes:

1. **Soplantes:** en la actualidad se utiliza dos tipos de soplantes: centrifugas y de desplazamiento positivo. Los soplantes centrífugas se utilizan cuando la capacidad para asegurar de la unidad es superior a $85\text{m}^3/\text{min}$ de aire. A caudales menores, hay que probar la posibilidad de reducción de la capacidad para asegurar la satisfacción de las demandas de oxígeno en condiciones de caudales bajos la presión de descarga suele variar entre 48 y 62 KN/m^2 .

Los soplantes centrifugas tienen características de funcionamiento parecidas a las bombas centrífugas de baja velocidad específica. La presión de descarga aumenta desde la posición de cierre hasta su valor máximo en valores cercanos al 50 por 100 de la capacidad de la unidad, luego desciende.

El punto de funcionamiento del soplante se determina al igual que se hace con las bombas centrifugas, por intersección de la curva caudal-altura y la curva del sistema. Los soplantes se calibran con aire en condiciones normalizadas de temperatura (20C), presión (760mmHg), de humedad relativa (36 por 100). El peso específico del aire normalizado es de $1,20\text{kg/m}^3$. La densidad del aire afecta el rendimiento de los soplantes, y cualquier variación de la temperatura o de la presión barométrica del aire en la aspiración de la unidad puede cambiar la densidad del aire comprimido. Cuanto mayor sea la densidad del aire mayor será la presión y como consecuencia, se

mayor potencia para el proceso de compresión. Los soplantes se deben diseñar con capacidad suficiente para el suministro del aire. La potencia necesaria para llevar a cabo el proceso de compresión adiabática se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{WRT}{29,7ne} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad \text{Ec 1.4.1.4.5-1}$$

Donde:

P_w = potencia necesaria para cada soplante, kW.

W = caudal de aire en peso, kg/s.

R = constante universal de los gases = 8,314 kJ/ kmol K.

T = temperatura absoluta a la entrada, K.

P₁ = presión absoluta a la entrada, atm.

P₂ = presión absoluta a la salida, atm.

n = 0,283 (para el aire).

k = 1,395 (para el aire).

e = eficiencia (en compresores, normalmente entre 0,70 y 0,90).

▪ TUBERÍA - LÍNEA DE AIRE

Esta debe ser de acero inoxidable.

Para determinar la velocidad de flujo de aire necesario se puede tomar como dato la demanda de oxígeno, considerando la eficiencia de absorción, E (3-30%).

La tasa específica de aireación se entrega en “volúmenes de aire por volumen de líquido por minuto”, vvm.

Para el cálculo de la velocidad de flujo de aire se utiliza la siguiente ecuación:

$$vvm = \frac{F_{aire}}{V_{liquido}} = \frac{N_A RT}{0,21PE} \quad \text{Ec 1.4.1.4.5-2}$$

Donde:

N_A = velocidad de transferencia de oxígeno, ($\frac{mmol}{L h}$).

R = Constante de los gases, ($0,082 \frac{atm L}{mol K}$).

T = temperatura de diseño, 300K.

P = presión de diseño, 0,73atm.

E = Eficiencia de absorción, (3-30%).

1.4.1.5 PROPIEDADES QUE DEBEN TENER Y REQUISITOS QUE DEBEN LLENAR LOS MATERIALES

Dentro de estas propiedades tenemos las siguientes:

Propiedades mecánicas: al considerar estas propiedades del material, es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, alto tanto de cedencia por ciento de alargamiento alto y mínima, reducción de área, con estas propiedades principalmente se establecen los esfuerzos de diseño para el material en cuestión.

Propiedades físicas: aquí se busca que el material deseado tenga bajo coeficiente de dilatación térmica.

Propiedades químicas: la principal propiedad química que debemos considerar en el material que utilizaremos en la fabricación de recipientes a presión, es su resistencia a la corrosión. Este factor es de muchísima importancia, ya que un material mal seleccionado nos causará múltiples problemas, las consecuencias que se derivan de ello son:

- Reposición del equipo corroído
- Sobre diseño en las dimensiones.
- Mantenimiento preventivo
- Paros debidos a la corrosión de los equipos
- Contaminación o pérdida del producto
- Daños a equipos adyacentes
- Consecuencia de equipo social

Soldabilidad: Los materiales usados para fabricar recipientes a presión deben tener buenas propiedades de soldabilidad debido que la mayoría de sus componentes son de

construcción soldada. En el caso en que se tengan que soldar materiales diferentes entre si estos deberán ser compatibles en lo que se refiere a soldabilidad.

1.4.1.6 DEFINICIONES

Temperatura de Operación: Es el valor normal de temperatura en las condiciones de operación del proceso a la cual el cambiador de calor será expuesto.

Temperatura de Diseño: Es la temperatura que será utilizada en el diseño en el cambiador de calor.

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

Margen o sobre espesor de corrosión: Las normas no prescriben la magnitud del margen de corrosión excepto para recipientes con espesor mínimo menor de 0,25 pulg que de utilizarse para servicio de vapor de agua o aire comprimido para los cuales indica un margen de corrosión no menos de la sexta parte del espesor de la placa calculada. No es necesario que la suma del espesor calculado más el margen de corrosión exceda de un cuarto de pulgada (Norma UCS -25).

Para otros recipientes en que sea predecible el desgaste por corrosión, la vida esperada del recipiente será la que determine el margen y si el efecto de la corrosión es indeterminado el margen lo definirá el diseñador. Un desgaste de corrosión de 5 milésimas de pulgada por año (1/16 milésimas de pulgadas en 12 años) generalmente es satisfactorio para recipientes y tuberías.

La vida deseada de un recipiente es una cuestión económica. Los recipientes principales o mayores se diseñan principalmente generalmente para una vida larga de diseño (15 a 20), mientras que los secundarios o menores para periodos más cortos (8 a 10 años).

Eficiencia de las soldaduras (E): Se define como el grado de confiabilidad de las juntas soldadas en relación al grado de inspección y se establecen como porcentaje según se define a continuación para el caso de soldadura tope con penetración completa.¹¹

TABLA 1.4.1.6-1

EFICIENCIA DE LA SOLDADURA

	Radiografiada al 100%	Radiografiada por puntos	Sin Radiografiada
Valore de E	1.00	0,85	0.7

Fuente: MEGYESY., E., Manual de Recipientes a Presión., México., D. F. Pp. 174-175-195.

Chumaceras: La chumacera es una combinación de un rodamiento radial de bolas, sello, y un alojamiento de hierro fundido de alto grado de acero prensado, aluminio, acero inoxidable. Soportan la carga nominal de diseño y son tan resistentes a la corrosión como un acero inoxidable.

Acoples tipo clamp: son utilizados como Abrazaderas de Seguridad de acero inoxidable se tiene que presionar firmemente los sellos y girar para realizar un cerrado hermético.

Broches: Son broche de presión formado básicamente por la combinación de piezas las cuales al acoplarse conjuntamente con otro material pueden adaptarse y tener un sellado hermético. Son de acero inoxidable.

Empaques: Están hecho de un material resistente que garantiza la máxima protección,

Válvulas Esféricas: Es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

Mangueras: Es un tubo hueco flexible diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro.

¹¹ MEGYESY., E., Manual de Recipientes a Presión., México., D. F. Pp. 174-175-195.

Filtro de humedad de aire: Son materiales usados principalmente para retener la humedad excesiva contenida en el compresor y así dejar pasar más aire para que funcione el equipo en óptimas condiciones.

1.4.2 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL FERMENTADOR

La tecnología de los procesos fermentativos es una amalgama de técnicas biológicas e ingeniería química. A continuación se describe una lista de 13 puntos considerados como los criterios más importantes para el diseño de un fermentador:

1. El tanque debe diseñarse para que funcione asépticamente durante numerosos días, así como para las operaciones de más larga duración.
2. Se debe proporcionar un sistema adecuado de aireación y agitación para cubrir las necesidades metabólicas de los microorganismos.
3. El consumo de energía debe ser tan bajo como sea posible.
4. Debe tener un sistema para el control del pH.
5. El fermentador debe tener un sistema para la toma de muestras.
6. Debe existir un sistema para el control de la temperatura.
7. Las pérdidas por evaporación no deben ser excesivas.
8. El diseño del tanque debe ser tal que las operaciones laborales durante el funcionamiento, recolección, limpieza y mantenimiento sean mínimas.
9. El tanque debe ser versátil para la aplicación de diversas modalidades de procesos.
10. Las superficies internas del tanque deben ser lisas, utilizando, donde sea posible, soldaduras.
11. La geometría del fermentador debe ser similar a otros tanques más pequeños o mayores de la planta o a los de la planta piloto para poder reproducir procesos a diferentes escalas.
12. Deben emplearse los materiales más baratos que proporcionen resultados satisfactorios.
13. Debe existir un servicio adecuado de repuestos para el fermentador.

El mantenimiento de un ambiente aséptico y unas condiciones aeróbicas son, probablemente, los dos puntos de mayor relevancia que hay que considerar. Los fermentadores más ampliamente utilizados a nivel industrial están provistos de mecanismos de agitación, dispersión y aireación así como de sistemas para el control de la temperatura, humedad y pH.

1.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL FERMENTADOR

1.4.3.1 CALCULO DE LA ALTURA DEL SOLIDO

Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad \text{Ec 1.4.3.1-1}$$

$$h_s = \frac{V}{\pi \times r^2} \quad \text{Ec 1.4.3.1-2}$$

Donde:

hs = altura del sólido

r = radio

V = volumen del solido

1.4.3.2 CALCULO DEL VOLUMEN DEL SUSTRATO A OCUPAR

Aquí se procede a utilizar la fórmula de la densidad:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec 1.4.3.2-1}$$

Donde:

ρ = Densidad: 0,34g/cm³

m = masa

v = volumen (cm³)

1.4.3.3 CALCULO DE LA PRESIÓN TOTAL

Antes se va a mencionar conceptos como los siguientes:

Presión de operación (Po): es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

Presión de diseño (P): es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente en condiciones de operación. Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes que constituyen recipientes sometidos a presión, dicho valor será:

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ lb/pulg}^2 \quad P = 1,1 P_o$$

$$\text{Si } P_o \leq 300 \text{ lb/pulg}^2 \quad P = P_o + 30 \text{ lb/pulg}^2$$

Se calcula la presión total del equipo con la siguiente expresión:

$$P_T = P_o + P \quad \text{Ec 1.4.3.3-1}$$

Donde:

P_T = Presión total

P_o = Presión de operación

P = Presión de diseño

1.4.3.4 CALCULO DEL ESPESOR DEL CASCO CILINDRICO CON MARGEN DE CORROSION

Es muy necesario establecer el espesor del casco y de la tapa en el que se va a construir el sistema, teniendo en cuenta el factor de corrosión que ataca a todo tipo de material en determinados tiempos.

Se utiliza una expresión ya establecida como es:

$$e_c = \frac{P \times r}{S \times E - 0,6P} + C \quad \text{Ec 1.4.3.4-1}$$

Donde:

r = radio en pulgadas.

E = eficiencia de soldadura, se toma el valor de 1

S = esfuerzo del material. Para el acero AISI 304 es 27557,16 lb/pulg² a la temperatura de diseño.

P = presión de diseño.

C = margen de corrosión 1/16 pulg.

1.4.3.5 CALCULO DEL ESPESOR DE LA TAPA PLANA CON MARGEN DE CORROSION

Generalmente se utilizan estas tapas para cerrar recipientes sujetos a presión atmosféricos. Y su costo dentro del mercado es más bajo. De manera que se decidió diseñar esta tapa de acuerdo a las necesidades del proceso. A continuación se muestra la ecuación correspondiente:

$$e_T = \frac{P \times r}{2 \times S \times E - 0,2P} + C \quad \text{Ec. 1.4.3.5-1}$$

Donde:

r = es el radio interno en pulgadas.

E = es la eficiencia de soldadura, se toma el valor de 1

S = es el esfuerzo del material. Para el acero AISI 304 es 27557,16 lb/pulg² a la temperatura de diseño.

P = presión de diseño.

C = margen de corrosión 1/16 pulg.

1.4.3.6 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN

$$V_e = f_s \times V_d \quad \text{Ec 1.4.3.6-1}$$

Donde:

V_e = volumen de la cámara de ebullición

f_s = factor de seguridad (0,33)

V_d = volumen del sustrato a ocupar

1.4.3.7 CALCULO DE LA ALTURA DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN

$$V_t = \pi \times r^2 \times h \quad \text{Ec 1.4.3.7-1}$$

$$h = \frac{V_t}{\pi \times r^2} \quad \text{Ec 1.4.3.7-2}$$

Donde:

r = radio

h = altura de la cámara de ebullición

V = volumen total

1.4.3.8 CALCULO DE LA ALTURA DE CÁMARA DE CALEFACCIÓN

Considerando que la altura de la cámara de calefacción es el 80% de la altura total del cilindro se determina que:

$$h_c = \frac{h_T \times 80}{100} \quad \text{Ec 1.4.3.8-1}$$

Donde:

h_c = altura de la cámara de calefacción

h_T = altura total

1.4.3.9 CALCULO DEL VOLUMEN REAL DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

$$V_{cal} = V - V_{eb} \quad \text{Ec 1.4.3.9-1}$$

Donde:

V_{cal} = Vol. De la Cámara de calefacción

V = Vol. Total del tanque

V_{eb} = Vol. de la cámara ebullición

1.4.3.10 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN

La agitación se refiere a forzar un fluido o un sólido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente.

