



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA
PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A
PARTIR DE PAPA, ZANAHORIA, REMOLACHA Y LACTO
SUERO”**

**LUIS OLMEDO CHOLOTA PALATE
OSCAR LIZANDRO MORA RUIZ**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 17 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

LUIS OLMEDO CHOLOTA PALATE

Titulada:

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE PAPA, ZANAHORIA, REMOLACHA Y LACTO SUERO”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) DECANO FACULTAD MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS

f) ASESOR DE TESIS

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 17 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

OSCAR LIZANDRO MORA RUIZ

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE PAPA, ZANAHORIA, REMOLACHA Y
LACTO SUERO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) DECANO FACULTAD MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS

f) ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS OLMEDO CHOLOTA PALATE

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE PAPA, ZANAHORIA, REMOLACHA Y LACTO SUERO”

FECHA DE EXAMINACIÓN: Diciembre, 17 del 2009

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA*	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. GILBERTO ZABALA N.			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			

* Más que un voto de no aprobación es condición suficiente para falla total

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: OSCAR LIZANDRO MORA RUÍZ

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE PAPA, ZANAHORIA, REMOLACHA Y LACTO SUERO”

FECHA DE EXAMINACIÓN: Diciembre, 17 del 2009

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA*	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. GILBERTO ZABALA N.			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			

* Más que un voto de no aprobación es condición suficiente para falla total

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) LUIS OLMEDO CHOLOTA PALATE

4751

f) OSCAR LIZANDRO MORA RUÍZ

5009

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a dios por darme la vida y salud, a mis maestros por ayudarme a terminar este trabajo y mis amigos que me han sabido apoyar y acompañar en este arduo trayecto de mi vida.

Luis Cholota.

Un agradecimiento muy especial a dios sobre todas las cosas por darme iluminación y sabiduría, a los maestros que me guiaron y compartieron sus conocimientos para poder terminar este trabajo, y para todas aquellas personas que me incentivaron a seguir adelante en cada obstáculo presentado.

Oscar Mora.

DEDICATORIA.

A mis padres Luis y María, a mis hermanos quienes me han sabido guiar con sus consejos, y darme todo su apoyo en todo momento de mi vida estudiantil.

Luis Cholota

Dedicado a mis padres quienes con mucho esmero y sacrificio me apoyaron en todo este trajinar de mi etapa estudiantil, a mis hermanos por todas sus palabras de aliento y consejos que me incentivaron a seguir adelante, a mis amigos y compañeros que de una u otra manera supieron hacer más grata mi vida durante todo este tiempo.

Oscar Mora.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES Y OBJETIVOS	1
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Introducción.	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos.	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN DE ETANOL.	4
2.1. Que es el etanol.	4
2.1.1. Características del etanol.....	4
2.1.2. Usos del etanol.	4
2.2. Proceso de preparación de la materia prima y su fermentación.	5
2.2.1. Preparación de la materia prima.	5
2.2.2. Biorreactor o fermentador.	5
2.2.3. Equipo básico para el proceso de fermentación.	6
2.2.3.1. Fermentador o cuba madre.	6
2.2.3.2. Tapón de fermentación.....	6
2.2.3.3. Cubierta de goma para el tapón.....	6
2.2.3.4. Airlock.....	6
2.3. Fermentación	8
2.3.1 Tipos de fermentación	8
2.3.1.1. Fermentación acética.....	8
2.3.1.2. La fermentación alcohólica.	8
2.3.1.3. Fermentación butírica.....	9
2.3.1.4. Fermentación de la glicerina.	10
2.3.1.5. Fermentación pútrida.....	10
2.3.1.6. Fermentación láctica.	10
2.4. Bacterias fermentativas o levaduras	11
2.4.1 Características generales.	12

2.4.2. Características morfológicas.	12
2.4.3. Reproducción.	13
2.4.4. Características de cultivo.	13
2.4.5. Propiedades fisiológicas.	14
2.4.6. Identificación de las levaduras.	14
2.4.7. Selección de Levaduras.	15
2.5. Clasificación de las levaduras	16
2.5.1. Levaduras de inicio de fermentación.....	16
2.5.2. Levaduras de poder fermentativo medio-alto.....	16
2.5.3. Levaduras de elevado poder fermentativo.....	16
2.6 Condiciones necesarias para la fermentación alcohólica	18
2.6.1. Temperatura.	18
2.6.2. Aireación.	18
2.6.3. PH.....	19
2.6.4. Nutrientes y activadores.	19
2.6.5. Inhibidores.....	19
2.6.6. Concentración inicial de azúcares.	20
2.7. Efectos de la fermentación etílica	20
2.8. Proceso de destilación.	21
2.8.1. Tipos de destilación	21
2.8.1.1. Destilación fraccionada.....	21
2.8.1.2. Destilación por vapor.	22
2.8.1.3. Destilación al vacío.	22
2.8.1.4. Destilación molecular centrífuga.....	22
2.8.1.5. Sublimación.....	23
2.8.1.6. Destilación destructiva.	23
2.9. Almacenamiento de etanol.	23
2.10. Principales productos utilizados en la obtención de etanol	24
2.10.1. Obtención de etanol a partir de papa.	25
2.10.2. Obtención de etanol a partir de zanahoria.	25
2.10.3. Obtención de etanol a partir de remolacha.	25
2.10.4. Obtención de etanol a partir de lacto suero.	25
2.11. Técnicas utilizadas para la obtención de etanol	26
2.11.1. Técnica para obtener etanol a partir de almidón.	26
2.11.2. Técnica para obtener etanol a partir de sacarosa.	27

2.11.3. Técnica para obtener etanol a partir de celulosa .	27
3. MARCO TEÓRICO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO.....	28
3.1. Calor específico.....	28
3.2. Calor latente .	28
3.3. Coeficiente de transferencia de calor por convección	29
3.4. Relaciones empíricas para la transferencia de calor	29
3.5. Convección forzada en superficies interiores.....	29
3.6. Convección forzada sobre superficies exteriores.	30
3.7. Convección natural sobre superficies exteriores.	31
3.8. Convección natural en superficies interiores	31
3.9. Transferencia de calor por condensación.	31
3.10. Intercambiadores de calor .	32
3.10.1. Disposiciones de las corrientes.....	32
3.10.2. Clases de intercambiadores	33
3.11. Diferencia media logarítmica de temperatura	34
3.12. Serpentes.	35
3.13. Dinámica de los fluidos reales .	35
3.13.1. Movimientos laminares	35
3.13.2. Movimientos turbulentos, o hidráulicos	36
3.14. Ecuación de continuidad.	36
3.14.1. Numero de Reynolds.	37
3.14.2. Pérdidas de carga.....	37
3.15. Ecuación de la energía.....	38
4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESTILACIÓN.....	39
4.1. Diseño del generador de vapor	39
4.1.1. Cálculo del calor necesario para evaporar el etanol.	39
4.1.2. Cálculo del calor sensible	40
4.1.3. Cálculo del calor latente.	40
4.1.4. Calor entregado por el combustible	41
4.1.5. Cálculo de la masa de combustible	42
4.1.6. Cálculo de la masa de los gases de combustión.	43

4.1.7. Cálculo del calor específico de los gases de combustión	45
4.1.8. Diseño térmico del generador de vapor.....	45
4.1.9. Cálculo de los coeficientes convectivos de transferencia de calor.....	47
4.1.10. Diseño de la cámara de combustión.....	53
4.1.11. Diseño del cuerpo del caldero.....	54
4.1.12. Altura total del caldero.....	55
4.1.13. Cálculo del espesor de la cámara de combustión	55
4.2. Diseño del condensador.....	57
4.2.1. Cálculo del caudal másico de agua requerido.....	57
4.2.2. Cálculo del LMTD.....	58
4.2.3. Cálculo de los coeficientes convectivos.....	59
4.2.4. Cálculo del espesor del condensador.....	64
4.3. Selección de la bomba de agua.....	66
4.3.1. Cálculo de pérdidas de energía.....	67
4.4. Diseño del sistema de agua de enfriamiento.....	70
4.4.1. Cálculo para encontrar el calor que disipa el radiador.....	71
4.4.1.1. Cálculo de h_i para el agua: convección forzada en superficies interiores.....	71
4.4.1.2. Cálculo de h_o para el aire: convección forzada sobre un banco de tubos.....	73
4.4.1.3. Cálculo del h_o real.....	76
4.4.2. Cálculo del calor que disipa el radiador.....	77
4.4.3. Calor absorbido por el agua en el proceso de condensación del etanol.....	78
5. INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA PROTOTIPO	80
5.1. Procedimiento utilizado para la obtención del fermento.....	80
5.1.1. Obtención del zumo.....	80
5.1.2. Adición de azúcar.....	80
5.1.3. Activación de la levadura.....	80
5.1.4. Variación de los ph en proceso fermentativo.....	81
5.1.4.1. Tabla de ph de la zanahoria.....	81
5.1.4.2. Tabla de ph de la papa.....	82
5.1.4.3. Tabla de ph de la remolacha.....	83
5.1.4.4. Tabla de ph del lacto suero.....	84
5.2. Pruebas de producción de etanol.....	85
5.2.1. Pruebas con papa.....	85
5.2.2. Pruebas con zanahoria.....	86

5.2.3. Pruebas con remolacha.....	87
5.2.4. Pruebas con lacto suero.....	88
5.3. Análisis comparativo de producción.....	89
5.4. Análisis comparativo del alcohol de las muestras.....	90
5.5. Eficiencia del equipo.....	93
6. ANÁLISIS DE COSTOS.....	94
6.1. Costos de inversión.....	94
6.2. Costos directos.....	94
6.2.1. Análisis de costos por materiales.....	94
6.2.2. Análisis de costos por construcción.....	98
6.2.3. Análisis de costos por operación y mantenimiento.....	100
6.3. Viabilidad del proyecto.....	100
6.3.1. Valor actual neto.....	101
6.3.2. Tasa interna de retorno.....	101
6.3.3. Análisis de costos para la obtención de etanol de zanahoria.....	102
6.3.4. Análisis de costos para la obtención de etanol de remolacha.....	105
6.3.5. Análisis de costos para la obtención de etanol de papa.....	108
6.3.6. Análisis de costos para la obtención de etanol de lacto suero.....	111
7. COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
7.1. Introducción.....	115
7.2. Conclusiones.....	115
7.3. Recomendaciones.....	116

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS.

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
4.1 Propiedades de los gases de combustión.	47
4.2 Perdidas por accesorios.	67
5.1 PH de la zanahoria.....	81
5.2 PH de la papa.....	82
5.3 PH de la remolacha.....	83
5.4 PH del lacto suero.....	84
5.5 Índices de producción.....	89
5.6 Grado alcohólico.....	91
6.1 Lista de materiales utilizados en la elaboración del caldero.	95
6.2 Lista de materiales en la elaboración del condensador.....	95
6.3 Lista de materiales en el sistema de enfriamiento	96
6.4 Instalación eléctrica costos y materiales.....	97
6.5 Costos del fermentador.....	97
6.6 Costos de materiales adicionales	98
6.7 Costos por mano de obra	98
6.8 Costos de equipos y herramientas.	99
6.9 Costos por transporte	99
6.10 Costos totales.....	100

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 Fermentador	7
2.2 Transformación de la glucosa	9
2.3. Morfología de una levadura	12
2.4. Proceso de obtención de etanol	24
3.1. Calor latente	28
3.2. Intercambiador de calor.....	32
3.3. Sentido de flujo de corriente	33
3.4. Flujo cruzado.....	33
3.5. Clasificación de I.C.	34
3.6. Diferencias de temperatura.....	34
3.7. Serpentín.	35
3.8. Flujo laminar y turbulento.....	36
4.1. Temperaturas (°C) de entrada y salida.....	45
4.2. Cámara de combustión y tubos de fuego.....	54
4.3. Caldero	56
4.4 Variación de temperatura del condensador.	58
4.5. Condensador.....	65
4.6. Bancos de tubos.....	73
4.7. Disposición triangular.	75
4.8. Destilador.	79
5.1. Variación del ph de la zanahoria	81
5.2. Variación del ph de la papa.	82
5.3. Variación del ph de la remolacha	83
5.4. Variación del ph del lacto suero.	84
5.5. Índice de producción.	89
5.6. Grado alcohólico.	91

SIMBOLOGÍA

A	: Área Transferencia de calor
A_T	: Área Transversal de la tubería.
δ	: Densidad.
δ_v	: Densidad de vapor.
K_f	: Conductividad térmica del líquido.
μ_f	: Viscosidad del líquido.
T_g	: Temperatura de saturación del vapor,
T_p	: Temperatura de la placa,
n	: Número de tubos,
d	: Diámetro del tubo.
Q	: Cantidad de calor
m	: Masa
C_p	: Calor específico.
ΔT	: Variación de temperatura
h_{fg}	: Entalpía de ebullición.
Nu	: Número de Nusselt
h	: Coeficiente de convección térmica.
L_c	: Longitud característica
K_f	: Conductividad térmica
Re	: Número de Reynolds.
Pr	: Número de Prandtl.
T_w	: Temperatura de pared.
T_f	: Temperatura fílmica.

Tb : Temperatura promedio.

V : Velocidad.

St : Distancia entre tubos.

Gr : Número de Grashof.

t1 : Temperatura de entrada del fluido

t2 : Temperatura de salida del fluido.

LMTD : Temperatura media logarítmica.

hp : Pérdidas primarias.

hs : Pérdidas secundarias.

λ : Factor de fricción.

g : Gravedad.

L : Longitud de tubería.

γ : Peso específico.

V : Volumen.

t : Tiempo.

\dot{m} : Flujo másico.

ε : Rugosidad absoluta.

Qs : Calor sensible.

QL : Calor latente.

H : Entalpia.

\dot{m}_c : Masa de combustible.

M : Masa molar.

P : Presión.

P_T : Presión de trabajo.

P_d : Presión de diseño.

$r_{a/c}$: Relación aire - combustible.

m_a : Masa de aire.

m_g : Masa de los gases.

U : Coeficiente global de transferencia de calor.

r_o : Radio exterior.

r_i : Radio interior.

F : Factor de corrección.

β : Coeficiente de dilatación térmica.

K_s : Longitud equivalente.

h_{cc} : Altura de la cámara de combustión.

D_{cc} : Diámetro de la cámara de combustión.

A_{cc} : Área de la cámara de combustión.

V_{cc} : Volumen de la cámara de combustión.

V_L : Volumen de líquido.

D_C : Diámetro de la caldera.

H_C : Altura de la caldera.

t : Espesor.

V_s : Velocidad de succión.

V_d : Velocidad de descarga.

A_s : Área de succión.

A_d : Área de descarga.

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A:** Tabla de las Entalpías de formación de los Gases Ideales.
- ANEXO B:** Propiedades de los Gases a Presión Atmosférica.
- ANEXO C:** Propiedades del Agua (Líquido Saturado).
- ANEXO D:** Propiedades del Aire a Presión Atmosférica.
- ANEXO E:** Pérdidas de Fricción en Tuberías.
- ANEXO F:** Constantes para Transferencia de Calor a partir de Cilindros no circulares.
- ANEXO G:** Propiedades de los Gases a bajas Presiones.
- ANEXO H:** Propiedades en los puntos de Ebullición y Congelación.
- ANEXO I:** Eficiencia de Aletas Rectangulares y Triangulares.
- ANEXO J:** Catálogo de Bomba de Agua.
- ANEXO K:** Catálogo de Ventiladores.
- ANEXO L:** Termocupla Taylor 9940.
- ANEXO M:** Efectos de la altitud sobre la Concentración de Oxígeno.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el “Diseño, Cálculo y Construcción de un sistema prototipo para la obtención de etanol a partir de papa, zanahoria, remolacha y lacto suero”.

Se ha diseñado el sistema para la fermentación y destilación de 20 litros de zumo de cualquiera de los productos previstos e inclusive con cualquier otro que pueda ser susceptible de destilación.

Este equipo consta de un generador de vapor, el mismo que evapora el alcohol antes que el agua, por ser una substancia de menor punto de fusión; de un condensador donde el vapor de alcohol vuelve a su estado líquido y de un sub sistema de enfriamiento y recirculación del agua utilizada en el proceso de condensación.

Además el sistema necesita gas licuado de petróleo (GLP) como combustible, energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba hidráulica, para la re circulación del agua y del ventilador que es el encargado de disipar el calor absorbido por la misma.

Este sistema de destilación de etanol se diseña, construye y se pone en funcionamiento, a fin de obtener un índice de producción por litro de fermento de cada uno de los productos analizados.

Con el etanol obtenido, se analiza en el laboratorio para determinar su grado alcohólico. Los residuos de fermento destilado también se analizan, a fin de determinar la cantidad de azúcar que no fue convertida en alcohol, con lo cual se puede estudiar las posibilidades de mejorar los procesos.

SUMMARY

This work consists on the Design, Calculus and Construction of a prototype system for the ethanol obtainment from potato, carrot, sugar beet and lacto - serum."

The system has been designed for the fermentation and distilling of 20 liters juice of any product, including the products susceptible to distilling.

This equipment is made up of a vapor generator, which evaporates alcohol before water, because of its lower fusion point, a condenser where the alcohol vapor becomes a liquid and a system of cooling and re-circulation of water used in the condensing process.

Moreover the system needs oil liquefied gas (GLP) as a fuel, electric energy for the functioning of the hydraulic pump, for the water re-circulation and the fan which is in charge of fading the absorbed heat.

This distilling system of ethanol is designed, constructed and put to function to obtain a production index per liter ferment of each analyzed products.

With the ethanol an analysis is carried out to determine its alcoholic degree. The residues of distilled ferment are also analyzed, to determine the sugar quantity which did become alcohol, with which the possibility of improving processes can be studied.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes.

La palabra alcohol proviene del árabe «al» (el) y «kohol» que significa «sutil». Los árabes conocieron el alcohol extraído del vino por destilación. Sin embargo su descubrimiento se hace remontar a principios del siglo XIV, atribuyéndose al médico Arnau de Villanova, sabio alquimista y profesor de medicina en Montpellier. La quinta esencia de Raimundo Lulio no era otra cosa que el alcohol rectificado a una más suave temperatura. Lavoisier fue quien dio a conocer el origen y la manera de producirse el alcohol por medio de la fermentación vínica, demostrando que bajo la influencia de la levadura de cerveza el azúcar de uva se transforma en ácido carbónico y alcohol. Fue además estudiado por Scheele, Gehle, Thénard, Duma y Boullay y en 1854 Berthelot lo obtuvo por síntesis.

A nivel del lenguaje popular se utiliza para indicar comúnmente una bebida alcohólica, que presenta etanol. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

Los alcoholes son líquidos incoloros de baja masa molecular y de olor característico, solubles en el agua en proporciones variables y menos densos que ella. Al aumentar la masa molecular, aumentan sus puntos de fusión y ebullición, pudiendo ser sólidos a temperatura ambiente. También disminuye la solubilidad en agua al aumentar el tamaño de la molécula, aunque esto depende de otros factores como la forma de la cadena alquílica. Algunos alcoholes (principalmente polihidroxílicos y con anillos aromáticos) tienen una densidad mayor que la del agua. Sus puntos de fusión y ebullición suelen estar muy separados, por lo que se emplean frecuentemente como componentes de mezclas anticongelantes. Por ejemplo, el 1,2-etanodiol tiene un p.f. de $-16\text{ }^\circ\text{C}$ y un p.eb. de $197\text{ }^\circ\text{C}$.

Muchos alcoholes pueden ser creados por fermentación de frutas o granos con levadura, pero solamente el etanol es producido comercialmente de esta manera, principalmente como combustible y

como bebida. Otros alcoholes son generalmente producidos como derivados sintéticos del gas natural o del petróleo.

1.2. Introducción.

En la actualidad, los procesos más utilizados, aunque no tan rentables para la obtención de etanol a partir de almidón, son los que realizan una hidrólisis previa para transformar este último a glucosa y, posteriormente, fermentar ésta a etanol mediante levaduras.

Dentro de los cultivos no convencionales, la papa, la zanahoria y la remolacha son unos de los más prometedores para la obtención de etanol en nuestro país, debido a su alto contenido de hidratos de carbono fácilmente fermentables. Dentro de éste contexto se sitúa la presente investigación que se inclina al aprovechamiento de los recursos agrícolas, como fuente energética en la producción de etanol y el aprovechamiento de los productos intermedios del bioproceso como son la proteína unicelular, la glucosa y los preparados crudos de amilasas.

Con el diseño, construcción y pruebas de un sistema prototipo de dos etapas: hidrólisis-fermentación se pretende aprovechar los desperdicios de estos productos agrícolas en la producción de etanol y así presentar al productor nuevas alternativas en las que podría utilizar su producto.

1.3. Justificación.

El etanol obtenido por medios biotecnológicos se constituye en una importante alternativa para el aprovechamiento de la sobreproducción de ciertos productos tales como la papa, zanahoria, y remolacha.

Una de las técnicas más utilizadas, y económicas en la obtención de Etanol, es la descomposición o fermentación a través de microorganismos, logrando que la materia utilizada sea la adecuada para la obtención de este producto.

Aunque estudios han demostrado que la opción más lógica para la obtención de etanol es la caña de azúcar, se deben considerar los beneficios sociales que pueden tener el empleo de otros cultivos alternativos como la yuca, la papa, maíz, remolacha, y otros o inclusive el aprovechamiento de una gran diversidad de residuos y desechos agrícolas típicas del trópico y de las actividades agroindustriales.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar, construir y probar un sistema prototipo para la producción de etanol.

1.4.2. Objetivos específicos

Analizar el marco teórico sobre el sistema de producción de etanol.

Seleccionar el proceso más adecuado para la producción de etanol.

Analizar el proceso de fermentación de la biomasa.

Diseñar el sistema de destilación.

Instalar y probar el sistema de producción de etanol.

Analizar los costos del sistema.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN DE ETANOL.

2.1. Que es el etanol. [1]

El compuesto químico etanol, o alcohol etílico, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, principal producto de las bebidas alcohólicas.

2.1.1. Características del etanol.

Es un líquido inflamable, incoloro y es el alcohol de menor toxicidad.

Es usado como desinfectante o solvente.

Posee un alto octanaje y una mayor solubilidad en gasolina que el metanol.

Puede ser utilizado como un combustible alternativo.

Además es usado como un aditivo que se le añade a la gasolina para oxigenarla, el cual ayuda a que se produzca una mejor y limpia combustión.

2.1.2. Usos del etanol.

El etanol o alcohol es un líquido incoloro y volátil que está presente en diversas bebidas fermentadas.

Además de usarse con fines culinarios (Bebida alcohólica), el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como principio activo de algunos medicamentos y cosméticos (es el caso de alcohol antiséptico 70° GL y en la elaboración de ambientadores y perfumes).

Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante.

La industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo (un disolvente para pegamentos, pinturas, etc.), el éter di etílico, etc.

Se emplea como combustible industrial y doméstico. En el uso doméstico, se emplea el alcohol de quemar.

2.2. Proceso de preparación de la materia prima y su fermentación.

2.2.1. Preparación de la materia prima.

Antes de la fermentación del producto se procede a la preparación de la materia prima, la cual consiste en el retiro de las partes innecesarias como la raíz y el tallo en la remolacha y en la zanahoria, en el caso de la papa se debe retirar la cascara ya que estudios han demostrado que contiene metanol, el mismo que es tóxico por lo que el producto final puede ser nocivo para determinadas aplicaciones.

Una vez listo el producto se procede a la obtención del zumo o jugo, para lo cual se puede utilizar un extractor de zumo de frutas, éste zumo es introducido en el recipiente hermético de fermentación para evitar la presencia de oxígeno, el cual debe tener un orificio para que pueda salir el CO₂ desprendido del proceso, y un orificio para toma de pruebas del fermento si es necesario.

A continuación el fermento es activado y colocado en un lugar fresco y de preferencia en condiciones escasas de luz, para que las levaduras estén en su mejor habitat y puedan realizar un buen trabajo de fermentación. Este proceso termina cuando las bacterias o levaduras dejan de producir CO₂, lo cual nos indica que está listo para el proceso posterior que es la destilación.

2.2.2. Biorreactor o fermentador. [2]

Por lo general, un biorreactor es un recipiente cilíndrico de doble pared, de vidrio o de acero inoxidable (para el control de la temperatura y esterilización en línea), cubierto de una platina de acero inoxidable. La platina está dotada de entradas y salidas que permiten agregar substratos, nutrientes y sustancias como ácidos o bases, extraer productos, o bien, hacer mediciones en línea. La platina permite acoplar un sistema de agitación para mantener la homogeneidad y facilitar, en su caso, la transferencia de oxígeno y nutrientes.

El Biorreactor es el elemento central para la realización de la fermentación alcohólica.

2.2.3. Equipo básico para el proceso de fermentación.

El equipo básico para realizar la fermentación puede consistir en las siguientes piezas:

2.2.3.1. Fermentador o cuba madre.

Suele ser un recipiente de gran volumen de 30 L (es preferible que tenga escala graduada en sus paredes). Este recipiente (generalmente de polietileno) se puede llenar de agua con sacarosa o cualquier zumo de fruta (pudiendo poner incluso fruta madura en su interior). El recipiente debe ser amplio en su boca superior para que el dióxido de carbono pueda liberarse y facilitar su limpieza posterior. Se denomina a veces a este recipiente como simplemente 'fermentador' y es el espacio en el que se realiza la fermentación. Debe ser de un tamaño tal que permita ser removido de vez en cuando.

