



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EVAPORADOR DE
SIMPLE EFECTO PARA CONCENTRAR VINAZA EN LA
EMPRESA SODERAL S.A”

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

NANDY MARICELA GAVILÁNEZ MALDONADO
ANGELA MARISOL HERNÁNDEZ QUINATO A

RIOBAMBA - ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

A **Dios** porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mis padres, **Elena Maldonado y Luis Gaviláñez**, que siempre me han dado su apoyo incondicional y a quienes debo este triunfo profesional, por todo su esfuerzo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento. A mi hermano **Byron Gaviláñez** por todo su cariño y ánimo.

A la Empresa SODERAL S.A por su acogida. Al Ing. Camilo Molina quien hizo posible la realización de este proyecto.

Gracias Al Ing. Mario Villacres y al Ing. Gonzalo Sánchez por compartir sus conocimientos y por su orientación con profesionalismo ético a lo largo de la carrera.

Nandy Gaviláñez

Agradezco a **Dios** por la vida y sus bendiciones dadas en el transcurso de mi camino estudiantil, como también a mis padres **Miguel Angel Hernández y Angélica Quinatoa** gracias por su apoyo incondicional, el ejemplo que han sabido ser y por el amor brindado a cada momento. Ustedes mi fortaleza.

Agradezco la ayuda que me fue brindada para que sea posible este proyecto de tesis al Ing. Camilo Molina como también al Sr. Johnny Tumalle. Gracias al Ing. Mario Villacrés, y al Ing. Gonzalo Sánchez por compartir sus conocimientos en mi formación profesional.

Marisol Hernández

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres **Elena Maldonado y Luis Gavilánez** por su motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien pero sobre todo gracias por su amor, que Diosito los bendiga siempre.

A mi esposo **Jonatan Andrade** gracias mi amor, por su paciencia y comprensión quien ha sido la persona que ha estado a mi lado dándome su amor, cariño, estímulo y apoyo constante para seguir adelante y cumplir otra etapa de mi vida.

A mi bebe **Ismael Alejandro** por ser mi inspiración y fortaleza en todo el trayecto de este trabajo.

Nandy Gavilánez

Dedicado el presente trabajo a mis padres **Miguel Angel Hernández y Angélica Quinatoa**, ustedes quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para educarme, con amor y paciencia, como también a mis hermanos quienes día a día me inculcaron principios y valores para haber llegado a ser la persona que soy.

Ustedes pilar fundamental en mi vida para alcanzar este logro tan anhelado, por ustedes y para ustedes mi familia **Hernández Quinatoa**.

Marisol Hernández

HOJA DE FIRMAS

Nombre	Firma	Fecha
Dr. Silvio Alvarez Decano de la Facultad de Ciencias	-----	-----
Ing. Mario Villacrés Director de la Escuela de Ingeniería Química	-----	-----
Ing. Mario Villacrés Director de Tesis	-----	-----
Ing. Gonzalo Sánchez Miembro del Tribunal	-----	-----
Sr. Carlos E. Rodríguez Director de Centro de Documentación	-----	-----

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
ANTECEDENTES.....	XIX
JUSTIFICACIÓN.....	XX
OBJETIVOS.....	XXI
GENERAL.....	XXI
ESPECÍFICOS.....	XXI
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	24
1.1 VINAZA.....	24
1.1.1 TIPOS DE VINAZA.....	25
1.1.2 COMPOSICIÓN.....	25
1.1.3 CONCENTRACIÓN DE VINAZA.....	26
1.1.4 EMPLEO DE LAS VINAZAS.....	27
1.1.5 PRODUCCIÓN.....	30
1.2 EVAPORACIÓN.....	32
1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL LÍQUIDO.....	33
1.2.2 CONCENTRACIÓN.....	33
1.2.3 FORMACIÓN DE ESPUMA.....	33

1.2.4	SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA	33
1.2.5	INCRUSTACIONES	34
1.2.6	VISCOSIDAD.....	34
1.2.7	FORMACIÓN DE COSTRAS	34
1.3	EVAPORADOR	34
1.3.1	OPERACIÓN DE SIMPLE Y MÚLTIPLE EFECTO	35
1.3.2	CLASIFICACIÓN DE LOS EVAPORADORES.....	35
1.3.3	EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO	36
1.3.4	ECONOMÍA DE UN EVAPORADOR SIMPLE.....	37
1.3.5	APLICACIONES DE LA EVAPORACIÓN.....	37
1.3.6	SERPENTÍN.....	38
1.3.7	AGITACIÓN.....	38
1.3.8	CONSUMO DE POTENCIA DE UN AGITADOR.....	43
1.4	DISEÑO DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO CON SERPENTÍN	44
1.4.1	PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE EVAPORADORES.....	44
1.4.2	DISEÑO DEL TANQUE.....	46
1.4.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN.....	47
1.4.4	DISEÑO DEL SERPENTÍN	48
1.4.5	BALANCE DE MASA GLOBAL.....	49
1.4.6	BALANCE DE ENERGÍA	50
1.4.7	GRADIENTE DE TEMPERATURA.....	51
1.4.8	ÁREA DE TRANSFERENCIA.....	51
1.4.9	CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN	52
1.4.10	FLUJO DE CALOR.....	52
1.4.11	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR	52
1.4.12	RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR.....	53

CAPITULO II

2.	PARTE EXPERIMENTAL	55
2.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	55
2.1.1	MÉTODOS.....	55

2.1.2	TÉCNICAS	56
2.2	DIAGNÓSTICO	60
2.3	DATOS ADICIONALES	61
2.4	DATOS EXPERIMENTALES.....	61
2.5	DATOS DEL SIMULADOR DEL EQUIPO	62
2.5.1	DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO	62

CAPITULO III

3.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	66
3.1	CÁLCULOS DE INGENIERÍA.....	66
3.1.1	DISEÑO DEL TANQUE.....	66
3.1.2	CÁLCULO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN.....	68
3.1.3	CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL SISTEMA DE AGITACIÓN.....	69
3.1.4	DISEÑO DEL SERPENTÍN	72
3.1.5	BALANCE DE MASA GLOBAL.....	73
3.1.6	BALANCE DE ENERGÍA	73
3.1.7	GRADIENTE DE TEMPERATURA.....	74
3.1.8	ÁREA DE TRANSFERENCIA	74
3.1.9	CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN	74
3.1.10	FLUJO DE CALOR.....	75
3.1.11	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR	75
3.1.12	RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR.....	75
3.2	DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	76
3.3	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	77
3.4	REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO.....	78
3.4.1	RECURSOS HUMANOS.....	78
3.4.2	RECURSOS MATERIALES	78
3.4.3	RECURSOS FINANCIEROS.....	79
3.4.4	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	79
3.5	RESULTADOS.....	80

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 87

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 90

5.1 CONCLUSIONES 90

5.2 RECOMENDACIONES..... 91

BIBLIOGRAFÍA 92

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DQO= Demanda Química de Oxígeno en la vinaza

°Brix= Grados de concentración de la vinaza

U = coeficiente total de transferencia de calor

Ts = temperatura del vapor que se condensa

T₁ = es el punto de ebullición del líquido

X_w= Es la fracción en peso de agua

C_w= Es la capacidad calorífica del agua

X_s= Es la fracción masa de sólidos

C_s= calor específico de los sólidos

r= Radio del cilindro

h= Altura del cilindro

h_T = altura total del tanque

b= altura desde la base al rodete

L_r = Longitud del eje

h_{Ser} = Altura de la calandria de serpentines tomada desde la base del tanque.

h_s = Altura del sustrato

∅_{Ser} = Diámetro de cada anillo del Serpentin

∅ = Diámetro del tanque

L_{Ser} = Longitud del Serpentin

L_{Anillos} = Longitud de los anillos del serpentín

L_{EntVap} = Longitud del serpentín a la entrada del vapor

L_{SalCon} = Longitud del serpentín a la salida del condensado

F = Corriente de alimentación

C = Corriente del concentrado

E = Corriente del evaporado

X_F = Fracción molar de la alimentación

X_C = Fracción molar del concentrado

X_E = Fracción molar del evaporado

W = Corriente de vapor de la cámara de calefacción

Q_p = Pérdidas de calor

h_F = Entalpia de la alimentación

H_W = Entalpia del vapor en la cámara de calefacción

H_E = Entalpia del evaporado

h_C = Entalpia del concentrado

h_W = Entalpia del condensado

λ_w = Calor latente de vaporización

λ_e = Calor latente de evaporación

cp_F = Capacidad calorífica de la alimentación

t_s = Temperatura inicial

t_f = Temperatura final

ΔT = Gradiente de temperatura

T_{CC} = Temperatura cámara de calefacción

T_{CE} = Temperatura cámara de ebullición

A = área de transferencia de calor

Q = Flujo de calor

R = Rendimiento de evaporación

P_1 = Peso del tubo con el sólido

P_2 = Peso del tubo vacío

SV = Sólidos Disueltos de la vinaza

V = Volumen del factor de seguridad

f_s = Factor de seguridad

V_r = Volumen real de trabajo

V_T = Volumen total del cilindro

N = Revoluciones por minuto.