En nuestro caso se va utilizar un agitador de paletas tipo palas planas inclinadas con un ángulo de 45°C. Para este agitador se realiza los siguientes cálculos respectivos:

➤ **Altura del agitador**

$$L = 1,36\phi_t \quad \text{Ec 1.4.3.10-1}$$

Donde:

L = altura del agitador (cm)

Φ_t = diámetro del cilindro (cm)

➤ **Longitud del brazo**

Dentro del sistema de agitación el rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido o sólido circule a través del tanque y nuevamente retorne al rodete. La longitud del brazo del agitador está dada por la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{10}{11} \Phi t \quad \text{Ec 1.4.3.10-2}$$

Donde:

L_B = Longitud del brazo (cm)

Φ_t = diámetro del cilindro (cm)

➤ **Espesor del brazo del agitador**

No existe una relación fija para el espesor del rodete generalmente varía desde un sexto a un dieciochoavos de la longitud del brazo.

$$Er = \frac{1}{18} Lb \quad \text{Ec 1.4.3.10-3}$$

Donde:

E_r = espesor del rodete (cm)

L_B = Longitud del brazo (cm)

➤ **Diámetro del Rodete**

Para el diámetro del rodete se emplea la siguiente ecuación:

$$\Phi r = \frac{6}{7} \Phi t \quad \text{Ec 1.4.3.10-4}$$

Donde:

Φ_r = diámetro del rodete (cm)

Φ_t = diámetro del cilindro (cm)

➤ **Distancia entre el fondo del Tanque y el rodete**

Para que exista una buena mezcla debe existir un espacio adecuado entre el fondo del tanque y el rodete para que todas las corrientes provocadas por la agitación puedan homogenizar completamente el líquido o sólido en el proceso. Para ello generalmente se tiene la siguiente ecuación:

$$X = h - L_B - L_P \quad \text{Ec 1.4.3.10-5}$$

Donde:

h = altura del cilindro (cm)

L_B = Longitud del brazo (cm)

L_P = longitud de la paleta (cm)

➤ **Alto de la paleta**

Para determinar el alto de la paleta se emplea a menudo la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{1}{12} L_B \quad \text{Ec 1.4.3.10 -6}$$

Donde:

A_p = Alto de la paleta (cm)

L_B = Longitud del brazo (cm)

1.4.3.11 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR DEL SUSTRATO

Para calcular el calor que elimina el sustrato se realiza el siguiente balance:

$$Q_{sus} = Qc + Qa + Qm \quad \text{Ec 1.4.3.11-1}$$

Donde:

Q_{sus} = Calor del sustrato

Q_a = Calor del arrozillo

Q_m = Calor de la melaza

Q_c = Calor de la cascarilla

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \quad \text{Ec 1.4.3.11-2}$$

Donde:

m = masa

C_p = capacidad calorífica

ΔT = variación de temperatura

1.4.3.12 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA FINAL DEL AGUA

Para calcular la temperatura final a la que va estar el agua de la chaqueta para mantener la temperatura deseada se realiza el siguiente balance:

$$Q_{sus} = Q_M + Q_A \quad \text{Ec 1.4.3.12-1}$$

Donde:

Q_{sus} = Calor del sustrato

Q_M = calor del material

Q_A = calor del agua

$$Q_s = (m \times Cp \times \Delta T)_M + (m \times Cp \times \Delta T)_A \quad \text{Ec 1.4.3.12-2}$$

Donde:

Q_s = Calor del sustrato

m = masa

C_p = capacidad calorífica (metal, agua)

ΔT = variación de temperatura

1.4.3.13 CALCULO DE LA RAPIDEZ DE CALOR

Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_r = \frac{\Delta T}{\sum R_{termicas}} \quad \text{Ec 1.4.3.13-1}$$

Donde:

q_r = rapidez de calor

ΔT = diferencia de temperatura

$\sum R$ = sumatoria de resistencias térmicas

1.4.3.14 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR

Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{q_{ro}}{A_o} \quad \text{Ec 1.4.3.14-1}$$

Donde:

Q = Flujo de calor

q_{ro} = rapidez de calor

A_o = área de transferencia de calor

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

En base a una serie de cálculos se diseñó y se construyó un fermentador rotatorio de fase sólida para la multiplicación del hongo *Trichoderma sp*, tomando en cuenta las variables de proceso que se encuentran dentro del sistema.

2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.1.1 MÉTODOS

El presente estudio utilizara recursos teóricos para obtener apropiadamente la metodología adecuada a través de la implementación del proyecto del diseño, selección y aplicación de todas las herramientas y componentes necesario para la elaboración de un fermentador, en respuesta a las posibles interrogantes que se puedan presentar.

2.1.1.1 INDUCTIVOS

Involucra aquellos procedimientos que van de lo simple a lo compuesto, es decir, de las partes al todo, se caracterizan porque tienen una síntesis.

Realizando las respectivas pruebas dentro del laboratorio se establecen los diferentes parámetros como la temperatura, humedad, pH, eficiencia de la fermentación, densidad.

Mediante estos parámetros se determina el material del equipo a construir, la capacidad de volumen que debe ser diseñado el fermentador, su altura, diámetro y otras variables, los cuales estos se van a convertir en nuestros datos de partida para el dimensionamiento; así como el estudio de todos los elementos que conforman el equipo y una vez realizados los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento y a su vez considerando todos los aspectos necesarios en la construcción del equipo, se procederá al armado y ensamblaje del mismo, tomando en cuenta el aspecto económico y técnicos detallados en el presente trabajo.

2.1.1.2 DEDUCTIVOS

Están basados en la descomposición del todo en sus partes, va de lo general a lo particular y se caracteriza porque contiene un análisis.

De acuerdo a investigación nacional y local en la producción de bio fungicidas se ha visto la necesidad de implementar equipos más sofisticados donde se produzca la fermentación en estado sólido en el menor tiempo posible, que reduzca la utilización de materiales y en lo posible ser semiautomatizada.

A más del diseño del fermentador, se establecerá en esta investigación estudios complementarios de transferencia de calor, masa, operaciones unitarias, entre otras.

2.1.2 TÉCNICAS

La técnica es el conjunto de instrumentos para efectuar el método, con lo cual utilizaremos las siguientes:

Síntesis.- Corresponde a sintetizar el material de estudio constituyendo una técnica clave de estudio dirigida a conseguir los siguientes objetivos:

- Aclarar la estructura del tema descubriendo lo esencial y lo importante.
- Ordenar jerárquicamente las ideas.
- Facilitar el estudio activo.

Análisis.- Nos permitirá analizar todos los datos obtenidos en la práctica, y darle uso para el fin que buscamos determinar cuáles son las variables de proceso y en cuales podemos realizar cambios.

2.2 DATOS EXPERIMENTALES

2.2.1 SIMULACIÓN

2.2.1.1 DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL SUSTRATO

TABLA 2.2.1.1-1

DETERMINACION DE LA MASA DEL SUSTRATO

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
La masa es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo. Es una propiedad intrínseca de los cuerpos que determina la medida de la masa inercial y de la masa gravitacional. La unidad utilizada para medir la masa en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo (kg).	10 botellas de sustrato con <i>Trichoderma</i> 1 Calculadora	Con los datos obtenidos (P_2 y P_1) se procede a restar el peso de la botella con sustrato de la botella vacía y se obtiene el valor deseado (P_4).	$P_4 = P_2 - P_1$ Donde: P_4 : peso del sustrato P_2 : peso de la botella con sustrato P_1 : peso de la botella vacía

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.2 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD PERDIDA 1

TABLA 2.2.1.3-1

DETERMINACION DE LA HUMEDAD PERDIDA 1

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido.</p> <p>Es una variable importante en muchos ámbitos; por ejemplo, en procesos de fabricación que deben ser ejecutados respetando condiciones de humedad específicas para garantizar los productos.</p> <p>A veces la clave está en la humedad del aire ambiental, y otras en la humedad de los productos mismos.</p>	<p>10 botellas de sustrato con <i>Trichoderma</i></p> <p>10 papeles craf</p> <p>10 ligas</p> <p>1 balanza</p> <p>1 autoclave</p> <p>1 bandeja de plástico</p>	<p>Se escoge 10 botellas del mismo tamaño.</p> <p>Se procede a pesar cada botella.</p> <p>Se envasa y se toma nuevamente el peso de cada una.</p> <p>Después de la esterilización se vuelve a tomar el peso.</p> <p>Se calcula la humedad.</p>	$P_5 = P_2 - P_3$ <p>Donde:</p> <p>P₅: humedad perdida 1</p> <p>P₃: peso de la botella después de la esterilización.</p> <p>P₂: peso de la botella con sustrato.</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD PERDIDA 1

TABLA 2.2.1.4-1

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD PERDIDA 1

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido.</p> <p>Es una variable importante en muchos ámbitos; ejemplo, en procesos de fabricación que deben ser ejecutados respetando condiciones de humedad específicas para garantizar los productos.</p> <p>A veces la clave está en la humedad del aire ambiental, y otras en la humedad de los productos mismos.</p>	<p>10 botellas de sustrato con <i>Trichoderma</i></p> <p>1 balanza</p> <p>1 autoclave</p> <p>1 calculadora</p>	<p>Se escoge 10 botellas del mismo tamaño.</p> <p>Se procede a pesar cada botella.</p> <p>Se envasa y se toma nuevamente el peso de cada una.</p> <p>Después de la esterilización se vuelve a tomar el peso.</p> <p>Se calcula el porcentaje de humedad.</p>	$\%P_7 = \frac{H_{p1} \times 100}{P_4}$ <p>Donde:</p> <p>%P₇: porcentaje de humedad perdida 1</p> <p>H_{p1}: humedad perdida 1</p> <p>P₄: sustrato</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.4 DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO ESTÉRIL

TABLA 2.2.1.5-1

DETERMINACION DEL SUSTRATO ESTERIL

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
La esterilización es la aniquilación de todas las bacterias patógenas y no patógenas incluyendo esporas, así como los virus, comúnmente son utilizados el calor húmedo y el calor seco.	1 calculadora	Con los datos ya obtenidos (P_4 , P_5) se procede a restar el peso del sustrato del peso de la humedad perdida 1 y se obtiene el valor deseado. (P_6)	$P_6 = P_4 - P_5$ <p>Donde:</p> <p>P_6: Sustrato estéril</p> <p>P_4: peso del sustrato</p> <p>P_5: humedad perdida 1</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.5 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

TABLA 2.2.1.6-1

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido.</p> <p>Es una variable importante en muchos ámbitos; por ejemplo, en procesos de fabricación que deben ser ejecutados respetando condiciones de humedad específicas para garantizar los productos.</p> <p>A veces la clave está en la humedad del aire ambiental, y otras en la humedad de los productos mismos.</p>	<p>5 botellas con sustrato</p> <p>1 balanza analítica</p> <p>10 papeles craf</p> <p>10 ligas</p> <p>1 autoclave</p> <p>1 estufa</p>	<p>Se escoge 5 botellas del mismo tamaño.</p> <p>Se procede a pesar cada botella.</p> <p>Se envasa y se toma nuevamente el peso de cada una.</p> <p>Después de la esterilización se vuelve a tomar el peso.</p> <p>Luego se colocan en la estufa a las botellas a una T: 110C, hasta obtener un peso constante y de esa manera se determina el porcentaje de humedad.</p>	$\%P_{10} = \frac{P_3 - P_9}{P_3 - P_1} \times 100$ <p>Donde:</p> <p>P₁₀: porcentaje de humedad</p> <p>P₃: peso de la botella después de la esterilización.</p> <p>P₉: peso constante</p> <p>P₁: peso de la botella vacía</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.6 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

TABLA 2.2.1.7-1

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DESPUES DEL PROCESO DE FERMENTACION

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido.</p> <p>Es una variable importante en muchos ámbitos; por ejemplo, en procesos de fabricación que deben ser ejecutados respetando condiciones de humedad específicas para garantizar los productos.</p> <p>A veces la clave está en la humedad del aire ambiental, y otras en la humedad de los productos mismos.</p>	<p>5 Botella con el sustrato de <i>Trichoderma sp.</i></p> <p>1 balanza</p> <p>1 autoclave</p> <p>30 ml de Inoculo</p> <p>1 pipeta 10 ml</p> <p>2 botellas de vidrio con agua esterilizada.</p> <p>Focos</p> <p>1 espátula</p>	<p>Se escoge 9 botellas del mismo tamaño.</p> <p>Se procede a pesar cada botella.</p> <p>Se envasa y se toma nuevamente el peso de cada una.</p> <p>Después de la esterilización se vuelve a tomar el peso.</p> <p>Se inocula y se coloca en las cámaras de crecimiento durante 8 días.</p> <p>Se toma el peso da cada botella y se determina el porcentaje de humedad inicial.</p> <p>Terminado los 8 días de crecimiento se pesa nuevamente y se obtiene la humedad con la que sale el sustrato fermentado.</p>	$\%P_6 = \frac{P_4 - P_5}{P_4 - P_3}$ <p>Donde:</p> <p>P3 = peso del sustrato</p> <p>P4 = peso después de la esterilización</p> <p>P5 = peso después del proceso de fermentación</p> <p>P6 = porcentaje de humedad con la que sale el producto.</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