2.2.3.2. Tapón de fermentación. [3]

El recipiente, o fermentador, debe tener un calibre de 'boca' suficiente para que pueda enroscarse un tapón de fermentación con un agujero sobre el que se pueda introducir un airlock. Este tapón debe garantizar la estanqueidad del proceso, permitiendo tan sólo acceso a través del airlock.

2.2.3.3. Cubierta de goma para el tapón.

Se debe hacer notar que el tapón debe ser cubierto con una funda de goma para que garantice la estanqueidad del fermentador durante el proceso. Este accesorio no es realmente necesario y su función es la de garantizar la estanqueidad que debe proporcionar el tapón.

2.2.3.4. Airlock.

La misión de este dispositivo es la de permitir la salida del dióxido de carbono generado mientras que al mismo tiempo se evita la entrada de aire en el 'fermentador' y evitar así la contaminación del proceso (que oxidaría el alcohol etílico en ácido acético).

El bloqueo de este aparato se hace mediante el empleo de agua introducida en unas ampollitas comunicadas, estas ampollitas permiten la salida del CO_2 pero no la entrada del aire (O_2). Este dispositivo puede encontrarse elaborado en vidrio o en plástico.

Se suele comercializar para poder hacer la mezcla inicial diferentes productos con levaduras deshidratadas en su interior, la elección del producto dependerá fundamentalmente del tipo de azúcar empleado.

Las levaduras deshidratadas deben pasar un periodo de hidratación de unas horas antes de ser añadido al substrato. Se debe considerar que la fermentación debe empezar aproximadamente a las 10 horas de componer el sistema y suele durar entre dos y cuatro días.

A veces se incluyen además esencias diversas que se añaden en la elaboración final de estas bebidas caseras con el objeto de aromatizar o proporcionar diferentes sabores. En el kit de desarrollo debe incluirse un termómetro y un densímetro.

Este proceso es normalmente asociado el proceso de destilación para aumentar la pureza del alcohol resultante, permitiendo de esta manera producir aguardientes y otras bebidas de alto contenido alcohólico.



Figura 2.1: Fermentador

2.3. Fermentación. [4]

Degradación anaerobia de la glucosa u otros nutrientes orgánicos para proporcionar energía en forma de ATP. Los productos finales varían según los organismos, sustratos y vías enzimáticas. Entre los productos comunes de fermentación están el etanol y el ácido láctico.

El término fermentación, en su acepción estricta, se refiere a la obtención de energía en ausencia de oxígeno y generalmente lleva agregado el nombre del producto final de la reacción.

Pasteur la denominó "la vie sans l'air" o "la vida sin aire".

2.3.1 Tipos de fermentación.

Entre los principales tipos de fermentación tenemos los que se describen a continuación:

2.3.1.1. Fermentación acética.

La fermentación acética es la fermentación bacteriana por *Acetobacter*, un género de bacterias aeróbicas, que transforma el alcohol en ácido acético. La fermentación acética del vino proporciona el vinagre.

La formación de ácido acético resulta de la oxidación del alcohol por la bacteria del vinagre en presencia del oxígeno del aire. Estas bacterias, a diferencia de las levaduras productoras de alcohol, requieren un suministro generoso de oxígeno para su crecimiento y actividad. El cambio que ocurre es descrito generalmente por la ecuación:



Hay otros muchos tipos de fermentación que se producen de forma natural, como la formación de ácido butanoico cuando la mantequilla se vuelve rancia.

2.3.1.2. La fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica es una biorreacción que permite degradar azúcares (glucosa y fructosa) en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la ecuación:



Figura 2.2: Transformación de la glucosa

Aproximadamente se produce 1 grado alcohólico por cada 17 gramos de azúcar contenidos en el mosto. Las principales responsables de esta transformación son las levaduras. La *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura usada con más frecuencia. Por supuesto que existen estudios para producir alcohol con otros hongos y bacterias, como la *Zymomonas mobilis*, pero la explotación a nivel industrial es mínimo.

El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO_2 por 1 g de glucosa. Este valor fue cuantificado por Gay Lussac. En la realidad es difícil lograr este rendimiento, porque como se señaló anteriormente, la levadura utiliza la glucosa para la producción de otros metabolitos. El rendimiento experimental varía entre 90% y 95% del teórico, es decir, de 0.469 a 0.485 g/g. Los rendimientos en la industria varían entre 87 y 93% del rendimiento teórico.

2.3.1.3. Fermentación butírica.

La fermentación butírica (descubierta por Louis Pasteur) es la conversión de los glúcidos en ácido butírico por acción de bacterias de la especie *Clostridium butyricum* en ausencia de oxígeno. Se produce a partir de la lactosa con formación de ácido butírico y gas. Es característica de las bacterias del género *Clostridium* y se caracteriza por la aparición de olores pútridos y desagradables.

Se puede producir durante el proceso de ensilado si la cantidad de azúcares en el pasto no es lo suficientemente grande como para producir una cantidad de ácido láctico que garantice un pH inferior a 5.

2.3.1.4. Fermentación de la glicerina.

El propanotriol, glicerol o glicerina ($C_3H_8O_3$) es un alcohol con tres grupos hidroxilos ($-OH$).

El propanotriol es uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos, paso previo para el ciclo de Krebs. Se produce también como un producto intermedio de la fermentación alcohólica. El propanotriol, junto con los ácidos grasos, es uno de los componentes de los lípidos simples, como los triglicéridos y fosfolípidos.

2.3.1.5. Fermentación pútrida

La fermentación pútrida es un tipo de fermentación que se lleva a cabo sin gasto de sustrato oxidante. Se basa en la degradación de sustratos de naturaleza proteica, para obtener productos malolientes como escatol, cadaverinas o indol. Algunas putrefacciones dan lugar a productos poco desagradables, que, por su fuerte aroma y sabor son utilizados en la fabricación de vinos y quesos, como la que lleva a cabo el *Penicillium rocheforti*, que es la causa de las manchas verdosas del queso Roquefort.

También puede producir gases apestosos como los son el ácido sulfhídrico que tiene olor a huevo podrido.

2.3.1.6. Fermentación láctica.

La fermentación láctica es un proceso celular anaeróbico donde se utiliza glucosa para obtener energía y donde el producto de desecho es el ácido láctico.

Este proceso lo realizan muchas bacterias (llamadas bacterias lácticas), hongos, algunos protozoos y en los tejidos animales; en efecto, la fermentación láctica también se verifica en el tejido muscular cuando, a causa de una intensa actividad motora, no se produce una aportación adecuada de oxígeno que permita el desarrollo de la respiración aeróbica. Cuando el ácido láctico se acumula en las células musculares produce síntomas asociados con la fatiga muscular. Algunas células, como los eritrocitos, carecen de mitocondrias de manera que se ven obligadas a obtener energía por medio de la fermentación láctica; por contra, las neuronas mueren rápidamente ya que no fermentan, y su única fuente de energía es la respiración.

2.4. Bacterias fermentativas o levaduras. [5]

Las levaduras se han definido como hongos microscópicos, unicelulares, la mayoría se multiplican por gemación y algunas por escisión. Este grupo de microorganismos comprende alrededor de 60 géneros y unas 500 especies. Históricamente, los estudios sobre microbiología enológica se han centrado en las levaduras pertenecientes al género *Saccharomyces*, que son las responsables de la fermentación alcohólica.

Anteriormente se creía que sólo ellas participaban en el proceso de producción de alcohol, sin embargo, las diferentes levaduras no-*Saccharomyces*, especialmente durante la fase inicial de la fermentación, pueden influir en las propiedades organolépticas de las bebidas alcohólicas. El papel de las levaduras como agentes fermentadores no fue reconocido sino hasta 1856 por Luis Pasteur. Las teorías científicas de esa época reconocían la presencia de éstas en la fermentación alcohólica, pero eran consideradas como compuestos químicos complejos, sin vida. Esta era la teoría mecanística liderada por los químicos alemanes von Liebig y Wöhler. Luis Pasteur, propuso la teoría vitalística y demostró que las células viables de levaduras causan fermentación en condiciones anaerobias; durante la cual el azúcar presente en el jugo es convertido principalmente en etanol y CO₂.

Las levaduras son los agentes de la fermentación y se encuentran naturalmente en la superficie de las plantas, el suelo es su principal hábitat encontrándose en invierno en la capa superficial de la tierra. En verano, por medio de los insectos, polvo y animales, son transportados hasta el fruto, por lo que su distribución se produce al azar. Existe un gran número de especies que se diferencian por su aspecto, sus propiedades, sus formas de reproducción y por la forma en la que transforman el azúcar. Como todos los seres vivos, tienen necesidades precisas en lo que se refiere a nutrición y al medio en que viven. Son muy sensibles a la temperatura, necesitan una alimentación apropiada rica en azúcares, elementos minerales y sustancias nitrogenadas, tienen ciclos reproductivos cortos, lo que hace que el inicio de la fermentación sea tan rápido, pero así como se multiplican, pueden morir por la falta o el exceso de las variables mencionadas.

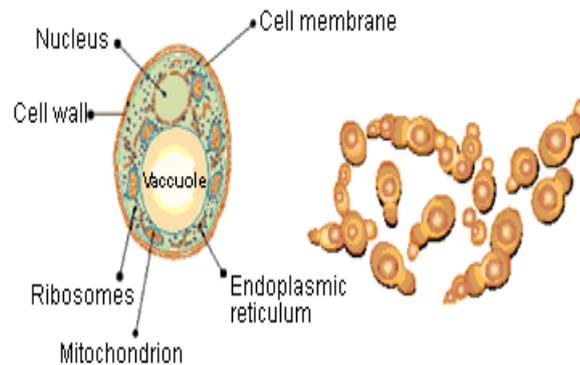


Figura 2.3: Morfología de una Levadura

2.4.1 Características generales.

Las levaduras se clasifican en base a sus caracteres morfológicos, aunque para algunos microbiólogos, sus propiedades fisiológicas tienen mayor importancia. La mayoría de las levaduras son hongos unicelulares sencillos microscópicos, la mayoría se reproducen asexualmente por gemación, y otras especies lo hacen por fisión múltiple. Las levaduras que pueden reproducirse sexualmente se conocen como “verdaderas”, este proceso implica la formación de ascosporas, sirviendo la propia levadura como asca, de aquí que ellas se clasifican como Ascomycetos; por el contrario las “falsas” que no producen ascosporas, pertenecen a los hongos imperfectos.

2.4.2. Características morfológicas.

Los caracteres morfológicos de las levaduras se determinan mediante su observación microscópica. Además, los criterios morfológicos se basan en el modo de reproducción vegetativa de la morfología celular. La forma de la levadura puede ser desde esférica a ovoide, en forma de limón, piriforme, cilíndrica, triangular, e incluso alargada formando un verdadero micelio o un falso micelio. También se diferencian en cuanto a su tamaño, miden de 1-10 μm de ancho por 2-3 μm de longitud. Son partes observables de su estructura, la pared celular, el citoplasma, las vacuolas, los glóbulos de grasa, y los gránulos, los cuales pueden ser metacromáticos, de albúmina o de almidón. Para poder observar el

núcleo es preciso utilizar tinciones especiales. El núcleo está rodeado de una membrana que persiste durante la división celular. El número de cromosomas es variable de unas a otras. Las levaduras en ningún caso son móviles.

2.4.3. Reproducción.

La mayoría de las levaduras se reproducen por gemación multicelular o por gemación polar, que es el mecanismo en el cual una porción del protoplasma sobresale de la pared de la célula y forma una protuberancia, la cual aumenta de tamaño y se desprende como una nueva célula de levadura. En las levaduras que forman película, la yema crece a partir de una prolongación tubuliforme de la célula madre.

La reproducción sexual de las levaduras verdaderas (Ascomycotina) da lugar a la producción de ascosporas, desempeñando la función de asca, la propia célula de la levadura. En la mayoría de las especies de levaduras verdaderas, la formación de ascosporas tiene lugar tras la conjugación de dos células, aunque algunas pueden producir ascosporas sin que exista conjugación previa, teniendo lugar después la conjugación de las ascosporas. Tanto el número y el aspecto de esporas por asca, son típicos de cada especie de levadura, y se pueden diferenciar por su color, rugosidad o lisura de su pared y por su forma (redondeada, ovalada, arriñonada, falciforme, forma de Saturno o de sombrero, hemisférica, angular).

2.4.4. Características de cultivo.

En la mayoría de los casos, el crecimiento en masa de las levaduras no resulta apropiado para su identificación. En los cultivos con agar, es difícil diferenciar las colonias de levaduras de las colonias bacterianas, por lo que la observación microscópica es la única forma segura que existe para poderlas diferenciar. La mayoría de las colonias jóvenes de levaduras son húmedas y algo mucosas, y es posible que tengan aspecto harinoso. La mayoría de las colonias son blanquecinas, algunas tienen un color crema o rosado. Algunas colonias cambian poco de aspecto cuando envejecen, otras se secan y se

vuelven rugosas. Las levaduras son oxidativas, fermentativas, o bien su actividad metabólica es a la vez de ambos tipos.

2.4.5. Propiedades fisiológicas.

Las distintas especies de levaduras pueden ser muy diferentes en cuanto a su fisiología, la mayoría necesitan más humedad para crecer y desarrollarse. El intervalo de temperatura de crecimiento de las levaduras es en general, parecido al de los hongos, con una temperatura óptima en torno a los 25 a 30°C y una temperatura máxima en torno a los 35 a 47°C. Una reacción ácida del medio, próxima a un pH de 4 a 4.5, estimula el crecimiento de la mayoría de las levaduras, mientras que en medios básicos, no crecen bien a no ser que se hayan adaptado a los mismos. En general, los azúcares son la fuente energética más apropiada para las levaduras, aunque en las oxidativas, por ejemplo, las formadoras de película oxidan los ácidos orgánicos y el alcohol.

2.4.6. Identificación de las levaduras.

La clasificación de las levaduras es compleja, no obstante el desarrollo de nuevas técnicas basadas en Biología Molecular, ha permitido separar o reagrupar las especies. Las levaduras pertenecen al Reino Fungi y dentro de él a la división Eumicota que agrupa a los hongos verdaderos. En esta división, las levaduras se incluyen en 2 de las 5 subdivisiones de los Eumicetos, la Ascomycotina representada por las levaduras capaces de producir ascosporas, llamadas por ello esporógenas, y la Deuteromycotina representadas por las levaduras incapaces de formar esporas llamadas no esporógenas. Los géneros de las levaduras esporógenas englobados todos ellos en la familia Saccharomycetaceae, se distribuyen en 3 subfamilias. Los géneros de las levaduras no esporógenas constituyen la familia Cryptococcaceae.

Los principales criterios utilizados para la clasificación e identificación de las levaduras son los siguientes:

- 1.- Producción de ascosporas.
- 2.- Aspecto de las células vegetativas: forma, tamaño, color, inclusiones.
- 3.- Forma de reproducción asexual.
- 4.- Producción de micelio.
- 5.- Forma de película en medio líquido.
- 6.- Color de la colonia.
- 7.- Propiedades fisiológicas: producción de ácido, actividad ureásica.
- 8.- Caracterización bioquímica (Frazier y Weathoff, 1998; Hayes, 1993)

2.4.7. Selección de Levaduras.

El estudio de la dinámica, cuantificación y composición de la microbiota responsable de las fermentaciones espontáneas, ha mostrado diferencias tanto cualitativas como cuantitativas, en las levaduras aisladas en una misma zona vitivinícola e incluso dentro de los depósitos de una misma bodega. Las causas de esta variabilidad pueden ser: cambios en las técnicas de aislamiento, cambios en las condiciones climáticas, etc. Las levaduras seleccionadas se han utilizado con excelentes resultados en muchos países, obteniéndose productos finales de calidad más uniforme que los que se producían con las fermentaciones espontáneas. Este último punto es el que genera el debate acerca de la utilización o no de inóculos, ya que garantizan repetitividad a expensas de perder algo de complejidad en el producto. A pesar de que existen levaduras comerciales para realizar las fermentaciones, es más efectivo el uso de cultivos puros de levaduras que procedan de la zona donde se van a utilizar, lo que se conoce como levaduras locales seleccionadas, ya que se cree que las levaduras que se encuentran en una microzona son específicas del área, totalmente adaptadas a las condiciones climáticas de la zona y a la materia prima, es decir al mosto a fermentar, son responsables al menos parcialmente, de las características únicas de los productos obtenidos.

Las características propias de la zona pueden ser por tanto, un aspecto interesante a la hora de seleccionar una levadura, aunque hay muchos otros que también se tienen que tomar en cuenta. La

importancia de estos parámetros puede ser relativa, dependiendo del producto para el cual quieren ser utilizados, algunos de los criterios utilizados para seleccionar levaduras se pueden observar más adelante. Por tanto, la selección de la cepa adecuada para cada tipo de fermentación es una estrategia muy importante para garantizar por un lado una fermentación correcta, así como para mejorar las características del producto final, ya que las levaduras pueden producir compuestos que den un toque de distinción al producto obtenido, tales como el glicerol, ésteres, alcoholes superiores, etc.

2.5. Clasificación de las levaduras.

Las levaduras fermentativas se pueden clasificar en tres grandes grupos con relación a su influencia dentro de este proceso:

2.5.1. Levaduras de inicio de fermentación.

Se trata generalmente de levaduras apiculadas, es decir con forma de limón, que tienen un bajo poder fermentativo (hasta 4-5 %Vol.). Muchas de ellas son poco beneficiosas ya que producen bastante acidez volátil, a excepción de *Schizosaccharomyces veronae*.

Podemos citar *Kloeckera apiculata* como la levadura de este tipo más común en la mayoría de las vinificaciones.

2.5.2. Levaduras de poder fermentativo medio-alto.

Una vez que se han superado los 4-5 %Vol. de alcohol, otras especies de levaduras dominan el proceso como es el caso de *Saccharomyces cerevisiae*, *ellipsoideus*, *Saccharomycespastorianus*, y otras.

2.5.3. Levaduras de elevado poder fermentativo.

Al alcanzar los 10-11%Vol de alcohol, hay otras especies de levaduras que comienzan a ejercer su predominio debido a que gozan de un elevado poder fermentativo como son *Saccharomyces oviformis*, *Saccharomyces bayanus*, y otros *Saccharomyces ellipsoideus*, entre otras. Exceptuando

micro vinificaciones de laboratorio en las que se han llegado a alcanzar hasta 18-20 % Vol. de alcohol, lo habitual es que no puedan fermentar más allá de los 13,5-14,5 % Vol. de alcohol.

Dentro de las levaduras post-fermentativas se distinguen dos grandes grupos, uno sumamente perjudicial y otro sumamente beneficioso.

Las primeras son levaduras aeróbicas de bajo poder fermentativo denominadas "flores del vino" que forman un delgado velo blanquecino en la superficie de los vinos de poca graduación conservados en malas condiciones. Son sumamente perjudiciales debido a que forman gran cantidad de ácido acético y de acetato de etilo (aroma a pegamento) a partir del etanol, preparando el terreno para un posterior picado acético bacteriano.

Las segundas, denominadas "levaduras de flor", son las levaduras típicas de los vinos de crianza biológica como son finos, manzanillas y amontillados en su crianza biológica. Forman un velo mucho más grueso, amarillento, muy floculante. Se trata de levaduras con un alto poder fermentativo que forman el velo una vez ha concluido la fermentación del mosto a diferencia de las anteriores que lo hacen desde el principio. Se trata de *Saccharomyces multuliensis*, *Saccharomyces italicus* y *Saccharomyces beticus* principalmente. Estas levaduras forman acetaldehído (aroma a almendra) a partir del etanol, y acetales a partir de etanol más acetaldehído; consumen prácticamente toda la glicerina y favorecen el potencial de oxido-reducción del mosto bajo el velo para realizar la fermentación malo láctica, entre otras muchas cosas. Es por ello por lo que los vinos base de estas elaboraciones se encabezan hasta los 15-15,5 % Vol. con alcohol vínico con el fin de evitar otras especies de levaduras y que pueda formarse el velo característico de la crianza biológica en las botas.

2.6. Condiciones necesarias para la fermentación alcohólica. [6]

2.6.1. Temperatura.

Las levaduras son microorganismos mesófilos, esto hace que la fermentación pueda tener lugar en un rango de temperaturas desde los 13-14°C hasta los 33-35°C. Dentro de este intervalo, cuanto mayor sea la temperatura mayor será la velocidad del proceso fermentativo siendo también mayor la proporción de productos secundarios.

Sin embargo, a menor temperatura es más fácil conseguir un mayor grado alcohólico, ya que parece que las altas temperaturas que hacen fermentar más rápido a las levaduras llegan a agotarlas antes.

La temperatura más adecuada para realizar la fermentación alcohólica se sitúa entre los 18-23°C y es la que se emplea generalmente en la elaboración de vinos blancos. Sin embargo, para elaborar vinos tintos es necesaria una maceración de los hollejos (y pepitas) de las uvas con el fin de extraer antocianos y taninos principalmente, de forma que se fermenta a temperaturas más elevadas (24-31°C) para buscar una mayor extracción de estos compuestos.

Por encima de 33-35°C el riesgo de parada de fermentación es muy elevado, al igual que el de alteración bacteriana ya que a estas elevadas temperaturas las membranas celulares de las levaduras dejan de ser tan selectivas, emitiendo substratos muy adecuados para las bacterias.

2.6.2. Aireación.

Durante mucho tiempo se pensó que las levaduras eran microorganismos anaerobios estrictos, es decir, debía realizarse la fermentación en ausencia de oxígeno. Sin embargo, es un hecho erróneo ya que requieren una cierta aireación. Esta oxigenación se consigue en los procesos previos a la fermentación.

Una aireación sumamente excesiva es totalmente absurda ya que, entre otras consecuencias en el vino, no obtendríamos alcohol sino agua y anhídrido carbónico debido a que las levaduras, cuando viven en condiciones aeróbicas, no utilizan los azúcares por vía fermentativa sino oxidativa, para obtener con ello mucha más energía.

2.6.3. PH.

El pH del vino (3,1- 4) no es el más adecuado para la vida de las levaduras, menos para la de las bacterias, prefiriendo convivir con valores más elevados (entre 4 y 6). Cuanto menor es el pH peor lo tendrán las levaduras para fermentar, aunque más protegido se encuentra el vino ante posibles ataques bacterianos. Además, más elevada será la fracción de sulfuroso que se encuentra libre.

2.6.4. Nutrientes y activadores.

Las levaduras fermentativas necesitan los azúcares para su catabolismo, es decir para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales, pero además necesitan otros substratos para su anabolismo como son nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, potasio, magnesio, calcio y vitaminas, especialmente ti amina (vitamina B1). Por ello es de vital importancia que el medio disponga de una base nutricional adecuada para poder llevar a cabo la fermentación alcohólica.

El nitrógeno es de todos el más importante, siendo necesario que el mosto contenga inicialmente nitrógeno amoniacal y en forma de aminoácidos por encima de 130-150 ppm. Una deficiencia de estos nutrientes hará que "no les quede más remedio" que atacar contra su pesar las gigantescas proteínas, liberándose H₂S (aroma a huevos podridos).

La presencia de esteroides y ácidos grasos insaturados es también necesaria obteniéndolos inicialmente del mosto y posteriormente de las células madres. Esteroides y ácidos grasos insaturados de cadena larga son necesarios fundamentalmente para que sus membranas celulares puedan ser funcionales.

2.6.5. Inhibidores.

Entendemos por inhibición como la detención de la actividad de las levaduras, retardo e impedimento de su desarrollo, y por lo tanto, de la fermentación.

La fermentación ralentiza e incluso se para, principalmente por 2 razones:

Agotamiento de algún elemento necesario (oxígeno, sustancias nitrogenadas,.....)

Formación o presencia de sustancias inhibitoras (alcohol, CO₂,.....)

2.6.6. Concentración inicial de azúcares.

No podemos pensar en fermentar un mosto con una concentración muy elevada de azúcares. En estas condiciones osmófilas las levaduras simplemente estallarían al salir bruscamente el agua de su interior para equilibrar las concentraciones de solutos en el exterior y en el interior de la célula, es decir, lo que se conoce como una plasmólisis.

Esta es la base de la elaboración de mostos concentrados estables microbiológicamente ($^{\circ}\text{Be} >29$), si bien determinadas especies de levaduras como *Saccharomyces Ludwigii* y *Schizosaccharomyces pombe*, entre otras, son capaces de resistir.

2.7. Efectos de la fermentación etílica.

Los efectos de la fermentación etílica se derivan de los productos resultantes del proceso que son liberados de una forma u otra al medio ambiente: el etanol y el dióxido de carbono. Los efectos de la fermentación dependerán de como se trate cada uno de estos subproductos. Uno de los efectos más sorprendentes se encuentra en la contaminación etílica existente en algunos insectos que se alimentan de frutas y del néctar de las flores, un ejemplo claro son las abejas. De la misma forma puede intoxicar a los pájaros que se alimentan de algunas bayas maduras ya parcialmente fermentadas. La fermentación alcohólica en pequeña escala se produce de la misma forma en las raíces de algunas plantas que son regadas de manera muy frecuente, la falta de aireación del terreno hace que las condiciones anaeróbicas que necesitan las levaduras actúen pudiendo envenenar el suelo mediante un aumento de la concentración de etanol lo que se traduce en una disminución de la capacidad de producción de las mismas.

Otro aspecto importante es el efecto que produce en el cuerpo humano el consumo reiterado en los humanos de bebidas alcohólicas procedentes de la fermentación etílica ya que el etanol es una potente droga psicoactiva con un nivel de efectos secundarios además de la adicción que genera su consumo habitual. Los lugares donde se realiza la fermentación de algunas bebidas alcohólicas (generalmente sótanos) suelen ser peligrosos ya que el dióxido de carbono desplaza al oxígeno pudiendo causar asfixia a las personas que se encuentren en estos lugares.