ϕ_B = Diámetro del rodete

H_B = longitud de la hélice

N_{FR} = Número de Froude

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Pp.
1.1.2-1 Composición de vinaza según la materia usada para la producción de alcohol.....	4
2.3-1 Datos adicionales para el evaporador.....	39
2.4-1 Datos experimentales.....	39
2.5-1 Datos de laboratorio (volumen vs tiempo).....	40
2.5-2 Datos de laboratorio (tiempo vs brix).....	41
2.5-3 Datos de la vinaza diluida en el laboratorio.....	42
3.2-1 Dimensionamiento del reactor.....	54
3.3-1 Materiales de construcción del equipo.....	55
3.4.1-1 Determinación de los recursos humanos.....	56
3.4.2-1 Determinación de los recursos materiales.....	56
3.4.3-1 Determinación de los recursos financieros.....	57
3.4.4-2 Determinación de la fuente de financiamiento.....	57
3.5-1 Resultados obtenidos en la validación del equipo (tiempo vs °brix).....	58
3.5-2 Resultados obtenidos en la validación del equipo (tiempo vs brix).....	59
3.5-3 Resultados obtenidos en la validación del equipo (tiempo vs brix).....	60
3.5-4 Resultados obtenidos en la validación del equipo (Prueba 1).....	61

3.5-5 Resultados obtenidos en la validación del equipo(Prueba 2).....	62
3.5-6 Resultados obtenidos en la validación del equipo(Prueba 3).....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp.
1-1.4.4-1 Pool de microorganismos participantes para generar energía.....	7
1.3-1 Diagrama de un evaporador.....	13
1.3.3-1 Diagrama simplificado de un evaporador simple.....	14
1.3.7.1.1-1 Tipo de agitadores de paleta.....	18
1.3.7.1.2-1 Tipo de agitadores de turbina.....	19
1.3.7.1.3-1 Tipo de agitadores de hélice.....	20
2.5-1 Gráfica Volumen vs Tiempo.....	40
2.5-2 Gráfica Tiempo vs °Brix.....	41
3.5-1 Gráfica Tiempo vs °Brix(Prueba 1).....	58
3.5-2 Gráfica Tiempo vs °Brix(Prueba 2).....	59
3.5-3 Gráfica Tiempo vs °Brix(Prueba 3).....	60
3.5-4 Variables controladas durante el proceso de evaporación(Prueba 1).....	61
3.5-5 Variables controladas durante el proceso de evaporación(Prueba 2).....	62
3.5-6 Variables controladas durante el proceso de evaporación(Prueba 3).....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		Pp.
I	Tabla de Vapor Saturado.....	97
II	Grafica para Obtener el Número de Potencia.....	98
III	Diseño del Agitador.....	99
IV	Diseño del Agitador.....	100
V	Diseño del Serpentín.....	101
VI	Diseño del Serpentín.....	102
VII	Diseño del Tanque.....	103
VIII	Diseño del Tanque.....	104
IX	Diseño del Motor.....	105
X	Diseño del Motor.....	106
XI	Diseño del Soporte.....	107
XII	Diseño del Soporte.....	108
XIII	Evaporador de Simple Efecto.....	109
XIV	Evaporador de Simple Efecto.....	110

RESUMEN

Se diseñó y construyó un evaporador de simple efecto para concentrar vinaza en la empresa SODERAL S.A. ubicada en el cantón Marcelino Maridueña de la provincia del Guayas.

En este proyecto se utilizó el método analítico, el cual nos permitió obtener datos de laboratorio de la empresa SODERAL para así poder realizar el diseño del equipo. Para la construcción se utilizó planchas de acero inoxidable 304 con las dimensiones calculadas dentro del diseño en donde su alimentación es de tipo batch y consta de un serpentín de acero inoxidable por el cual se envía vapor y una camisa de acero inoxidable que permite que no exista pérdidas durante el funcionamiento de dicho equipo. La capacidad del equipo es de 262.5 litros con una altura de 1.58 m y con un diámetro de 0.46 m

El equipo nos permite obtener vinaza con un Brix de 55° de concentración en un tiempo de 3 horas con una temperatura de 98°C y una presión de 10 psi. El tiempo que se utiliza nos permite ahorrar vapor de agua y minimizar costos para la empresa.

Las pruebas realizadas de validación del equipo se pudo concentrar la vinaza tomando en cuenta las variables inmersas en el proceso de evaporación que son el tiempo, la concentración, la temperatura, la presión las mismas que van hacer controladas durante el proceso industrial.

Concluimos que al realizar las pruebas de simulación en el laboratorio se debe tomar en cuenta lo importante que es la agitación constante para que no se derrame la vinaza al momento de hervir.

Recomendamos que la materia prima utilizada en este caso la vinaza diluida deba ser aquella que se encuentre en proceso instantáneo para que pueda ser concentrada sin que varíe sus propiedades físico-químicas.

ABSTRACT

A simple effect evaporator was designed and constructed to concentrate poor thin wine in the Enterprise SODERAL S.A. located in the canton Marcelino Maridueña of Guayas province.

In this project the analytical method was used which permitted to obtain lab data of the Enterprise SODERAL to carry out the equipment design. For the construction stainless steel sheets 304 with the dimensions calculated within the design where its feeding was batch type and consists of a stainless steel coil through which vapor is sent and a stainless steel case which permits no losses during the functioning of such an equipment. The equipment capacity is 262.5 l with an altitude of 1.58 m and 0.46 m diameter.

The equipment permits to obtain poor thin wine with a Brix of 55% concentration in three hours and with 98 °C temperature and 10 psi. The time used permits to save water vapor and minimize costs for the enterprise.

The equipment validation tests concentrated the poor thin wine taking into account the variables involved in the evaporation process which are time, concentration, temperature and pressure which are going to be controlled during the industrial process.

It is concluded that upon carrying out the simulation tests at the lab constant shaking must be taken into account which is very important so that the poor thin wine does not overflow at boiling.

It is recommended that the raw material used, in this case the diluted poor thin wine must be that in the instantaneous process to be concentrated without varying its physical and chemical properties.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos que permiten una constante innovación de los sistemas de producción en las diferentes áreas industriales; hace indispensable la actualización de los conocimientos, de tal manera que permitan aplicar los conocimientos adquiridos con el fin de concentrar vinaza.

Para lo cual, el presente trabajo tiene por objetivo la realización de un evaporador de simple efecto con la finalidad de concentrar vinaza y tratar de reducir los impactos ambientales que estos provocan.

El equipo de evaporación debe cumplir con todos los requerimientos necesarios para su implementación, es así que se realizará la determinación de las variables del proceso como: presión, temperatura, concentración, tiempo y una revisión del funcionamiento del evaporador; en base a este conocimiento, se podrá realizar el diseño de ingeniería para de esta forma poder validar el equipo.

Ante estos requerimientos, se ha visto la necesidad de desarrollar e implementar un evaporador de simple efecto para concentrar vinaza, como también de esta forma se podrá ayudar a los estudiantes a reforzar conocimientos teóricos impartidos en la institución.

ANTECEDENTES

La Sociedad de Destilación de Alcoholes S.A. fue creada en 1993 y constituye uno de los grupos productores de alcohol con más experiencia del Ecuador, ya que desde sus inicios utiliza un proceso tecnológico avanzado, manteniendo los más altos estándares de calidad en sus procesos lo que se refleja en sus productos terminados. A partir de la melaza entregada por el Ingenio San Carlos, SODERAL produce el mejor Alcohol Etílico Extra Neutro de 96G.L. En su afán de diversificar sus actividades, en enero de 2000 empezó la producción de Etanol Anhidro de 99.7G.L utilizando el innovador sistema de filtros moleculares. Los frutos del esfuerzo realizado para mantenerse fieles a su política de calidad se concretaron en agosto del 2001 cuando SODERAL obtuvo el certificado ISO 9001:2000 para la producción y comercialización de alcohol extra neutro y de etanol anhidro. SODERAL produce alcohol que cumple con todos los estándares y normas de calidad nacional e internacional.