TABLA 2.2.1.7-1

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La densidad es una propiedad general de todas las sustancias. No obstante su valor es específico para cada sustancia, lo cual permite identificarla o diferenciarla de otras.</p> <p>La densidad es una propiedad intensiva y su valor depende de la temperatura y de la presión. Se define como la masa de una sustancia presente en la unidad de volumen:</p> $d = m / V$ <p>Se acostumbra a expresar la densidad de los líquidos y sólidos en g/MI</p>	<p>10 botellas con sustrato</p> <p>10 Papel craf</p> <p>10 Ligas</p> <p>1 autoclave</p> <p>1 Balanza analítica</p> <p>1 papel aluminio</p> <p>1 vaso de precipitación de 200 mL</p> <p>1 espátula.</p>	<p>Primero se determina el volumen de la siguiente manera:</p> <p>Se escoge 10 botellas del mismo tamaño.</p> <p>Señalar con un marcador hasta el ras de donde se encuentra el sustrato.</p> <p>De cada una de las botellas se pesa el sustrato en papel aluminio.</p> <p>Una vez desalojado el sustrato, llenamos las botellas con agua.</p> <p>Medir el volumen del agua de cada una de las botellas en un vaso de precipitación.</p> <p>Y por último se determina la densidad.</p>	<p>.</p> $v = h \times b^2$ <p>Donde: v:volumen h: altura b: base</p> $\rho = \frac{m}{v}$ <p>Donde: ρ: Densidad m: masa (sustrato estéril) v: volumen (cm³)</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.8 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA MELAZA

TABLA 2.2.1.10-1

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA MELAZA

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La densidad es una propiedad intensiva y su valor depende de la temperatura y de la presión. Se define como la masa de una sustancia presente en la unidad de volumen:</p> $d = m / V$ <p>Se acostumbra a expresar la densidad de los líquidos y sólidos en g/mL</p>	<p>1 probeta de 10 ml 1 balanza analítica 1 vaso de precipitación de 100ml</p>	<p>Medir 100ml de melaza en un vaso de precipitación. Pesar los 100 ml de melaza. Determinar la densidad</p>	$\rho = \frac{m}{v}$ <p>Donde : ρ: densidad m:masa v :volumen</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.9 DETERMINACION DE LA MASA DE LA CASCARILLA

TABLA 2.2.1.9-1

DETERMINACION DE LA MASA DE CASCARILLA

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La masa es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo. Es una propiedad intrínseca de los cuerpos que determina la medida de la masa inercial y de la masa gravitacional. La unidad utilizada para medir la masa en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo (kg).</p>	<p>1 Cedazo 1 balde de 20L 1Kg de cascarilla 1 balanza analítica Fundas plásticas 10L Agua Melaza 1 Matraz de 1000ml</p>	<p>Colocar 1Kg de cascarilla en el balde de 20L. Agregar agua hasta que cubra la cascarilla en este caso fue 10L y 17 ml de melaza Dejar remojar por 24 horas. Al siguiente día cernir la cascarilla con un cedazo. Antes tomar el peso del cedazo. Pesar la cascarilla húmeda. Obtener la masa de la cascarilla.</p>	$m_{cascarilla} = P_{cascarilla\ h.} - P_{cedazo}$ <p>Donde :</p> <p>m_{cascarilla}: masa de la cascarilla P_{cascarilla h.}: peso de la cascarilla húmeda P_{cedazo}: peso del cedazo</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.1.10 DETERMINACION DE LA MASA DEL ARROCILLO

TABLA 2.2.1.10-1

DETERMINACION DE LA MASA DEL ARROCILLO

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>La masa es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo. Es una propiedad intrínseca de los cuerpos que determina la medida de la masa inercial y de la masa gravitacional. La unidad utilizada para medir la masa en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo (kg).</p>	<p>1 Cedazo 2,5Kg de arrocillo Fundas plásticas 1 balanza analítica 1 bandeja Agua</p>	<p>Pesar 2,5 Kg de arrocillo. Obtener el peso de la bandeja vacía Lavar el arrocillo y escurrirlo. Pesar el arrocillo húmedo</p>	$m_{arrocillo} = P_{arrocillo\ humedo} - P_{cedazo}$ <p>Donde :</p> <p>$m_{arrocillo}$: masa de la arrocillo $P_{arrocillo\ h.}$: peso de la arrocillo húmeda P_{cedazo} : peso del cedazo</p>

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.2 VALIDACION DEL EQUIPO

2.2.2.1 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE ESPORAS

TABLA 2.2.2.1-1

DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE ESPORAS

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>El hematocímetro es una lámina de vidrio que tiene dos cámaras de 0.1 mm de profundidad. Cada cámara está dividida en nueve cuadrados de 1 mm². La superficie cubre un área total de 9 mm². Adicionalmente, el cuadrado del centro está subdividido en cinco por cinco cuadrados agrupados de 0.2 mm de lado y una superficie de 0.04 mm² cada uno. Los cuadrados del centro a su vez están subdivididos en 16 cuadrados más pequeños de 0.0025 mm² cada uno. Cinco de estos cuadrados se utilizan para el conteo de los conidios.</p>	<p>Agua destilada Sustrato con <i>Trichoderma sp.</i> 1 matraz Erlenmeyer de 100 ml 15 tubos de ensayo 5 pipetas de 1 ml 1 Gradilla 2 vasos de precipitación 1 pliego de papel aluminio 1 Cámara de Neubauer o Hematocímetro 1 Microscopio 1 Balanza analítica</p>	<p>Colocar 9 ml de agua estéril en tubos de ensayo. Colocar 90 ml de agua en un matraz Erlenmeyer. Del centro del sustrato con el <i>Trichoderma</i> ya multiplicado, pesar 10 g de muestra. Colocar en el matraz de 90 ml y agitar por 20 minutos. Utilizar la técnica de las diluciones sucesivas es decir realizar diluciones 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴. Trabajar con la dilución 10⁻⁴. De cada muestra realizar 3 repeticiones. Limpie la cámara y la laminilla de cuarzo suavemente con alcohol. Revise la laminilla de cuarzo que no debe estar desbordada o quebrada. Coloque la laminilla de cuarzo sobre la cámara en forma vertical, esta debe quedar centrada.</p>	$\frac{\text{numero de esporas}}{\text{g}} = n \times p \times s$ <p>Donde : n: suma de 5 C.S. p: 50 000 s : factor de dilución</p>

		<p>Proceda a llenar la cámara. Es recomendable llenarla con micro pipeta pequeña o con una jeringa ya que la cámara se llena con una gota. El llenado debe ser continuo en un solo intento.</p> <p>Lleve la cámara al microscopio y enfoque el cuadro de conteo con el ocular de 40X y observe.</p>	
--	--	---	--

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO

TABLA 2.2.2.2 -1

DETERMINACION DE LA CURVA DE CRECIMIENTO

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULO
<p>El hematocímetro es una lámina de vidrio que tiene dos cámaras de 0.1 mm de profundidad. Cada cámara está dividida en nueve cuadrados de 1 mm². La superficie cubre un área total de 9 mm². Adicionalmente, el cuadrado del centro está subdividido en cinco por cinco cuadrados</p>	<p>1 Cuchareta</p> <p>Inoculo sólido y liquido</p> <p>Agua destilada</p> <p>Sustrato con <i>Trichoderma sp.</i></p> <p>1 matraz Erlenmeyer de 100 ml</p> <p>15 tubos de ensayo</p>	<p>Se inocula y se deja en el fermentador</p> <p>A partir del tercer día se procede a realizar el conteo de esporas de la muestra 1, y así sucesivamente hasta la muestra 10, es decir hasta cuando el periodo de crecimiento haya culminado (8 días). Y luego se realiza el mismo procedimiento que se hizo para la concentración de esporas.</p> <p>Una vez obtenido todos los datos se procede a realizar la curva de crecimiento.</p>	$\frac{\text{numero de esporas}}{g} = n \times p \times s$ <p>Donde :</p> <p>n: suma de 5 C.S.</p>

<p>agrupados de 0.2 mm de lado y una superficie de 0.04 mm² cada uno. Los cuadrados del centro a su vez están subdivididos en 16 cuadrados más pequeños de 0.0025 mm² cada uno. Cinco de estos cuadrados se utilizan para el conteo de los conidios.</p>	<p>5 pipetas de 1 ml 1 Gradilla 2 vasos de precipitación 1 pliego de papel aluminio 1 Cámara de Neubauer o Hematocímetro 1 Microscopio 1 Balanza analítica Fermentador</p>		<p>p: 50 000</p> <p>s : factor de dilución</p>
--	---	--	--

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

2.3 DATOS ADICIONALES

TABLA 2.3-1

VALORES DEL CALOR ESPECÍFICO

CARACTERISTICA	UNIDAD	DATO
Agua	KJ/ Kg C	4,21
Cascarilla	KJ/ Kg C	4,5
Arrocillo	KJ/ Kg C	6,3
Melaza	KJ/ Kg C	3,4
Acero AISI 304	KJ/ Kg C	0,5

FUENTE: [HTTP://WWW.ACEROSCUYO.COM.AR/BOLETINES_TECNICOS/CATALOGO AISI439.PDF](http://www.aceroscuvo.com.ar/boletines_tecnicos/catalogoaisi439.pdf)

TABLA 2.3-2

ESFUERZO PERMISIBLE DEL MATERIAL

CARACTERISTICA	UNIDAD	DATO
Esfuerzo permisible del material Acero AISI 304	Lb/ pulg ²	27557,16

FUENTE: MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO, J. PERRY

TABLA 2.3-3

DATOS ADICIONALES PARA LA DETERMINACION DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

CARACTERISTICA	UNIDAD	DATO
Conductividad Térmica Acero Inoxidable 304	J/m h K	58 680
Coefficiente convectivo forzada del aire	J/m ² h K	367 200

FUENTE: MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO, J. PERRY

TABLA 2.3-4

DATOS ADICIONALES PARA LA DETERMINACION DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

CARACTERISTICA	UNIDAD	DATO
Densidad Agua	g/ml	1
Densidad Acero AISI 304	g/ml	8

FUENTE: [HTTP://WWW.ACEROSCUYO.COM.AR/BOLETINES_TECNICOS/CATALOGO AISI439.PDF](http://www.aceroscuyo.com.ar/boletines_tecnicos/catalogoaisi439.pdf)

TABLA 2.3-5

DATOS ADICIONALES PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL DEL AIRE

CARACTERISTICA	UNIDAD	DATO
Velocidad de transferencia del oxigeno	mmol/L h	70

FUENTE: [HTTP://SISBIB.UNMSM.EDU.PE/BIBVIRTUALDATA/PUBLICACIONES/ING_QUIMICA/VOL4_N2/DETERMINACION_EXPERIMENTAL.PDF](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing_quimica/vol4_n2/determinacion_experimental.pdf)

CAPITULO III

3 CALCULOS Y RESULTADOS

3.1 CALCULOS

3.1.1 CALCULOS DE LA SIMULACION

3.1.1.1 DETERMINACION DEL PESO DEL SUSTRATO

$$P_4 = P_2 - P_1$$

Donde:

P4 = peso del sustrato (g)

P1= peso botellas vacías (g)

P2 = peso botellas con sustrato (g)

$$P_4 = 660,3 \text{ g} - 415,4 \text{ g}$$

$$P_4 = 244,9 \text{ g}$$

3.1.1.2 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD PERDIDA 1

$$P_5 = P_2 - P_3$$

Donde:

P2 = peso botellas con sustrato (g)

P3 = peso después de esterilización (g)

P5 = humedad perdida 1

$$P_5 = 660.3 \text{ g} - 658,5 \text{ g}$$

$$P_5 = 1,8 \text{ g}$$

3.1.1.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD PERDIDA 1

$$\%P_7 = \frac{P_5 \times 100}{P_4}$$

Donde:

P7 = porcentaje de humedad perdida 1 (%)

P4 = peso del sustrato (g)

P5 = humedad perdida 1

$$\%P_7 = \frac{1,8 \text{ g} \times 100}{244,9 \text{ g}}$$

$$\%P_7 = 0,73$$

3.1.1.4 DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO ESTÉRIL

$$P_6 = P_4 - P_5$$

Donde:

P6 = peso del sustrato estéril (g)

P4 = peso del sustrato (g)

P5 = humedad perdida 1 (g)

$$P_6 = 660,3 \text{ g} - 1,8 \text{ g}$$

$$P_6 = 658,5 \text{ g}$$

3.1.1.5 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

$$P_{10} = \frac{P_3 - P_9}{P_3 - P_1} \times 100$$

Donde:

P1= peso botellas vacías (g)

P3 = peso después de esterilización (g)

P9 = peso constante (g)

P10 = porcentaje de humedad (%)

$$P_{10} = \frac{658,5 - 571}{658,5 - 415,4} \times 100$$

$$P_{10} = 35,99$$

3.1.1.6 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

$$P_6 = \frac{P_4 - P_5}{P_4 - P_3}$$

Donde:

$$P_6 = \frac{576,2 - 496,8}{576,2 - 199,9}$$

$$\%P_6 = 0,21$$

3.1.1.7 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL SUSTRATO

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = densidad del sustrato (g/mL)

m = masa de sustrato (g)

v = volumen del sustrato que ocupa (mL)

$$\rho = \frac{207,33 \text{ g}}{599,0 \text{ mL}}$$

$$\rho = 0,34 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

3.1.1.8 DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE ESPORAS

$$\frac{\text{Numero de esporas}}{\text{g}} = n \times p \times s$$

Donde:

n = número de esporas

p = 50 000

s = factor de dilución

$$\frac{\text{Numero de conidias}}{\text{g}} = 17 \times 50000 \times 10000$$

$$\frac{\text{Numero de conidia}}{\text{g}} = 8,34 \times 10^9$$

3.1.2 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL FERMENTADOR

3.1.2.1 CALCULO DEL VOLUMEN DEL SUSTRATO A OCUPAR

Utilizando la Ec 1.4.3.2-1 se tiene:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{8600g}{0,34}$$

$$v = 25294,12cm^3$$

$$v = 25,29L$$

3.1.2.2 CALCULO DE LA ALTURA DEL SOLIDO

Utilizando la Ec 1.4.3.1-2 se tiene:

$$h_s = \frac{V}{\pi \times r^2}$$

$$h_s = \frac{25294,12cm^3}{\pi \times (17,5cm)^2}$$

$$h_s = 26,29cm$$

3.1.2.3 CALCULO DE LA PRESIÓN TOTAL

Antes se realiza el respectivo cálculo de la presión de diseño mediante la siguiente expresión:

$$P = P_o + 30 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$P = 10,75 \frac{lb}{pulg^2} + 30 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$P = 40,75 \frac{lb}{pulg^2}$$