2.8. Proceso de destilación. [7]

Destilación, proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.

El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. Por ejemplo, la eliminación del agua de la glicerina evaporando el agua, se llama evaporación, pero la eliminación del agua del alcohol evaporando el alcohol se llama destilación, aunque se usan mecanismos similares en ambos casos.

2.8.1. Tipos de destilación.

Entre los principales tipos de destilación tenemos los que se describen a continuación.

2.8.1.1. Destilación fraccionada

Si se consigue que una parte del destilado vuelva del condensador y gotee por una larga columna a una serie de placas, y que al mismo tiempo el vapor que se dirige al condensador burbujee en el líquido de esas placas, el vapor y el líquido interaccionarán de forma que parte del agua del vapor se condensará y parte del alcohol del líquido se evaporará. Así pues, la interacción en cada placa es equivalente a una re destilación, y construyendo una columna con el suficiente número de placas, se puede obtener alcohol de 95% en una operación individual. Además, introduciendo gradualmente la disolución original de 10% de alcohol en un punto en mitad de la columna, se podrá extraer prácticamente todo el alcohol del agua mientras desciende hasta la placa inferior, de forma que no se desperdicie nada de alcohol.

Este proceso, conocido como rectificación o destilación fraccionada, se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de

fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que una gran fracción (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor.

2.8.1.2. Destilación por vapor.

Si dos líquidos insolubles se calientan, ninguno de los dos es afectado por la presencia del otro (mientras se les remueva para que el líquido más ligero no forme una capa impenetrable sobre el más pesado) y se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, dicha mezcla siempre hierve a una temperatura menor que la de cada componente por separado. El porcentaje de cada componente en el vapor sólo depende de su presión de vapor a esa temperatura. Este principio puede aplicarse a sustancias que podrían verse perjudicadas por el exceso de calor si fueran destiladas en la forma habitual.

2.8.1.3. Destilación al vacío.

Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es evacuar parcialmente el alambique. Por ejemplo, la anilina puede ser destilada a 100 °C extrayendo el 93% del aire del alambique. Este método es tan efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayoría del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco.

2.8.1.4. Destilación molecular centrífuga.

Si una columna larga que contiene una mezcla de gases se cierra herméticamente y se coloca en posición vertical, se produce una separación parcial de los gases como resultado de la gravedad. En una centrifugadora de alta velocidad, o en un instrumento llamado vórtice, las fuerzas que separan los

componentes más ligeros de los más pesados son miles de veces mayores que las de la gravedad, haciendo la separación más eficaz. Por ejemplo, la separación del hexafluoruro de uranio gaseoso, UF₆, en moléculas que contienen dos isótopos diferentes del uranio, uranio 235 y uranio 238, puede ser llevada a cabo por medio de la destilación molecular centrífuga.

2.8.1.5. Sublimación.

Si se destila una sustancia sólida, pasándola directamente a la fase de vapor y otra vez a la fase sólida sin que se forme un líquido en ningún momento, el proceso se llama sublimación. La sublimación no difiere de la destilación en ningún aspecto importante, excepto en el cuidado especial que se requiere para impedir que el sólido obstruya el aparato. La rectificación de dichos materiales es imposible. El yodo se purifica por sublimación.

2.8.1.6. Destilación destructiva.

Cuando se calienta una sustancia a una temperatura elevada, descomponiéndose en varios productos valiosos, y esos productos se separan por fraccionamiento en la misma operación, el proceso se llama destilación destructiva. Las aplicaciones más importantes de este proceso son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol. Este último proceso ha sido ampliamente desplazado por procedimientos sintéticos para fabricar distintos subproductos. El craqueo del petróleo es similar a la destilación destructiva.

2.9. Almacenamiento de etanol.

Respecto del transporte y almacenaje del etanol, su propensión a absorber agua ha sido motivo de preocupación al igual que la corrosión. Generalmente no se necesita de almacenamiento especial y de equipamiento de abastecimiento en las instalaciones de llenado de etanol, pues el etanol seco es compatible con el acero. Sólo ciertos estanques de fibra de vidrio y algunos revestimientos del estanque pueden no ser compatibles. Las actuales distribuciones del combustible y sistemas de almacenamiento no son a prueba de agua, y el agua tiene propensión a acarrear impurezas en ella. El etanol no será degradado de forma importante por pequeñas porciones de agua limpia, aunque la

adición de ésta diluye su valor como un combustible. En parte, por esta razón, se espera que el uso primario del etanol en el sector del transporte sea como un aditivo de combustible para los combustibles convencionales. Los dispensadores de combustible deben tener elastómeros adecuados para el etanol y no deben usarse componentes de aluminio corriente.

2.10. Principales productos utilizados en la obtención de etanol.

Uno de los principales productos utilizados en la obtención de etanol es la caña de azúcar mediante el proceso de fermentación de melazas no cristalizables o residuos del jugo de caña del que se ha extraído el azúcar cristalizable.

Los productos agrícolas que son la base para la producción de etanol son aquellos que contienen sacarosa como la caña de azúcar, sorgo dulce, etc.

Sustancias ricas en almidón como el maíz, trigo, cebada, papas, etc.

Y los materiales ricos en celulosa como la madera, paja del trigo o arroz y otros residuos agrícolas.

A nivel mundial los productos agrícolas mayormente utilizados para la obtención de etanol son la caña de azúcar y el maíz.

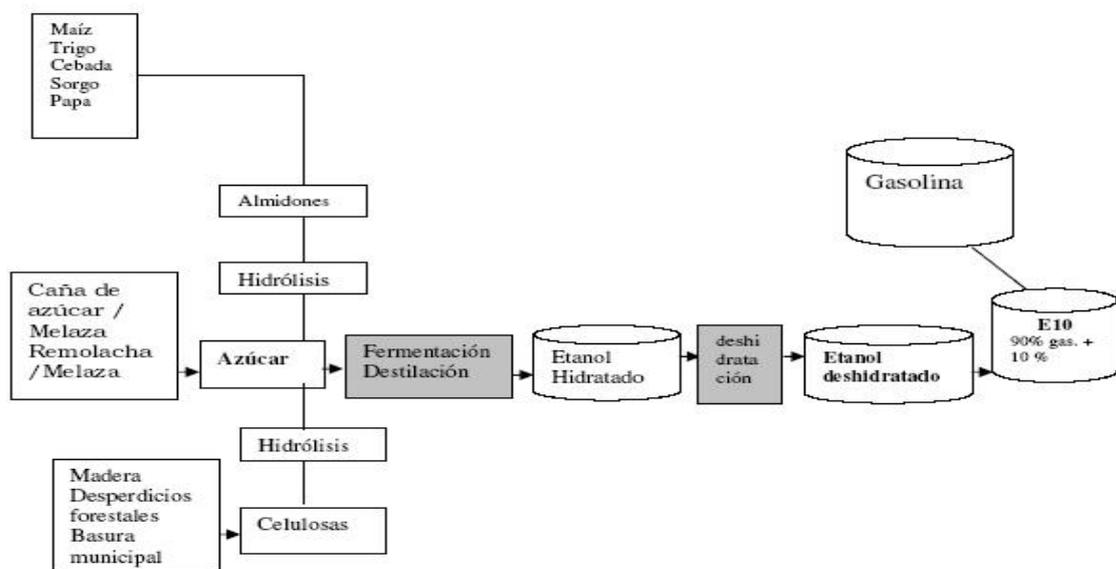


Figura 2.4: Proceso de obtención de etanol

2.10.1. Obtención de etanol a partir de papa.

Dentro de los cultivos no convencionales, la papa es uno de los más prometedores para la obtención de etanol, debido a su alto contenido de hidratos de carbono fácilmente fermentables.

2.10.2. Obtención de etanol a partir de zanahoria.

Aunque la zanahoria no esté dentro de los principales productos para una alternativa de la obtención de etanol de productos no convencionales, ésta presenta gran expectativa, debido a sus características de sus nutrientes fácilmente convertibles en glucosa.

2.10.3. Obtención de etanol a partir de remolacha.

La remolacha (*Beta vulgaris*) es una planta de la familia de las Chenopodiáceas, originaria del sur de Europa y, según la opinión más generalizada, de Italia.

Esta especie no es comestible y solo se ha utilizado como planta medicinal. Fue a partir del siglo XIX cuando se abandono su uso como alimento y se destino fundamentalmente a la producción de azúcar o la extracción de alcohol.

Existen varias variedades de remolacha, entre las que destacan la remolacha roja y la remolacha blanca o remolacha alargada. Ambas son muy ricas en azúcar que es mucho más asimilable que el de la caña de azúcar. También son muy ricas en almidón.

2.10.4. Obtención de etanol a partir de lacto suero.

La leche por regla general sufre una fermentación láctica (la mayoría de los productos lácteos) que produce algunas bebidas alcohólicas. El proceso es alimentado por la lactosa (azúcar natural de la leche) y por la enzima lactasa que segregan algunas levaduras específicas. La fermentación láctica y etílica es muy sensible a la temperatura y suele denominarse fermentación heteroláctica. Entre las bebidas lácteas que han sufrido una fermentación etílica se encuentra una bebida denominada koumiss, que se elabora mediante la adición de sacarosa (caña de azúcar), a la leche pasteurizada y suele proporcionar bebidas de bajo contenido alcohólico, oscila entre un 1 a 3 %, el micro organismo responsable de este proceso es el *Lactobacillus bulgaricus*. Se denomina a veces como: “vino de leche”

y posee un aspecto grisáceo. En estas bebidas lácteas la fermentación láctica se produce al mismo tiempo que la alcohólica, cooperando ambas en un complejo proceso interrelacionado. Otras de las bebidas es el Kéfir, que contiene una cierta cantidad de etanol, que puede oscilar entre un 0.040 a 0.3 %, su bajo contenido se debe a la relativamente altos niveles de pH que paran el proceso fermentativo alcohólico.

El aprovechamiento del lacto suero, que mayoritariamente se obtiene como subproducto en la industria del queso, ha sido un tema importante desde hace mucho tiempo debido a las enormes cantidades producidas y a su elevado poder contaminante.

La fermentación se realiza empleando una cepa de *Kluyveromyces fragilis* suministrada por la Colección Española de Cultivos Tipo (CECT 1123). El producto alcohólico se puede emplear en la elaboración de bebidas alcohólicas para consumo humano o bien en la obtención de etanol industrial.

2.11. Técnicas utilizadas para la obtención de etanol.

Técnica para obtener etanol a partir de almidón.

Técnica para obtener etanol a partir de sacarosa (melaza o jugo de caña).

Técnica para obtener etanol a partir de celulosa (biomasa lignocelulósica).

2.11.1. Técnica para obtener etanol a partir de almidón.

Para hacer etanol, se necesita un sistema de dos etapas: hidrólisis Fermentación, también necesitarás los microorganismos *Aspergillus niger* y *Saccharomyce cerevisiae*.

Los pasos de la Técnica son los siguientes:

- 1.- Hidrólisis del almidón de papa por *Aspergillus niger*
- 2.- Una vez transcurrido el tiempo de la hidrólisis es la Filtración de compuestos hidrolizados eliminando *Aspergillus niger* y la dextrina límite con el fin de "esterilizar" el futuro medio para la fermentación de los azúcares en el tercer paso.

3.- En este último paso el filtrado deberá de recibirse en un bioreactor de fermentación que deberá contener el inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* en un medio de hidrolizado de almidón con el fin de eliminar la etapa de adaptación y arrancar en etapa de crecimiento exponencial para la producción de etanol. El tiempo de fermentación alcohólica deberá de ser de 48 horas a condiciones anaeróbicas.

2.11.2. Técnica para obtener etanol a partir de sacarosa (melaza o jugo de caña).

El proceso típico de producción de alcohol por lotes a partir de la melaza se denomina el proceso Melle Boinot.

Comprende la esterilización de la materia prima seguida del ajuste del PH con H_2SO_4 , el mosto obtenido se somete a fermentación. El vino resultante se decanta y centrifuga para recuperar el ETOH, mientras que la levadura se re circula a los fermentadores.

Para la obtención de alcohol anhidro se utiliza mayoritariamente la destilación azeotrópica con benceno

2.11.3. Técnica para obtener etanol a partir de celulosa (biomasa lignocelulósica).

El principal reto para la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica (como son madera y residuos, papel y residuos, residuos agrícolas, residuos sólidos urbanos), es el pre tratamiento e hidrólisis de la materia prima. El complejo lignocelulósico está compuesto principalmente de una matriz de carbohidratos compuesta de celulosa y lignina enlazada por cadenas de hemicelulosa.

Los costos para la aplicación de esta técnica siguen siendo muy elevados razón por la cual no se han puesto en funcionamiento.

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1. Calor específico. [8]

Cuando calentamos o enfriamos una sustancia se necesita una cierta cantidad de calor para elevar o disminuir su temperatura en 1 °C. Otras sustancias requieren una cantidad diferente, mayor o menor. Se denomina calor específico a la cantidad de calor necesario para elevar en una unidad (por ejemplo 1 °C) la temperatura de la unidad de masa (por ejemplo 1 gramo) de la sustancia en cuestión.

Esta cantidad es la misma para calentamiento o enfriamiento. Es una propiedad específica de la sustancia, o sea que depende de su composición. Simbolizando con “ Q ” la cantidad de calor, “ m ” la masa, la variación de temperatura con “ Δt ” y con “ C ” el calor específico tenemos:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (3.1)$$

Esta ecuación nos permite calcular la cantidad de calor Q requerida para producir la modificación de la temperatura de una masa m de sustancia de calor específico C en una cantidad Δt , siempre que no haya cambio de fase. Los valores de calor específico se informan en la literatura en unidades de calor divididas por unidades de masa y divididas por unidades de temperatura.

3.2. Calor latente.

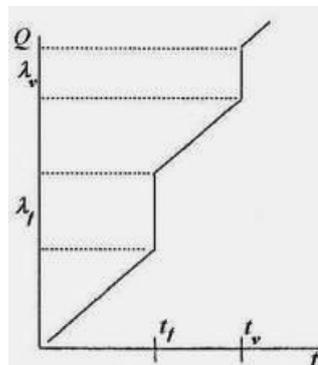


Figura 3.1: Calor latente

Una gráfica de la cantidad de calor entregada a la unidad de masa de una cierta sustancia en función de la temperatura tiene un aspecto similar al que vemos en la figura. Los tramos en los que la temperatura permanece constante son aquellos en los que tiene lugar el cambio de fase.

La fusión ocurre a temperatura t_f y requiere un calor latente de fusión h_f . La ebullición o condensación ocurre a t_v y requiere un calor latente de ebullición h_v .

$$Q = m \times h_{fg} \quad (3.2)$$

3.3. Coeficiente de transferencia de calor por convección [9].

El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad, su magnitud depende de una variedad de factores, tales como la velocidad, densidad, viscosidad, conductividad térmica, calor específico del fluido, geometría de la superficie, presencia de fuerzas de flotación, etc.

$$Nu = \frac{h * l_c}{K_f} \quad (3.3)$$

3.4. Relaciones empíricas para la transferencia de calor [10].

No siempre es posible obtener soluciones analíticas para encontrar el coeficiente convectivo h , por lo que se recurre a métodos experimentales cuyos resultados se expresan en forma de ecuaciones empíricas o gráficas. Para propósitos de diseño e ingeniería las correlaciones empíricas son casi siempre de utilidad práctica.

3.5. Convección forzada en superficies interiores.

La ecuación de semejanza para la convección forzada tiene la forma:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (3.4)$$

El número de Reynolds determina la similitud hidromecánica entre las corrientes de los agentes portadores de calor. El número de Prandtl es la característica termo física del agente portador de calor.

3.6. Convección forzada sobre superficies exteriores.

Se considera algunas relaciones empíricas para superficies geométricas sencillas que se encuentran totalmente sumergidos en el fluido.

Para un cilindro largo cuyo eje es perpendicular a una corriente de fluido:

$$Nu = CRe^n Pr^{1/3} \quad (3.5)$$

C y n encontramos en tablas, tanto para cilindros circulares, como para cilindros no circulares. Las propiedades se evalúan a la denominada temperatura fílmica Tf.

$$Tf = \frac{T_w + T_b}{2} \quad (3.6)$$

La transferencia de calor a través de un banco de tubos es de particular importancia en el diseño de intercambiadores de calor.

La expresión del número de Nusselt es:

$$Nu = CRe^n_{max} Pr^{1/3} \quad (3.7)$$

$$Re = \frac{\delta V_{max} d}{\mu} \quad (3.8)$$

La velocidad máxima para un banco de tubos con arreglo en línea es:

$$V_{max} = \frac{V_{\infty} S_T}{S_T - D} \quad (3.9)$$

La velocidad máxima para un banco de tubos con arreglo alternado es la de mayor valor de las siguientes velocidades:

$$V_1 = \frac{V_{\infty} S_T}{S_T - D} \quad V_2 = \frac{V_{\infty} S_T / 2}{\sqrt{(S_T / 2)^2 + S_L^2} - D} \quad (3.10)$$

Los valores de C y n también se encuentran en tablas para bancos de tubos de 10 hileras o más.

Cuando el número de hileras de profundidad es menor que 10, es necesario corregir el valor calculado del coeficiente convectivo h, multiplicando por un factor que también se encuentra en tablas.

3.7. Convección natural sobre superficies exteriores.

El proceso de convección natural o libre surge como consecuencia de la diferencia entre las densidades de las partículas calientes y las frías del agente portador de calor. Para la mayoría de los fluidos que se usan en la práctica, la dependencia que tienen la densidad en función de la temperatura se puede considerar que es lineal.

La ecuación de semejanza para los procesos de intercambio de calor durante la convección natural tiene la forma:

$$Nu = f(Gr, Pr) = f(Ra) \quad (3.11)$$

El número de Grashof, caracteriza la eficacia relativa de la fuerza de sustentación (empuje) que provoca el movimiento de convección libre, Ra es el número de Rayleigh.

3.8. Convección natural en superficies interiores (ebullición). [11]

La ebullición es de gran importancia en la generación de energía. Si se suministra el calor de evaporación a un líquido saturado en su superficie libre, dicho proceso se llama evaporación. Por otra parte, si se agrega calor a un líquido a través de una superficie sólida sumergida, se puede producir vapor que puede formar burbujas, que pueden crecer, finalmente separarse de la superficie, y elevarse a la superficie libre debido a efectos de flotamiento. Dicho proceso se llama ebullición de alberca.

$$Nu_D = 0.62 \left[\frac{gD^3 \delta_v (\delta_l - \delta_v) [h_{fg} + 0.8Cp_v(T_W - T_{sat})]}{\mu_v K_v (T_W - T_{sat})} \right]^{1/4} \quad (3.12)$$

3.9. Transferencia de calor por condensación.

La mayor parte de los procesos de condensación que se encuentran en las aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado están relacionados con la condensación sobre superficies interiores de tubos horizontales o verticales.

El análisis de la transferencia de calor de la condensación en el interior de tubos se complica por el hecho de que la velocidad del vapor y la rapidez de acumulación de líquido sobre las paredes de los tubos influyen fuertemente sobre ella. Chato recomienda esta expresión para la condensación.

$$h_i = 0.555 \left[\frac{\delta(\delta - \delta_v)gK_f^3}{\mu_f(T_{sat} - T_w)} \left(h_{fg} + \frac{3}{8}C_{pl}(T_{sat} - T_w) \right) \right]^{1/4} \quad (3.13)$$

δ : densidad del líquido, δ_v : densidad de vapor, K_f : conductividad térmica del líquido, μ_f : viscosidad del líquido, T_{sat} : temperatura de saturación del vapor, T_w : temperatura del tubo.

3.10. Intercambiadores de calor [12].

Un intercambiador de calor se puede describir de un modo muy elemental como un equipo en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse con el objeto de enfriar una de ellas o calentar la otra o ambas cosas a la vez.

Un esquema de intercambiador de calor sumamente primitivo puede ser el siguiente.

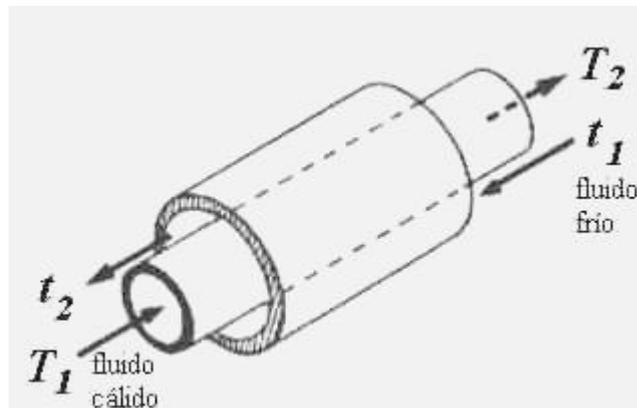


Figura 3.2: Intercambiador de calor

t_1 y t_2 = temperaturas de entrada y salida del fluido frío.

T_1 y T_2 = temperaturas de entrada y salida del fluido cálido.

3.10.1. Disposiciones de las corrientes

En el esquema anterior tenemos una situación que se ha dado en llamar .contracorriente. o corrientes opuestas.. En cambio si ambas corrientes tienen el mismo sentido se trata de .corrientes paralelas o equicorrientes.

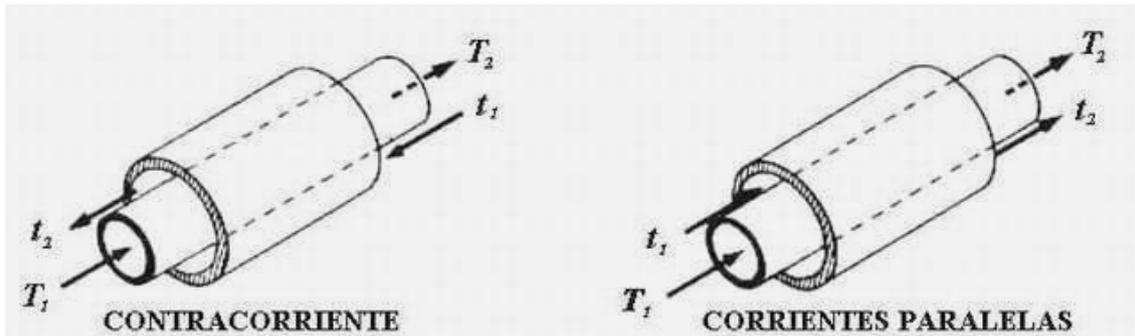


Figura 3.3: Sentido de flujo de corriente

También se presenta una situación en la que ambas corrientes se cruzan en ángulo recto. En ese caso se habla de corrientes cruzadas. Esta disposición se da con mayor frecuencia en el intercambio de calor de gases con líquidos, como vemos a continuación.

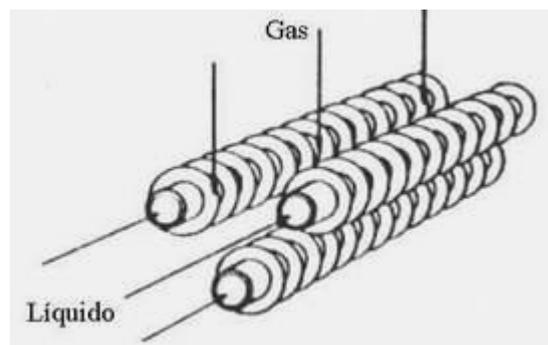


Figura3.4: Flujo cruzado

3.10.2. Clases de intercambiadores

El intercambiador de calor es uno de los equipos industriales más frecuentes. Prácticamente no existe industria en la que no se encuentre un intercambiador de calor, debido a que la operación de enfriamiento o calentamiento es inherente a todo proceso que maneje energía en cualquiera de sus formas.

Existe mucha variación de diseños en los equipos de intercambio de calor. En ciertas ramas de la industria se han desarrollado intercambiadores muy especializados para ciertas aplicaciones puntuales.

Tratar todos los tipos sería imposible, por la cantidad y variedad de ellos que se puede encontrar.

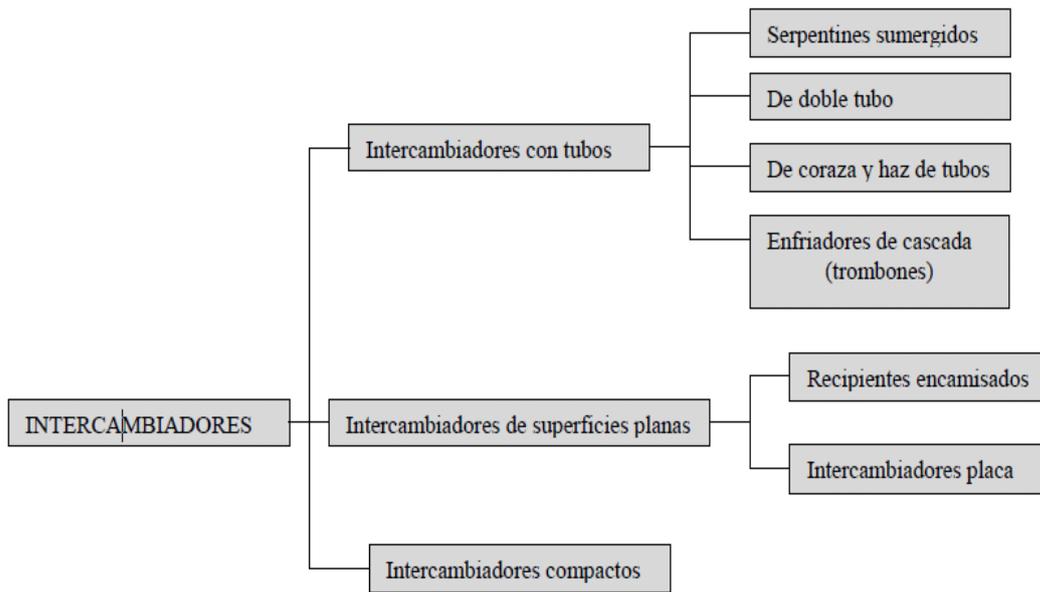


Figura 3.5: Clasificación de I.C.