La planta industrial está ubicada en Marcelino Maridueña, provincia del Guayas junto al Ingenio San Carlos a 67 km. de Guayaquil. Está instalada una destilería de columnas de cobre de origen con 32.000 litros de capacidad.

En 1999, se inició la instalación de una planta automática para la deshidratación del alcohol siendo la única en el Ecuador que utiliza filtros moleculares evitando así el uso de químicos nocivos.

Siendo la eficiencia uno de los principales objetivos, todo el proceso de producción se encuentra automatizado. Año tras año se realizan mejoras e inversiones para mantener al día con los avances tecnológicos.

Las áreas de almacenamiento y despacho de productos terminados son críticas para la satisfacción de los clientes y reciben toda la atención necesaria para entregar el mejor alcohol.

JUSTIFICACIÓN

La Sociedad de Destilación de Alcoholes S.A. (SODERAL) cuenta con proyectos a futuro de gran importancia, de tal manera que se ha visto la necesidad de adquirir un equipo piloto para concentrar vinaza, además aplicaciones reales con la tecnología que esté más acorde a la actualidad y permita al estudiante de la Escuela de Ingeniería Química estar al nivel de las exigencias del sector productivo de nuestro país que se encuentra en un proceso de adquisición y desarrollo tecnológico.

Dado que la Empresa no dispone con los suficientes recursos para la construcción del equipo, resulta conveniente que por medio de trabajos de investigación desarrollados por los estudiantes se implemente este equipo en dicha empresa, que permitirá a los mismos tener una mejor formación académica y profesional en esta importante área de Ingeniería Química.

Por medio de la operación de evaporación se podrá concentrar la vinaza sabiendo que esté en su mayoría contiene materia orgánica con alto porcentaje de contaminación que requiere tener un control constante para que de esta manera se pueda disminuir el impacto ambiental que este provoca.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar el diseño y construcción de un evaporador de simple efecto para concentrar vinaza en la empresa SODERAL S.A

ESPECÍFICOS

- Desarrollar pruebas de simulación para la concentración de vinaza.
- Identificar las Variables de Proceso inmersas en el proceso de evaporación.
- Elaborar el diseño de ingeniería para el evaporador simple (cálculos técnicos, dimensionamiento o capacidad y materiales).
- Conocer las principales características de la vinaza diluida como materia prima.
- Establecer las pruebas de validación del diseño de ingeniería.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 VINAZA

La vinaza es el subproducto líquido de la destilación del mosto en la fermentación del etanol, es de color café oscuro, con olor a miel, denso y viscoso. Su contacto con la piel no es peligroso. En caso de contacto directo con la mucosa de los ojos debe lavarse con abundante agua estéril.

En todos los casos en que se manipule se recomienda el uso de guantes y gafas de protección de ojos contra las salpicaduras.

La Vinaza es un material rico en materia orgánica. Su DQO puede estar entre 150 000 y 250 000 mg DQO/litro. Es por esto que debe evitarse su derrame sobre corrientes de agua a las cuales puede causar contaminación muy seria.

En todos los casos en que se maneje se deberán tomar las precauciones de tener tanques de contención secundaria.

Se la conoce con diferentes nominación tales como:

- Vinhaca
- Vinhoto
- Bottom stills
- Dunder
- Vinasse
- Bottom slops
- Waste distillery

En términos generales, la Vinaza tiene menos de 10% de sólidos fijos, más del 90% es agua. Los sólidos fijos que tiene la Vinaza, son orgánicos e inorgánicos, los orgánicos pueden usarse para generar energía y los inorgánicos como fertilizantes, ambos tienen valor comercial. Para aprovechar los sólidos fijos presentes en la Vinaza, primero que nada es necesario recuperar el agua y solamente después concentrar la Vinaza mínimo a 55% de sólidos, un producto que ya puede ser usado dando valor agregado.

1.1.1 TIPOS DE VINAZA

- Por la materia prima que la origina:

Melaza (o jugo, mieles o mezclas) de caña de azúcar

Melaza de remolacha

Melaza de agave

Maíz

Cebada

Mezclas mixtas de jugo y mieles

- Por la concentración de sólidos totales que contenga:

Vinaza diluida: 8 a 10% de sólidos totales

Vinaza semi concentrada: 20 a 30% de sólidos totales

Vinaza concentrada: 55 a 60% de sólidos totales

Vinaza sólida: 99 a 99.9 % de sólidos totales

1.1.2 COMPOSICIÓN

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña.

La vinaza, resultante de la destilación de melaza fermentada, tiene una composición elemental interesante y contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles.

Las vinazas, en general, contienen un gran contenido de materia orgánica y nutrientes como: nitrógeno, azufre y fósforo. También contienen una gran cantidad de potasio. Entre los compuestos orgánicos más importantes, están los alcoholes, ácidos orgánicos y aldehídos. Además, también contiene compuestos fenólicos recalcitrantes, como las melanoidinas, son ácidas.

En la siguiente tabla se mostrará la composición de vinaza según la materia usada para la producción de alcohol

Tabla 1.1.2-1

COMPOSICIÓN DE VINAZA SEGÚN LA MATERIA USADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL

CARACTERÍSTICAS	MIELES	JUGO	MEZCLAS
Ph	4.2-5.0	3.7-4.6	4.4±4.6
DBO (mg/l)	25000±60000	6000 - 16500	19800
DQO (mg/l)	65000±120000	15000-33000	45000
Sólidos Totales (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos Volátiles (mg/l)	60000	20000	40000
Nitrógeno (mg/l)	450-1610	150-700	480±710
Fosforo P ₂ O ₅ (mg/l)	180-290	10-210	9±200
Potasio (mg/l)	450-6100	130-1540	3340-4600
Relación C/N	16.0-16.3	19.7-21.1	16.4±16.43
Materia Orgánica (mg/l)	63400	19500	38000
Azucares Reductores (mg/l)	9500	7900	8300

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos71/vinazas-sustratos-fermentados-cana-azucar/vinazas-sustratos-fermentados-cana-azucar2.shtml>

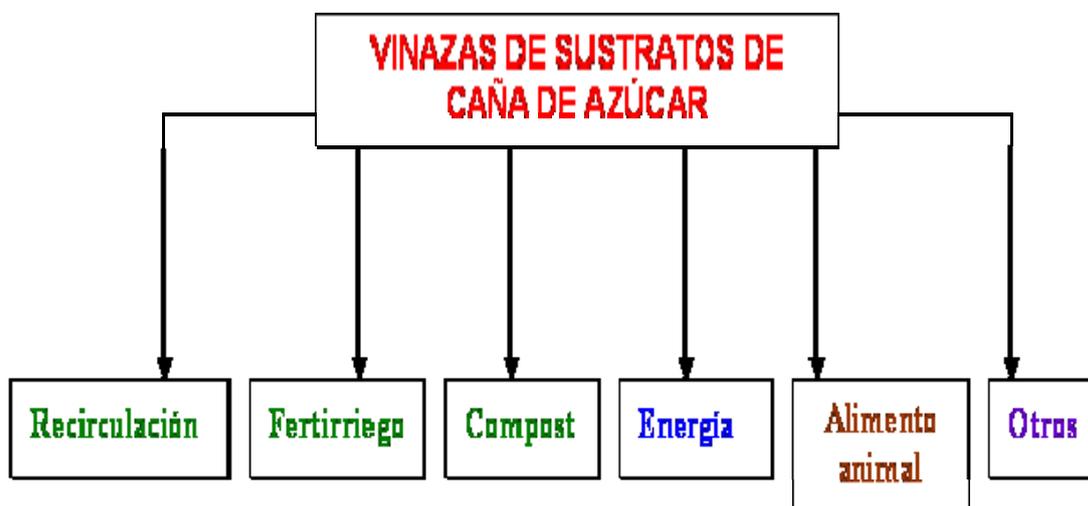
1.1.3 CONCENTRACIÓN DE VINAZA

No hay cosa más preciada por la humanidad que el agua, por lo tanto, para que un proceso sea sustentable, se debe recuperar el agua, no solamente que cumpla la norma para descarga, el agua debe ser suficientemente buena como para rehusar en la planta. La vinaza tiene más del 90% de agua y por lo tanto para concentrar la vinaza, lo primero que tenemos que hacer es recuperar el agua presente en la misma. El agua presente en la vinaza, puede recuperarse por medio de destilación o por

osmosis inversa y así obtener la concentración de la vinaza pero también se lo puede realizar por medio de la evaporación.