Utilizando la Ec 1.4.3.3-1 se tiene:

$$P_T = P_0 + P$$

$$P_T = 10,75 + 40,75$$

$$P_T = 51,5 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$P_T = 51,5 \frac{lb}{pulg^2} \times \frac{1atm}{14,70 \frac{lb}{pulg^2}}$$

$$P_T = 3,50atm$$

3.1.2.4 CALCULO DEL ESPESOR DEL CASCO CILINDRICO CON MARGEN DE CORROSION

Utilizando la Ec 1.4.3.4-1 se tiene:

$$e = \frac{P \times r}{S \times E - 0.6P} + 0,0625pulg$$

$$e = \frac{40,75 \frac{lb}{pulg^2} \times 6,89pulg}{27557,16 \frac{lb}{pulg^2} \times 1 - 0.6 \times 40,75 \frac{lb}{pulg^2}} + 0,0625pulg$$

$$e = 0,0727pulg$$

$$e = 0,0727pulg \times \frac{1cm}{0,3937 pulg} \times \frac{10mm}{1cm}$$

$$e = 2mm$$

3.1.2.5 CALCULO DEL ESPESOR DE LA TAPA PLANA CON MARGEN DE CORROSION

Utilizando la Ec 1.4.3.5-1 se tiene:

$$e_T = \frac{P \times r}{2 \times S \times E - 0,2P} + C$$

$$e_T = \frac{40,75 \frac{lb}{pulg^2} \times 6,89pulg}{29} + 0,0625pulg$$

$$2 \times 27557,16 \frac{lb}{pulg^2} \times 1 - 0,2 \times 40,75 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$e_T = 0,0676 \text{ pulg}$$

$$e_T = 0,0676pulg \times \frac{1cm}{0,3937 \text{ pulg}} \times \frac{10mm}{1cm}$$

$$e_T = 2 \text{ mm}$$

3.1.2.6 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN

Deseando la producción de 29,25 L se realiza el cálculo del volumen de la cámara de ebullición, utilizando un factor de seguridad de 0,15. Entonces utilizando la Ec 1.4.3.6-1 se tiene:

$$Ve = fs \times Vd$$

$$Ve = 0,33 \times 25,29$$

$$Ve = 8,35 \text{ L}$$

Tenemos el Volumen total

$$Vt = 25,29 + 8,35$$

$$Vt = 33,64L$$

3.1.2.7 CALCULO DE LA ALTURA DE CAMARA DE EBULLICION

Utilizamos la formula el volumen del cilindro, tomando la consideración de diseño de un diámetro de 35cm, utilizando la Ec 1.4.3.7-1 y la Ec 1.4.3.7-2 se tiene:

$$V_t = \pi \times r^2 \times h$$

$$h = \frac{V_t}{\pi \times r^2}$$

$$h = \frac{33,64L}{\pi \times 17,5^2 \text{ cm}} \times \frac{1000\text{cm}^3}{1L}$$

$$h = 35 \text{ cm}$$

3.1.2.8 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

Por Condiciones de diseño el diámetro del medio de calentamiento se aumenta 2,5 a cada lado del diámetro de la cámara de ebullición.

$$\emptyset = Di + 5$$

$$\emptyset = 35 + 5$$

$$\emptyset = 40 \text{ cm}$$

Tenemos para el Volumen total :

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V = \pi \times 20^2 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$$

$$V = 43982,29 \text{ cm}^3$$

$$V = 43982,29 \text{ cm}^3 \times \frac{1L}{1000\text{cm}^3}$$

$$V = 43,98 \text{ L}$$

3.1.2.9 CALCULO DE LA ALTURA DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

Considerando que la altura de la cámara de calefacción es el 80% de la altura total del cilindro, utilizando la Ec 1.4.3.8-1 se tiene:

$$h_c = \frac{h_T \times 80}{100}$$

$$h_c = \frac{35\text{cm} \times 80}{100}$$

$$h_c = 28\text{ cm}$$

3.1.2.10 CALCULO DEL VOLUMEN REAL DE LA CAMARA DE CALEFACCION

Lo determinamos por diferencia de volúmenes utilizando la Ec 1.4.3.9-1 se tiene:

$$V_{cal} = V - V_{eb}$$

El volumen real de calefacción es:

$$V_{cal} = 43,98 - 33,64$$

$$V_{cal} = 10,34\text{ L}$$

Los 10,34 L se adicionaría a la cámara de calefacción si esta fuera el 100% de la altura del fermentador pero como solo es el 80% será:

$$V_{cal} = 10,34\text{ L} \times \frac{80\text{L}}{100\text{L}}$$

$$V_{cal} = 8,27\text{L}$$

3.1.2.11 CALCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACION

A partir de las siguientes consideraciones se realiza los respectivos cálculos:

Agitación media: 32rpm

Diámetro del cilindro Øt: 35cm

➤ **Altura del tanque agitador**

Utilizando la Ec 1.4.3.10-1 se tiene:

$$L = 1,36\text{Ø}t$$

$$L = 1,36 \times 35 \text{ cm}$$

$$L = 47,4 \text{ cm}$$

➤ **Longitud del brazo**

Utilizando la Ec 1.4.3.10-2 se tiene:

$$Lb = \frac{10}{11} \varnothing t$$

$$Lb = \frac{10}{11} \times 35 \text{ cm}$$

$$Lb = 33,4 \text{ cm}$$

➤ **Espesor del brazo del agitador**

Utilizando la Ec 1.4.3.10-3 se tiene:

$$Er = \frac{1}{18} Lb$$

$$Er = \frac{1}{18} \times 33,4$$

$$Er = 1,9 \text{ cm}$$

➤ **Diámetro del Rodete**

Utilizando la Ec 1.4.3.10-4 se tiene:

$$\varnothing r = \frac{6}{7} \varnothing t$$

$$\varnothing r = \frac{6}{7} \times 35 \text{ cm}$$

$$\varnothing r = 29,9 \text{ cm}$$

➤ **Distancia entre el fondo del Tanque y el rodete**

Utilizando la Ec 1.4.3.10-5 se tiene:

$$X = h - L_B - L_P$$

$$X = 35 - 33,4 - 0,7$$

$$X = 0,9 \text{ cm}$$

➤ **Alto de la paleta**

Utilizando la Ec 1.4.3.10-6 se tiene:

$$A_p = \frac{1}{12} L_B$$

$$A_p = \frac{1}{12} \times 33,4 \text{ cm}$$

$$A_p = 2,8 \text{ cm}$$

3.1.2.12 CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE

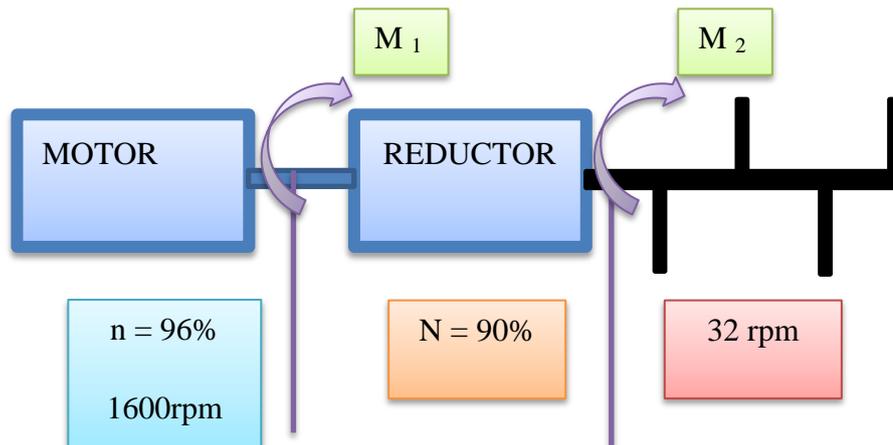


Fig.3.1.2.11-1 DIAGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTO-REDUCTOR

Utilizando la Ec 1.4.1.4.1.3-1 se tiene:

$$M_2 = F \times d$$

$$M_2 = 551,576N \times 0,14m$$

$$M_2 = 77,221Nm$$

Utilizando la Ec 1.4.1.4.1.3-2 se tiene:

$$M_1 = \frac{M_2}{u \times N}$$

$$M_1 = \frac{77,221Nm}{50 \times 0,90}$$

$$M_1 = 1,716Nm$$

Y utilizando la Ec 1.4.1.4.1.3-3 se tiene:

$$P = M_1 \times W$$

$$P = 1,716Nm \times 1600 \frac{rev}{min}$$

$$P = 2745,6Nm \times \frac{rev}{min} \times \frac{1min}{60s} \times \frac{2\pi rad}{1rev}$$

$$P = 287,518 Watt \times \frac{1Hp}{746Watt}$$

$$P = 0,385Hp$$

Pero como el rendimiento del motor eléctrico es del 96% la potencia será:

$$P_{real} = \frac{P}{n}$$

$$P_{real} = \frac{0,385Hp}{0,96}$$

$$P_{real} = 0,401Hp$$

Como en el mercado no se encuentra un motor de 0,401Hp se decidió escoger un motor-reductor de 0,5Hp, teniendo un margen de seguridad del 20%

3.1.2.13 BALANCE DE MASA Y ENERGIA

3.1.2.13.1 BALANCE DE MASA

Se basa en la ley de conservación de la materia, que establece que la masa de un sistema cerrado, permanece siempre. La masa que entra en un sistema debe, por lo tanto, salir del sistema o acumularse dentro de él, es decir:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulación}$$

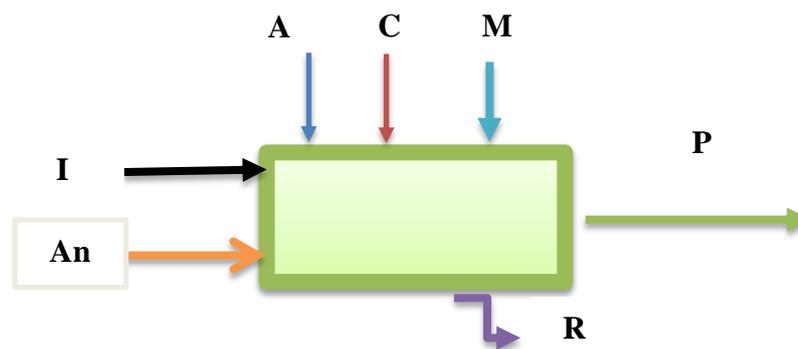


Fig. 3.1.2.12.1-1 BALANCE DE MASA EN EL BIORREACTOR

Balance General

$$A + C + M + I + An = P + R$$

Donde:

A = Arrocillo

C = Cascarilla

M = Melaza

I = Inoculo

P= Producto

R = Cantidades pequeñas de sustrato que se queda en el cilindro.

An = Antibiótico

- **Determinación de la Masa de Cascarilla**

Para obtener datos reales se hacen pruebas en el laboratorio con 1 Kg cascarilla y 10 L de agua para lo cual se utiliza 16,67 ml de melaza, los cuales se obtienen de la siguiente relación:

$$X = \frac{10L \text{ agua} \times 100mL \text{ melaza}}{60L \text{ agua}}$$

$$X = 16,67 \approx 17 \text{ mL melaza}$$

Datos:

$$P_{\text{cedazo}} = 206,38 \text{ g}$$

$$P_{\text{cascarilla h.}} = 2660 \text{ g}$$

$$m_{\text{cascarilla}} = P_{\text{cascarilla h.}} - P_{\text{cedazo}}$$

$$m_{\text{cascarilla}} = 2660 \text{ g} - 206,83 \text{ g}$$

$$m_{\text{cascarilla humeda}} = 2453,17 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000\text{g}} = 2,45 \text{ Kg}$$