3.11. Diferencia media logarítmica de temperatura

Analicemos la diferencia operativa de temperatura en un intercambiador en el que hay una disposición en contracorriente pura. Cuando se grafica la *temperatura* en función de la *longitud* del intercambiador se pueden dar dos situaciones típicas. En la primera ambas temperaturas, t (la temperatura del fluido frío) y T (temperatura del fluido cálido) varían simultáneamente; t lo hace creciendo desde t_1 hasta t_2 y T disminuyendo desde T_1 hasta T_2 . Esta situación es la que describe el intercambio de calor sin cambio de fase de ninguna de las dos corrientes. La figura de la izquierda ilustra este caso, en tanto que a la derecha observamos la figura que representa la disposición de corrientes paralelas.

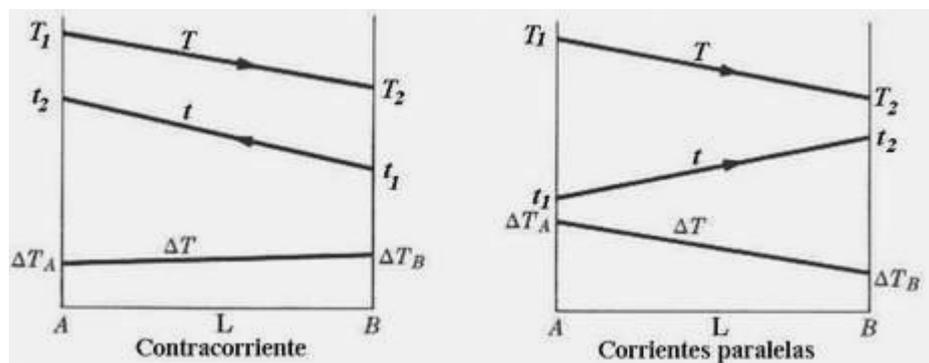


Figura 3.6: Diferencias de temperatura

$$LMTD = \frac{\Delta T_B - \Delta T_A}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}} \quad (3.14)$$

3.12. Serpentes.

Un intercambiador de serpentín es un simple tubo que se dobla en forma helicoidal y se sumerge en el líquido. Se usa normalmente para tanques y puede operar por convección natural o forzada. Debido a su bajo costo y rápida construcción se improvisa fácilmente con materiales abundantes en cualquier taller de mantenimiento. Usualmente se emplea tubería lisa de 1/2 a 2 pulgadas.



Figura 3.7: Serpentín.

3.13. Dinámica de los fluidos reales [13].

Los movimientos de circulación de los fluidos se pueden dividir en dos tipos,

3.13.1. Movimientos laminares

Son flujos regulares en los que la masa fluida está formada por filetes yuxtapuestos, perfectamente individualizados, en los que las superficies libres son lisas y unidas; en realidad sólo se dan en algunos casos muy particulares o en fluidos muy viscosos; el número de Reynolds en flujos por el interior de tubos es inferior a 2.000.

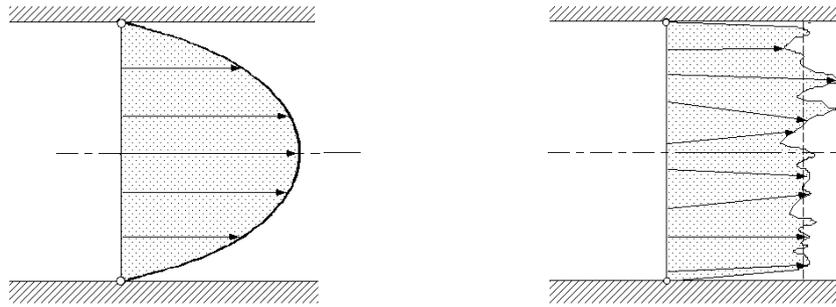


Figura 3.8: Flujo laminar y turbulento

3.13.2. Movimientos turbulentos, o hidráulicos

En los que los filetes líquidos se entrecruzan no conservan su individualidad; las superficies libres son turbulentas y estriadas, y son los movimientos que con más frecuencia se presentan en la práctica.

Si en cada punto de una masa fluida en movimiento turbulento se miden las velocidades instantáneas, se observa que estas varían en magnitud y dirección sin ninguna regularidad, con una frecuencia a veces muy grande, pero no se apartan jamás de un valor medio, alrededor del cual oscilaran más o menos rápidamente; otro tanto sucede con las presiones.

Los valores medios, de velocidades y presiones, definen un régimen ficticio que se conoce como movimiento medio, o régimen de Bazin, siendo sus características las que normalmente aparecen en las formulas practicas de Hidráulica.

3.14. Ecuación de continuidad.

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa, para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo es constante y puede calcularse como sigue.

$$\delta_1 A_1 V_1 = \delta_2 A_2 V_2 \quad (3.15)$$

Para fluidos incomprensibles y para todos los casos prácticos $\delta_1 = \delta_2$ la ecuación se transforma.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (3.16)$$

3.14.1. Numero de Reynolds.

El número de Reynolds que es un grupo a dimensional, viene dado por el cociente de las fuerzas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad.

Para tuberías circulares el número de Reynolds es:

$$R_e = \frac{\delta * V * D}{\mu} \quad (3.17)$$

Donde: δ = densidad del fluido (Kg/m^3)

V = velocidad media (m/s)

D = diámetro de la tubería (m)

μ = viscosidad absoluta ($\text{Kg}/\text{m.s}$)

3.14.2. Pérdidas de carga.

Las pérdidas de carga en tuberías se deben a la longitud de tubería o pérdidas primarias y perdidas por accesorios o secundarias.

Las pérdidas primarias se calculan con la fórmula de darcy-Willians.

$$h_p = \left(\lambda \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2xg} \quad (3.18)$$

Donde: λ es el coeficiente de fricción, se obtiene de tablas o de diagramas con el número de Reynolds y con la rugosidad de la tubería.

Las pérdidas secundarias tienen la forma:

$$h_s = \Sigma K \frac{V^2}{2xg} \quad (3.18)$$

ΣK es la sumatoria en longitud equivalente de todos los accesorios que forman el sistema, también se obtiene de tablas.

3.15. Ecuación de la energía.

Se obtiene la ecuación de energía al aplicar al flujo fluido el principio de la conservación de la energía. La energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y la energía debida a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio. En dirección del flujo el principio de la energía se traduce en la siguiente ecuación.

$$\frac{P_1}{\rho} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_r = H_B + \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad 3.19$$

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESTILACIÓN.

El sistema de destilación consta de un recipiente de calentamiento del fermento (caldero), de un condensador y un sub-sistema de enfriamiento y recirculación del refrigerante (agua).

4.1. Diseño del generador de vapor (caldero).

Con el objetivo de aprovechar los gases de combustión del combustible utilizado (GLP) y así mejorar la eficiencia del caldero, se realizó el diseño del mismo con una cámara de combustión y 12 tubos de fuego de 1/2 in.

En la caldera se calienta el fermento a destilar llevándolo a una temperatura tal que sus componentes más volátiles (etanol) pasan a la fase de vapor.

4.1.1. Cálculo del calor necesario para evaporar el etanol.

El diseño del prototipo se lo realizó para un volumen de 20 litros de fermento, los cuales serán destilados en aproximadamente una hora de operación del sistema.

Nota. Debido a que el mayor porcentaje del fermento (mezcla) está constituido por agua, los cálculos se realizaron tomando las propiedades del fermento como si se tratara únicamente de agua.

- Volumen del fermento $V = 20 \text{ L}, = 0.020 \text{ m}^3$
- Temperatura inicial del fermento $T_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura que debe alcanzar el fermento $T_2 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$, para garantizar la evaporación del etanol el cual su punto de ebullición es $78.6 \text{ }^\circ\text{C}$. (Anexo F).

$$(C_p)_{mezcla} \approx (C_p)_{agua} = 4,186 \text{ KJ}/\text{Kg } C$$

$$(h_{fg})_{etanol} = 855 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\delta_{mezcla} \approx \delta_{agua} = 998.6 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

4.1.2. Cálculo del calor sensible [14].

Se denomina calor sensible a la cantidad de calor necesario para elevar en una unidad (por ejemplo 1 °C) la temperatura de la unidad de masa (por ejemplo 1 gramo) de la sustancia en cuestión. Esta cantidad es la misma para calentamiento o enfriamiento.

$$Q_s = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$m = d \times V \quad (4.2)$$

$$m = 0.02m^3 \times 998.6 \text{ Kg}/m^3 \cong 20\text{Kg}$$

$$\dot{m} = m/t = 20 \text{ Kg}/h \quad (4.3)$$

$$Q_s = 20 \text{ Kg}/h \times 4,186 \text{ KJ}/\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C} \times (85 - 15)^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 5860,4 \text{ KJ}/h$$

4.1.3. Cálculo del calor latente.

El calor latente representa la energía requerida para un cambio de fase, es decir, que habrá un calor latente distinto para la fusión, evaporación o sublimación, según sea el caso, propio de cada sustancia pura. Como sabemos por la regla de las fases y por la evidencia empírica, los procesos de cambio de fase ocurren siempre a temperatura y presión constantes.

$$Q_L = \dot{m}_{etanol} \times h_{fg} \quad (4.4)$$

Debido a que únicamente el etanol cambia de fase, se considera un flujo másico aproximado tomando un porcentaje del total, que es de un 15%.

$$h_{fg}(\text{etanol}) = 855 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\dot{m}_{etanol} = \text{flujo másico de etanol}$$

$$\dot{m}_{etanol} = \dot{m} \times \% \text{ etanol} \quad (4.5)$$

$$\dot{m}_{etanol} = 20 \text{ Kg}/h \times 0,15 = 3 \text{ Kg}/h$$

$$Q_L = 3 \text{ Kg/h} \times 855 \text{ KJ/Kg} = 2565 \text{ KJ/h}$$

Calor total.

$$q_T = q_S + q_L \quad (4.6)$$

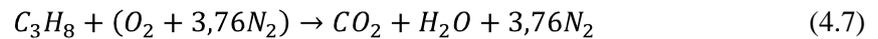
$$Q_T = 5860,4 \text{ KJ/h} + 2565 \text{ KJ/h}$$

$$Q_T = 8425,4 \text{ KJ/h} = 2340.4W$$

4.1.4. Calor entregado por el combustible [15].

El combustible empleado es gas licuado de petróleo (GLP), que contiene un 90 % de propano y un 10 % de butano, pero para condiciones de diseño, consideramos al propano, por ser el que se encuentra en mayor cantidad, cuya fórmula es C_3H_8 .

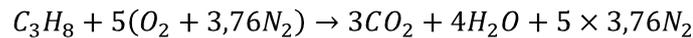
Balance de la ecuación para una combustión teórica:



$$C \rightarrow 3 \neq 1$$

$$H \rightarrow 8 \neq 2$$

O $\rightarrow 2 \neq 3$, balanceando la ecuación tenemos:



Balance de la ecuación para una combustión con exceso de aire:

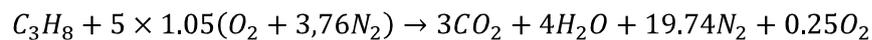
Exceso de aire de un 5%, para GLP. [4].



$$C \rightarrow 3 = 3$$

$$H \rightarrow 8 = 8$$

O $\rightarrow 10 \neq 11$, balanceando la ecuación tenemos:



$$\bar{q} = H_P - H_R \quad (4.8)$$

Cálculo de las entalpias de los productos y los reactivos. (Anexo A)

$$H_R = \sum_R ni [\dot{h}_f + (\bar{h}_o - \dot{h}_{f,298})]i \quad (4.9)$$

Donde:

n= numero de moles.

h = entalpia de formación.

A temperatura ambiente 298 °K

$$H_R = 1[-103909 + 0] + 5.25(0) + 19.74(0)$$

$$H_R = -103909 \text{ KJ/mol}$$

Cálculo de la entalpia de los productos a una temperatura de 1225 °K.

$$H_P = \sum_P ni [\dot{h}_f + (\bar{h}_o - \dot{h}_{f,298})]i \quad (4.10)$$

$$H_P = 3[-393522 + 47310.5] + 4[-241826 + 36723.5] + 0.25[0 + 31553] + 19.74[0 + 29806]$$

$$H_P = -1262785.810 \text{ KJ/mol}$$

$$\bar{q} = H_P - H_R$$

$$\bar{q} = -1262785.810 \text{ KJ/mol} - (-103909 \text{ KJ/mol})$$

$$\bar{q} = -1158876.810 \text{ KJ/mol}$$

4.1.5. Cálculo de la masa de combustible.

$$\dot{m}_C = \dot{n} \times M_{\text{comb.}} \quad (4.11)$$

Cálculo del numero de moles (\dot{n})

$$Q = \bar{q} \times \dot{n} \quad (4.12)$$

$$\dot{n} = \frac{Q}{\bar{q}}$$

$$\dot{n} = \frac{8425,4 \text{ KJ/h}}{1158876.810 \text{ KJ/mol}}$$

$$\dot{n} = 0.0072 \text{ mol/h}$$

Donde:

M = masa molar del combustible. (Anexo F)

$$M = 42 \text{ Kg/mol}$$

$$\dot{m}_c = 0.0072 \text{ mol/h} \times 42 \text{ Kg/mol}$$

$$\dot{m}_c = 0.31 \text{ Kg/h}$$

4.1.6. Cálculo de la masa de los gases de combustión.

La relación aire combustible, que es la cantidad de aire que se necesita para quemar 1 kg de combustible.

Efecto de la altura sobre el proceso de combustión.

A nivel del mar existe una concentración máxima de oxígeno de 0.28 Kg/m^3 , A mayor altura menor cantidad de oxígeno por efecto de la menor presión atmosférica, el aire que se encuentra a nivel del mar es más denso, es decir, tiene mayor cantidad de oxígeno por unidad de volumen. A medida que aumenta la altura o altitud sobre el nivel del mar, disminuye la densidad y por lo tanto la cantidad de oxígeno por unidad volumétrica o molar.

En la grafica del Anexo G, la concentración de oxígeno en Riobamba es de 0.215 Kg/m^3

$$r_{\text{aire}/\text{comb.}} = \frac{x \text{ Kg aire}}{1 \text{ Kg combustible}} \quad (4.13)$$

Calculo de aire necesario para quemar 0.31 Kg de combustible.

$$m_a = \frac{5/0.215}{1 \text{ Kg combustible}} = 23.25 \text{ Kg/1 Kg combustible}$$

$$m_a = \frac{23.25 * 0.31}{1} = 7.2 \text{ Kg/h}$$

Cálculo del efecto de la humedad relativa del aire en la combustión.

Masa de aire seco.

$$m_{\text{aire seco}} = m_a x \frac{(273 + T_{\text{amb}})}{273} \quad (4.14)$$

$$m_{\text{aire seco}} = 7.2 \times \frac{(273 + 19)}{273}$$

$$m_{\text{aire seco}} = 7.71 \text{ Kg/h}$$

El peso de agua contenido en 1 Kg de aire seco se obtuvo del apéndice G, Figura 1, con los datos de humedad relativa de 40 % y temperatura ambiente de 19 °C.

$$\frac{9 \text{ gramos de H}_2\text{O}}{1 \text{ kilogramo de aire seco}}$$

Presión del vapor a la temperatura de 19 °C es tomado del anexo F.

$$P_v = 0,3171 \text{ lb/in}^2 = 16.398 \text{ mm Hg}$$

Presión de vapor de agua es:

Con una humedad relativa de 40%.

$$P_{v \text{ H}_2\text{O}} = 16.398 \times 0.4 \quad (4.15)$$

$$P_{v \text{ H}_2\text{O}} = 6.55 \text{ mm Hg}$$

Presión de aire seco es:

$$P_{\text{aire seco}} = 760 - P_{v \text{ H}_2\text{O}} \quad (4.16)$$

$$P_{\text{aire seco}} = 760 - 6.55$$

$$P_{\text{aire seco}} = 753.45 \text{ mm Hg}$$

La masa verdadera de aire es:

$$m_{\text{verdadera aire}} = 7.71 \times \frac{760}{753,45} \quad (4.17)$$

$$m_{\text{verdadera aire}} = 7.77 \text{ Kg/h}$$

La relación $\frac{760}{753,45} = 1.008$ nos da en este caso particular el factor por el que debemos multiplicar el

volumen de aire seco determinado por el cálculo, para tener en cuenta la humedad de aire.

Donde:

$$m_g = m_a + m_c \quad (4.18)$$

$$m_g = 7.77 \text{ Kg/h} + 0.31 \text{ Kg/h} = 8.03 \text{ Kg/h}$$

4.1.7. Cálculo del calor específico de los gases de combustión.

Numero de moles de la entalpía de los productos (n_T).

$$n_T = 3 + 4 + 19.74 + 0.25 = 26.99 \text{ moles.}$$

$$Y = \frac{n}{n_T} \quad (4.19)$$

$$Y_{CO_2} = 0.11$$

$$Y_{H_2O} = 0.148$$

$$Y_{O_2} = 0.00926$$

$$Y_{N_2} = 0.7313$$

Calor específico de los gases. (Anexo B)

$$C_{Pg} = Y_{CO_2} * C_{PCO_2} + Y_{H_2O} * C_{PH_2O} + Y_{O_2} * C_{PO_2} + Y_{N_2} * C_{PN_2} \quad (4.20)$$

$$C_{Pg} = 0.11 * 1.281 + 0.148 * 2.584 + 0.00926 * 1.115 + 0.7313 * 1.206$$

$$C_{Pg} = 1.41 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

4.1.8. Diseño térmico del generador de vapor.

Calculo del LMTD.

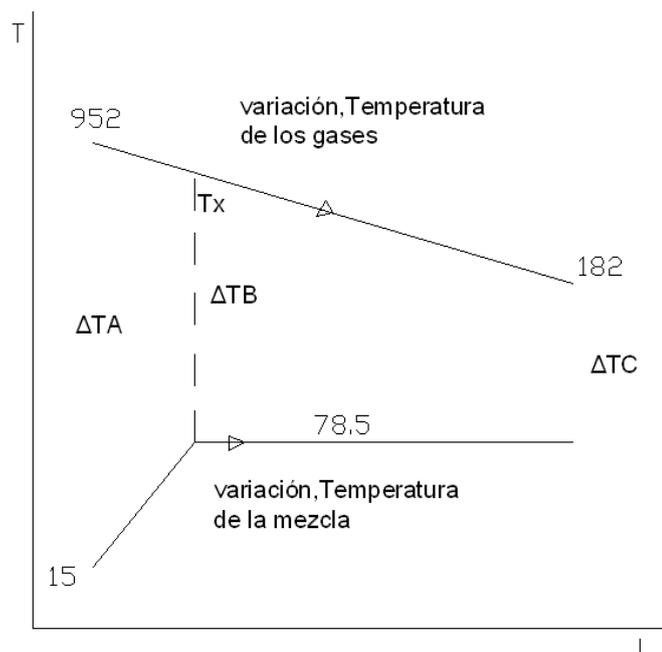


Figura 4.1: Temperaturas (°C) de entrada y salida.

Calor ganado por el fluido es igual al calor perdido por los gases de combustión.

$$m_f * Cp_f * \Delta T = m_g * Cp_g * \Delta T \quad (4.21)$$

$$20 \text{ Kg/h} * 4.186 \text{ KJ/Kg C} * (85 - 15)C = 8.03 \text{ Kg/h} * 1.41 \text{ KJ/Kg C} * (952 - T_g)C$$

$$T_g = 182^\circ C$$

Cálculo de la temperatura Tx.

$$q_s = m_g * Cp_g * \Delta T \quad (4.22)$$

$$5860,4 \text{ KJ/h} = 5.73 \text{ Kg/h} * 1.41 \text{ KJ/Kg C} * (952 - Tx)C$$

$$T_x = 226.64 C$$

Cálculo del LMTD para calentamiento.

$$LMTD_c = \frac{\Delta TA - \Delta TB}{\ln \frac{\Delta TA}{\Delta TB}} \quad (4.23)$$

$$LMTD_c = \frac{(952 - 15) - (226.6 - 78.5)}{\ln \frac{(952 - 15)}{(226.6 - 78.5)}}$$

$$LMTD_c = 427.63^\circ C$$

Cálculo del LMTD para evaporación.

$$LMTD_e = \frac{\Delta TB - \Delta TC}{\ln \frac{\Delta TB}{\Delta TC}}$$

$$LMTD_e = \frac{(226.6 - 78.5) - (182 - 78.5)}{\ln \frac{(226.6 - 78.5)}{(182 - 78.5)}}$$

$$LMTD_e = 124.47^\circ C$$

Asumimos un tubo de acero inoxidable de 1/2 in.

Datos del tubo:

$$\Phi_{ext} = 14.30 \text{ mm}$$

$$\Phi_{int} = 12.80 \text{ mm}$$

Longitud del tubo de acero inoxidable es de 30 cm, asumido.

4.1.9. Cálculo de los coeficientes convectivos de transferencia de calor.

Para los gases de combustión. (hi). Convección forzada en superficies interiores.

Datos:

Temperatura de entrada de los gases (T_e)= 952 °C

Temperatura de salida de los gases (T_s)= 182 °C

Masa de los gases (m_g)= 8.08 kg/h

Cálculos:

Temperatura promedio y fílmica del fluido.

$$T_b = \frac{T_e + T_s}{2} \quad T_f = \frac{T_b + T_w}{2} \quad T_w \rightarrow \text{asumido} \quad (4.24)$$

$$T_b = \frac{952 + 182}{2} = 567 \text{ C} \quad T_f = \frac{567 + 250}{2} = 408.5 \text{ C} = 682 \text{ K}$$

Propiedades de los gases de combustión a temperatura de 682 ° K. (Anexo B)

Tabla 4.1: Propiedades de los gases de combustión.

	CO2	H2O	O2	N2
$\delta = \text{Kg}/\text{m}^3$	0.926	0.3754	0.7096	0.5758
$\nu = \text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$	28.91	54.78	45.05	49.65
Pr	0.679	0.971	0.7	0.685
$K = \text{W}/\text{mC}$	0.0614	0.06132	0.06517	0.0632

$$Y_{CO_2} = 0.11, Y_{H_2O} = 0.148, Y_{O_2} = 0.00926, Y_{N_2} = 0.7313$$

$$\delta_g = Y_{CO_2} * \delta_{CO_2} + Y_{H_2O} * \delta_{H_2O} + Y_{O_2} * \delta_{O_2} + Y_{N_2} * \delta_{N_2} \quad (4.25)$$

$$\delta = 0.585 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\nu_g = Y_{CO_2} * \nu_{CO_2} + Y_{H_2O} * \nu_{H_2O} + Y_{O_2} * \nu_{O_2} + Y_{N_2} * \nu_{N_2} \quad (4.26)$$

$$\nu = 48.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr_g = Y_{CO_2} * Pr_{CO_2} + Y_{H_2O} * Pr_{H_2O} + Y_{O_2} * Pr_{O_2} + Y_{N_2} * Pr_{N_2} \quad (4.27)$$

$$Pr_g = 0.7258$$

$$K_g = Y_{CO_2} * K_{CO_2} + Y_{H_2O} * K_{H_2O} + Y_{O_2} * K_{O_2} + Y_{N_2} * K_{N_2} \quad (4.28)$$

$$K = 0.0657 \text{ W/mC}$$

$$\mu = \delta * \nu \quad (4.29)$$

$$\mu = 0.585 \text{ Kg/m}^3 * 48.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$$

Diámetro interior del tubo = 12.8 mm que nos da un área de $1.28 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ → Pero como tenemos 12 tubos, nos da un área total de: $1.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$\dot{m} = \delta * V * A \quad (4.30)$$

$$5.32 = 0.585 * V * 1.54 \times 10^{-3}$$

$$V = 5904.4 \text{ m/h} = 1.64 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (4.31)$$

$$Re = \frac{1.64 * 0.0128}{48.01 \times 10^{-6}} = 437.27$$

Como nos da un flujo laminar, utilizamos la siguiente ecuación para hallar Nusselt (Nu).

$$Nu_u = 1.86(Re * Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (4.32)$$

$$\mu_w = 18.1 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.s}$$

$$Nu_u = 5.82$$

$$Nu_u = \frac{h_i * d}{k} \quad (4.33)$$

$$h_i = \frac{5.82 * 0.0657}{0.0128}$$

$$h_i = 29.87 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Cálculo de la temperatura de pared T_w en un tubo del caldero.

$$q = m \dot{g} * c_p g (T_s - T_e) = h i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right) \quad (4.34)$$

$$q = \frac{8.03 \text{ Kg/h}}{12} * 1.41 \frac{\text{KJ}}{\text{KgC}} (182 - 952) C * \frac{1h}{3600s}$$

$$q = -133.7W$$

$$-133.7 = 29.87 * 0.0128 * 0.35 * \pi \left(T_w - \frac{952 + 182}{2} \right)$$

$$T_w = 249^\circ C$$

Como T_w calculado y el T_w asumido tienen un margen de error pequeño, no es necesario volver a calcular h con las nuevas propiedades del fluido.

Cálculo de $h_o = h_e$ de la mezcla.