1.1.4 EMPLEO DE LAS VINAZAS

Aunque las vinazas que se concentran en diferentes lugares al 10%, 30%, 55% y 60% de ST se han colocado en este aspecto como combustible, no significa que se utilizan para este único propósito; sino, que debe precisarse que en el orden de utilizaciones de mayor a menor pueda enmarcarse en la secuencia siguiente: fertilización (el más empleado), sustrato para compost, producción de biogás y biosólidos, piensos, medio de cultivo para microorganismos, incineración, materiales de la construcción y agente plastificante. Aquí un esquema general de las principales utilizaciones de las vinazas.



1.1.4.1 RECIRCULACIÓN

Normalmente las vinazas originadas con tecnologías convencionales de fermentación alcohólica, están en el orden de 12 a 15 litros por cada litro de etanol a 1000 Gay Lussac (G.L.), y por lo tanto es una industria gran consumidora de agua. A los efectos de solucionar entre otros este problema, es práctica común la recirculación de vinazas al proceso fermentativo, cuya viabilidad es factible a partir de que el sustrato de caña utilizado sea de alta concentración, toda vez que con jugos de caña no existe esta posibilidad al no requerir dilución.

Es por ello que resulta aplicable en destilerías de etanol que fermenten melazas, mieles y/o meladura de caña. No obstante, es al fin y al cabo una alternativa

tecnológica de empleo útil de las vinazas con sustratos de caña concentrados, que ahorra agua y reduce el riesgo de que se conviertan las mismas en un residual líquido agresivo al medio ambiente.

1.1.4.2 FERTIRRIEGO

Utilización más ampliamente difundida de las vinazas desde mediados del siglo XX, que aparte del sustancial ahorro de agua que origina en el regadío de la caña donde son empleadas; aporta nitrógeno (N_2 que se señalará por N), fósforo (P_2O_5 que se designará por P) y potasio (K_2O que se representará por K) que sustituye fertilizantes químicos de formulación NPK.

1.1.4.3 COMPOST

Las vinazas como tales no son aptas directamente para producir compost, sino, que se incorpora como uno de los componentes nutritivos.

Entre otras posibles formulaciones, este rico fertilizante orgánico está compuesto de cachaza, bagazo, cenizas de las calderas que queman bagazo, nutrientes y vinazas. El compostaje ocurre de forma espontánea en la naturaleza por la descomposición de la materia orgánica mediante degradación biológica, hasta la formación natural del humus, que favorece notablemente el restablecimiento de la fertilidad de los suelos. Biotecnológicamente mediante un proceso de fermentación con microorganismos inoculados con excretas animales o cultivos mixtos desarrollados, se transforma en una fuente de C, N, P y K muy buena para los suelos de cualquier cultivo; de allí su amplia utilización en los canchales de la agricultura urbana en Cuba. Este proceso ocurre en 60 a 120 días.

Se debe señalar que para utilizar vinazas en el compost, hay un grupo muy variado de formulaciones que utilizan tanto vinazas directa como concentradas a 10%, 30%, 55% y 60% de sólidos totales. El compostaje con vinazas, ha facilitado el desarrollo de la producción limpia del bioetanol.

1.1.4.4 ENERGÍA

La utilización de las vinazas como fuente de Carbón energético, tiene dos vertientes principales, su concentración y combustión en calderas de vapor para generar electricidad entre otros, y como sustrato para la producción de biogás.

También ha sido objeto de ensayos con resultados promisorios la digestión anaerobia en plantas para producir biogás y que puede utilizarse como fuente de energía en la

caldera de la propia destilería, con un ahorro significativo del combustible convencional; el lodo residual puede emplearse como alimento animal o como biofertilizante.

La vinaza como combustible está siendo utilizada con el propósito de generar vapor para cogenerar electricidad y utilizarlo en el proceso tecnológico. Un claro ejemplo lo tenemos en Ecuador, la empresa CODANA ubicada en el cantón Milagro esta siendo uso de vinaza para generar biogas para sus calderas, así reduciendo la contaminación ambiental.

Las vinazas directas han sido tradicionalmente un sustrato que transformado biológicamente origina el biogás, mezcla de varios gases donde predomina el metano (CH₄) que es el combustible. Ello se origina y escapa a la atmósfera en las lagunas de oxidación

Este proceso ocurre con diferentes microorganismos en tres etapas definidas:

- Acidogénesis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

Las fotos que se muestran ilustran el pool de microorganismos participantes

FIGURA 1-1.4.4-1

Pool de microorganismos participantes para generar energía.



El CH₄ es más de 20 veces favorecedor del calentamiento global que el CO₂, de allí la fuerte política de eliminarlas al menos en Cuba, mediante un programa inversionista en ejecución.

1.1.4.5 ALIMENTO ANIMAL

Después del fertirriego, es la segunda mayor utilización de las vinazas en Cuba que tiene varias vertientes: consumo directo o concentrada por animales poligástricos y

monogástricos y como sustratos para producir levadura torula forrajera. En otros países de Centro y Sur América, existe una gama de utilizaciones mayores.

Desde finales de la década del 60 del siglo pasado, en el ICIDCA se hicieron investigaciones a los efectos de utilizar vinazas de destilerías, como sustrato para producir levadura forrajera torula; que en la década del 80 llegaron hasta pruebas demostrativas en dos plantas industriales donde se constató su viabilidad técnico económica. De estas experiencias acumuladas, se inició en Cuba el rediseño y reubicación al lado de destilerías, de plantas de levadura torula europeas adquiridas e instaladas en la década del 70, de las cuales existen tres en funcionamiento.

1.1.4.6 OTROS

Con anterioridad se hizo referencia a la utilización de las vinazas como componente de medios basales para el cultivo de microorganismos, y en la construcción entre otros.

Atenido a la memoria histórica, en la década del 50 del siglo pasado en varias oportunidades al menos en el poblado de Tuinucú de Sancti Spíritus, las vinazas de la destilería Paraíso fueron rociadas superficialmente en las calles de tierra y terraplenes, que una vez que impregnaban la misma, se solidificaban aunque no alcanzaba la dureza y característica del asfalto. Posteriormente con el asfaltado de las vías se abandonó esta práctica.

Experimentos más recientes demostraron en el mismo lugar, la factibilidad técnico y económica de su utilización como agente fluidificante de pastas crudas de cemento, en una fábrica de este material de la construcción situada a 12 km, con significativos ahorros de agua. Otros proyectos con innovaciones tecnológicas realizadas en el Valle del Cauca en Colombia, han permitido la obtención de las vinazas en polvo con una gama amplia de utilizaciones en la agricultura y la industria; que comprende entre otros, las de complejo polimérico fluidificante en la producción de concreto para la construcción, con sustanciales ahorros de agua similar al anterior.

1.1.5 PRODUCCIÓN

Hay 3 materias primas para producir etanol

- a) azúcares
- b) almidones
- c) celulosa

El etanol producido a partir de azúcares tiene varias etapas:

- Adecuación de la materia prima
- Fermentación
- Destilación
- Tratamiento del efluente.

En la adecuación de la materia prima se diluye con agua, se añaden nutrientes, se ajusta la temperatura y el pH.

En la etapa de fermentación, el sustrato preparado se pone en contacto con algún tipo de levadura, generalmente *Sacharomyces cerevisiae* y la transformación de los azúcares a gas carbónico y etanol ocurre en un periodo de unas 24 horas. El gas carbónico se recupera en forma de gas. El líquido se denomina vino o mosto. Este es destilado en columnas de destilación.

Hay generalmente dos o tres pasos de destilación, dependiendo de la pureza que se requiera del etanol. En el primer paso de destilación, denominado *despojamiento*, se separa el etanol de los sólidos remanentes de la fermentación (orgánicos e inorgánicos, solubles e insolubles) generando una solución de etanol en agua al 50% v/v y un residuo que sale por el fondo de la columna denominado *vinaza*. Hay un segundo paso de destilación denominado *rectificación* en el que se alimenta la solución de etanol al 50% v/v y se genera etanol en el punto de azeotropo de la mezcla, 96.5% v/v y se retiran las impurezas volátiles que contaminan el etanol denominadas *flemazas*.

Cuando el etanol es producido a partir de almidones, la etapa de adecuación de la materia prima requiere que el almidón sea transformado en azúcar antes de proceder a la etapa de fermentación. Igual sucede en el caso de usar celulosa. El procedimiento de adecuación de la materia prima requiere que la celulosa se desdoble en azúcares antes de pasar a la fermentación.

En la etapa de tratamiento del efluente, la vinaza debe ser sometida a algún tratamiento que permite disponerla adecuadamente o tratarla para poder ser arrojada a una fuente de agua adecuada, ya que de lo contrario, representa un riesgo ambiental.

Cabe señalar que por cada litro de etanol se producen, en promedio, 13 litros de vinazas, por lo que es muy importante darles el tratamiento adecuado a este residuo.