- **Determinación de la masa de agua en la cascarilla**

$$m_{agua} = m_{cascarilla\ humeda} - m_{cascarilla\ seca}$$

$$m_{agua} = 2453,17\ g - 1000\ g$$

$$m_{agua} = 1456,17\ g$$

- **Determinación del masa del arrocillo**

Datos:

$$P_{cedazo} = 279,16\ g$$

$$P_{arrocillo\ húmedo} = 3175\ g$$

$$m_{arrocillo} = P_{arrocillo\ humedo} - P_{cedazo}$$

$$m_{arrocillo} = 3175\ g - 279,16\ g$$

$$m_{arrocillo} = 2895,84\ g \times \frac{1\ kg}{1000\ g} = 2,89\ Kg$$

- **Determinación de la Densidad de la Melaza**

Datos:

$$v = 100\ ml$$

$$P_{vacio} = 54,308\ g$$

$$P_{melaza} = 195,948\ g$$

$$m = P_{melaza} - P_{vacio}$$

$$m = 195,948\ g - 54,308\ g$$

$$m = 141,64\ g$$

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ_m = densidad de la melaza

m = masa

v = volumen

$$\rho_m = \frac{141,64g}{100 mL}$$

$$\rho_m = 1,41 \frac{g}{mL}$$

- **Determinación de la masa de melaza**

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = v \times \rho$$

$$m = 17 mL \times 1,41 \frac{g}{mL}$$

$$m = 23,97 g$$

$$m_{melaza} = \frac{23,97 g}{10 L} \times \frac{1L}{1000mL} \times 1456,17 mL$$

$$m_{melaza} = 3,42 g \times \frac{1Kg}{1000g} = 3,42 \times 10^{-3} Kg$$

- **Determinación de la cantidad de sustrato por 1 Kg de cascarilla seca**

$$m_{sustrato} = m_{arrocillo} + m_{cascarilla} + m_{melaza}$$

$$m_{sustrato} = 2,89 Kg + 2,45 kg + 3,42 \times 10^{-3} Kg$$

$$m_{\text{sustrato}} = 5,34 \text{ Kg}$$

- **Determinación de la masa de arrocillo, cascarilla y melaza en base seca para la cantidad de sustrato a fermentar**

$$m_{\text{cascar.seca}} = \frac{1 \text{ Kg}_{\text{casc.seca}} \times 8,60 \text{ Kg s}}{5,34 \text{ Kg}}$$

$$m_{\text{casc.seca}} = 1,61 \text{ kg}_{\text{casc.seca}}$$

$$m_{\text{arroci.}} = \frac{1,61 \text{ Kg}_{\text{casc.seca}} \times 2,5 \text{ Kg}_{\text{arroci.seco}}}{1 \text{ Kg}_{\text{casc.seca}}}$$

$$m_{\text{arroci.seco}} = 4.02 \text{ Kg}_{\text{arroci.seco}}$$

$$v_{\text{melaza}} = \frac{1,61 \text{ Kg}_{\text{casc.seca}} \times 17 \text{ ml}}{1 \text{ Kg}_{\text{casc.seca}}}$$

$$v_{\text{melaza}} = 27,2 \text{ ml}$$

- **Determinación de la masa de arrocillo, cascarilla y melaza en base húmeda para la cantidad de sustrato a fermentar.**

$$m_{\text{cascar.}} = \frac{2,45 \text{ Kg c} \times 8,60 \text{ Kg s}}{5,34 \text{ Kg}}$$

$$m_{\text{cascar.}} = 3,94 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{arroci.}} = \frac{2,89 \text{ Kg a} \times 8,60 \text{ Kg s}}{5,34 \text{ Kg}}$$

$$m_{\text{arroci.}} = 4,65 \text{ Kg}$$

$$m_{melaza} = \frac{3,42 \times 10^{-3} \text{ Kgm} \times 8,60 \text{ Kg s}}{5,34 \text{ Kg}}$$

$$m_{melaza} = 5,51 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

- **Calculo de la masa de alimentación en base húmeda**

$$m_A = \sum (m_{melaza} + m_{cascarilla} + m_{arrocillo} + m_{inoculo} + m_{antibiotico})$$

$$m_A = \sum (5,51 \times 10^{-3} + 3,94 + 4,65 + 0,252 + 2 \times 10^{-3}) \text{ Kg}$$

$$m_A = 8,8495 \text{ Kg}$$

- **Balance de Masa Global**

$$A + C + M + I + An = P + R$$

$$4,65 + 3,94 + 5,51 \times 10^{-3} + 2,52 + 2 \times 10^{-3} = P + R$$

$$8,8495 - 8 = R$$

$$R = 0,8495 \text{ Kg}$$

3.1.2.13.2 BALANCE DE ENERGÍA

3.1.2.13.2.1 CALCULO DEL CALOR DEL SUSTRATO

Utilizando la Ec 1.4.3.11-1 y la Ec 1.4.3.11-2 se calcula el calor del sustrato:

$$Q_s = Q_c + Q_a + Q_m$$

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

$$Q_s = (m \times Cp \times \Delta T)_a + (m \times Cp \times \Delta T)_c + (m \times Cp \times \Delta T)_m$$

$$Q_s = \left(4,65 \text{ Kg} \times 6,3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg C}} \times (27 - 15) \text{ C} \right)_a + \left(3,94 \text{ Kg} \times 4,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg C}} \times (27 - 15) \text{ C} \right)_c + \left(5,51 \times 10^{-3} \text{ Kg} \times 3,4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg C}} \times (27 - 15) \text{ C} \right)_m$$

$$Q_s = (351,54 \text{ KJ})_a + (212,76 \text{ KJ})_c + (0,23 \text{ KJ})_m$$

$$Q_s = 564,53 \text{ KJ}$$

3.1.2.13.2.2 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA FINAL DEL AGUA

Utilizando la Ec 1.4.3.12-1 se tiene:

$$Q_s = Q_M + Q_A$$

Donde:

Q_s = Calor del sustrato

Q_M = calor del material

Q_A = calor del agua

- **Calculo de la masa del material (acero inoxidable AISI 304)**

$$V = \pi \times r^2 \times h_c$$

$$V = \pi \times (17,5 \text{ cm})^2 \times 28 \text{ cm}$$

$$V_1 = 26939,16 \text{ cm}^3$$

Tomando en cuenta que se necesita el volumen de la lámina se procede a disminuir 2 mm a cada lado del cilindro por lo tanto se tiene el siguiente volumen:

$$V = \pi \times r_{mod}^2 \times h_c$$

Donde:

r_{mod} = radio modificado

$$V = \pi \times (17,3 \text{ cm})^2 \times 28 \text{ cm}$$

$$V_2 = 26326,92 \text{ cm}^3$$

Mediante el Volumen 1 y 2 se va a obtener el volumen de trabajo mediante el cual se determina la masa del material.

$$V_{Trabajo} = V_1 - V_2$$

$$V_{Trabajo} = 26939,16 \text{ cm}^3 - 26326,92 \text{ cm}^3$$

$$V_{Trabajo} = 612,24 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V_{Trabajo}}$$

$$m = \rho \times V_{Trabajo}$$

$$m = 8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 612,24 \text{ cm}^3$$

$$m = 4897,92 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 4,89 \text{ Kg}$$

- **Calculo de la masa del agua**

$$\rho = \frac{m}{V_{calefaccion}}$$

$$m = \rho \times V_{calefaccion}$$

$$m = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 8272 \text{ cm}^3$$

$$m = 8272 \text{ g} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 8,272 \text{ Kg}$$

Entonces utilizando la Ec 1.4.3.12-2 se tiene:

$$Q_s = (m \times C_p \times \Delta T)_M + (m \times C_p \times \Delta T)_A$$

$$Q_s = \left(4,89 \text{ Kg} \times 0,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg C}} \times (27 - 15) \text{ C} \right)_M + (8,272 \text{ Kg} \times 4,21 \text{ KJ} \times (T_2 - 15) \text{ C})_A$$

$$Q_s = 29,34KJ + 34,83 \frac{KJ}{C} (T_2 - 15)C$$

$$Q_s = 29,34 KJ + 34,83 \frac{KJ}{C} T_2 - 522,38KJ$$

$$564,53KJ = 29,34 KJ + 34,83 \frac{KJ}{C} T_2 - 522,83KJ$$

$$564,63KJ + 522,83KJ - 29,34 KJ = 34,83 \frac{KJ}{C} T_2$$

$$T_2 = \frac{1058,02 KJ}{34,83 \frac{KJ}{C}}$$

$$T_2 = 30,4 C$$

3.1.2.13.2.3 CALCULO DE LA GRADIENTE DE TEMPERATURA

$$\Delta T = T_i - T_0$$

$$\Delta T = 27 - 15$$

$$\Delta T = 12^\circ C$$

3.1.2.13.2.4 CALCULO DE LA RAPIDEZ DE CALOR

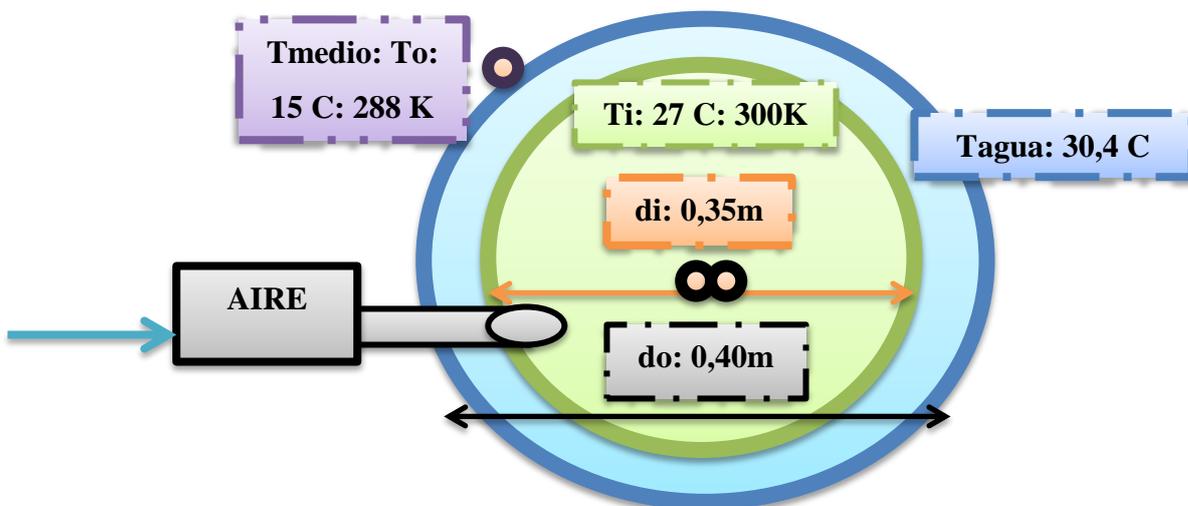


Fig. 3.1.2.12.2.4-1 ESQUEMA DEL EQUIPO PARA EL BALANCE DE ENERGIA

Balance simultáneo de energía

$$E_{entrada} = E_{salida} - \sum \text{perdidas}(\text{conduccion, conveccion, radiacion})$$

Tipología:

Convección interna	+	conducción
(Sustrato en contacto con la Superficie interna) R_1		(Entre el espesor de la pared) R_2

Nota: No existe conducción en el agua porque esta permanece en estado estacionario es decir no hay recirculación, por lo tanto es despreciable la conducción allí.

Entonces utilizando la Ec 1.4.3.13-1 se tiene:

$$q_r = \frac{\Delta T}{\sum R \text{ térmicas}}$$

$$q_r = \frac{T_i - T_o}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{h_i \times 2 \pi r_i L}$$

El coeficiente convectivo que se va toma en cuenta para el cálculo es del aire ya que este está circulando dentro del equipo, se toma el dato como convección forzada porque hay agitación del sustrato.

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \pi k L}$$

La conductividad térmica que se utiliza como para el cálculo aquí es de la chapa de acero

Cálculo del radio externo:

$$r_0 = \frac{d_o}{2} = \frac{40cm}{2} = 20cm \times \frac{1m}{100cm} = 0,20m$$

Cálculo del radio interno:

$$r_i = \frac{d_i}{2} = \frac{35\text{cm}}{2} = 17,5\text{cm} \times \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} = 0,175\text{m}$$

Entonces utilizando la Ec 1.4.1.4.7-3 la rapidez de calor será:

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

$$q_r = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i \times 2\pi r_i L} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi k L}}$$

$$q_r = \frac{(300 - 288)K}{\frac{1}{367\,200 \frac{J}{m^2 h K} \times 2\pi \times 0,175\text{m} \times 0,35\text{m}} + \frac{\ln \frac{0,20}{0,175}}{2\pi \times 58\,680 \frac{J}{m h K} \times 0,35\text{m}}}$$

$$q_r = \frac{12K}{\frac{1}{141\,315,12 \frac{J}{h K}} + \frac{0,134}{129\,044,06 \frac{J}{h K}}}$$

$$q_r = 1\,478\,781,58 \frac{J}{h} \times \frac{1\text{Kcal}}{4\,185,5J}$$

$$q_r = 353,31 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

3.1.2.13.2.5 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR

Entonces utilizando la Ec1.4.3.14-1 se tiene:

$$Q = \frac{q_{ro}}{A_o}$$

$$Q = \frac{q_{ro}}{2\pi r_o L_{chaqueta}}$$

$$Q = \frac{353,31 \frac{Kcal}{h}}{2\pi \times 0,20m \times 0,28m}$$

$$Q = 1004,12 \frac{Kcal}{m^2h}$$

3.1.2.13.3 CALCULO DEL AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A = 2\pi r L_{ch}$$

$$A = 2 \times \pi \times 0,20m \times 0,28m$$

$$A = 0,35m^2$$

3.1.2.13.3.1 CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$U = \frac{1}{\sum R}$$

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

Utilizando la Ec 1.4.1.4.4.7-5 se tiene:

$$U = \frac{1}{\frac{1 \times A_i}{h_i \times A_0} + \frac{A_0 \times \ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \pi k L}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{2 \pi r_i L}{h_i \times 2 \pi r_o L} + \frac{2 \pi r_o L \times \ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \pi k L}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0,175m \times 0,35m}{367 \ 200 \frac{J}{m^2 h K} \times 0,20m \times 0,28m} + \frac{0,20m \times 0,28m \times \ln \frac{0,20}{0,175}}{58 \ 680 \frac{J}{mhK} \times 0,35m}}$$

$$U = \frac{1}{2,97 \times 10^{-6} \frac{J}{m^2 h K} + 3,64 \times 10^{-7} \frac{J}{m^2 h K}}$$

$$U = 299940,012 \frac{J}{m^2 h K} \times \frac{1 kcal}{4185,5 J}$$

$$U = 71,66 \frac{kcal}{h m^2 K}$$

3.1.2.13.3.2 CALCULO DEL CALOR QUE TRANSMITE

Utilizando la Ec 1.4.1.4.4-1 se tiene:

$$Q_s = U \times A \times \Delta T$$

$$Q_s = 71,66 \frac{kcal}{h m^2 K} \times 0,35 m^2 \times (12) C \times \frac{1 K}{1 C}$$

$$Q_s = 300,97 \frac{kcal}{h}$$

3.1.2.13.3.3 CALCULO DE LA POTENCIA DE LAS NIQUELINAS

$$P_N = 300,97 \frac{kcal}{h} \times \frac{0,001163 kW}{1 \frac{kcal}{h}} \times \frac{1000 W}{1 kW}$$

$$P_N = 350,03 W$$

3.1.2.14 CALCULOS DEL SISTEMA DE AIREACIÓN

3.1.2.14.1 CALCULO DEL CAUDAL DEL AIRE

Utilizando la Ec 1.4.1.4.5-2 se tiene:

$$vvm = \frac{F_{aire}}{V_{liquido}} = \frac{N_A RT}{0,21 PE}$$

$$vvm = \frac{70 \frac{mmol}{L h} \times 0,082 \frac{atm L}{mol K} \times \frac{1mol}{1000mmol} \times 300K \times \frac{1h}{60min}}{0,21 \times 0,73atm \times 0,30}$$

$$vvm = 0,624$$

$$0,624vvm \times \frac{100 \frac{L}{min}}{1vvm} = 62,4 \frac{L}{min}$$

3.1.2.14.2 CALCULO DE LA POTENCIA DEL COMPRESOR

Utilizando la Ec 1.4.1.4.5-1 se tiene:

$$P_w = \frac{WRT}{29,7ne} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Primero obtengo el valor del flujo másico a partir del caudal del aire con la ayuda de la densidad del mismo.