Convección natural con cambio de fase (ebullición).

$$T_w = 249^\circ C$$

$$T_{sat} = 91^\circ C \rightarrow \text{a presión local de } 10.5 \text{ psi (Riobamba)}$$

$$\Delta T_e = T_w - T_{sat} = 249 - 91 = 158^\circ C \quad (4.35)$$

$$\Delta T_e = \text{exceso de temperatura}$$

Debido al valor de ΔT_e se presenta una ebullición de película [7].

$$Nu_D = 0.62 \left[\frac{g D^3 \delta_v (\delta_l - \delta_v) [h_{fg} + 0.8 C_p v (T_w - T_{sat})]}{\mu_v K_v (T_w - T_{sat})} \right]^{1/4} \quad (4.36)$$

Todas las propiedades del vapor se evalúan a la temperatura de película, a excepción de la densidad de líquido que se evalúa a la temperatura de saturación.

$$T_f = \frac{T_w + T_{sat}}{2}$$

$$T_f = \frac{249 + 91}{2} = 170^\circ C = 443^\circ K$$

Del anexo C. tomamos las propiedades del líquido saturado a temperatura de 443 °K.

$$\delta_v = 3.83 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$Cp_v = 2.46 \text{ KJ}/\text{KgK}$$

$$h_{fg} = 2059 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\delta_l = 963.4 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_v = 0.0317 \text{ W}/\text{m K}$$

$$\mu_v = 14.5 \times 10^{-6} \text{ N}/\text{m.s} = 1.48 \times 10^{-6} \text{ Kg}/\text{m.s}$$

$$Nu_D = 0.62 * \left[\frac{9.8 * 0.0143^3 * 3.83(963.4 - 3.83)[2059 \times 10^3 + 0.8 * 2.46 \times 10^3(249 - 91)]}{1.48 \times 10^{-6} * 0.0317(249 - 91)} \right]^{1/4}$$

$$Nu_D = 265.58$$

$$Nu_D = \frac{h_{conv.} * D}{k_v}$$

$$h_{conv.} = \frac{Nu_D * k_v}{D}$$

$$h_{conv.} = \frac{265.58 * 0.0317}{0.0143} = 588.73 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$$

$$h_{rad.} = \frac{\varepsilon \sigma (T_W^4 - T_{sat}^4)}{(T_W - T_{sat})} \quad (4.37)$$

Donde: ε → Emisividad del material.

σ → Constante de Stefan Boltzmann. = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$

$$h_{rad.} = \frac{0.22 * 5.67 \times 10^{-8} (522^4 - 432^4)}{(522 - 432)^\circ \text{K}}$$

$$h_{rad.} = 5.46 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$$

Como $h_{rad.} < h_{conv.}$, se utiliza la siguiente ecuación para encontrar h [7].

$$h_o = h_{conv.} + \frac{3}{4} h_{rad.} \quad (4.38)$$

$$h_o = 588.73 + \frac{3}{4} (5.46)$$

$$h_o = 592.82 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$$

Cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor por calentamiento (hc).

Convección natural en superficies interiores.

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_b = \frac{78,5 + 15}{2} = 46,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{46,75 + 250}{2} = 148,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propiedades del líquido a temperatura fílmica.

$$\delta = 918 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_f = 0,684 \text{ W}/\text{m C}$$

$$\mu_f = 1,86 \times 10^{-4} \text{ Kg}/\text{m s}$$

$$Pr = 1,17$$

Cálculo del número de Grashof.

$$Gr = \frac{\delta^2 g \beta (T_w - T_b) L_c^3}{\mu^2} \quad (4.39)$$

$$\beta = \frac{1}{(T_f + 273)} = 2,37 \times 10^{-3} \quad (4.40)$$

$$Gr = 1,65 \times 10^9$$

$$Ra = Gr * Pr \quad (4.41)$$

$$Ra = 1,93 \times 10^9$$

$$Nu = 0,68 + \frac{0,67(Ra)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$Nu = 114,24$$

$$Nu = \frac{hc * Lc}{k}$$

$$h_c = \frac{114.24 * 0.684}{0.25}$$

$$h_c = 312.56 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U.

Coficiente global de transferencia de calor por calentamiento.

$$U_c = \frac{h_c x h_i}{h_c + h_i} \quad (4.42)$$

$$U_c = \frac{312.56 x 29.87}{312.56 + 29.87}$$

$$U_c = 27.26 \text{ W/m}^2 \text{ C} = 98.13 \text{ KJ/m}^2 \text{ h C}$$

Coficiente global de transferencia de calor por evaporación.

$$U_e = \frac{h_e x h_i}{h_e + h_i} \quad (4.43)$$

$$U_e = \frac{592.87 x 29.87}{592.87 + 29.87}$$

$$U_e = 28.43 \text{ W/m}^2 \text{ C} = 102.35 \text{ KJ/m}^2 \text{ h C}$$

Área de transferencia de calor.

Área de transferencia de calor para calentamiento.

$$A_c = \frac{q_s}{U_c x LMTDc x F} \quad (4.44)$$

$$A_c = \frac{5860.4}{98.13 x 427.63 x 1}$$

$$A_c = 0.1396 \text{ m}^2$$

Área de transferencia de calor para evaporación.

$$A_e = \frac{q_l}{U_e x LMTDe x F} \quad (4.45)$$

$$A_e = \frac{2565}{102.35 \times 124.47 \times 1}$$

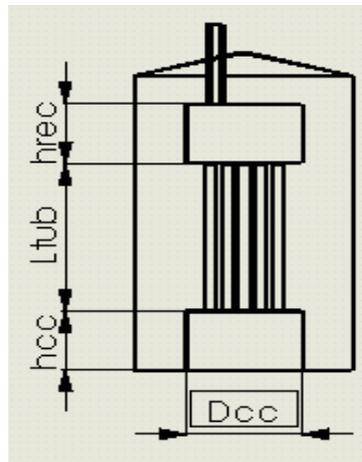
$$A_e = 0.2 \text{ m}^2$$

Área total.

$$A_T = A_c + A_e \quad (4.46)$$

$$A_T = 0.34 \text{ m}^2$$

4.1.10. Diseño de la cámara de combustión.



Los valores a continuación son estimados por el diseñador.

Diámetro de la cámara de combustión $D_{cc} = 20 \text{ cm}$ asumido.

Longitud de los tubos $L_{tub} = 30 \text{ cm}$ recomendado.

Numero de tubos es 12 asumido.

h_{cc} = altura de la cámara de combustión.

$$A = A_{cc} + (A_{tub}) * n \quad (4.47)$$

A_{cc} → Área de la cámara de combustión.

A_{tub} → Área de un tubo.

n → número de tubos.

$$A_{tub} * n = (\pi * D_T * h_T) * 12 \quad (4.48)$$

$$A_{tub} * n = 0.1617 \text{ m}^2$$

$$Acc = \left[\frac{\pi D_{cc}^2}{4} - \frac{\pi D_{tub}^2}{4} * 15 \right] + \pi * D_{cc} * h_{cc} \quad (4.49)$$

$$Acc = \left[\frac{\pi(0.16)^2}{4} - \frac{\pi(0.01430)^2}{4} * 12 \right] + \pi * (0.20) * h_{cc}$$

$$Acc = 0.01817 + 0.63h_{cc}$$

$$0.34 = 0.01817 + 0.63h_{cc} + 0.1617$$

$$h_{cc} = 0.25m = 25cm$$

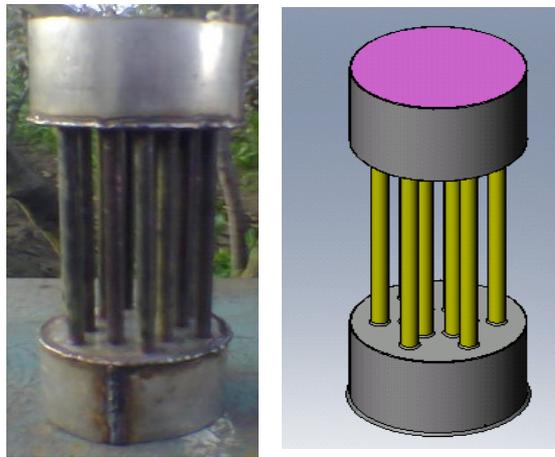
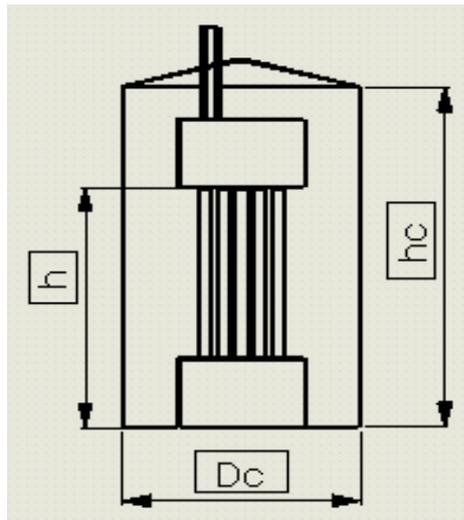


Figura 4.2: Cámara de combustión y tubos de fuego

4.1.11. Diseño del cuerpo del caldero.



❖ $h \rightarrow$ altura del nivel del líquido.

$$h = h_{tub} + h_{cc} \quad (4.50)$$

$$h = 30 + 25 = 55 \text{ cm}$$

❖ Volumen del líquido.

$$V_L = 20lit = 0.02m^3$$

$$V_{CC} = \left[\frac{\pi(D_{CC})^2}{4} \right] * h_{CC} \quad (4.51)$$

$$V_{CC} = \left[\frac{\pi(0.2)^2}{4} \right] * 0.25 = 0.0078m^3$$

$$V_{tub} = \left[\frac{\pi(D_{tub})^2}{4} * 12 \right] * h_{tub} \quad (4.52)$$

$$V_{tub} = \left[\frac{\pi(0.01430)^2}{4} * 12 \right] * 0.30 = 0.000578m^3$$

$$V_T = V_L + V_{CC} + V_{Tub} \quad (4.53)$$

$$V_T = 0.02 + 0.0078 + 0.000578 = 0.028m^3$$

$$V = \frac{\pi(D_C)^2}{4} * h$$

$$D_C = \sqrt{\frac{4 * V}{h * \pi}}$$

$$D_C = \sqrt{\frac{4 * 0.028}{0.55 * \pi}}$$

$$D_C = 0.286m \approx 30cm$$

4.1.12. Altura total del caldero.

$$h_C = h + h_{recol.humos} + h_{vapor} \quad (4.54)$$

$$h_{recol.humos} = 10cm \text{ (altura del recolector de humos).}$$

$$h_{vapor} = 5 \text{ cm (altura del vapor de etanol).}$$

$$h_C = 40 + 10 + 5 = 55cm$$

4.1.13. Cálculo del espesor de la cámara de combustión [16].

- ❖ Se diseña como recipiente bajo presión interna.
- ❖ Se construye con acero inoxidable UNS S30400.

Para juntas longitudinales según la norma ASME sección VIII DIV I.

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P} \quad (4.55)$$

P → presión de diseño (Psi).

R → radio interior del cuerpo (in).

S → esfuerzo máximo permisible (Psi)

E → eficiencia del cordón de soldadura.

Presión de diseño.

$$P = 1.5 P_T \quad (4.56)$$

$$P_T = \text{presion de trabajo} = 14.7 \text{ Psi.}$$

$$P = 14.7 * 1.5 = 22.05 \text{ Psi}$$

$$t = \frac{22.05 * 5.9}{35000 * (0.85) - 0.6 * (22.05)}$$

$$t = 0.0044 \text{ in} = 0.11 \text{ mm}$$

Para mayor seguridad se suma un factor de corrosión que va desde 1 hasta 3 mm. Pero como el material utilizado es acero inoxidable se toma el valor más bajo.

$$t_f = t + f_c \quad (4.57)$$

$$t = 0.11 + 1 = 1,11 \text{ mm}$$

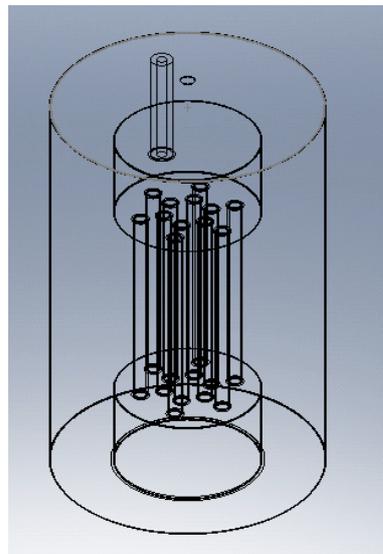


Figura 4.3: Caldero

4.2. Diseño del condensador.

Cálculo del calor a quitarse al vapor de etanol para que se condense.

❖ Calor Latente.

$$q_L = \dot{m} * h_{fg}$$

$$\dot{m} = 3 \text{ Kg/h}$$

$$h_{fg}(\text{etanol}) = 855 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_L = 3 \text{ Kg/h} * 855 \text{ KJ/Kg} = 2565 \text{ KJ/h}$$

❖ Calor Sensible.

$$q_S = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

$$T_1 = 85 \text{ C y } T_2 = 30 \text{ C}$$

$$q_S = 3 \text{ Kg/h} * 1.67 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (85 - 30)^\circ\text{C}$$

$$q_S = 276.28 \text{ KJ/h}$$

❖ Calor Total.

$$q_T = q_L + q_S = 2565 \text{ KJ/h} + 276.28 \text{ KJ/h}$$

$$q_T = 2841.28 \text{ KJ/h} = 678.75 \text{ Kcal/h}$$

4.2.1. Cálculo del caudal másico de agua requerido.

$$q_{\text{perdido(etanol)}} = q_{\text{ganado(agua)}}$$

$$2841.28 = m_{\text{agua}} * C_p * \Delta T$$

$$2841.28 = m_{\text{agua}} * (4.186) * (30 - 15)$$

$$m_{\text{agua}} = 45.25 \text{ Kg/h}$$

Asumimos un tubo de cobre de $\frac{1}{2}$ pulgada.

$$D_{ext} = 15.87 \text{ mm y } A_o = 1.88 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_{int} = 13.84 \text{ mm y } A_i = 1.504 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L = 2 \text{ m, asumido}$$

4.2.2. Cálculo del LMTD.

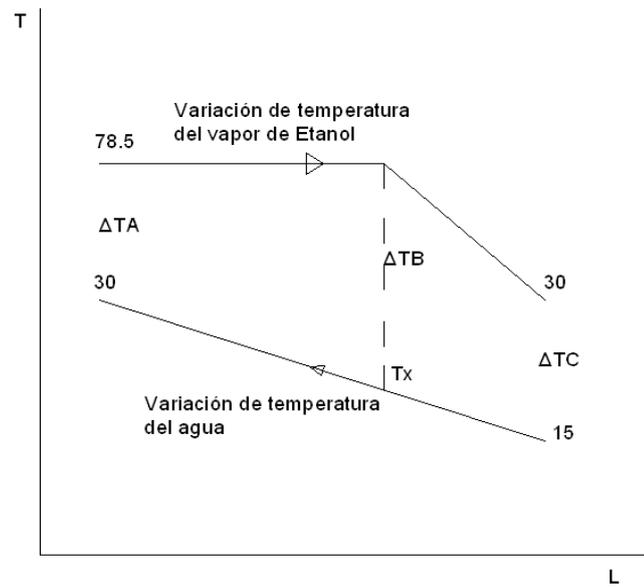


Figura 4.4: Variación de temperatura del condensador.

- ❖ Temperatura del fluido frío (agua).

$$T_{ent} = 15 \text{ } ^\circ\text{C y } T_{sal} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- ❖ Temperatura del fluido caliente (vapor).

$$T_{ent} = 85 \text{ } ^\circ\text{C y } T_{sal} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo de la temperatura Tx.

$$q_{condensación} = q_{ganado(agua)}$$

$$2565 \text{ KJ/h} = m_{agua} * C_p * \Delta T$$

$$2565 \text{ KJ/h} = 45.25 \text{ Kg/h} * (4.186) * (30 - T_x)$$

$$T_x = 16.45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo del LMTD para condensación.

$$LMTD_c = \frac{\Delta TA - \Delta TB}{\ln \frac{\Delta TA}{\Delta TB}}$$

$$LMTD_c = \frac{(78.5 - 30) - (78.5 - 16.45)}{\ln \frac{(78.5 - 30)}{(78.5 - 16.45)}}$$

$$LMTD_c = 55^\circ C$$

Cálculo del LMTD para enfriamiento.

$$LMTD_e = \frac{\Delta TB - \Delta TC}{\ln \frac{\Delta TB}{\Delta TC}}$$

$$LMTD_e = \frac{(78.5 - 16.45) - (30 - 15)}{\ln \frac{(78.5 - 16.45)}{(30 - 15)}}$$

$$LMTD_e = 33.14^\circ C$$

4.2.3. Cálculo de los coeficientes convectivos.

Cálculo de (h_i) . Condensación en película en el interior de la tubería.

$$h_i = 0.555 \left[\frac{\delta(\delta - \delta_v)gK_f^3}{\mu_f(T_{sat} - T_w)} \left(h_{fg} + \frac{3}{8}C_{pl}(T_{sat} - T_w) \right) \right]^{1/4} \quad (4.58)$$

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} ; \quad T_w \text{ (asumido)}$$

$$T_f = \frac{78.5 + 78.1}{2} = 78.3^\circ C$$

Propiedades del agua a temperatura de 78.3 C. (Anexo C)

$$\delta = 971.95 \text{ Kg}/m^3$$

$$\delta_v = 1.59 \text{ Kg}/m^3$$

$$K_f = 0.671 \text{ W}/m^\circ C$$

$$C_p = 4.19 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ C$$

$$u_f = 3.59 \times 10^{-4} \text{ Kg}/m \cdot s$$

$$h_{fg} = 2257 \text{ KJ} / \text{Kg}$$

$$h_i = 0.555 \left[\frac{971.95(971.95 - 1.59) * 9.8 * 0.671^3}{3.59 \times 10^{-4} * (78.5 - 78.1)} x \left(2.257 \times 10^6 + \frac{3}{8} * 4.19 \times 10^3 (78.5 - 78.1) \right) \right]^{1/4}$$

$$h_i = 8033.59 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ C}$$

Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador.

$$q = 2841.28 \text{ KJ} / \text{h} = 789.24 \text{ W} \rightarrow \text{calor disipado para la condensación.}$$

$$q = h_i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right)$$

$$789.24 = 8033.59 * 0.0138 * 2 * \pi \left(T_w - \frac{85 + 30}{2} \right)$$

$$T_w = 58.63^\circ \text{C}$$

$$T_f = \frac{78.5 + 58.63}{2} = 68.56^\circ \text{C}$$

Se debe analizar las propiedades del fluido a la nueva temperatura fílmica, con lo que el

Coefficiente convectivo h_i es:

$$\delta = 975.5 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$K_f = 0.662 \text{ W} / \text{m C}$$

$$C_p = 4.184 \text{ KJ} / \text{Kg C}$$

$$\mu_f = 4.15 \times 10^{-4} \text{ Kg} / \text{m s}$$

$$h_i = 2903.95 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ C}$$

Donde h_i es igual al h_c que es el coeficiente de transferencia de calor por condensación.

Con el nuevo h_i se proceda a calcular la nueva temperatura de pared T_w :

$$q = h_i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right)$$

$$T_w = 59.3^\circ \text{C}$$

Como el valor de las temperaturas son casi idénticas, los valores finales de T_w y h_i son aceptables.

Cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor por enfriamiento (he).

Convección natural en superficies interiores.

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_b = \frac{78.5 + 30}{2} = 54,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{54.25 + 59.3}{2} = 56.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propiedades del líquido a temperatura fílmica.

$$\delta = 789 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_f = 0.649 \text{ W}/\text{m C}$$

$$\mu_f = 5.13 \times 10^{-4} \text{ Kg}/\text{m s}$$

$$Pr = 3.3$$

Cálculo del número de Grashof.

$$Gr = \frac{\delta^2 g \beta (T_w - T_b) L c^3}{\mu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{(T_f + 273)} = 3.03 \times 10^{-3}$$

$$Gr = 6.78 \times 10^3$$

$$Ra = Gr * Pr$$

$$Ra = 2.24 \times 10^4$$

$$Nu = 0.36 + \frac{0.518(Ra)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad (4.59)$$

$$Nu = 5.87$$

$$Nu = \frac{h_e * Lc}{k}$$

$$h_e = \frac{5.87 * 0.649}{0.0138}$$

$$h_e = 276.17 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Cálculo de ho del agua, convección forzada en superficies interiores.

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2}$$

$$T_b = \frac{15 + 30}{2} = 22.5 \text{ C}$$

$$T_f = \frac{58.3 + 22.5}{2} = 40.4^\circ \text{ C}$$

Propiedades del agua a temperatura de 40° C. (Anexo C)

$$\delta = 991.8 \text{ Kg/m}^3$$

$$Pr = 4.3$$

$$K_f = 0.634 \text{ Kg/m C}$$

$$C_p = 4.17 \text{ Kg/Kg C}$$

$$u_f = 6.44 \times 10^{-4} \text{ Kg/m s}$$

Asumimos que el serpentín estará en un recipiente cilíndrico de 30 cm de diámetro, que nos da un área de 0.07068 m².

$$\dot{m} = \delta * V * A$$

$$45.25 = 991.8 * V * 0.07068$$

$$V = 0.645 \text{ m}^3/\text{h} = 1.79 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Re = \frac{\delta * V * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{991.8 * 1.79 \times 10^{-4} * 0.3}{6.44 \times 10^{-4}} = 82.7$$

Como el flujo es laminar, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nu = 3.66 + \frac{0.0668(d/L)Re * Pr}{1 + 0.04[(d/L)Re * Pr]^{2/3}} \quad (4.60)$$

$$Nu = 3.66 + \frac{0.0668(0.3/0.5)82.7 * 4.3}{1 + 0.04[(0.3/0.5)82.7 * 4.3]^{2/3}}$$

$$Nu = 9.52$$

$$Nu = \frac{h_o * d}{k}$$

$$h_o = 382.38 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U.

Coefficiente global de transferencia de calor por condensación.

$$U_c = \frac{h_c x h_o}{h_c + h_o}$$

$$U_c = \frac{2903.95 x 382.38}{2903.95 + 382.38}$$

$$U_c = 337.8 \text{ W/m}^2 \text{ C} = 1216.4 \text{ KJ/m}^2 \text{ h C}$$

Coefficiente global de transferencia de calor por enfriamiento.

$$U_e = \frac{h_e x h_o}{h_e + h_o}$$

$$U_e = \frac{276.17 x 382.38}{276.17 + 382.38}$$

$$U_e = 160.35 \text{ W/m}^2 \text{ C} = 577.26 \text{ KJ/m}^2 \text{ h C}$$

Área de transferencia de calor.

Área de transferencia de calor para condensación.

$$A_c = \frac{q_l}{U_c \times LMTD_c \times F}$$

$$A_c = \frac{2566}{1216,4 \times 55 \times 1}$$

$$A_c = 0,03835 \text{ m}^2$$

Área de transferencia de calor para enfriamiento.

$$A_e = \frac{q_s}{U_e \times LMTD_e \times F}$$

$$A_e = \frac{276,28}{577,26 \times 33,14 \times 1}$$

$$A_e = 0,0144 \text{ m}^2$$

Área total.

$$A_T = A_c + A_e$$

$$A_T = 0,0528 \text{ m}^2$$

Cálculo de la longitud del serpentín del condensador.

$$A_{calculada} = \pi \times D_{ext} \times L, \quad (4.61)$$

$$0,0528 \text{ m}^2 = \pi \times 0,01587 \times L,$$

$$L = 1,22 \text{ m}$$

Porcentaje de longitud de condensación.

$$\frac{A_c}{A_T + A_e} \times 100 = \frac{0,03835}{0,0528 + 0,0144} \times 100 = 57\% \quad (4.62)$$

4.2.4. Cálculo del espesor del condensador.

- ❖ Se diseña como recipiente bajo presión interna.
- ❖ Se construye con un acero al carbono AISI 1040.

Para juntas longitudinales según la norma ASME sección VIII DIV I.

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P}$$

P → presión de diseño (Psi).

R → radio interior del cuerpo (in).

S → esfuerzo máximo permisible (Psi)

E → eficiencia del cordón de soldadura.

Presión de diseño.

$$P = 1.5 P_T$$

$$P_T = \text{presion de trabajo} = 14.7 \text{ Psi.}$$

$$P = 14.7 * 1.5 = 22.05 \text{ Psi}$$

$$t = \frac{22.05 * 11.81}{42000 * (0.85) - 0.6 * (22.05)}$$

$$t = 0.00729 \text{ in} = 0.185 \text{ mm}$$

Para mayor seguridad se suma un factor de corrosión que va desde 1 hasta 3 mm.

$$t = 0.185 + 1.5 = 1,6 \text{ mm}$$

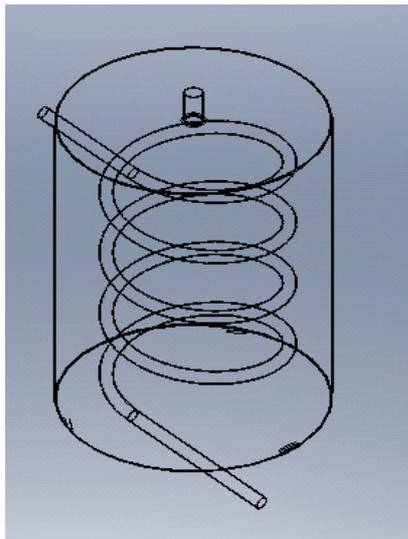


Figura 4.5: Condensador

4.3. Selección de la bomba de agua.

Temperatura del agua, 15°C cuyas propiedades son: (Anexo C)

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

$$\nu = 1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sg}$$

Flujo másico de agua.

$$\dot{m} = 45.25 \text{ Kg}/\text{h}$$

Caudal requerido.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\delta} = \frac{45.25 \text{ Kg}/\text{h}}{1000 \text{ Kg}/\text{m}^3} = 0.04525 \text{ m}^3/\text{h} = 0.75 \text{ lit}/\text{min}$$

Se requiere una bomba con un caudal de 0.75 lit/min , pero en el mercado no existen bombas con este caudal, por eso se toma una bomba que va desde 5 lit/min a 40 lit/min existente.