1.2 EVAPORACIÓN

El objetivo de la evaporación es concentrar una solución consistente en un soluto no volátil y un solvente volátil. En la mayor parte de las evaporaciones, el solvente es el agua. La evaporación se realiza vaporizando una parte del solvente para producir una solución concentrada.



La evaporación difiere del secado en que el residuo es un líquido (a veces altamente viscoso) en vez de un sólido; difiere de la destilación en la que el vapor es generalmente un solo componente y, aun cuando el vapor sea una mezcla, en la evaporación no se intenta separar el vapor en fracciones; difiere de la cristalización en la que su interés reside en concentrar una solución y no en formar cristales.

En la evaporación por lo general, el producto valioso es el líquido concentrado mientras que el vapor se condensa y se desecha. Sin embargo, en un caso específico es probable que ocurra lo contrario. El agua mineral se evapora con frecuencia a fin de obtener un producto exento de sólidos para la alimentación de calderas, para procesos con requerimientos especiales o para el consumo humano. Esta técnica se conoce con frecuencia con el nombre de destilación de agua, pero técnicamente es evaporación. Se han desarrollado procesos de evaporación a gran escala que se utilizan para la recuperación de agua potable a partir de agua de mar. En este caso, el agua condensada es el producto deseado. Sólo se recupera una fracción del agua total contenida en la alimentación, mientras que el resto se devuelve al mar.

Los equipos destinados para este fin se denominan evaporadores y están formados esencialmente por un intercambiador de calor encerrado en una carcasa, el cual sirve como medio para transmitir calor. Este calor eleva la temperatura del producto desde su temperatura inicial hasta la temperatura de ebullición. Estos equipos constan además de una zona de separación entre la fase líquido/vapor, en donde los vapores

son condensados, o se reutilizan como medio calefactor para una siguiente etapa en el caso de un evaporador de múltiple efecto.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL LÍQUIDO

La solución práctica a un problema de evaporación está en estrecha relación con el carácter del líquido que se concentra. Es la gran variedad de características de líquidos (que demanda criterio y experiencia en el diseño y operación de evaporadores) lo que amplía esta operación desde una sencilla transferencia de calor hasta un arte separado.

A continuación se comentan algunas de las propiedades más importantes de los líquidos que se evaporan.

1.2.2 CONCENTRACIÓN

Aunque la solución de alimentación que entra como líquido a un evaporador puede estar suficientemente diluida teniendo mucha de las propiedades físicas del agua, a medida que aumenta la concentración la solución adquiere cada vez un carácter más individualista. La densidad y la viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta que la solución se transforme en saturada o el líquido se vuelva demasiado viscoso para una transferencia de calor adecuada. La ebullición continuada de una solución saturada da lugar a la formación de cristales, que es preciso separar, pues de lo contrario los tubos se obstruyen. La temperatura de ebullición de la solución puede también aumentar en forma considerable al aumentar el contenido de sólidos, de modo que la temperatura de ebullición de una solución concentrada puede ser mucho mayor que la del agua a la misma presión.

1.2.3 FORMACIÓN DE ESPUMA

Algunos materiales, en especial las sustancias orgánicas (alimentos y ácidos grasos) y soluciones cáusticas, forman espuma durante la vaporización. Una espuma estable acompaña al vapor que sale del evaporador, causando un fuerte arrastre.

1.2.4 SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA

Muchos procesos químicos finos, productos farmacéuticos y alimentos se deterioran cuando se calientan a temperaturas moderadas durante tiempos relativamente cortos. En la concentración de estos materiales se necesitan técnicas especiales para reducir la

temperatura del líquido como el tiempo de calentamiento. La presión y la temperatura se relacionan directamente. A mayor presión, mayor es la temperatura de evaporación.

1.2.5 INCRUSTACIONES

Algunas soluciones depositan costras sobre la superficie de calentamiento. En estos casos, el coeficiente global disminuye progresivamente hasta que llega un momento en que es preciso interrumpir la operación del evaporador y limpiar los tubos.

1.2.6 VISCOSIDAD

Los líquidos muy viscosos tienden a reducir las velocidades de circulación y a reducir los coeficientes de transferencia de calor. Puesto que, en general, la viscosidad de una sustancia sometida a evaporación aumenta con la concentración, es de esperar que a medida que discurre la evaporación descienda la velocidad de transferencia de calor.

1.2.7 FORMACIÓN DE COSTRAS

Algunas disoluciones depositan costras sobre las superficies de calefacción. En estos casos el coeficiente global disminuye progresivamente hasta que llega un momento en que es preciso interrumpir la operación y limpiar los tubos. Cuando las costras son duras e insolubles, la limpieza resulta difícil y costosa.

1.3 EVAPORADOR

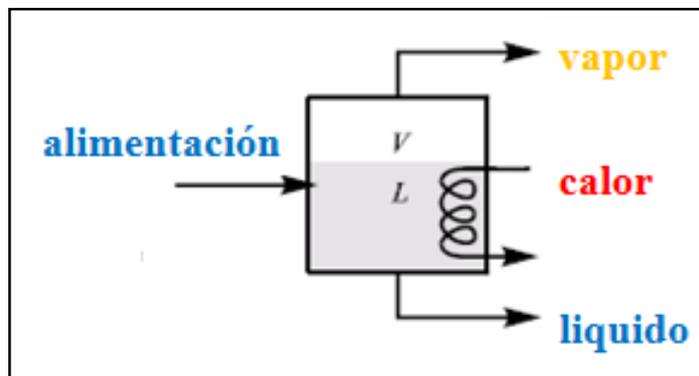
Se conoce por evaporador al intercambiador de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo. Su nombre proviene del cambio de estado sufrido por el refrigerante al recibir esta energía, luego de una brusca expansión que reduce su temperatura. Durante el proceso de evaporación, el fluido pasa del estado líquido al gaseoso.

Un evaporador es capaz de hervir la solución y un dispositivo para separar la fase vapor del líquido en ebullición, se producen cambios de fase y pueden darse otros fenómenos asociados a la concentración de una disolución, como la formación de sólidos, la descomposición de sustancias, etc.

Los evaporadores se fabrican en muy diversos tamaños y con distintas disposiciones. Estos deben funcionar siempre al vacío parcial, pues esto reduce la temperatura de ebullición en la cámara de evaporación.

FIGURA 1.3-1

Diagrama de un evaporador



1.3.1 OPERACIÓN DE SIMPLE Y MÚLTIPLE EFECTO

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. Excepto en algunos casos de evaporadores de tubos horizontales, el material a evaporarse fluye dentro de los tubos. Generalmente el vapor es de baja presión, inferior a 3 atm absolutas, y con frecuencia el líquido que hierve se encuentra a un vacío moderado, con presión tan baja hasta de 0.05 atm absolutas. Al reducir la temperatura de ebullición del líquido, aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición y, por lo tanto, aumenta la velocidad de transferencia de calor en el evaporador.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EVAPORADORES

1.3.2.1 EVAPORACIÓN DE SIMPLE EFECTO

Es un método sencillo y utiliza eficazmente el vapor; se realiza cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y desecha. Para evaporar 1 Kg de agua de la solución se requieren de 1 a 1.3 Kg de vapor.

1.3.2.2 EVAPORACIÓN DE DOBLE EFECTO

Se realiza si el vapor procede de uno de los evaporadores se introduce como alimentación en el elemento calefactor de un segundo evaporador, y el vapor procedente de éste se envía al condensador.

1.3.2.3 EVAPORACIÓN DE MÚLTIPLE EFECTO

Se realiza cuando el calor de vapor de agua original es reutilizado en el segundo efecto, y la evaporación obtenida por unidad de masa del vapor de agua de alimentación al primer efecto es aproximadamente el doble. Es posible añadir efectos de la misma forma. El método general para aumentar la evaporación por kilogramo de vapor de agua utiliza una serie de evaporadores entre el suministro de vapor y el condensador.

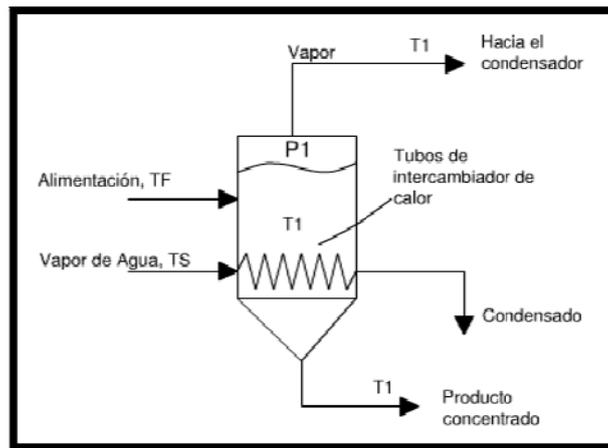
1.3.3 EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO

El evaporador de simple efecto es el proceso donde se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y desecha. Este método recibe el nombre de evaporación.