$$W = 62,4 \frac{L}{min} \times \frac{4h}{dia} \times \frac{1dia}{24h} \times \frac{1h}{3600s} \times 60 \frac{min}{1h} \times 1,202 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1m^3}{100^3 cm^3} \times \frac{1000cm^3}{1L}$$

$$W = 2,083 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Con este flujo másico se procede a calcular la potencia del compresor

$$P_w = \frac{2,083 \times 10^{-4} \frac{kg}{s} \times 8,314 \frac{kJ}{kmol K} \times \frac{1kmol}{29,7kg} \times 300K}{0,283 \times 0,85} \left[\left(\frac{3,45atm}{0,73atm} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = 0,04014kW \times \frac{1000W}{1kW} \times \frac{1Hp}{746W}$$

$$P_w = 0,054Hp$$

3.2 CONSTRUCCIÓN

3.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL FERMENTADOR

En la construcción del fermentador, el material a utilizar fueron planchas de acero inoxidable AISI 304 cuyo espesor es de 2mm, cortadas y soldadas de una forma unánime para garantizar el correcto almacenamiento del sustrato, cuya capacidad 8,60kg, con una tapa plana del mismo material en la misma que se encuentran dos agujeros de 1 pulg (inóculo) y de 2 pulg (muestreo y humedad) herméticamente cerrada es decir mediante un empaque y 3 broches. El recipiente cuenta con un sistema abatible el cual facilita la descarga del producto y también para una limpieza rápida del equipo y así no queden residuos estancados en el recipiente.

El sistema abatible esta hecho de acero inoxidable, consta de dos chumaceras y un asegurador para darle estabilidad al equipo. Es importante tener mucho cuidado al elegir los materiales que serán la base de soporte del equipo, ya que estos garantizan la durabilidad del mismo.

3.2.2 CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE AGITACION

El sistema de agitación consta de los siguientes elementos:

- La base del puente del motor
- El motor
- El eje de agitación
- Agitador tipo ejes cilíndricos

El motor es originario de Italia, el cual se adquirió en la Ciudad de Guayaquil, con una potencia de 1/2Hp, cuyo porcentaje de eficiencia es de 96 %, los restantes elementos del sistema de agitación fueron ensamblados en acero inoxidable, ya que este es el mejor material y que garantiza la inocuidad del producto.

La construcción ha correspondido tanto a la parte mecánica como eléctrica, para la adaptación del motor a 110 V.

3.2.3 MONTAJE DEL FERMENTADOR

Una vez realizado el diseño del fermentador y de haber procedido a la construcción de cada uno de sus elementos, el primer paso para el montaje del equipo, es:

1. Construir el cilindro con sus respectivas medidas.
2. Colocar la camisa en la parte exterior del cilindro con una válvula esférica de entrada y salida del agua.
3. Luego se procede a incorporar al cilindro el sistema abatible.
4. Empotrar la resistencia eléctrica en la base del cilindro.
5. Colocar mediante un brazo de acero inoxidable la caja de controles.
6. Construir la tapa de forma plana con dos agujeros con sus respectivos diámetros, y sus tres broches y la incorporación de un empaque para que el cerrado sea hermético.
7. Incorporar el controlador de temperatura con la termocupla y la tubería de aire con el compresor.
8. Acoplar el sistema de agitación, es decir el puente del motor, el motor, el eje rotacional, el agitador tipo ejes cilíndricas. El agitador consta de 5 ejes cilíndricos, montadas sobre un eje vertical, el cual produce corriente radial y axial.
9. Ajustar la instalación eléctrica para el arranque del motor, compresor y termocupla.

3.2.4 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

Para la preparación del sustrato que es de 8,60kg se debe seguir los siguientes pasos:

1. Pesar 1,6 kg de cascarilla seca, 4 kg de arrozillo seco y 27,2 mL de melaza.
2. Remojar la cascarilla adicionando la melaza, durante 24 horas.
3. Pasado ese tiempo escurrir la cascarilla durante 6 min.
4. Después lavar el arrozillo 2 veces y escurrirlo por 4 min.
5. Mezclar el arrozillo y la cascarilla.

6. Colocar el sustrato en 7 u 8 envases plásticos de polietileno de 1kg aproximadamente cada uno.
7. Esterilizar por 45 min a 121°C.
8. Dejar enfriar el sustrato durante 1 hora.

3.2.5 MANEJO Y OPERACIÓN DEL FERMENTADOR

1. Coloque el agua en la camisa externa del fermentador.
2. Coloque el interruptor de energía.
3. Prenda el controlador de temperatura estableciendo a 27°C.
4. Introduzca el sustrato estéril dentro del fermentador es decir en cada kilo que se adicione agregar una caja de inóculo sólido, trabajando en el menor tiempo posible, tomando las debidas precauciones de inocuidad utilizando guantes, mascarilla, cofia y un mandil limpio.
5. Tapar el fermentador y a través del acople de clamp agregar 250ml de inóculo líquido. Mientras se va inoculando se va agitando para que se disperse el inóculo por todo el sustrato durante 3 min.
6. Tome la lectura de la humedad la cual es 36%.
7. Inyecte oxígeno en forma de aire de 3 a 4 horas diarias.
8. Muestree cada 2 días para verificar el crecimiento, contaminación y lectura del pH que debe ser de 6,5 a 7,5.
9. Espere de 6-7 días para obtener el bioformulado sólido (*Trichoderma sp.*)

3.2.6 MANTENIMIENTO DEL FERMENTADOR

- Una vez realizado las operaciones de trabajo en el equipo, es importante recalcar, que debe realizarse su respectiva limpieza y acondicionamiento, para una nueva operación, por esta razón es necesario lavar el equipo con agua caliente, luego limpiar con sablón y al final pasarle alcohol industrial para eliminar o matar cualquier agente microbiano.
- Se debe considerar en el mantenimiento del equipo las chumaceras es decir engrasarlas cada que sea necesario y en lo que se refiere al compresor no recalentarlo o sea trabajar con la eficiencia establecida.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 SIMULACIÓN DEL PROCESO

TABLA 3.3.1-1

HUMEDAD DEL PROCESO DE FERMENTACION EN LAS BOTELLAS

n	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1	415,4	660,3	658,5	244,9	1,8	243,1	0,73	658,9	571	35,99
2	419,4	666,5	663,5	247,1	3	244,1	1,21	666	576	35,85
3	429,4	678,9	677,7	249,5	1,2	248,3	0,48	678,4	587,5	36,33
4	428,3	694,5	690,7	266,2	3,8	262,4	1,43	691	598	35,33
5	425,5	664,5	662	239	2,5	236,5	1,05	663	577	35,94
6	417,6	660,5	657,8	242,9	2,7	240,2	1,11			35,89
7	415,4	668,3	664,7	252,9	3,6	249,3	1,42			%X
8	416,5	661	656,7	244,5	4,3	240,2	1,76			
9	431,9	690	687,4	258,1	2,6	255,5	1,01			
10	412,1	663,7	656,6	251,6	7,1	244,5	2,82			
							1,30			
							% X			

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

Donde:

n = número de botellas

P1= peso botellas vacías (g)

P2 = peso botellas con sustrato (g)

P3 = peso después de esterilización (g)

P4 = peso del sustrato (g)

P5 = humedad perdida 1 (g)

P6 = peso del sustrato estéril (g)

P7 = porcentaje de humedad perdida 1 (%)

P8 = peso con inoculo (g)

P9 = peso constante (g)

P10 = porcentaje de humedad del proceso de fermentación (%)

TABLA 3.3.1-2

HUMEDAD CON QUE SALE EL PRODUCTO DE LAS BOTELLAS

n	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	382,4	582,3	199,9	576,2	496,8	0,21
2	381,5	578,7	197,2	570	495,5	0,20
3	388,1	573,8	185,7	568,7	487,7	0,21
4	374	574,8	200,8	569	486,1	0,23
5	384,5	577,2	192,7	570,2	487,3	0,22
6	384,8	570,4	185,6	564,7	485,3	0,21
7	384,3	568,6	184,3	562	484,9	0,20
8	382,3	551,8	169,5	545,1	469,7	0,20
9	379,8	567	187,2	560,1	486,5	0,20

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

Donde:

n = número de botellas

P1= peso botellas vacías (g)

P2 = peso botellas con sustrato (g)

P3 = peso del sustrato (g)

P4 = peso después de la esterilización (g)

P5 = peso después del proceso de fermentación (g)

P6 = porcentaje de humedad con la que sale el producto (%)

TABLA 3.3.1-3

DENSIDAD DEL SUSTRATO

n	volumen (mL)	masa(g)	densidad (g/mL)
1	599	207,3	0,35
2	588,4	194,5	0,33
3	540,4	184,8	0,34
4	555,1	181,9	0,33
5	535,4	178,5	0,33
6	555,6	176,8	0,32

7	563,9	199,7	0,35
8	595,3	200,2	0,34
9	574,3	202,3	0,35
10	558,3	190,6	0,34
			0,34
			densidad media

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

TABLA 3.3.1-4

DATOS PARA CURVA DE CRECIMIENTO EN LAS BOTELLAS

DÍA	BIOFORMULADO SÓLIDO (UPC/g)				UPC/g	Log
	R1	R2	R3	R4	X	
0	1.05 X 10 ¹⁰	1.10 X 10 ¹⁰	1.00 X 10 ¹⁰	1.05 X 10 ¹⁰	1.05 X 10 ¹⁰	10.02
3	1.15 X 10 ¹⁰	1.15 X 10 ¹⁰	1.10 X 10 ¹⁰	1.10 X 10 ¹⁰	1.13 X 10 ¹⁰	10.05
6	1.20 X 10 ¹⁰	1.15 X 10 ¹⁰	1.20 X 10 ¹⁰	1.25 X 10 ¹⁰	1.20 X 10 ¹⁰	10.08
9	1.40 X 10 ¹⁰	1.35 X 10 ¹⁰	1.45 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	10.15
12	1.50 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.54 X 10 ¹⁰	10.19
15	1.50 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.54 X 10 ¹⁰	10.19
18	1.55 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.50 X 10 ¹⁰	1.54 X 10 ¹⁰	10.19
21	1.50 X 10 ¹⁰	1.50 X 10 ¹⁰	1.50 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.51 X 10 ¹⁰	10.18
24	1.50 X 10 ¹⁰	1.45 X 10 ¹⁰	1.45 X 10 ¹⁰	1.50 X 10 ¹⁰	1.48 X 10 ¹⁰	10.17
27	1.40 X 10 ¹⁰	1.45 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.41 X 10 ¹⁰	10.15
30	1.30 X 10 ¹⁰	1.35 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.31 X 10 ¹⁰	10.12
45	1.00 X 10 ¹⁰	0.95 X 10 ¹⁰	1.05 X 10 ¹⁰	1.00 X 10 ¹⁰	1.21 X 10 ¹⁰	10.08
60	8.50 X 10 ⁹	9.55 X 10 ⁹	9.00 X 10 ⁹	8.55 X 10 ⁹	8.9 X 10 ⁹	9.95

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

Para la determinación de la curva de crecimiento para *Trichoderma harzianum*, se empleó la cámara de Neubauer y se empleó el método de diluciones sucesivas para poder facilitar el conteo de esporas.



Fig. 3.3.1-1 CURVA DE CRECIMIENTO DEL TRICHODERMA SP. EN LAS BOTELLAS

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

La curva de crecimiento del bioformulado sólido de *Trichoderma harzianum*, presenta la fase de crecimiento hasta los 12 días con una población de 1.54×10^{10} UPC/g de formulado, seguida de la fase estacionaria que se extiende hasta los 18 días, donde la concentración permanece constante, finalmente se presenta la fase de muerte obteniéndose una población final de 8.9×10^9 UPC/g, al cabo de los 60 días de almacenado el producto.