El caudal de diseño será de 40 lit/min , el cual asegura el caudal necesitado.

Velocidad recomendada en tubería de succión y descarga de fluidos. (Anexo D)

$$V_s = (0.6 - 2.2) \text{ m}/\text{s}$$

$$V_d = (2.4 - 7.5) \text{ m}/\text{s}$$

$$Q = V \times A$$

$$A = Q/V$$

$$A_s = Q/V_s = \frac{6.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sg}}{1.4 \text{ m}/\text{sg}} = 4.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{succ} = \frac{\pi D_{int}^2}{4} \tag{4.63}$$

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 \times A_{succ}}{\pi}}$$

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 \times 4.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}} = 0.0246 \text{ m} = 24.6 \text{ mm}$$

Del Anexo D con el diámetro obtenido, se selecciona un diámetro nominal en la tubería de succión de 1 in.

$$A = Q/V$$

$$A_d = Q/V_d = \frac{6.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sg}}{4 \text{ m}/\text{sg}} = 1.67 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{des} = \frac{\pi D_{int}^2}{4}$$

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4A_{des}}{\pi}}$$

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 \times 1.67 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}} = 0.0146 \text{ m} = 14.6 \text{ mm}$$

En el Anexo D con el diámetro obtenido, se selecciona un diámetro nominal en la tubería de descarga de $1/2$ in.

4.3.1. Cálculo de pérdidas de energía.

Perdidas por accesorios (Anexo D).

Tabla 4.2: Perdidas por Accesorios.

Accesorios	Km 1 in	Km $1/2$ in
Válvula check	2.3	2.7
Universal	0.3	0.3
Unión	0.3	
Reductor		0.3
Codo de 90°		0.8
Salida		1
Entrada	0.5	

condensador		1.5
	Σ 3.4	Σ 6.6

Cálculo de pérdidas en la succión.

$$Q = V_{succ} \times A$$

$$V_{succ} = Q/A$$

$$V_{succ} = \frac{6.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sg}}{5.57 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1.2 \text{ m/sg}$$

$$h_{succ} = h_{es} + h_{vs} + h_{rs} + h_{pms} \quad (4.64)$$

$$h_{es} = 0.66 \text{ m}$$

$$h_{vs} = \frac{V_{succ}^2}{2 \times g} = \frac{(1.2 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 7.34 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (4.65)$$

$h_{pms} = 0$, por estar abierto a la atmosfera.

$$h_{rs} = h_p + h_s \quad (4.66)$$

$$h_{rs} = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V_{succ}^2}{2 \times g} \quad (4.67)$$

Cálculo del número de Reynolds.

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{1.2(0.0266)}{1.02 \times 10^{-6}} = 3.1 \times 10^4$$

$$\frac{K}{D} = \frac{0.046}{26.6} = 0.0017$$

Cálculo del coeficiente de rozamiento. $\lambda = 0.027$ (Anexo D)

$$h_{rs} = \left(0.027 \frac{0.4}{0.0266} + 3.4 \right) \frac{1.2^2}{2 \times 9.8} = 0.28 \text{ m}$$

$$h_{succ} = -0.66 \text{ m} + 7.34 \times 10^{-2} \text{ m} + 0.28 \text{ m}$$

$$h_{succ} = -0.31 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas en la descarga.

$$Q = Vd \times A$$

$$Vd = Q/A$$

$$V = \frac{6.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{1.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 3.4 \text{ m/s}$$

$$h_d = h_{ed} + h_{vd} + h_{rd} + h_{pmd} \quad (4.68)$$

$$h_{es} = 0.66 \text{ m}$$

$$h_{vd} = \frac{V_{succ}^2}{2 \times g} = \frac{(3.4 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2} = 0.59 \text{ m}$$

$h_{pms} = 0$, por estar abierto a la atmosfera.

$$h_{rd} = h_p + h_s$$

$$h_{rd} = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V_d^2}{2 \times g}$$

Cálculo del número de Reynolds.

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{3.4(0.0158)}{1.02 \times 10^{-6}} = 5.3 \times 10^4$$

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0015}{15.8} = 0.000095$$

Cálculo del coeficiente de rozamiento. $\lambda = 0.021$

$$h_{rd} = \left(0.021 \frac{1.2}{0.0158} + 6.6 \right) \frac{3.4^2}{2 \times 9.8} = 4.8 \text{ m}$$

$$h_d = 0.66 \text{ m} + 0.59 \text{ m} + 4.8 \text{ m} = 6.05 \text{ m}$$

Altura total útil o Efectiva.

$$H_T = h_{succ} + h_{desc} \quad (4.69)$$

$$H_T = -0.31 \text{ m} + 6.05 \text{ m} = 5.74 \text{ m}$$

Cálculo del NPSH)d.

$$NPSH)_d = \frac{P_b}{\gamma} + h_{es} - H_{rs} - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.70)$$

$$P_b = 10.71 \text{ lb/in}^2 = 1542.24 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_v = 0.24713 \text{ lb/in}^2 = 35.58 \text{ lb/ft}^2$$

$$NPSH)_d = \frac{1542.24 \text{ lb/ft}^2}{62.38 \text{ lb/ft}^3} \times \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}} + 0.66 \text{ m} - 0.31 - \frac{35.58 \text{ lb/ft}^2}{62.38 \text{ lb/ft}^3} \times \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}}$$

$$NPSH)_d = 7.7 \text{ m. c. a}$$

Con los valores obtenidos se seleccionó una bomba MILANO de ½ HP, caudal de 5 – 40 lit/min, altura máxima de 30 m.

4.4. Diseño del sistema de agua de enfriamiento.

Para evitar el uso excesivo de agua, se utilizo un sistema de recirculación, utilizando una bomba y un radiador.

Cálculo del caudal necesario de aire, para el enfriamiento del agua.

$$Q_{perdido \text{ agua}} = Q_{ganado \text{ por el aire}}$$

$$\dot{m} \times C_p \times \Delta T = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

$$45.25 \text{ kg/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sg}} \times 4.176 \text{ KJ/Kg C} \times (30 - 15) \text{ C} = \dot{m} \times 1.057 \text{ KJ/Kg C} \times (20 - 18) \text{ C}$$

$$\dot{m}_{aire} = \frac{786.21875 \text{ W}}{1.057 \text{ KJ/Kg C} \times (20 - 18) \text{ C}} = 0.3719 \text{ Kg/sg}$$

$$Q_{aire} = \frac{\dot{m}}{\delta} \quad (4.71)$$

$$Q_{aire} = \frac{0.3719 \text{ Kg/sg}}{1.1774 \text{ Kg/m}^3} = 0.3158 \text{ m}^3/\text{sg} \times \frac{3600 \text{ sg}}{1 \text{ h}} = 1137.14 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con el caudal encontrado escogemos un ventilador del catalogo del Anexo G

4.4.1. Cálculo para encontrar el calor que disipa el radiador.

Datos.

Número de tubos (N)= 273

Longitud de tubo (L)= 0.58m

Diámetro de tubo: D1= 13 mm D2= 3 mm → forma elíptica.

Temperatura de entrada del agua = 30 °C

Temperatura de salida del agua = 15 °C

4.4.1.1. Cálculo de h_i para el agua: convección forzada en superficies interiores.

$$T_b = \frac{T_e + T_s}{2}$$

$$T_b = \frac{15 + 30}{2} = 22.5 \text{ C}$$

Propiedades del agua a temperatura T_b (Anexo C).

$$\delta = 995.8 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$P_r = 5.85$$

$$K_f = 0.614 \text{ Kg}/\text{m C}$$

$$C_p = 4.176 \text{ Kj}/\text{Kg C}$$

$$\mu_f = 8.6 \times 10^{-4} \text{ Kg}/\text{m s}$$

Área del tubo elíptico:

$$A = \pi r_1 r_2 = 1.885 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \rightarrow \text{Pero como tenemos 273 tubos, nos da un área total de: } 0.005146 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 40 \frac{\text{lt}}{\text{min}} = 6.67 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q = V \times A \quad (4.72)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.000667 \text{ m}^3/\text{sg}}{0.005146 \text{ m}^2} = 0.129 \text{ m/sg}$$

$$V = 0.129 \text{ m/sg}$$

$$Re = \frac{\delta * V * D}{\mu}$$

Por ser una figura geométrica no circular, utilizamos el diámetro hidráulico Dh.

$$D_H = \frac{4 A}{P} \quad (4.73)$$

$$P = \pi \left[3(r_1 + r_2) - \sqrt{(3r_1 + r_2)(r_1 + 3r_2)} \right] \quad (4.74)$$

$$P = 0.02489 \text{ m}$$

$$D_H = \frac{4 \times 1.885 \times 10^{-5}}{0.02489}$$

$$D_H = 0.003 \text{ m}$$

$$Re = 448.11$$

Como nos da un flujo laminar, utilizamos la siguiente ecuación para hallar Nusselt (Nu).

$$Nu = 1.86(Re * Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$Nu = 1.86(448.11 * 5.85)^{1/3} \left(\frac{0.003}{0.58} \right)^{1/3} \left(\frac{8.6 \times 10^{-4}}{8.14 \times 10^{-4}} \right)^{0.14}$$

$$\mu_w = 8.14 \times 10^{-4}$$

$$Nu = 4.47$$

$$Nu = \frac{h_i * d}{k}$$

$$h_i = \frac{4.47 * 0.614}{0.003}$$

$$h_i = 914.77 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

4.4.1.2. Cálculo de h_o para el aire: convección forzada sobre un banco de tubos.

Temperatura de entrada del aire = 18 °C

Temperatura de salida del aire = 20 °C

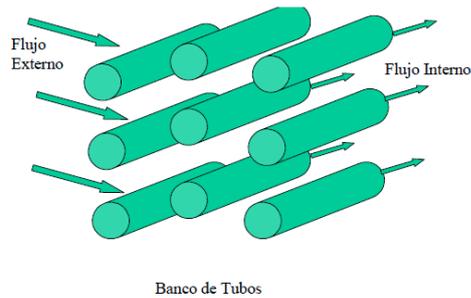


Figura 4.6: Bancos de tubos.

Datos del ventilador.

Potencia del motor= 1 Hp

Número de revoluciones= 3000 rpm

Caudal másico= $1.77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$T_b = \frac{T_e + T_s}{2}$$

$$T_b = \frac{18 + 20}{2} = 19 \text{ C}$$

Propiedades del aire a temperatura T_b (Anexo C).

$$\delta = 1.1774 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_r = 0.708$$

$$K_f = 0.02624 \text{ W/m C}$$

$$C_p = 1.0057 \text{ KJ/Kg C}$$

$$u_f = 1.98 \times 10^{-5} \text{ Kg/m s}$$

Por ser una figura geométrica no circular, utilizamos el diámetro hidráulico exterior D_H .

Área del tubo elíptico:

$$A = \pi r_1 r_2 = 3.06 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

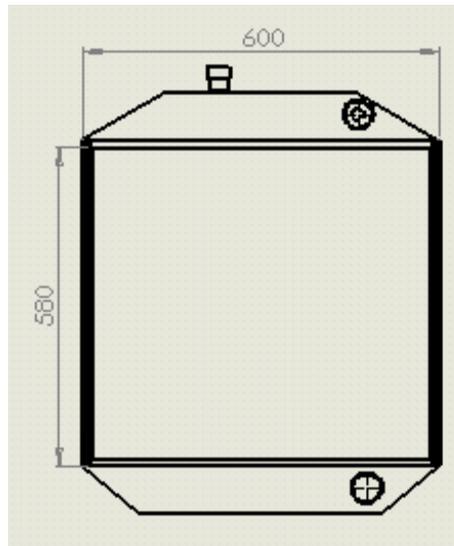
$$P = \pi \left[3(r_1 + r_2) - \sqrt{(3r_1 + r_2)(r_1 + 3r_2)} \right]$$

$$P = 0.027 \text{ m}$$

$$D_H = \frac{4A}{P}$$

$$D_H = 0.0044 \text{ m}$$

Área de circulación del aire en el radiador.



$$A = \text{Area transversal del rectángulo} - (\text{el area transversal de la aleta} + \text{el area tranversal del tubo eliptico.}) \quad (4.75)$$

$$A = (600 \times 580) - [(3 \times 580 \times 55) + (191 \times 600 \times 0.5)]$$

$$A = 195000 \text{ mm}^2$$

$$A = 0.195 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1.77}{0.195} = 8.87 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V1 = \frac{V_{\infty} S_T}{S_T - D_H} \quad (4.76)$$

$$V1 = \frac{8.87 * 0.013}{0.013 - 0.0044} = 13.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_2 = \frac{\frac{V_\infty S_T}{2}}{\sqrt{\left(\frac{S_T}{2}\right)^2 + S_L^2 - D_H}} \quad (4.77)$$

$$V_2 = \frac{8.65 * 0.013/2}{\sqrt{(0.013/2)^2 + 0.013^2 - 0.0044}} = 5.54 \frac{m}{s}$$

Como $V_1 > V_2 \rightarrow V_{max} = V_1$

$$Re = \frac{\delta * V_{max} * D}{\mu}$$

$$Re = 3500.73$$

Como nos da un flujo turbulento, utilizamos la siguiente ecuación para hallar Nusselt (Nu) [2].

$$Nu = C(Re)^n(Pr)^{1/3}$$

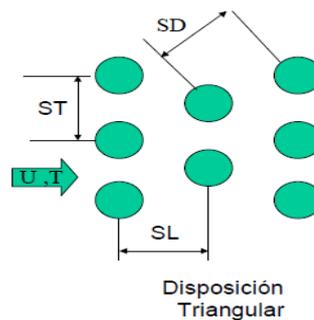


Figura 4.7: Disposición triangular.

$$\frac{S_T}{Dh} = \frac{13}{4.4} = 2.95 \cong 3 \quad (4.78)$$

$$\frac{S_L}{Dh} = \frac{13}{4.4} = 2.95 \cong 3 \quad (4.79)$$

$C = 0.467$; $n = 0.574 \rightarrow$ (Anexo E)

$$Nu = 0.467(3500.73)^{0.574}(0.708)^{1/3}$$

$$Nu = 45.04$$

$$Nu = \frac{h_o * L_c}{k}$$

$$h_o = \frac{45.04 * 0.02624}{0.0044}$$

$$h_o = 268.6 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

4.4.1.3. Cálculo del ho real.

Multiplicar por una constante de la tabla 6.5, referencia [1]

$$h_{o \text{ real}} = h_o \times k \quad (4.80)$$

$$h_o = 268.6 \times 0.92 = 247.11 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Cálculo del coeficiente convectivo (h_f) del aire en tubos aletados.

$$h_f = h_o \left(\frac{A_T}{A_o} \right) \eta_f$$

Dónde.

h_o = coeficiente convectivo en tubos lisos.

A_T = Area total de transferencia de calor.

A_o = Area externa del tubo liso.

η_f = Eficiencia de la aleta.

Eficiencia de la aleta.

$$\varepsilon = \left(L + \frac{1}{2}t \right) \sqrt{\frac{h_o}{kt}}$$

Donde:

L = Longitud de la aleta (5mm).

t = Espesor de la aleta (0.5).

k = conductividad termica del material (237 W/m K), de la referencia [14], tabla A-3 del Apéndice.

$$\varepsilon = \left(0.005 + \frac{1}{2}0.0005 \right) \sqrt{\frac{247.11}{237 \times 0.0005}}$$

$$\varepsilon = 0.24$$

Del Anexo F, se toma el valor de la eficiencia de la aleta con el valor de ε .

$$\eta_f = 0.92$$

$$A_T = A_{\text{sin aletas}} + \eta_f \times A_{\text{aletada}}$$

$$A_T = \text{perimetro} \times \text{Longitud} \times \text{numeros de tubos} + \eta_f \times A_{\text{aletada}}$$

$$A_{\text{aletas}} = A_{\text{caras de las aletas}} - A_{\text{segmentos de tubo}} \quad (4.81)$$

$$A_{\text{caras de las aletas}} = 2(0.6 \times 0.084 \times 190) \text{m}^2 = 19.152 \text{m}^2$$

$$A_{\text{segmentos de tubo}} = P \times L = 0.027 \times 0.0005 \times 273 = 0.0036855 \text{m}^2$$

$$A_{\text{aletas}} = 19.152 - 0.0036855 = 19.1483 \text{m}^2$$

$$A_T = (4.27518 + 0.92 \times 19.1483) \text{m}^2$$

$$A_T = 21.89 \text{m}^2$$

$$h_f = 247.11 \left(\frac{21.89}{4.27} \right) 0.92$$

$$h_f = 1182.06 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U.

$K = 63.9 \text{ W/m C}$ en la tabla A-1 de la ref. [9] Para un acero al carbono AISI 1010

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln r_o/r_i}{2\pi KL} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{914.77} + \frac{1.885 \times 10^{-5} * \ln 0.006/0.001}{2\pi(63.9) * (0.58)} + (0.6160) \frac{1}{1182.06}}$$

$$U = 619.40 \text{ W/m}^2 \text{ C} = 2230.05 \text{ KJ/m}^2 \text{ h C}$$

4.4.2. Cálculo del calor que disipa el radiador.

Cálculo del calor absorbido por el radiador.

El radiador posee:

Son 273 tubos.

Son 191 aletas.

$$A_{\text{Transferencia de calor}} = A_{\text{aletas}} + A_{\text{tubos}} \quad (4.82)$$

$$A_{\text{tubos}} = \text{Perimetro} \times \text{Longitud}. \quad (4.83)$$

$$L_{\text{tubo libre}} = 0.58 - (0.0005 \times 191) = 0.4845 \text{ m}$$

$$A_{\text{tubos}} = 0.027 \text{ m} \times 0.4845 \text{ m} \times 273 = 3.571 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Transferencia de calor}} = (19.1483 + 3.571) \text{ m}^2$$

$$A_T = 21.89 \text{ m}^2$$

$$Q = A * U * F * LMTD$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_B - \Delta T_A}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}}$$

$$LMTD = \frac{(30 - 15) - (20 - 18)}{\ln \frac{(30 - 15)}{(20 - 18)}}$$

$$LMTD = 9.10 \text{ C}$$

$$Q = 21.89 * 2230.05 * 1 * 9.10$$

$$Q_{\text{Radiador}} = 444224.8 \text{ W}$$

4.4.3. Calor absorbido por el agua en el proceso de condensación del etanol.

Propiedades del agua a $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Anexo C)

$$\delta = 996 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$C_p = 4.176 \text{ KJ}/\text{Kg C}$$

$$V_d = 3.4 \text{ m/sg}$$

$$\dot{m} = \frac{\delta \pi d^2}{4} \times V$$

$$\dot{m} = \frac{996 \times \pi \times 0.0158^2}{4} \times 3.4 = 0.66 \text{ Kg}/\text{sg}$$

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q = 0.66 \text{ Kg}/\text{sg} \times 4.176 \text{ KJ}/\text{Kg C} \times (30 - 15) \text{ C}$$

$$Q_{\text{agua}} = 41342.4 \text{ W}$$

Como:

$$Q_{\text{Radiador}} \geq Q_{\text{agua}}$$

El radiador logra disipar el calor absorbido por el agua, el cual permite su enfriamiento.

GRAFICO DEL SISTEMA DE DESTILACIÓN.

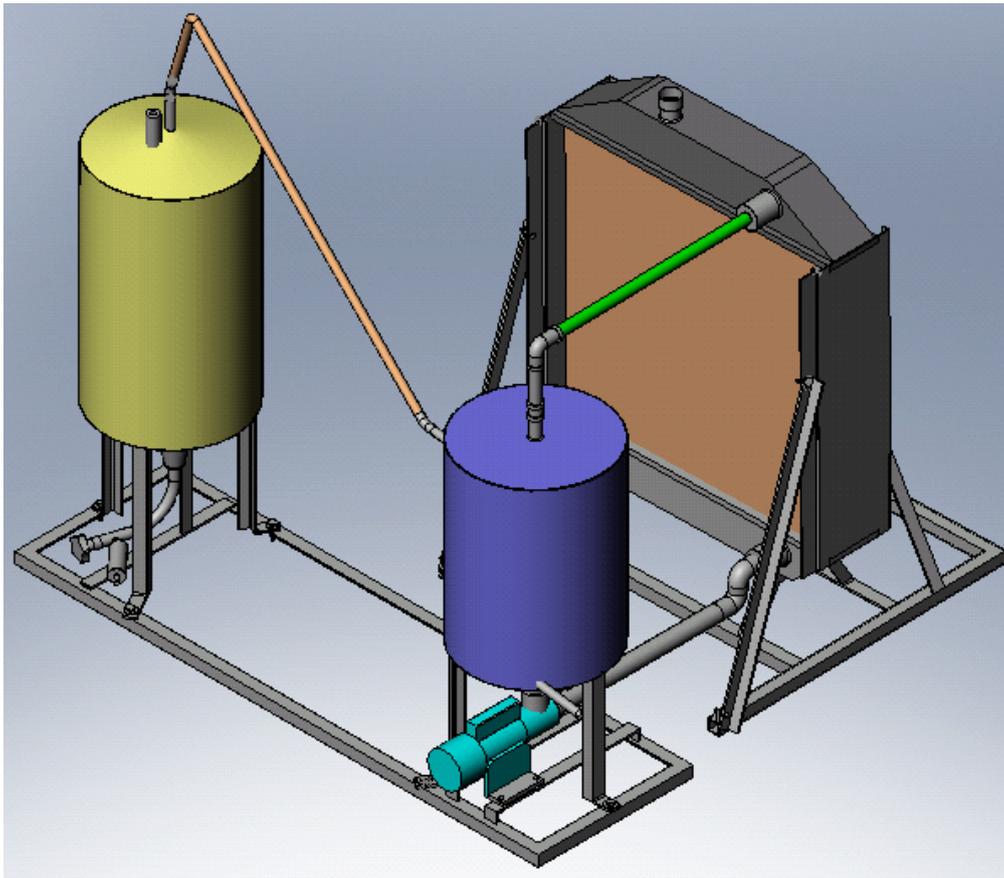


Figura 4.8: Destilador.

CAPITULO V

5. INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA PROTOTIPO

5.1. Procedimiento utilizado para la obtención del fermento.

5.1.1. Obtención del zumo.

Utilizando un extractor se obtuvo 10 litros de zumo de, zanahoria, papa, remolacha.

El lacto suero son los desechos de las fabricas lácteas, estos zumos se los coloca en el fermentador.

5.1.2. Adición de azúcar.

Por cada litro de zumo se agrega 200 gramos de azúcar. Para 10 litros de zumo se agregaron 2 kilogramos.

5.1.3. Activación de la levadura.

En una olla hervir 400 ml de agua, la cual se debe enfriar hasta una temperatura de 30 °C, mezclar con 400 ml de zumo o mosto y añadir 10 gramos de levadura y una cucharada de azúcar.

Dejar reposar hasta cuando se pueda observar que la levadura realiza un proceso de efervescencia. Lo cual muestra que está listo para ser añadido al fermento, y al final colocar el fermentador en un cuarto oscuro durante todo el proceso de fermentación.

5.1.4. Variación de los ph en el proceso fermentativo.

5.1.4.1. Tabla de ph de la zanahoria

Tabla 5.1: PH de la zanahoria

Tiempo(días)	PH
0	6
1	5
2	4
3	4
4	4
5	4
6	4
7	4
8	4

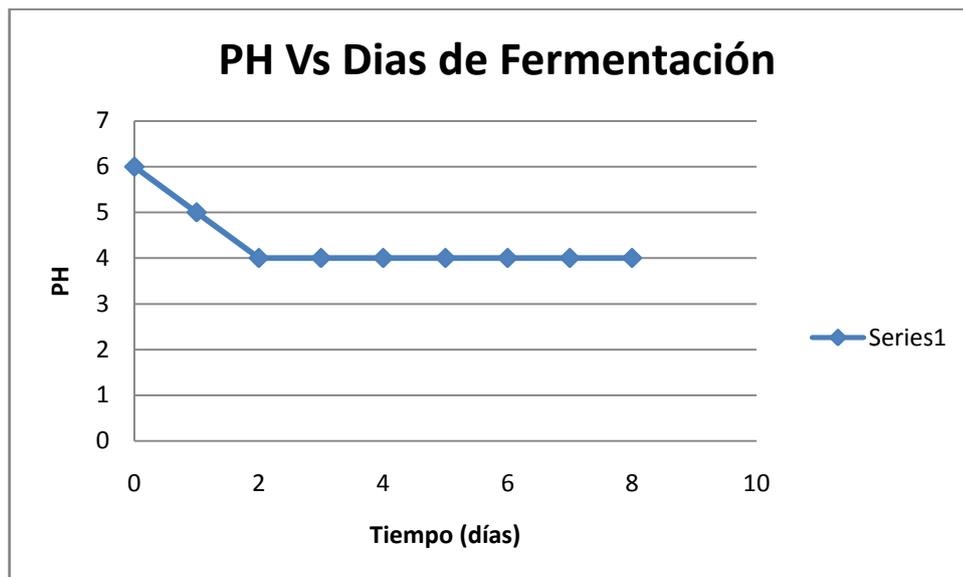


Figura 5.1: Variación del ph de la zanahoria

5.1.4.2. Tabla de ph de la papa

Tabla 5.2: PH de la Papa.