El siguiente diagrama simplificado nos muestra un evaporador de simple efecto:

FIGURA 1.3.3-1

Diagrama simplificado de un evaporador simple



Cuando la solución a ser evaporada es diluida como el agua, aproximadamente 1 Kg de vapor condensado evaporara aproximadamente 1 Kg de vapor. Esto será cierto si la temperatura de entrada (T_f) es cercana a la temperatura de ebullición. En este caso, es la temperatura de ebullición de la solución a la presión P_1 .

En este caso la ecuación general de diseño es:

Q = velocidad de transferencia de calor en W, (btu/h)

U = coeficiente total de transferencia de calor en $W/m^2 \text{ } ^\circ K$, (btu/h $ft^2 \text{ } ^\circ F$)

A = área de transferencia de calor en m^2 , (ft^2)

T_s = temperatura del vapor que se condensa en $^\circ K$ ($^\circ F$)

T_1 = es el punto de ebullición del líquido en $^\circ K$ ($^\circ F$)

Los evaporadores de efecto simple se usan con frecuencia cuando la capacidad necesaria de operación es relativamente pequeña o el costo del vapor es relativamente barato comparado con el costo del evaporador. Sin embargo, la operación de gran capacidad, al usar más de un efecto, reducirá de manera significativa los costos del vapor.

1.3.4 ECONOMÍA DE UN EVAPORADOR SIMPLE

El principal factor que afecta a la economía de un sistema de evaporación es el número de efectos. Mediante un diseño adecuado, la entalpía del vapor vivo que llega al primer efecto se puede utilizar una o más veces, dependiendo del número de efectos de que conste el evaporador.

La economía también depende de la temperatura de la alimentación. Si dicha temperatura es inferior a la de ebullición en el primer efecto, una parte de la entalpía de vaporización del vapor vivo se utiliza para calentar la alimentación y solamente queda la fracción restante para vaporización. Si la alimentación está a una temperatura superior a la de ebullición, la vaporización súbita que se produce proporciona una evaporación adicional sobre la originada por la entalpía de vaporización del vapor vivo.

Desde el punto de vista cuantitativo, ambas, economía y capacidad de un evaporador simple, se calculan mediante los balances de materia y energía, y la ecuación de velocidad de flujo de calor

1.3.5 APLICACIONES DE LA EVAPORACIÓN

Entre las aplicaciones de la evaporación más comunes están en la industria alimenticia y lácteas para la producción de productos en polvo, también son utilizados para remover agua del producto previo a otros procesos como secado en spray en el que se pulveriza una sustancia (usualmente líquida o semilíquida) en un recinto metálico que

atraviesa durante un instante muy corto y por el que circula gas caliente a alta temperatura. Esto evita la degradación porque el secado es casi instantáneo y permite la evaporación de agua o líquidos.

1.3.6 SERPENTÍN

Se denomina serpentín o serpentina a un tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar vapores provenientes de la destilación en un calderín y así condensarlos en forma líquida. Suele ser de vidrio, cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente.

Los serpentines se usan desde la antigüedad en la destilación de bebidas alcohólicas, aunque en la actualidad cualquier proceso de refinado de crudos u obtención de un producto químico puede utilizar un serpentín, bien para enfriar, bien para calentar líquidos o gases.

Un evaporador de serpentín es una Carcasa cilíndrica por cuyo interior pasa el vapor en serpentines. Es importante, pues, realizar un estudio detallado del proceso, para saber qué evaporador elegir.

1.3.7 AGITACIÓN

El mezclado y/o agitación de líquidos miscibles o de sólidos en líquidos se efectúa con el objeto de lograr una distribución uniforme de los componentes entre sí por medio del flujo. Dicho flujo es producido por medios mecánicos generalmente cuando se mezclan líquidos miscibles o sólidos en líquidos se puede lograr un mezclado íntimo, pero con líquidos inmiscibles y materiales muy viscosos o pastosos el grado de mezclado logrado es menor.

La eficiencia del proceso de mezclado depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes. Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración del tanque de mezclado.

Mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como un fluido y un sólido pulverizado o dos fluidos, y lograr que ambas fases se distribuyan al azar entre sí.

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

Los objetivos de la agitación son:

- Mezcla de dos líquidos miscibles (ej.: alcohol y agua)
- Disolución de sólidos en líquido (ej.: azúcar y agua)
- Mejorar la transferencia de calor (ej. ,en calentamiento o enfriamiento)
- Dispersión de un gas en un líquido (ej., oxígeno en caldo de fermentación)
- Dispersión de partículas finas en un líquido
- Dispersión de dos fases no miscibles (ej., grasa en la leche)

1.3.7.1 TIPOS DE AGITADORES

Los agitadores se dividen en dos clases:

- Los que generan corrientes paralelas al eje del agitador llamados agitadores de flujo axial.
- Los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial llamados agitadores de flujo radial.

Los tres tipos principales de agitadores son:

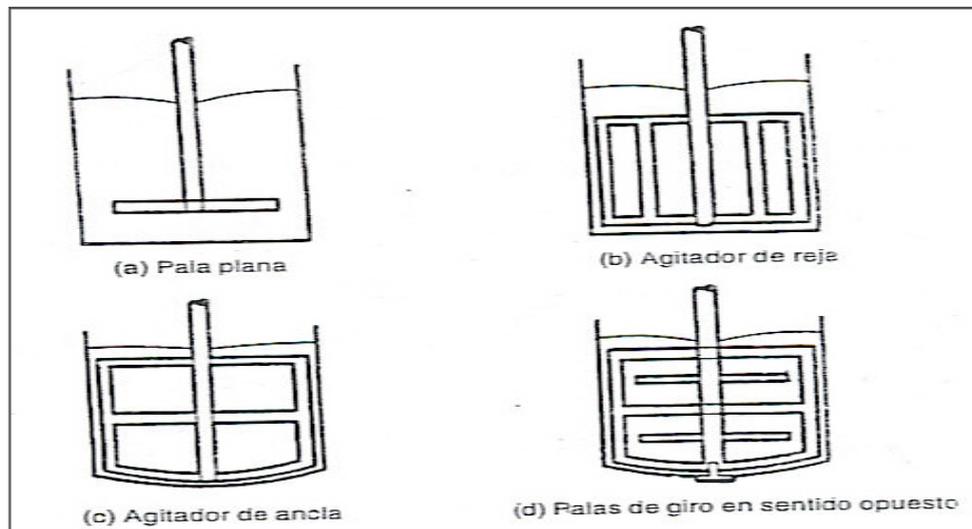
- Paletas
- Hélice
- Turbina

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

1.3.7.1.1 AGITADORES DE PALETA O PALA

FIGURA 1.3.7.1.1-1

Tipo de agitadores de paleta



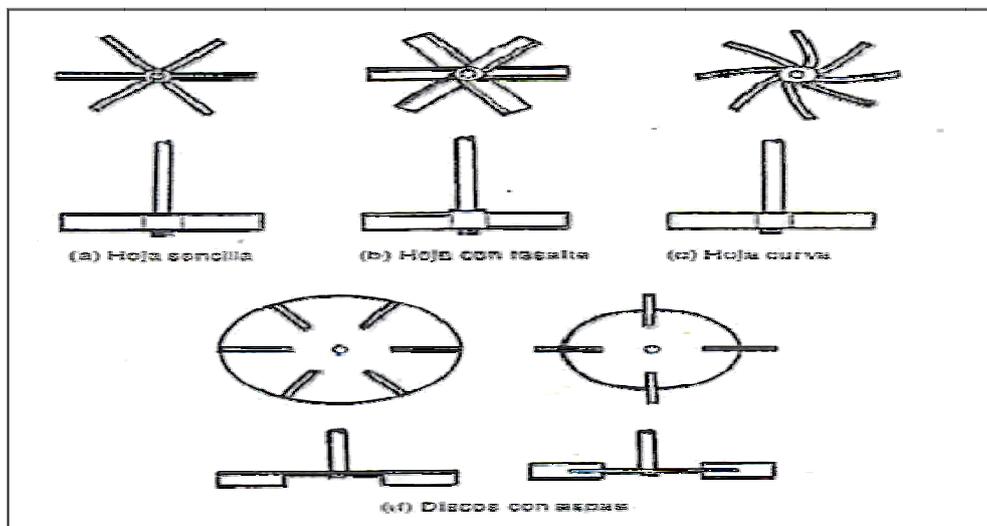
- Consiste en una hoja plana sujeta a un eje rotatorio.
- El flujo de líquido tiene una componente radial grande en el plano de la pala y también un gran componente rotacional.
- Los agitadores de pala son de construcción relativamente fácil.
- Los agitadores de pala sencillos producen una acción de mezcla suave, que es con frecuencia la conveniente para el trabajo con materiales cristalinos frágiles.
- Son útiles para operaciones de simple mezcla, como, por ejemplo, la mezcla de líquidos miscibles o la disolución de productos sólidos.
- Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm.
- La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque.
- La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud.
- A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

1.3.7.1.2 AGITADORES DE TURBINA

Están constituidos por un componente impulsor con más de cuatro hojas, montadas sobre el mismo elemento y fijas a un eje rotatorio. Los agitadores de turbina se pueden utilizar para procesar numerosos materiales.