TABLA 3.3.1-5

EFICIENCIA DE FERMENTACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO EN EL EQUIPO

REPETICIONES	U.P.C/g
R ₁	2,45e9
R ₂	2,45e9
R ₃	2,45e9
R ₄	2,45e9
R ₅	2,35e9
R ₆	2,5e9
R ₇	2,5e9

R ₈	2,25e9
R ₉	2,5e9
R ₁₀	2,5e9
	2,44e9

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

TABLA 3.3.1-6

DATOS PARA CURVA DE CRECIMIENTO EN EL FERMENTADOR

DÍA	BIOFORMULADO SÓLIDO (UPC/g)				UPC/g	Log
	R1	R2	R3	R4	X	
0	1.05 X 10 ¹⁰	1.10 X 10 ¹⁰	1.00 X 10 ¹⁰	1.05 X 10 ¹⁰	1.05 X 10 ¹⁰	10.02
3	1.15 X 10 ¹⁰	1.15 X 10 ¹⁰	1.10 X 10 ¹⁰	1.10 X 10 ¹⁰	1.13 X 10 ¹⁰	10.05
6	1.20 X 10 ¹⁰	1.15 X 10 ¹⁰	1.20 X 10 ¹⁰	1.25 X 10 ¹⁰	1.20 X 10 ¹⁰	10.08
9	1.40 X 10 ¹⁰	1.35 X 10 ¹⁰	1.45 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	10.16
12	1.50 X 10 ¹⁰	1.54 X 10 ¹⁰	1.53 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.53 X 10 ¹⁰	10.16
15	1.50 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.53 X 10 ¹⁰	1.54 X 10 ¹⁰	1.53 X 10 ¹⁰	10.16
18	1.53 X 10 ¹⁰	1.55 X 10 ¹⁰	1.54 X 10 ¹⁰	1.50 X 10 ¹⁰	1.53 X 10 ¹⁰	10.16
21	1.40 X 10 ¹⁰	1.45 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.41 X 10 ¹⁰	10.15
24	1.39 X 10 ¹⁰	1.42 X 10 ¹⁰	1.42 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	1.40 X 10 ¹⁰	10.14
27	1.30 X 10 ¹⁰	1.35 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.31 X 10 ¹⁰	10.12
30	1.30 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	1.30 X 10 ¹⁰	10.11
45	1.00 X 10 ¹⁰	0.95 X 10 ¹⁰	1.05 X 10 ¹⁰	1.00 X 10 ¹⁰	1.21 X 10 ¹⁰	10.08
60	8.50 X 10 ⁹	9.55 X 10 ⁹	9.00 X 10 ⁹	8.55 X 10 ⁹	8.9 X 10 ⁹	9.95

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

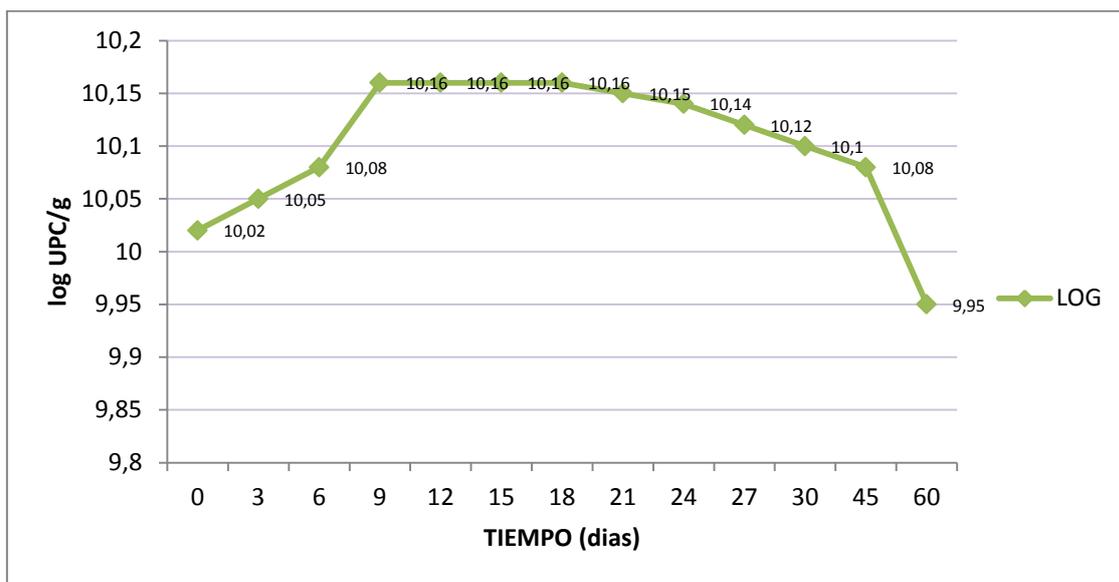


Fig. 3.3.1-2 CURVA DE CRECIMIENTO DEL TRICHODERMA SP. EN EL FERMENTADOR

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

La curva de crecimiento del bioformulado sólido de *Trichoderma harzianum*, presenta la fase de crecimiento hasta los 9 días con una población de 1.40×10^{10} UPC/g de formulado, seguida de la fase estacionaria que se extiende hasta los 21 días, donde la concentración permanece constante, finalmente se presenta la fase de muerte obteniéndose una población final de 8.9×10^9 UPC/g, al cabo de los 60 días de almacenado el producto.

TABLA 3.3.1- 7

PARAMETROS DEL PROCESO DE FERMENTACION SEGÚN LA HOJA TECNICA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL TRICHODERMA SP

DETERMINACION	UNIDADES	RESULTADOS
Temperatura	C	27 ± 1
Humedad	%	36
pH	---	6,5 - 7,5
Tiempo	Horas	384
Densidad	Kg/m^3	340
Eficiencia	U.P.C/g	$2,5 \text{ E } 9$

FUENTE: LABORATORIO DE FITOPATOLOGIA FRN ESPOCH

TABLA 3.3.1-8

CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA EN BASE HÚMEDA

DETERMINACION	UNIDADES	RESULTADOS
CASCARILLA DE ARROZ		
Masa	Kg	3,94
Capacidad Calorífica	KJ/ Kg C	4,5
MELAZA		
Masa	Kg	5,51E-3
Densidad	Kg/ m ³	1410
Capacidad Calorífica	KJ/ Kg C	3,4
ARROCILLO		
Masa	Kg	6,3
Capacidad Calorífica	KJ/ Kg C	4,65

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

3.3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

TABLA 3.3.2-1

HOJA TECNICA DE DISEÑO

DESCRIPCION	INDICADOR	UNIDADES
DIMENSIONES DEL FERMENTADOR		
Tipo Cilíndrico	-----	-----
Acero Inoxidable	304	AISI
Volumen	33,64	L
Diámetro	35	Cm
Altura	35	Cm
Espesor	2	Mm
TAPA PLANA		
Volumen	0	cm ³
CAMARA DE EBULLICION		

Volumen	25,29	L
Diámetro	35	Cm
Altura	35	Cm
CAMARA DE CALEFACCION		
Volumen	8,27	L
Diámetro	2,5	Cm
Altura	28	Cm
SISTEMA DE AGITACION		
Longitud del Brazo	33,4	Cm
Espesor del Rodete	1,9	Cm
Diámetro del rodete	29,9	Cm
Distancia entre el fondo del tanque y el rodete	0,9	Cm
Alto de la Paleta	2,8	Cm
Angulo de la Paleta	45	°
Numero de Paletas	4
Potencia Requerida	0,5	Hp
Revoluciones	32	Rpm
SISTEMA DE AIREACION (Compresor)		
Caudal de aire	62,4	L/min
Potencia del compresor	0,054	Hp
SISTEMA DE CALENTAMIENTO (Niquelinas)		
Potencia de las niquelinas	350,03	W
CONTROLADORES		
Termocupla	27±1	°C
Lector digital de humedad	36	%
pH metro	6,8	-----
SISTEMA ABATIBLE		
Altura	64,57	Cm
Ancho	59	Cm
ACCESORIOS		

Chumaceras	2	-----
Acople tipo clamp (inoculación)	2,54	Cm
Acople tipo clamp (muestreo)	5,08	Cm
Broches	3	-----
Empaque	3	-----
Válvulas esféricas	2	-----
Filtro de humedad de aire	1	-----
Mangueras de caucho	2	-----
Cuchareta de muestreo	1	-----
Un foco	20	W

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

3.3.3 VALIDACION DEL EQUIPO

TABLA 3.3.3-1

RESULTADO DE LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Tiempo fermentación(horas)	Eficiencia fermentación U.P.C/g	Producto obtenido Kg	Humedad de fermentación %	pH	Densidad g/mL	Temperatura °C
192	$2,44 \times 10^9$	8	36	6,8	0,34	27±1

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

TABLA 3.3.3-2

RESULTADO DE LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Q_s (Kcal/h)	V_{H_2O} (L)	$V_{Sstrato}$ (L)	U (kcal/h m ² K)
300,97	8,27	25,29	71,66

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

REALIZADO: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA FRN

3.3.4 REQUERIMIENTOS PRESUPUESTARIOS

3.3.4.1 RECURSOS HUMANOS

TABLA 3.3.4.1-1
RECURSOS HUMANOS

DENOMINACIÓN	NUMERO	COSTO (DÓLARES)
Investigador (proponente del anteproyecto)		
Srta. Patricia Jiménez	1	100
Srta. Valeria Pantoja	1	100
Asesor de Tesis	1	200
Ing. Mario Villacrés		
Colaborador	1	200
Dr. Gerardo León		
Mano de Obra para la Construcción	1	200
TOTAL		800

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

3.3.4.2 RECURSOS DE MATERIALES

TABLA 3.3.4.2 -1
RECURSOS DE MATERIALES

Materiales	Costo (dólares)
Materiales y Suministros de Oficinas	200
Simulación del Proceso	100
Materiales para Construcción de Equipo	2600
Validación del equipo	100
Varios	200
TOTAL	3200

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

3.3.4.3 RECURSOS ECONÓMICOS

TABLA 3.3.4.3-1

RECURSOS ECONÓMICOS

IDENTIFICACION	COSTO (dólares)
Recursos Humanos	800
Recursos Materiales	3200
Subtotal	4000
Imprevistos 10%	400
Total	4400

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

3.3.4.4 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

TABLA 3.3.4.4-1

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Origen	Porcentaje (%)	Monto (dólares)
Aporte del Laboratorio de Fitopatología	90	3960
Proponentes	10	440
Total	100	4400

FUENTE: JIMÉNEZ PATRICIA Y PANTOJA VALERIA

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El biorreactor se diseñó y se construyó con las características especificadas de acuerdo a los resultados de la TABLA 3.3.2-1 se tiene un agitador de paletas tipo palas planas con una altura de 47,5 cm, longitud del brazo 33,4cm, diámetro del rodete 1,9cm, alto de la paleta 2,8cm y un ángulo de incidencia de 45° todo esto ayuda a tener un adecuada agitación del sustrato sólido, de igual manera se utiliza un compresor de aire con un filtro realizando una aireación de 4 horas diarias y con una iluminación de 24 h al día utilizando un foco de 20W lo cual ayuda a la esporulación del hongo de manera más rápida y su crecimiento es más idóneo y a su vez se controla el pH, humedad mediante lectores digitales ya que con todos estos parámetros se obtiene un producto en óptimas condiciones.

Según la TABLA 3.3.3-1 y TABLA 3.3.3-2 se pudo comprobar parámetros que se utilizaron en el diseño del equipo como son: temperatura, humedad, pH, eficiencia de fermentación, tiempo, densidad, entre otros parámetros de los cuales solo la eficiencia y el tiempo de fermentación tuvieron una variación en comparación con los datos de la TABLA 3.3.1-7.

Es decir el sustrato sólido que es cascarilla de arroz con melaza y arrocillo que se obtiene en el laboratorio de Fitopatología según la Hoja Técnica de Datos de Seguridad del *Trichoderma sp* cuando se fermenta en botellas de vidrio de acuerdo a la TABLA 3.3.1-7 tiene una eficiencia de fermentación de $2,5 \cdot 10^9$ U.P.C/g, tiempo de 384 horas, utilización de mano de obra y materiales acordes al proceso es bastante alta mientras que la eficiencia de fermentación que se obtuvo en el fermentador de acuerdo a los resultados de la TABLA 3.3.3-1 es de $2,44 \cdot 10^9$ U.P.C/g con un tiempo de fermentación el que se reduce a la mitad con una duración de 192 horas y la utilización de la mano de obra e insumos materiales es mínima. El valor de la eficiencia de la fermentación es bajo debido a que la cantidad de luz no se transmite a todo el sustrato lo cual produce que no esporule en su totalidad el hongo. En lo que se refiere al tiempo de fermentación se reduce a la mitad debido a que todos los parámetros están controlados mientras que en las

botellas el tiempo es mayor ya que hay fallas eléctricas constantemente lo cual afecta el crecimiento del hongo. Con respecto a la mano de obra y materiales del proceso es mínima porque al esterilizar se utiliza menos material y al momento de fermentar no se utiliza ningún material porque se lo realiza en el equipo, mientras que en el proceso anterior se esteriliza y fermenta en botellas con el uso de ligas, papel craft entre otros materiales lo que implica mayor mano de obra.