Tiempo(días)	PH
0	6
1	6
2	5
3	4,5
4	4,5
5	4,5
6	4,5
7	4,5
8	4,5

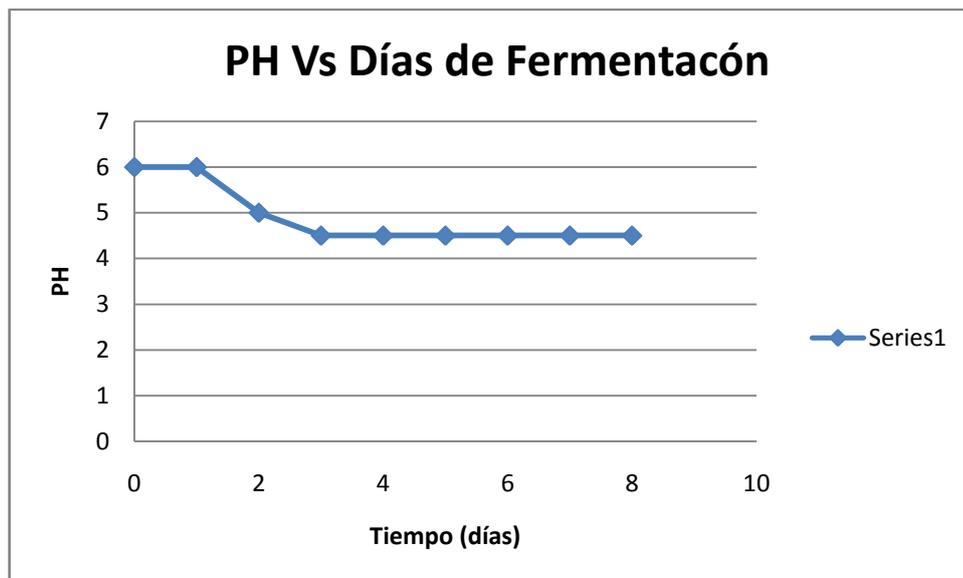


Figura 5.2: Variación del ph de la papa.

5.1.4.3. Tabla de ph de la remolacha

Tabla 5.3: PH de la remolacha

Tiempo(días)	PH
0	6
1	4
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3
7	3
8	3

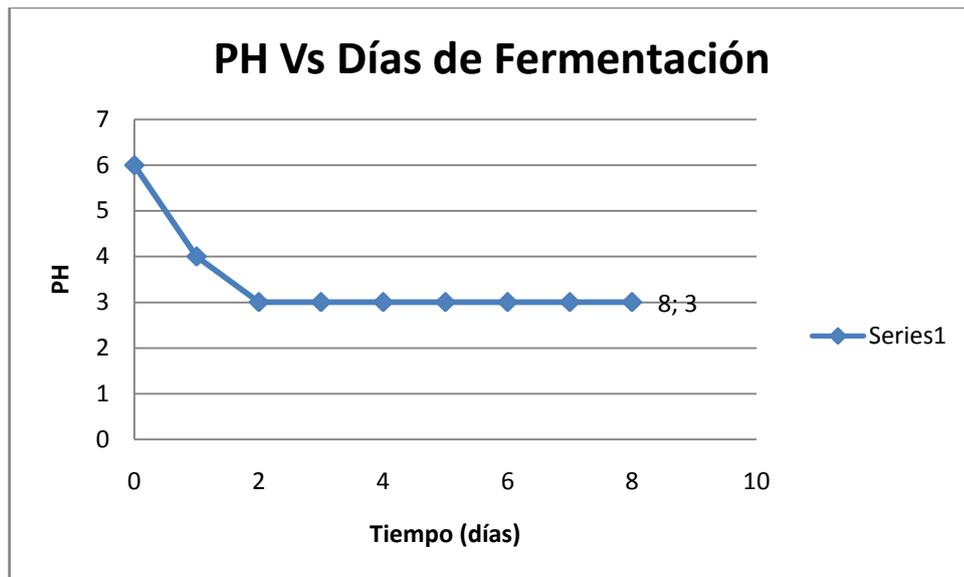


Figura 5.3: Variación del ph de la remolacha

5.1.4.4. Tabla de ph del lacto suero

Tabla 5.4: PH del lacto suero.

Tiempo(días)	PH
0	6
1	4,5
2	4
3	4
4	4
5	4
6	4
7	4
8	4

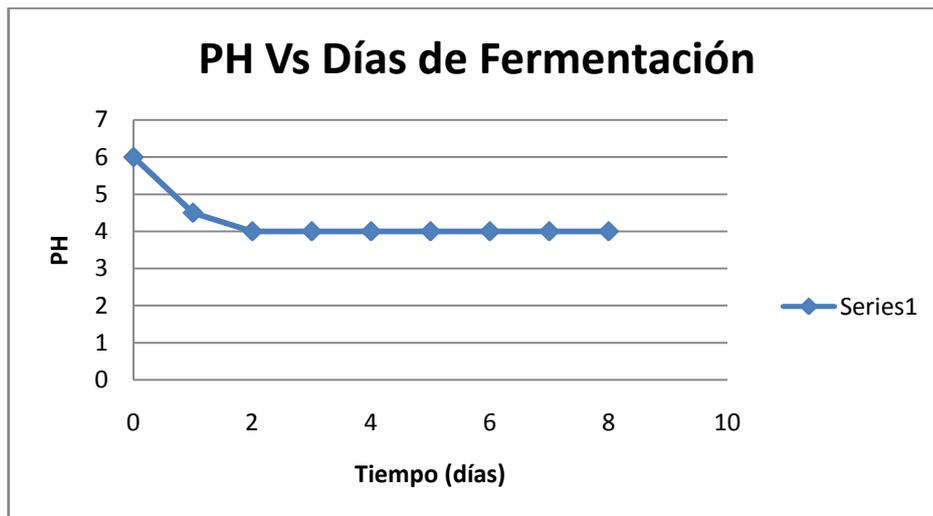


Figura 5.4: Variación del ph del lacto suero.

5.2. Pruebas de producción de etanol.

Los siguientes datos se obtuvieron de un volumen de 10 litros de fermento, con el objetivo de obtener un índice de producción de etanol por cada litro del mismo.

5.2.1. Pruebas con papa.

Primera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	148	0.285	83	28	500

Segunda Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	150	0.29	75	24	600

Tercera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	149	0.29	78	26	550

Índice de Producción por cada litro de fermento.

P1 = Cantidad de Etanol obtenido en la primera prueba.

P2 = Cantidad de Etanol obtenido en la segunda prueba.

P3 = Cantidad de Etanol obtenido en la tercera prueba.

$$IP = \frac{P1 + P2 + P3}{3} \times \frac{1}{10}$$

$$IP = \frac{500ml + 600ml + 550ml}{3} \times \frac{1}{10} = 55ml \text{ por litro de fermento.}$$

5.2.2. Pruebas con zanahoria.

Primera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	137	0.305	65	23	1350

Segunda Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	146	0.315	66	26	1300

Tercera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	140	0.30	64	25	1250

Índice de Producción por cada litro de fermento.

P1 = Cantidad de Etanol obtenido en la primera prueba.

P2 = Cantidad de Etanol obtenido en la segunda prueba.

P3 = Cantidad de Etanol obtenido en la tercera prueba.

$$IP = \frac{P1 + P2 + P3}{3} \times \frac{1}{10}$$

$$IP = \frac{1350ml + 1300ml + 1250ml}{3} \times \frac{1}{10} = 130ml \text{ por litro de fermento.}$$

5.2.3. Pruebas con remolacha.

Primera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	150	0.4	67	22	1200

Segunda Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	138	0.35	73	24	1500

Tercera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	145	0.37	70	25	1300

Índice de Producción por cada litro de fermento.

P1 = Cantidad de Etanol obtenido en la primera prueba.

P2 = Cantidad de Etanol obtenido en la segunda prueba.

P3 = Cantidad de Etanol obtenido en la tercera prueba.

$$IP = \frac{P1 + P2 + P3}{3} \times \frac{1}{10}$$

$$IP = \frac{1200ml + 1500ml + 1300ml}{3} \times \frac{1}{10} = 133.3ml \text{ por litro de fermento.}$$

5.2.4. Pruebas con lacto suero.

Primera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	155	0.32	62	27	750

Segunda Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	150	0.305	72	33	700

Tercera Prueba.

T(°F)	Temp. inicio de Condensación (°F)	Kg combustible Consumido.	Tiempo Producción (min)	Tiempo inicio Condensación (min)	Etanol Producido (ml)
160-165	148	0.30	68	28	700

Índice de Producción por cada litro de fermento.

P1 = Cantidad de Etanol obtenido en la primera prueba.

P2 = Cantidad de Etanol obtenido en la segunda prueba.

P3 = Cantidad de Etanol obtenido en la tercera prueba.

$$IP = \frac{P1 + P2 + P3}{3} \times \frac{1}{10}$$

$$IP = \frac{750ml + 700ml + 700ml}{3} \times \frac{1}{10} = 71.6 \text{ ml por litro de fermento.}$$

5.3. Análisis comparativo de producción.

Tabla 5.5: Índices de producción.

Etanol	Papa	Zanahoria	Remolacha	Lacto suero
Índice de producción	55 ml	130 ml	133.3 ml	71.6 ml

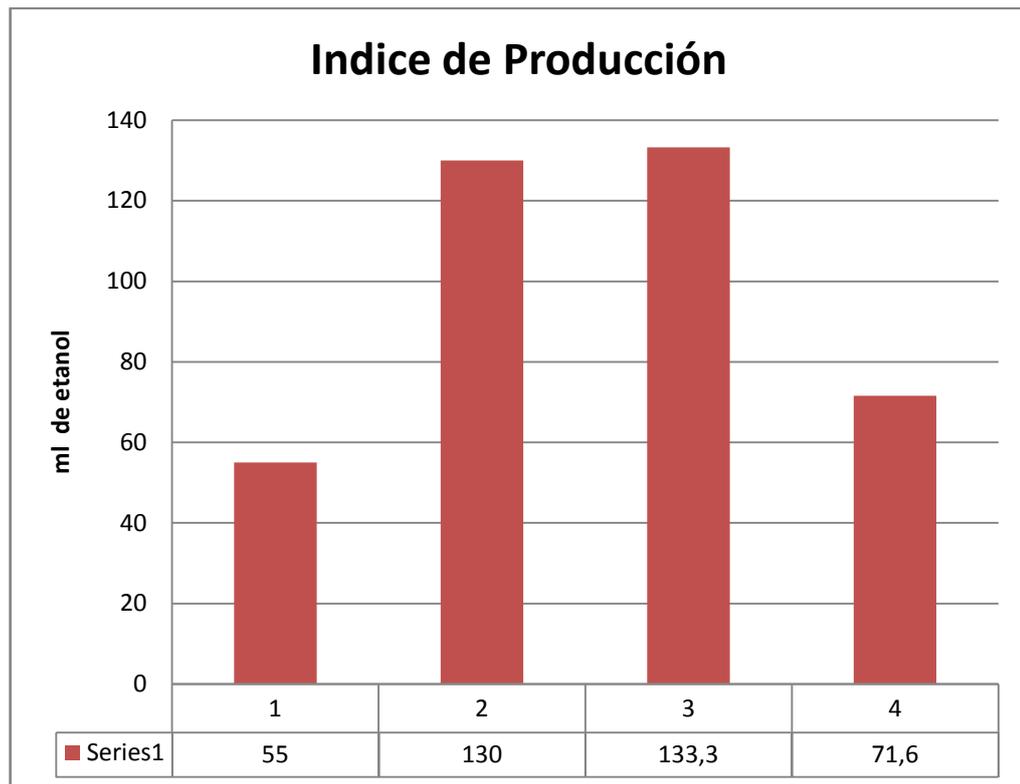


Figura 5.5: Índice de producción.

5.4. Análisis comparativo del alcohol de las muestras.



LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax; 2605-912 ext. 163

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS QUIMICO DE ALIMENTOS

Solicitado por: Srs. Luis Cholota y Oscar Mora

Fecha de análisis: 22 de septiembre de 2009

Fecha de entrega de resultados: 1 de octubre de 2009

Tipo de muestra: Bebidas Alcohólicas

Localidad: Riobamba

MUESTRA	GRADO ALCOHÓLICO %	ACIDEZ mg Ac Acético x 100 ml de alcohol	pH und
Alcohol de zanahoria	63	29.3	5.57
Alcohol de remolacha	65	60.9	4.98
Alcohol de papa	60	61.6	5.28
Alcohol de suero lácteo	61	30.29	5.44

Observaciones: Método volumétricos.

ATENTAMENTE


Dra. Gina Álvarez Reyes
RESPONSABLE LAB. ANALISIS TÉCNICOS



Tabla de los grados de alcohol de las muestras.

Tabla 5.6: Grado Alcohólico.

Etanol	Papa	Zanahoria	Remolacha	Lacto suero
Grado de Alcohol %	60	63	65	61

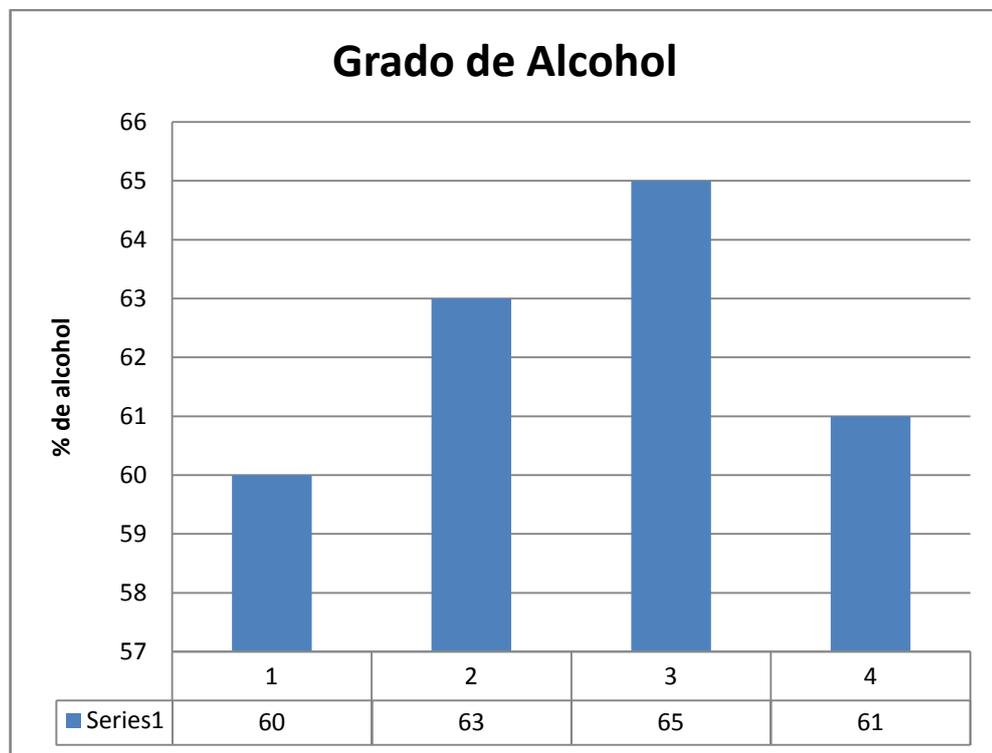


Figura 5.6: Grado Alcohólico.



LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2605-912 ext. 163

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS QUIMICO DE ALIMENTOS

Solicitado por: Srs. Luis Cholota y Oscar Mora

Fecha de análisis: 22 de septiembre de 2009

Fecha de entrega de resultados: 1 de octubre de 2009

Tipo de muestra: Residuos de Fermentos destilados

Localidad: Riobamba

MUESTRA	pH und.	ACIDEZ mg Ac Acético x 100 ml de fermento	Azúcares Totales %	Azúcares Reductores %	Almidones cualitativo
Alcohol de zanahoria	4.52	26.4	2.3	-	++
Alcohol de remolacha	4.7	24	2.64	-	+
Alcohol de papa	4.83	24	2.5	-	+++
Alcohol de suero lácteo	4.54	14.6	3.89	2.88	-

Observaciones: Método volumétricos.

ATENTAMENTE


 Dra. Gina Alvarez Reyes
 RESPONSABLE LAB. ANALISIS TECNICOS



5.5. Eficiencia del equipo.

La eficiencia del equipo fue obtenida mediante una forma experimental, realizada en el laboratorio de alimentos en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Procedimiento.

Debido al alto costo del etanol con una pureza elevada, se busco una opción alternativa la cual fue de volver destilar el etanol adquirida del jugo de caña, con la finalidad de obtener un etanol con una mayor pureza.

A la muestra adquirida se le tomo los siguientes parámetros.

Grado alcohólico: 59

Temperatura: 24

Después de la destilación a la muestra se volvieron a medir los mismos parámetros.

Grado alcohólico: 83

Temperatura: 25

A esta muestra de etanol con una mayor pureza se tomo una cantidad de 2500 mililitros para la realización de la eficiencia.

Después de la destilación el volumen recuperado fue de 2200 mililitros. Con lo cual se procede a calcular la eficiencia del equipo.

$$\eta = \frac{V_{final}}{V_{inicial}} \times 100$$

$$\eta = \frac{2200ml}{2500ml} \times 100$$

$$\eta = 88 \%$$

CAPITULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS.

6.1. Costos de inversión

Los costos de inversión son todos los gastos que se ha venido realizando en la construcción del sistema de destilación de etanol incluyéndose los costos directos, indirectos y totales.

Estos costos se obtienen mediante la sumatoria de todos los materiales utilizados, así como los parámetros utilizados en la construcción de la destiladora de etanol como son los pagos de mano de obra, transporte, combustible, materiales y equipos utilizados.

6.2. Costos directos

Son los costos que se pueden asignarse y medir de una manera razonable a una elaboración o trabajo específico.

Dentro de los costos directos tenemos que considerar todos los costos que afectan directamente al proyecto como lo son los materiales, mano de obra, la utilización de los equipos y herramientas, transporte y combustibles.

6.2.1. Análisis de costos por materiales.

El costo de los materiales viene especificado en la tabla que presentamos a continuación.

Tabla 6.1: Lista de materiales utilizados en la elaboración del caldero.

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
1	Plancha de inoxidable de 1mm.(1.5x1.5)m	36	36
1	Tubo de inoxidable de 1/2 plg.	16	16
1	Tubo galvanizado de 1 plg.(1m)	2	2
1	Termocupla TAYLOR 9940	57.05	57.05
1	Quemador de GLP	5	5
1	Llave de paso	8.40	8.40
2	Manguera de gas 1m	1	2
1	Válvula de GLP	5	5
	SUBTOTAL		131.45

Tabla 6.2: Lista de materiales en la elaboración del condensador

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
1	Plancha de acero galvanizado	33.6	33.6
1	Tubo de cobre de 1/2 plg.	21.06	21.06
1	Codo de cobre de 90°	0.60	0.60
1	Universal de cobre	3.67	3.67
	SUBTOTAL		58.93

Tabla 6.3: Lista de materiales en el sistema de enfriamiento

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
1	Radiador usado	10	10
1	Bomba hidráulica de $\frac{1}{2}$ hp.	26.3	26.3
1	Ventilador de 1 hp	26	26
1	Válvula check de 1 plg.	10.5	10.5
1	Válvula check de $\frac{1}{2}$ plg.	5.7	5.7
1	Tubo galvanizado 1" (1m)	2	2
1	Tubo galvanizado $\frac{1}{2}$ plg. (2m)	2.6	2.6
1	Universal de 1"	1.65	1.65
1	Universal de 1/2"	0.85	0.85
10	Pernos y arandelas de 3/16"	0,20	2
1	Reductor de de 1 a 1/2"	0.4	0.4
2	Uniones de $\frac{1}{2}$ plg.	0.25	0.5
1	Codo de 90° de $\frac{1}{2}$ plg.	0.4	0.4
1	Angulo de 1x1x3/16 (10m)	24	24
	SUBTOTAL		112.9

Tabla 6.4: Instalación eléctrica costos y materiales

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
1	Interruptor	0.50	0.50
5	Cable 3 en un metro	0.3	1.5
1	conector de CC	1	1
	SUBTOTAL		3.0

Tabla 6.5: Costos del fermentador.

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
4	Tanque plástico de 20 lit.	12.5	50
2	Tubo fusible	3.6	7.2
4	Tapón de caucho	1.01	4.04
1	Indicador de PH, 0 – 14 Merck	14	14
1	Balanza Eléctrica.	65	65
8	Sobre de levadura	0.15	1.20
1	Termómetro de alcohol	8.96	8.96
1	Extractor	100	100
1	Quintal de papa	6	6
1	Quintal de zanahoria	4	4
1	Quintal de remolacha	4	4
20	Litros de lacto suero	0.02	0.4
16	Libras de azúcar	0.32	5.12
	SUBTOTAL		269.92

Tabla 6.6: Costos de materiales adicionales

Denominación	Valor Total
Pintura anticorrosiva cromato negro	8.12
Esmalte sintético de aluminio	9.37
Acido nítrico	5.50
SUBTOTAL	22.99

6.2.2. Análisis de costos por construcción.

En la construcción de la destiladora de etanol se han contratado según el tiempo del operador y dentro de las herramientas y equipos utilizados se considera el tiempo de uso, demostrado en la tabla siguiente:

Tabla 6.7: Costos por mano de obra

Operario	Trabajo a realizar	Tiempo (h)	Valor Unitario	Valor Total
1	Soldador	40	5	200
1	Eléctrico	5	2	10
1	Tornero	5	3	15
	SUBTOTAL			225

Tabla 6.8: Costos de equipos y herramientas.

Cantidad	Especificaciones	Tiempo (h)	V. Unitario	Valor Total
30	Electrodos de acero inoxidable	20	0.6	12
1	Suelda Autógena	40	2	80
1	Pulidoras	5	1,5	7.5
1	Cortadora	10	2	20
1	Embaroladora	2	3	6
1	Taladro	2	1	2
1	Suelda Eléctrica	15	1,5	22.5
6	Llaves de toda medida	10	0,5	5
1	Torno	5	2	10
	SUBTOTAL			165

Tabla 6.9: Costos por transporte

1	Compra de materiales	50
1	Entrega del Equipo	20
	SUBTOTAL	70

Análisis de costos por estudio.

Los costos por estudio son aquellos difíciles de dar de forma directa por un trabajo determinado. Son los que representan los costos por ingeniería, dirección técnica, imprevistos, gastos administrativos y costos por utilidades en si son también llamados costos indirectos obteniéndoles por un porcentaje del total.

Se han considerado un 31% del total de los costos directos dados en el resumen económico.

Tabla 6.10: Costos totales.

Materiales Directos	326.27
Materiales Indirectos	165
Mano de Obra	225
Transporte	70
Imprevistos	243.75
TOTAL (USD)	1030.02

6.2.3. Análisis de costos por operación y mantenimiento.

Teniendo en cuenta que la destiladora de etanol, no necesita mayor operación ni mantenimiento, solo es el caso que se debe lavar el caldero con sosa caustica diluida (sello rojo) después de cada prueba solo ahí se tendrá un gasto de 3.75 dólares dependiendo el valor actual.

6.3. Viabilidad del proyecto

Para verificar si el proyecto es rentable analizamos la tasa interna de retorno o llamado comúnmente TIR y el valor actual neto VAN.

6.3.1. Valor actual neto.

Se llama Valor actual neto a la diferencia entre los ingresos (VAI) con los egresos (VAE) siendo los ingresos todos los valores positivos que nos da la destiladora de etanol como es la producción y a los egresos a todos los valores negativos entre estos se encuentra el costo de la destiladora de etanol teniendo en cuenta tres posibles soluciones:

- Si el VAN es positivo la destiladora de etanol es rentable.
- Si el VAN es nulo la destiladora de etanol se considera indiferente hacerla o no hacerla.
- Si el VAN es negativo la destiladora de etanol no es rentable.

$$VAN = VAI - VAE$$

6.3.2. Tasa interna de retorno.

La tasa interna de retorno o rendimiento es una medida de la rentabilidad de una inversión que está íntimamente relacionada con el valor actual neto (VAN).

La TIR de una inversión es aquella tasa de rendimiento que, cuando se usa para descontar los flujos de efectivos futuros de una inversión hacen que el VAN de esa inversión sea cero. En otras palabras, cuando se encuentran los flujos de efectivos futuros de inversión usando la TIR, su valor actual será exactamente igual al monto inicial de esa inversión. Por lo tanto la TIR es una cantidad en extremo útil de conocer cuando se está evaluando un proyecto potencial de inversión.

Para ver si la construcción de la destiladora de etanol se tiene que comparar con el interés teniendo las siguientes reglas:

- Tasa interna de retorno $> i$ se realiza la destiladora de etanol.
- Tasa interna de retorno $= i$ el interesado deberá analizar si se hace o no la destiladora de etanol.
- Tasa interna de retorno $< i$ no se realiza la destiladora de etanol.

6.3.3. Análisis de costos para la obtención de etanol de zanahoria.

Calculo del TIR a un VAN=0

En la producción de etanol se tiene una gran variedad de gastos en la producción como lo mostramos en la tabla siguiente:

Cuadro 6.1 Costos de producción de etanol

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
2 kg.	Azúcar	0,64	1.28
10 gr.	Levadura	0,03	0.30
	Zumo de zanahoria	3	3
	TOTAL EN DOLARES		4.58

Cabe mencionar que el valor dado en la tabla anterior corresponde a una producción de 10 lt. de fermento por día.