FIGURA 1.3.7.1.2-1

Tipo de agitadores de turbina

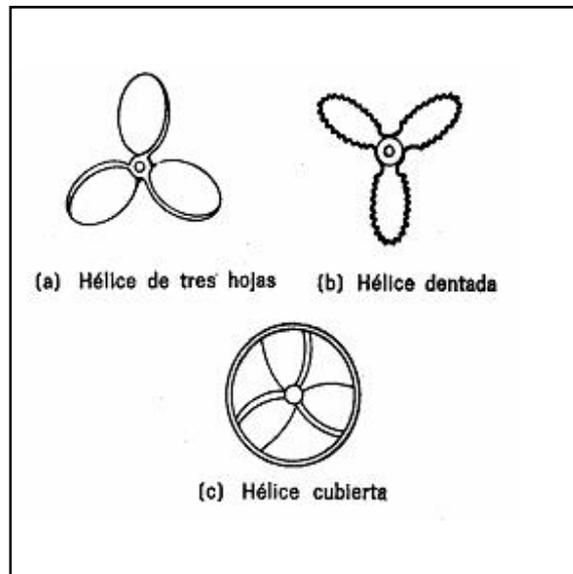


- Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. Alcanzan velocidades de 30 a 500 rpm.
- En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.
- El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

1.3.7.1.3 AGITADORES DE HÉLICE

FIGURA 1.3.7.1.3-1

Tipo de agitadores de hélice



- Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1.150 ó 1.750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm.
- La velocidad de flujo creada, en un depósito, por un mezclador de hélice tiene tres componentes:
 - Una componente radial que actúa en dirección perpendicular al eje.
 - Una componente longitudinal que actúa paralelamente al eje.
 - Una componente rotatoria que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.

Tanto la componente radial como la longitudinal contribuyen, generalmente, a la mezcla, pero no siempre la componente rotatoria.

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

1.3.8 CONSUMO DE POTENCIA DE UN AGITADOR

Las variables que pueden ser controladas y que influyen en la potencia consumida por el agitador son:

- Dimensiones principales del tanque y del rodete: Diámetro del tanque (D), Diámetro del rodete (D_a), altura del líquido (H), ancho de la placa deflectora (J), distancia del fondo del tanque hasta el rodete (E), y dimensiones de las paletas.
- Viscosidad (μ) y densidad (ρ) del fluido.
- Velocidad de giro del agitador (N).

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras.

Número de Reynolds = esfuerzo de inercia / esfuerzo cortante

$$Re = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 1.3.8-1}$$

Número de Potencia = esfuerzo de frotamiento / esfuerzo de inercia

$$N_{po} = \frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} \quad \text{Ec. 1.3.8-2}$$

Número de Froude = esfuerzo de inercia / esfuerzo gravitacional

$$N_{Fr} = \frac{N^2 D_a}{g} \quad \text{Ec. 1.3.8-3}$$

Para bajos números de Reynolds ($Re < 10$) el flujo es laminar, la densidad deja de ser un factor importante y la potencia puede encontrarse como:

$$P = K_L N^2 D_a^2 \mu \quad \text{Ec. 1.3.8-4}$$

En tanques con placas deflectoras y para números de Reynolds superiores a 10.000, la función de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad deja de ser un factor. Las variaciones del Número de Froude tampoco influyen. En este intervalo el flujo es completamente turbulento y la Potencia puede ser calculada como:

$$P = K_T N^3 D_a^5 \rho \quad \text{Ec. 1.3.8-5}$$

1.4 DISEÑO DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO CON SERPENTÍN

Para el diseño de un evaporador de simple efecto se debe conocer puntos importantes tales como transferencia de masa y de calor, balances de energía, tipos de accesorios, el material que se debe utilizar en su construcción, así como también las condiciones de operación de dicho equipo para obtener un rendimiento total.

1.4.1 PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE EVAPORADORES

1.4.1.1 CALOR ESPECÍFICO

Es necesario conocer este parámetro por que nos permitirá calcular la cantidad de energía requerida para incrementar la temperatura del alimento a evaporar. El cálculo de la capacidad calorífica a presión constante para alimentos tenemos la siguiente ecuación:

$$Cp = X_w C_w + X_s C_s \quad \text{Ec. 1.4.1.1-1}$$

Donde:

X_w : Es la fracción en peso de agua

C_w : Es la capacidad calorífica del agua ($C_w = 4.18 \text{ kJ/KgK}$)

X_s : Es la fracción masa de sólidos

C_s : 1.46 kJ/KgK es el calor específico de los sólidos, la mayor contribución se debe al agua.

1.4.1.2 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN

Los factores que influyen en el punto de ebullición de la solución son:

a) **PRESIÓN EXTERNA:** Un líquido hierve cuando la presión de vapor que ejerce es igual a la presión externa a la que se haya sometido. En el caso de los productos alimenticios el solvente suele ser el agua, sustancia cuyas relaciones de presión de vapor y temperatura son bien conocidas.

b) **ELEVACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN:** La presión de vapor de la mayor parte de las disoluciones acuosas es menor que la del agua a la misma temperatura. Por tanto, para una presión dada, la temperatura de ebullición de las disoluciones es mayor que la del agua pura.

El aumento del punto de ebullición sobre el agua se conoce con el nombre de elevación del punto de ebullición de la disolución. Es pequeño para disoluciones diluidas y para disoluciones de coloides orgánicos pero puede alcanzar un valor de hasta 150°F para disoluciones concentradas de sales inorgánicas. La elevación del punto de ebullición tiene que restarse de la caída de temperatura que se predice a partir de las tablas de vapor.

La elevación real del punto de ebullición con el cambio de la concentración con frecuencia puede conocerse mediante la regla de Dühring, regla empírica que establece que el punto de ebullición de una solución es función lineal del punto de ebullición del solvente a la misma presión.

c) **EFFECTO DE LA CARGA DE LÍQUIDO Y DE LA FRICCIÓN:** Si la profundidad del líquido en un evaporador es apreciable, el punto de ebullición correspondiente a la presión en el espacio de vapor es el punto de ebullición solamente de las capas superficiales del líquido. Una gota de líquido situada a una distancia de "Z" pies por debajo de la superficie está sometida a la presión del espacio de vapor mas una carga de Z pies de líquido y, por consiguiente, tiene un punto de ebullición más elevado. Además cuando la velocidad del líquido es grande, las pérdidas por fricción en los tubos aumentan todavía más la presión media del líquido. Por tanto, en un evaporador real el punto de ebullición correspondiente a la presión existente en el espacio de vapor. Este aumento del punto de ebullición disminuye la caída media de temperatura entre el vapor del agua condensante y el líquido y reduce la capacidad de un evaporador. La reducción no puede estimarse cuantitativamente con precisión, pero el efecto cualitativo de la carga de líquido, especialmente con elevadas alturas de líquido y grandes velocidades, no pueden ignorarse.

1.4.1.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Siempre que es posible, los evaporadores se construyen con algún tipo de acero. Sin embargo, muchas soluciones atacan a los metales ferrosos y se produce contaminación. Es estos casos se utilizan materiales especiales tales como el cobre, níquel, acero inoxidable, aluminio, grafito y plomo. Debido a que los materiales son caros, resulta especialmente deseable obtener elevadas velocidades de transferencia de calor con el fin de minimizar los costos del equipo.

El diseñador de un evaporador debe tener en cuenta muchas otras características del líquido. Algunas de ellas son el calor específico, el calor de concentración, la temperatura de congelación, la liberación de gas durante la ebullición, la toxicidad, los peligros de explosión, la radioactividad y la necesidad de operación estéril. Debido a la gran variedad de propiedades de las soluciones, se han desarrollado diferentes tipos de evaporadores. La elección para el caso de un problema específico depende esencialmente de las características del líquido.