Por lo tanto el equipo construido tiene una eficiencia del 97,6%, es decir el fermentador es aceptable para la multiplicación del *Trichoderma sp.*

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. El Fermentador rotatorio de fase sólida para la multiplicación del hongo *Trichoderma sp.* fué diseñado y construido de tipo cilíndrico consta de una cámara de ebullición, y cámara de calefacción, esta provista de un agitador mecánico, en el que se puede acoplar el agitador tipo paletas palas planas además tiene un sistema de aireación, controlador temperatura y lector digital de humedad y pH, con una producción 8 Kg de bioformulado sólido.
2. En función a una serie de pruebas a nivel de laboratorio se identificó y se determinó las variables de proceso: Temperatura 27 ± 1 C, humedad 36%, pH 6,5-7,5, eficiencia de la fermentación $2,5 \cdot 10^9$ U.P.C/g, tiempo de fermentación 384 horas, densidad del sustrato 0,34g/ml. Las que se fijaron como condiciones referentes para el diseño del fermentador.
3. Una vez obtenidas las variables del proceso se realizaron los cálculos técnicos donde se determinaron las siguientes dimensiones del equipo: diámetro de 35cm, altura de 35 cm y espesor de la lámina de acero 2 mm, para su construcción se utilizaron planchas de acero inoxidable AISI 304, pequeñas tuberías adheridas al fermentador del mismo material para el ingreso del aire proveniente de un compresor.
4. La eficiencia del proceso de fermentación en el equipo es de 97,6% con un pH óptimo de 6,8, un tiempo de 192 horas, una densidad 0,34 g/mL, una temperatura de 27 C, con olor característico, color verde botella, una humedad final con la que sale el producto del 20% todas estas características hacen que el producto obtenido esté en condiciones idóneas y adecuadas para ser utilizado como insecticida en la agricultura, de esta forma se valida al equipo como excelente para la producción del *Trichoderma sp.*

5.2 RECOMENDACIONES

1. El personal que va manipular el equipo debe tener en cuenta la protección y el cuidado personal mediante la utilización de mascarillas, guantes, cofia, mandil y estar perfectamente inocuos para evitar posibles complicaciones en la salud y contaminación del bioformulado sólido.
2. Mantener una asepsia total del lugar de trabajo utilizando desinfectantes adecuados como: sablón, alcohol al 95%, entre otros para evitar cualquier tipo de contaminación en el sustrato.
3. El fermentador antes y después de la carga del sustrato debe estar en condiciones inocuas mediante la utilización de los desinfectantes antes citados.
4. Tomar muestras del sustrato durante el proceso de fermentación para verificar su crecimiento y observar cualquier contaminación presente.
5. Verificar que la chaqueta contenga agua antes del inicio del proceso de fermentación.
6. Si no se dispone de los sustratos (arrocillo, cascarilla de arroz) que se utiliza usualmente en el Laboratorio de Fitopatología se recomienda hacer uso de otros sustratos tales como residuos agroindustriales (salvado de trigo, bagazo de caña), industria forestal y papelera (papel, cartón) y productos agrícolas como trigo , cebada, amaranto, soya etc.

BIBLIOGRAFIA

1. **GEANKLOPLIS.C.J.**, Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias., Continental., D.F-México., 1991., Pp.28-46.
2. **HOLMAN.J.P.**, Transferencia de Calor., D.F-México., McGraw- Hill., 1986., Pp.45-49.
3. **MCCABE W.**, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 6a. ed., D.F-México., Mc Graw- Hill., 1980., Pp.315-339
4. **MEGYESY. E.**, Manual de Recipientes a presión., 3^a.ed. D.F-México., 2007., Pp.174-175-195
5. **PERRY. J.**, Manual del Ingeniero Químico., 3^{ra}. ed., D.F-México., McGraw- Hill., 1974., Pp.1500-1504

6. **WELTY-WICKS.,** Fundamento de Transferencia de Momento de Calor y Masa., D.F-México., Editorial Noriega., Pp. 45-49

7. **AIMACAÑA, D.,** Preparación de Bioformulados a base., de *Trichoderma sp* para el control biológico de Sigatoka Negra., Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba- Ecuador., TESIS., 2007., Pp.67-68

8. **CAJO, A.,** Diseño y Construcción de un sistema de secado y separación de esporas de *Trichoderma sp* cultivadas en un sustrato de cascarilla de arroz., Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba- Ecuador., TESIS., 2005., Pp. 17-22.

BIBLIOGRAFIA INTERNET

9. MICROORGANISMOS

<http://www.unavarra.es/genmic/microgral/Tema%2002.%20Cultivo%20de%20microorganismos.pdf>

2012-01-28

10. REACTORES

<http://www.biblioteca.upibi.ipn.mx/Archivos/Material%20Didactico/Manual%20de%20pr%C3%A1cticas%20del%20laboratorio%20de%20biorreactores2.pdf>

2012-01-28

11. FERMENTACION

<http://enciclopedia.us.es/index.php/Fermentaci%C3%B3n>

2012-01-29

12. FERMENTADOR

<http://www.bionity.com/es/productos/127077/el-mejor-fermentador.html>

2012-01-29

13. AGITACION

<http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAagitacion/puntoDos.htm>

2012-02-07

14. TIPOS DE TAPAS

<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/6786/1/APLICACIONORMA.pdf>

2012-02-07

15. LOS SISTEMAS DE TRANSMISION DE TRANSFERENCIA DE CALOR

<http://es.scribd.com/doc/54218042/6/Serpentines-de-tubos>

2012-02-15

16. TRANSMISION DE CALOR POR CONDUCCION

http://www.ing.unrc.edu.ar/materias/energia_solar/archivos/teoricos/teorico_conveccion.pdf

2012-02-15

17. TRANSMISION DE CALOR POR CONVECCION

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/lopez_s_ja/capitulo3.pdf

2012-02-17

18. ESPESOR DEL CILINDRO

<http://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/viewFile/2218/1777>

12-02-18

19. CASCARILLA ARROZ

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/478/47802513.pdf>

12-04-10

20. MELAZA

<http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/intingali2008/papers/utpl-congreso-ingenieria-alimentos-2008-MIEL-DOS-VARIEDADES-PANELERA.pdf>

12-04-12

ANEXOS

Condiciones de Operación	
Matraz	VTO = 30-60 [m moles/L h] $k_{L,a} = 200-400 [h^{-1}]$
Laboratorio	VTO = 60-120 [m moles/L h] $k_{L,a} = 60-500 [h^{-1}]$
Industrial	VTO = 70-100 [m moles/L h] $k_{L,a} = 100-400 [h^{-1}]$

VTO: Velocidad de transferencia de Oxígeno

Sistema	volumen medio	condiciones operación	transferencia O2 RO2 (mmol/h)
Tubo	10 ml	agitación rotatoria	27
Erlen 500 ml	50 ml	200 rpm	40
	50 ml	300 rpm	48
	100 ml	200 rpm	33
	100 ml	300 rpm	42
Erlen 1000 ml	100 ml	200 rpm	40.8
Tanque agitado	12 l	500 rpm caudal aire 2 vvm	432

	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.		
CONTIENE: TABLAS PARA EL CALCULO DEL CAUDAL DEL AIRE		
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria	REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León	
DIBUJO:	ESCALA :	FECHA: 2012-10-03
OBSERVACIONES:		

Propiedades físicas. Aceros recocidos.

Acero	Coeficiente de dilatación térmica medio de 0°C a			Conductividad térmica	
	100°C ($\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)	315°C ($\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)	538°C ($\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)	a 100°C (W/m.K)	a 500°C (W/m.K)
AISI 304	17,2	17,8	18,4	16,2	21,5
AISI 439	10,5	10,7	11,2	24,0	-
AISI 444	10,0	10,6	11,4	26,8	-
AISI 430	11,7	11,9	12,3	24,0	-
Acero	Densidad (g/cm ³)	Modulo de elasticidad (GPa)	Calor específico (J/kg.K)	Resistividad eléctrica (nW.m)	Permeabilidad magnética (aproximada)
AISI 304	8,0	193	500	720	1,02
AISI 439	7,7	215	793	617	-

Propiedades mecánicas según norma EN 10088				
EN	Tipo (equivalente)	Re 0,2% min. N/mm ² (Limite elástico)	Rm min. N/mm ² (Resistencia a la tracción)	A5 Mini. % (Alargamiento)
1.4301	304	190	500	45
1.4404/1.4571	316L	200	500	40
1.4362	2304	400	600	25
1.4462	2205	450	655	25

Satisfactorio en rangos de -50°C a 300°C

		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.			
CONTIENE: PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL ACERO AISI 304			
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria		REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León	
DIBUJO:		ESCALA:	FECHA: 2012-10-03
OBSERVACIONES:			

Valores típicos del coeficiente de convectivo.
 [Tomada de Incropera and DeWitt]

Proceso	\bar{h} [W/m ² K]
Convección libre	5-25
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20000
Convección con cambio de fase Ebullición o condensación	2500-100000



ESCUELA SUPERIOR
 POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO

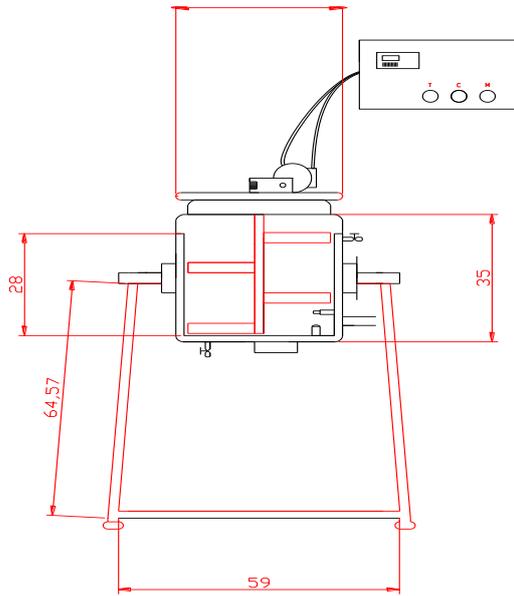
PROYECTO:
 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR
 ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA
 MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.

CONTIENE:
 VALORES DEL COEFICIENTE CONVECTIVO

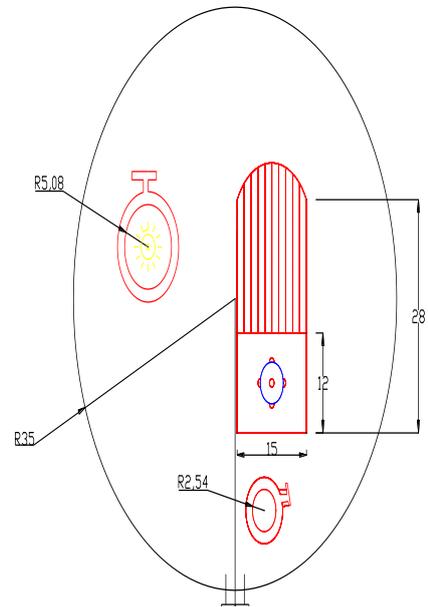
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria	REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León
---	--

DIBUJO:	ESCALA :	FECHA: 2012-10-03
----------------	--------------------	-----------------------------

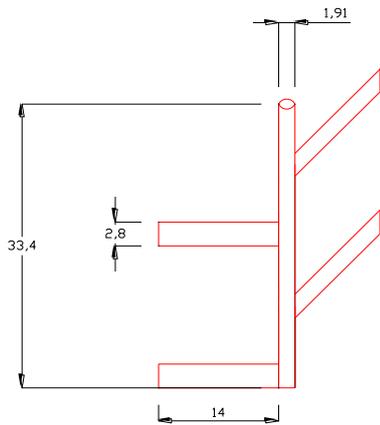
OBSERVACIONES:



FERMENTADOR



TAPA PLANA



AGITADOR DE PALETAS

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.	
CONTIENE: DISEÑO DEL FERMENTADOR, TAPA PLANA Y AGITADOR DE PALETAS	
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria	REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León
DIBUJO:	ESCALA: 17:1
	FECHA: 2012-10-03
OBSERVACIONES:	



Materiales de Limpieza



Limpia bien las paredes del Fermentador



Limpia con alcohol y sablón el fermentador



Rociar con alcohol el agitador para limpiar totalmente.



Colocar la tapa para realizar la limpieza total.



Limpieza de los acoples de muestreo e inoculación



ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO

PROYECTO:
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR
ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA
MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.

CONTIENE:
LIMPIEZA Y DESINFECCION DEL FERMENTADOR

DISEÑO Y ELABORACION:
Jiménez Patricia
Pantoja Valeria

REVISÓ:
Ing. Mario Villacres
Dr. Gerardo León

DIBUJO:

ESCALA:

FECHA:
2012-10-03

OBSERVACIONES:



Remojar la cascarilla de arroz por 24 horas



Ecurrir la cascarilla por 6 min



Lavar el arrozillo y escurrir por 4 min



Mezclar el arrozillo con la cascarilla



Mezclar homegamente el sustrato



Esterilizar en envases de plásticos por 45 min.

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO		
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.		
CONTIENE: ELABORACION Y ESTERILIZACION DEL SUSTRATO		
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria	REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León	
DIBUJO:	ESCALA :	FECHA: 2012-10-03
OBSERVACIONES:		



Desinfectar la cepa con alcohol y retirar el masque.



Agregar Agua Estéril



Remover el hongo Trichoderma



Agregar el hongo Trichoderma en el agua estéril



Agregar en el inculo antibiótico para evitar la contaminación de M.O



El inculo preparado

		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.			
CONTIENE: PREPARACION DEL INOCULO			
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria		REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León	
DIBUJO:		ESCALA :	FECHA: 2012-10-03
OBSERVACIONES:			



Agregar con una jeringa en los envases de plástico 10 ml



Agitar cada uno de los envases de plásticos



Colocar cada envase con el sustrato



Colocar una caja de inculo solido por cada capa de sustrato que se coloque.



Una vez ya tapado el fermentador agregamos por clamp de 1 pulg 250 ml de inculo líquido.

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.	
CONTIENE: INOCULACION DEL SUSTRATO	
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria	REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León
DIBUJO:	ESCALA :
FECHA: 2012-10-03	
OBSERVACIONES:	



Dejar durante 8 días para que se dé la Fermentación



Realizar la toma de la muestra al cuarto día



Bioformulado sólido

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO		
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR ROTATORIO DE FASE SOLIDA PARA LA MULTIPLICACION DEL TRICHODERMA SP.		
CONTIENE: PRODUCTO TERMINADO		
DISEÑO Y ELABORACION: Jiménez Patricia Pantoja Valeria	REVISÓ: Ing. Mario Villacres Dr. Gerardo León	
DIBUJO:	ESCALA: :	FECHA: 2012-10-03
OBSERVACIONES:		