Cuadro 6.2 Mano de obra por día

Operario	Trabajo a realizar	Tiempo (h)	Valor Unitario	Valor Total
1	Extracción del zumo y Destilación.	4	1	4
	TOTAL EN DOLARES			4

Tenemos un total de gastos por día de 8,58 dólares como se labora 5 días y teniendo en cuenta que el mes tiene cuatro semanas tenemos un total de 171.6 dólares mensuales y anuales un gasto de **2059.2** dólares.

Considerando que en cada parada tenemos 1.3 litros de etanol, vendiendo a 2,00 dólares tenemos 2,6 dólares por parada y si proyectamos para un año considerando el precio actual tenemos **624** dólares.

Teniendo al final de los cinco años un valor de salvamento (depreciación) de la maquina destiladora de:

$$V_s = (\text{valor adquirido} - \text{Valor residual}) / \text{vida útil}$$

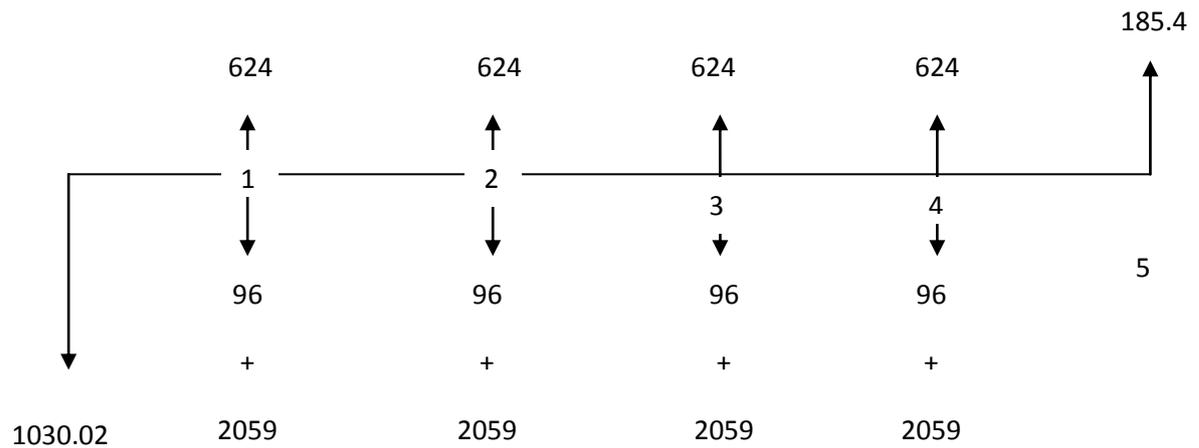
Valor residual= 10% del Valor adquirido

$$V_s = \frac{1030 - 130}{5}$$

$$V_s = \mathbf{185.4} \text{ dólares.}$$

Cuadro 6.3 Flujo de caja

Costo de construcción	1030.02
Flujo de efectivo anual	624
Costo de producción anual	2059.2
Costo de reparación y mantenimiento anual	96
Valor de Salvamento	185,4
vida, años	5

**Figura 6.1 Diagrama de evaluación financiera.**

$$VAN = VAI - VAE$$

$$\text{Valor anual de ingresos } VAI = 624(P/A, i\%, 5) + 185.4 (P/F, i\%, 5)$$

$$\text{Valor anual de egresos } VAE = 1030.02 + (96 + 2059) (P/A, i\%, 5)$$

Cuadro 6.4. Interés compuesto

i%	P/A	P/F	VAI	VAE	VAN
0	5	1	3305.4	11806	-8500.6
5	4,3295	0,7835	2846.8	10360.9	-7514.1
10	3,7908	0,6209	2480.5	9199.9	-6719.4
15	3,3522	0,4972	2184.1	8254.01	-6069.9
20	2,9906	0,4019	1940.6	7474.76	-5534.1
25	2,6893	0,3277	1738.8	6825.46	-5086.5

Como el VAN siempre tendrá un valor negativo, significa que el proyecto no es rentable.

6.3.4. Análisis de costos para la obtención de etanol de remolacha.

Calculo del TIR a un VAN=0

En la producción de etanol se tiene una gran variedad de gastos en la producción como lo mostramos en la tabla siguiente:

Cuadro 6.5 Costos de producción de etanol

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
2 kg.	Azúcar	0,64	1.28
10 gr.	Levadura	0,03	0.30
	Zumo de remolacha	3	3
	TOTAL EN DOLARES		4.58

Cabe mencionar que el valor dado en la tabla anterior corresponde a una producción de 10 lt. de fermento por día.

Cuadro 6.6 Mano de obra por día

Operario	Trabajo a realizar	Tiempo (h)	Valor Unitario	Valor Total
1	Extracción del zumo y Destilación.	4	1	4
	TOTAL EN DOLARES			4

Tenemos un total de gastos por día de 8,58 dólares como se labora 5 días y teniendo en cuenta que el mes tiene cuatro semanas tenemos un total de 171.6 dólares mensuales y anuales un gasto de **2059.2** dólares.

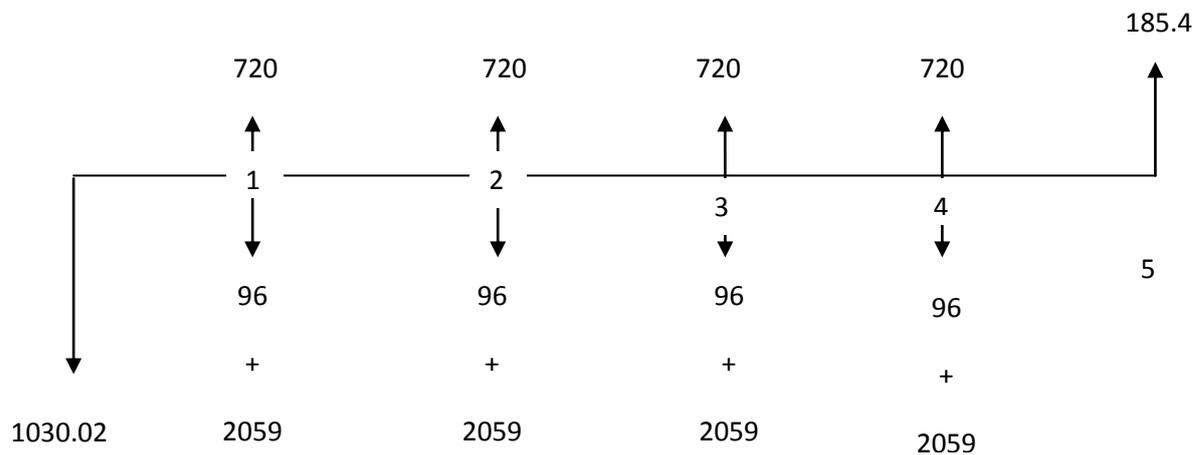
Considerando que en cada parada tenemos 1.5 litros de etanol, vendiendo a 2,00 dólares tenemos 3,00 dólares por parada y si proyectamos para un año considerando el precio actual tenemos **720** dólares.

Teniendo al final de los cinco años un valor de salvamento (depreciación) de la maquina destiladora de:

$V_s = 185.4$ dólares.

Cuadro 6.7 Flujo de caja

Costo de construcción	1030.02
Flujo de efectivo anual	720
Costo de producción anual	2059.2
Costo de reparación y mantenimiento anual	96
Valor de Salvamento	185,4
vida, años	5

**Figura 6.2 Diagrama de evaluación financiera.**

$$VAN = VAI - VAE$$

$$\text{Valor anual de ingresos } VAI = 720(P/A, i\%, 5) + 185.4(P/F, i\%, 5)$$

$$\text{Valor anual de egresos } VAE = 1030.02 + (96 + 2059)(P/A, i\%, 5)$$

Cuadro 6.8. Interés compuesto

i%	P/A	P/F	VAI	VAE	VAN
0	5	1	3935.4	11806	-7870.6
5	4,3295	0,7835	3262.5	10360.9	-7098.4
10	3,7908	0,6209	2844.5	9199.9	-6355.4
15	3,3522	0,4972	2505.76	8254.01	-5748.2
20	2,9906	0,4019	2227.7	7474.76	-5247.0
25	2,6893	0,3277	1997	6825.46	-4828.4

Como el VAN siempre tendrá un valor negativo, significa que el proyecto no es rentable.

6.3.5. Análisis de costos para la obtención de etanol de papa.

Calculo del TIR a un VAN=0

Cuadro 6.9 Costos de producción de etanol

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
2 kg.	Azúcar	0,64	1.28
10 gr.	Levadura	0,03	0.30
	Zumo de zanahoria	4	4
	TOTAL EN DOLARES		5.58

Cabe mencionar que el valor dado en la tabla anterior corresponde a una producción de 10 lt. de fermento por día.

Cuadro 6.10 Mano de obra por día

Operario	Trabajo a realizar	Tiempo (h)	Valor Unitario	Valor Total
1	Extracción del zumo y Destilación.	4	1	4
	TOTAL EN DOLARES			4

Tenemos un total de gastos por día de 9,58 dólares como se labora 5 días y teniendo en cuenta que el mes tiene cuatro semanas tenemos un total de 191.6 dólares mensuales y anuales un gasto de **2299.2** dólares.

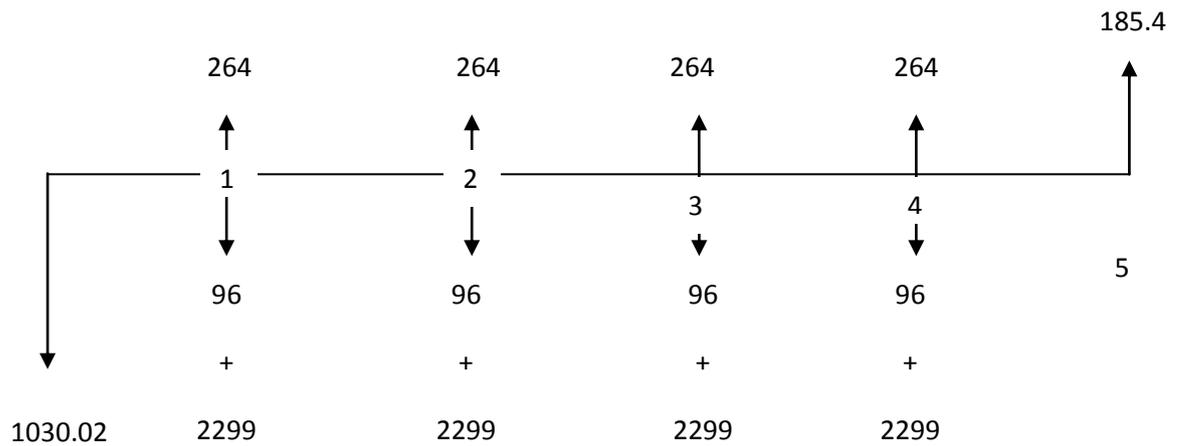
Considerando que en cada parada tenemos 0.55 litros de etanol, vendiendo a 2,00 dólares tenemos 1.1 dólares por parada y si proyectamos para un año considerando el precio actual tenemos **264** dólares.

Teniendo al final de los cinco años un valor de salvamento (depreciación) de la maquina destiladora de:

$V_s = 185.4$ dólares.

Cuadro 6.11 Flujo de caja

Costo de construcción	1030.02
Flujo de efectivo anual	264
Costo de producción anual	2299.2
Costo de reparación y mantenimiento anual	96
Valor de Salvamento	185,4
vida, años	5

**Figura 6.3. Diagrama de evaluación financiera.**

$$VAN = VAI - VAE$$

$$\text{Valor anual de ingresos } VAI = 264(P/A, i\%, 5) + 185.4(P/F, i\%, 5)$$

$$\text{Valor anual de egresos } VAE = 1030.02 + (96 + 2299.4)(P/A, i\%, 5)$$

Cuadro 6.12. Interés compuesto

i%	P/A	P/F	VAI	VAE	VAN
0	5	1	1505.4	13007	-11501.6
5	4,3295	0,7835	1288.2	11400.9	-10112.7
10	3,7908	0,6209	1115.8	10110.5	-8994.7
15	3,3522	0,4972	977.2	9059.87	-8082.6
20	2,9906	0,4019	864	8193.7	-7329.7
25	2,6893	0,3277	770.7	7471.96	-6701.2

Como el VAN siempre tendrá un valor negativo, significa que el proyecto no es rentable.

6.3.6. Análisis de costos para la obtención de etanol de lacto suero.

Calculo del TIR a un VAN=0

En la producción de etanol se tiene una gran variedad de gastos en la producción como lo mostramos en la tabla siguiente:

Cuadro 6.13 Costos de producción de etanol

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario	Valor Total
2 kg.	Azúcar	0,64	1.28
10 gr.	Levadura	0,03	0.30
	Lacto suero	0.2	0.2
TOTAL EN DOLARES			1.78

Cabe mencionar que el valor dado en la tabla anterior corresponde a una producción de 10 lt. de fermento por día.

Cuadro 6.14 Mano de obra por día

Operario	Trabajo a realizar	Tiempo (h)	Valor Unitario	Valor Total
1	Extracción del zumo y Destilación.	4	1	4
	TOTAL EN DOLARES			4

Tenemos un total de gastos por día de 5.78 dólares como se labora 5 días y teniendo en cuenta que el mes tiene cuatro semanas tenemos un total de 115.6 dólares mensuales y anuales un gasto de **1387.2** dólares.

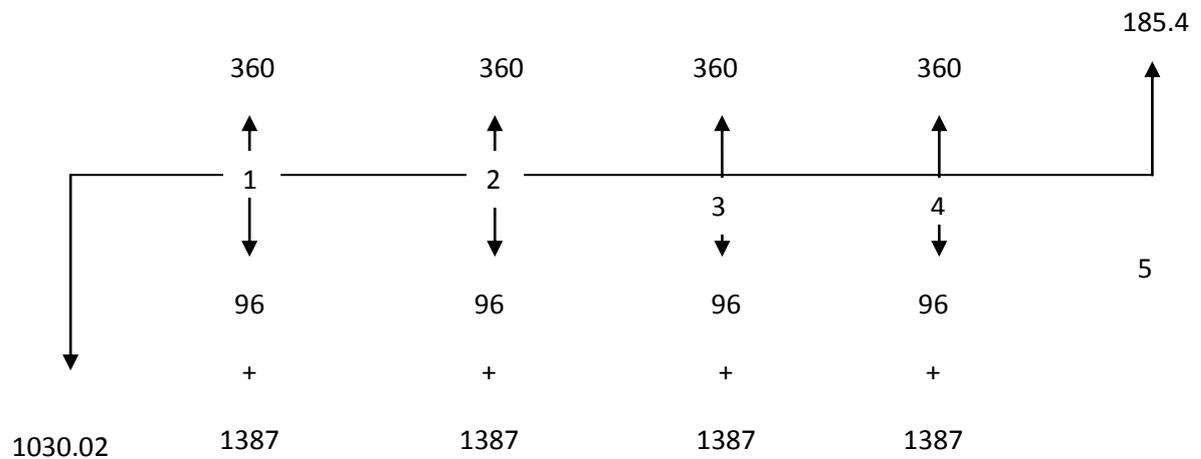
Considerando que en cada parada tenemos 0.75 litros de etanol, vendiendo a 2,00 dólares tenemos 1.5 dólares por parada y si proyectamos para un año considerando el precio actual tenemos **360** dólares.

Teniendo al final de los cinco años un valor de salvamento (depreciación) de la maquina destiladora de:

Vs = **185.4** dólares.

Cuadro 6.15 Flujo de caja

Costo de construcción	1030.02
Flujo de efectivo anual	360
Costo de producción anual	1387.2
Costo de reparación y mantenimiento anual	96
Valor de Salvamento	185,4
vida, años	5

**Figura 6.4. Diagrama de evaluación financiera.**

$$VAN = VAI - VAE$$

$$\text{Valor anual de ingresos } VAI = 360(P/A, i\%, 5) + 185.4(P/F, i\%, 5)$$

$$\text{Valor anual de egresos } VAE = 1030.02 + (96 + 1387)(P/A, i\%, 5)$$

Cuadro 6.16. Interés compuesto

i%	P/A	P/F	VAI	VAE	VAN
0	5	1	1985.4	8445	-6459.6
5	4,3295	0,7835	1703.8	7450.6	-5746.8
10	3,7908	0,6209	1479.8	6651.7	-5171.9
15	3,3522	0,4972	1298.9	6001.3	-4702.4
20	2,9906	0,4019	1151.1	5465	-4314.2
25	2,6893	0,3277	1028.9	5018.2	-3989.3

Como el VAN siempre tendrá un valor negativo, significa que el proyecto no es rentable.

CAPITULO VII

7. COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. Introducción.

En este capítulo se pretende dar a conocer todos los resultados obtenidos tanto en el proceso de construcción, montaje y de pruebas, mediante la utilización de instrumentos y tabulación de datos, para luego mediante esquemas y tablas dar a conocer los resultados obtenidos

7.2. Conclusiones.

Se concluye que antes de comenzar a diseñar este tipo de destilador, es muy importante saber la cantidad de fermento que se va a obtener de la materia prima a utilizar.

El material más adecuado para este tipo de proceso de obtención de etanol, es el cobre por su alta conductividad térmica, pero debido a su alto costo, se emplea un material alternativo más económico y que cumple con la norma alimenticia como es el Acero Inoxidable.

Antes de empezar la destilación y con ello la obtención de etanol, se debe asegurar que el proceso fermentativo a terminado.

Con el objetivo de no desperdiciar el agua se realizo en el sistema de condensado y enfriamiento una recirculación de la misma.

Para disipar el calor que el agua absorbe en el proceso de condensación, se pensó realizar una torre enfriamiento, pero debido a que es un sistema prototipo el caudal de agua es demasiado pequeño, por lo que no justifica la realización de dicha torre, y se utilizo un radiador para suplir a la misma.

Después de realizado los análisis al producto se obtuvieron los siguientes grados alcohólicos, Papa 60, Lacto Suero 61, Zanahoria 63, Remolacha 65.

En el análisis de índice de producción se obtuvo que la remolacha es el de mayor porcentaje, con el 13.3%.

Esta es un equipo con poca dificultad de construcción, ya que se dispone en el mercado los materiales y en el taller de equipos necesarios de manera que resulta fácil y el costo es bajo.

Durante la elaboración de la presente tesis de grado, se logró aplicar los conocimientos impartidos durante la carrera de una forma práctica.

El sistema de destilación es de fácil mantenimiento, por su construcción y el acople de sus elementos, ya que se puede montar y desmontar fácilmente y favorece para la revisión y mantenimiento periódico.

Un porcentaje elevado de almidón en el residuo del fermento de papa, nos indica que aun podemos obtener más cantidad de etanol.

Se debe realizar una hidrólisis cuando el mosto tiene una elevada cantidad de almidón antes de comenzar el proceso de fermentación.

Se debe asegurar la no presencia de aire en el proceso de fermentación.

7.3. Recomendaciones.

Se recomienda hacer una hidrólisis al zumo de papa antes de comenzar su proceso fermentativo.

Para obtener una mayor producción de etanol se recomienda dejar un mayor tiempo el proceso fermentativo.

Para el normal funcionamiento de la bomba hidráulica, se debe revisar que el nivel de agua en el radiador esté al tope, con el objetivo de evitar la cavitación de la misma.

Después de realizar el proceso de destilación se debe lavar el equipo para eliminar el olor característico de cada fermento.

Asegurar que el recipiente donde se realiza la fermentación no ingrese aire, sin embargo debe permitir la salida del CO₂ producido.

En la activación de la levadura no sobrepasar las temperaturas recomendadas debido a que pueden morir y no realizar la fermentación.

En la destilación controlar la temperatura del fermento, para obtener un grado alcohólico aceptable.

Comenzar la destilación a fuego lento, para evitar que el alcohol se evapore con agua y colorantes de los fermentos.

Para disminución del impacto ambiental ocasionado por el ruido, del motor del ventilador se recomienda encerrar el mismo con un aislante acústico.

Para un mayor porcentaje de etanol en el fermento, se debe profundizar en el proceso de fermentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. QUE ES EL ETANOL.

http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Cadena_Etanol.pdf

2009-01-20

2. FERMENTACIÓN CASERA.

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Fermenta.B3n_alcoh.C3.B3lica_casera

2009-02-15

3. PROCESOS DE FERMENTACIÓN.

<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n>.

2009-02-01

4. FERMENTACIÓN ALCOHOLICA.

<http://www.verema.com/articulos-levaduras-y-la-fermentacion-alcoholica-ii>

2009-02-08

5. TIPOS DE LAVADURAS.

<http://www.alezamora.galeon.com/aficiones1893538.html>

2009-02-10

6. METODOS DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL.

<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Alcohol>

2009-01-20

7. ALAMBIQUES.

http://www.alambiques.com/tecnicas_destilacion.htm

2009-01-15.

8. KARLEKAR, V. M. Transferencia de Calor. 7ma.ed. México: Prentice Hall, 1996.-
pp.29. – pp. 80 – 81

9. HOLMAN, J. P. Transferencia de Calor. 7ma.ed. México: Continental, S.A, 1996.
- pp. 120
10. VALENZUELA, M. R. Apuntes de Transferencia de Calor. Riobamba: 2003. (doc)
- pp. 90 – 92
11. DONALD, Q. KERN. Procesos de transferencia de calor. 1ra.ed. México:
Continental S.A, 1999 – pp. 453
12. RODRIGUEZ, J.A. Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones a la
Ingeniería. Ecuador: 2005. – pp. 663 – 667
13. RANALD, V. G. Mecánica de los fluidos e Hidráulica. Colombia: McGraw – hill,
1998. – pp. 360 – 368
14. KARLEKAR, V. M. Transferencia de Calor. 7ma.ed. México: Prentice Hall, 1996.
- pp. 571
15. ZABALA, G. Termodinámica II. Riobamba: 2002. (doc). – pp. 75
16. MEGYESY, E. Manual de recipientes a presión Diseño y Cálculo. 3ra.ed. México:
1990. – pp. 10

BIBLIOGRAFÍA.

- ARANDA, ALEX. Reconstrucción y Rediseño de un equipo para extracción de esencias aromáticas vegetales. Riobamba: ESPOCH, 1998 (tesis)
- CENGEL, Y. A. Termodinámica Aplicada a Ingeniería. 5ta.ed. México: 2001.
- CRANE, S. Flujo de Fluidos en Válvulas y Accesorios. 3ra.ed. México: McGraw-Hill, 1996.
- DONALD, Q. KERN. Procesos de Transferencia de calor. 1ra.ed. México: Continental S.A, 1999
- HOLMAN, J. P. Transferencia de Calor. 7ma.ed. México: Continental, S.A, 1996.
- INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta.ed. México: 2008.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Normas INEN. Zabala O. Ecuador: 1981
- KARLEKAR, V. M. Transferencia de Calor. 7ma.ed. México: Prentice Hall, 1996.
- MARXS, L. Manual del Ingeniero Mecánico. 3ra.ed. México: McGraw – Hill, 1995
- MEGYESY, E. Manual de recipientes a presión Diseño y Cálculo. 3ra.ed. México: 1990
- MOTT, R. L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ta.ed. México: Prentice Hall, 1988
- PAZMIÑO, T. Diseño y Construcción de un Trapiche. Riobamba: ESPOCH, 2008.
(tesis).

RANALD, V. G. Mecánica de los fluidos e Hidráulica. Colombia: McGraw – hill, 1998.

RODRIGUEZ, J.A. Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones a la
Ingeniería. Ecuador: 2005.

SALDARRIAGA, Diseño de Tuberías, 3ra.ed, Colombia, McGraw-Hill, 1998.

SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS. NORMAS ASME.
Sección VIII. E.E.U.U: 1990.

SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA. CODIGOS AWS. 6ta.ed. E.E.U.U:
2007

SCHAUM, P. Problemas Resueltos de mecánica de Fluidos. España: McGraw-Hill,
2005.

VALENZUELA, M. R. Apuntes de Transferencia de Calor. Riobamba: 2003. (doc)

ZABALA, G. Termodinámica II. Riobamba: 2002. (doc)

ZABALA, G. Apuntes de Combustión. Riobamba: 2002. (doc)

LINKOGRAFÍA

ALAMBIQUES.

http://www.alambiques.com/tecnicas_destilacion.htm

2009-01-15.

FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.

<http://www.verema.com/articulos/500449-levaduras-y-la-fermentacion->

2009-02-08

FERMENTACIÓN LÁCTICA.

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n_l%C3%A1ctica

2009-02-10

FERMENTACIÓN CASERA.

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Fermenta_alcoh.C3.B3lica_casera

2009-02-15

FORMACIÓN DE LEVADURAS.

<http://usuarios.lycos.es/nachodiscosweb/articulo/levadura.htm>

2009-01-08

MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL.

<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Alcohol>

2009-01-20

METABOLISMO DE LAS LEVADURAS.

<http://www.biologia.edu.ar/metabolismo/met4.htm>

2009-01-25

PROCESOS DE FERMENTACIÓN.

<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n>

2009-02-01

QUE ES EL ETANOL.

http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Cadena_Etanol.pdf

2009-01-20

QUE ES LA FERMENTACIÓN.

http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n_alcoh%C3%B3lica

2009-02-01

TIPOS DE LAVADURAS.

<http://www.alezamora.galeon.com/aficiones1893538.html>

2009-02-10