1.4.2 DISEÑO DEL TANQUE

Es el tanque de almacenamiento de la alimentación, operación de evaporación y descarga del producto, la misma que ha sido diseñada para una alimentación de 262.5 Litros, pero para su operación, lo recomendable es no llegar al límite de su capacidad, siendo la alimentación sugerida alrededor de 210 Litros de vinaza.

1.4.2.1 DISEÑO DEL ALTURA DEL TANQUE

Para el cálculo de la altura del tanque de almacenamiento nos basaremos en la siguiente ecuación:

$$V_T = \pi r^2 h \quad \text{Ec. 1.4.2.1-1}$$

$$h = \frac{V_T}{\pi r^2} \quad \text{Ec. 1.4.2.1-2}$$

Donde:

V_T : Volumen del cilindro (m^3).

r : Radio del cilindro (m).

h : Altura del cilindro (m).

1.4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

El sistema de agitación cumple con la función de mantener en movimiento la vinaza durante la operación a fin de que no se pueda quemar ni adherir a las paredes del tanque, como también ayudará a evitar que exista espuma.

1.4.3.1 DISEÑO DE LA LONGITUD DEL EJE

Para este cálculo se utilizara la siguiente ecuación:

$$L_r = h_T - b \quad \text{Ec. 1.4.3.1-1}$$

Donde:

L_r = Longitud del eje (m)

h_T = altura total del tanque (m)

b = altura desde la base al brazo (m)

1.4.3.2 DISEÑO DE LA ALTURA DESDE LA BASE AL RODETE

La ecuación que se utiliza en este cálculo es:

$$b = 0.25 * \emptyset \quad \text{Ec. 1.4.3.2-1}$$

Donde:

b = altura desde la base al rodete (m)

\emptyset = Diámetro del tanque (m)

1.4.3.3 DISEÑO DEL DIÁMETRO RODETE

Para calcular la longitud del brazo o eje tenemos:

$$\emptyset_B = \frac{2}{3} \emptyset_{Ser} \quad \text{Ec. 1.4.3.3-1}$$

Donde:

\emptyset_B = Diámetro del rodete (m)

\emptyset_{Ser} = Diámetro del serpentín (m)

1.4.3.4 DISEÑO DE LA ALTURA DE LA HÉLICE

$$h_B = 0.1 * \phi \quad \text{Ec. 1.4.3.4-1}$$

Donde

h_B = altura del brazo (m)

ϕ = Diámetro del tanque (m)

1.4.3.5 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA HÉLICE

$$L_H = 0.2 * \phi \quad \text{Ec. 1.4.3.5-1}$$

Donde

L_H = longitud de la hélice (m)

ϕ = Diámetro del tanque (m)

1.4.4 DISEÑO DEL SERPENTÍN

El serpentín acoplado al tanque de almacenamiento es la cámara de calefacción, es decir, el elemento que sirve de medio para el transporte del vapor de agua para calentar la vinaza y así poder concentrarla.

1.4.4.1 DISEÑO DE LA ALTURA DEL SERPENTÍN EN EL TANQUE

Para el cálculo de la altura del serpentín tomando en cuenta que la cantidad de vinaza concentrada a obtener ocupará 1/5 de la altura del sustrato tenemos:

$$h_{Ser} = \frac{1}{5} h_s \quad \text{Ec. 1.4.4.1-1}$$

Donde:

h_{Ser} : Altura de la calandria de serpentines tomada desde la base del tanque.

h_s : Altura del sustrato.

1.4.4.2 DISEÑO DEL DIÁMETRO DE CADA ANILLO DEL SERPENTÍN

Para el cálculo del diámetro de cada anillo del serpentín tenemos la siguiente ecuación:

$$\emptyset_{Ser} = \frac{2}{3} \emptyset \quad \text{Ec. 1.4.4.2-1}$$

Donde:

\emptyset_{Ser} : Diámetro de cada anillo del Serpentín (m)

\emptyset : Diámetro del tanque (m)

1.4.4.3 DISEÑO DE LA LONGITUD DEL SERPENTÍN

Para el cálculo de la longitud del serpentín

$$L_{Ser} = L_{Anillos} + L_{EntVap} + L_{SalCon} \quad \text{Ec. 1.4.4.3-1}$$

Donde:

L_{Ser} : Longitud del Serpentín (m)

$L_{Anillos}$: Longitud de los anillos del serpentín (m)

L_{EntVap} : Longitud del serpentín a la entrada del vapor (m)

L_{SalCon} : Longitud del serpentín a la salida del condensado (m)

1.4.5 BALANCE DE MASA GLOBAL

El balance de masa nos permite conocer los flujos de entrada y de salida como son el flujo de alimentación, concentrado y evaporado obtenido en el proceso de evaporación, para esto utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$F = C + E \quad \text{Ec. 1.4.5-1}$$

$$FX_F = CX_C + EX_E \quad \text{Ec. 1.4.5-2}$$

Donde:

F: Corriente de alimentación (Kg/h)

C: Corriente del concentrado (Kg/h)

E: Corriente del evaporado (Kg/h)

X_F : Fracción molar de la alimentación (adimensional)

X_C : Fracción molar del concentrado (adimensional)

X_E : Fracción molar del evaporado (adimensional)

1.4.6 BALANCE DE ENERGÍA

En el balance de energía nos permitirá conocer la cantidad de vapor que se empleara en el evaporador, así como también conoceremos las temperaturas y presiones a la que trabajara el equipo. Para lo cual utilizaremos las ecuaciones siguientes:

$$F + W = E + C + W + Qp \quad \text{Ec. 1.4.6.1}$$

$$Qp=0$$

$$Fh_F + WH_W = EH_E + Ch_C + Wh_W + Qp \quad \text{Ec. 1.4.6.2}$$

$$\lambda_w = H_W - h_W \quad \text{Ec. 1.4.6.3}$$

$$W\lambda_w = (F - C)\lambda_e + FCp_F(t_s - t_f) \quad \text{Ec. 1.4.6.4}$$

$$W = \frac{(F-C)\lambda_e + FCp_F(t_s - t_f)}{\lambda_w} \quad \text{Ec. 1.4.6.5}$$

Donde:

F: Corriente de alimentación (Kg/h)

W: Corriente de vapor de la cámara de calefacción (Kg/h)

E: Corriente del evaporado (Kg/h)

C: Corriente del concentrado (Kg/h)

W: Corriente del condensado (Kg/h)

Qp: Pérdidas de calor (Kcal/h)

h_f : Entalpia de la alimentación (Kcal/Kg)

H_W : Entalpia del vapor en la cámara de calefacción (Kcal/Kg)

H_E : Entalpia del evaporado (Kcal/Kg)

h_C : Entalpia del concentrado (Kcal/Kg)

h_W : Entalpia del condensado (Kcal/Kg)

λ_w : Calor latente de vaporización (Kcal/Kg)

λ_e : Calor latente de evaporación (Kcal/Kg)

C_{pF} : Capacidad calorífica de la alimentación (Kcal/°C)

t_s : Temperatura inicial (°C)

t_f : Temperatura final (°C)

1.4.7 GRADIENTE DE TEMPERATURA

El gradiente de temperatura entre la cámara de calefacción y la de ebullición, donde la temperatura de ebullición de la solución debe ser mayor a la temperatura de ebullición del solvente.

$$\Delta T = T_{CC} - T_{CE} \quad \text{Ec. 1.4.7-1}$$

Donde:

ΔT = Gradiente de temperatura (C)

T_{CC} = Temperatura cámara de calefacción (C)

T_{CE} = Temperatura cámara de ebullición (C)

1.4.8 ÁREA DE TRANSFERENCIA

Para el área de transferencia sabemos que la cámara de calefacción es el serpentín, por lo tanto estará determinada por el cálculo del área de un cilindro, así se tiene:

$$A = 2\pi r l \quad \text{Ec. 1.4.8-1}$$

Donde

A = área de transferencia de calor (m^2)

r = radio del serpentín (m)

l = longitud del serpentín (m)

1.4.9 CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN

Se obtiene a partir de la diferencia de entalpías entre el vapor y el líquido:

$$\lambda_w = H_w - h_w \quad \text{Ec. 1.4.9-1}$$

Donde:

λ_w = Calor latente de vaporización (Kcal/Kg)

H_w = Entalpia del vapor en la cámara de calefacción (Kcal/Kg)

h_w = Entalpia del condensado (Kcal/Kg)

1.4.10 FLUJO DE CALOR

El flujo de calor (Q) para obtenerlo se usa la ecuación siguiente:

$$Q = W \lambda_w \quad \text{Ec. 1.4.10-1}$$

Donde:

Q = Flujo de calor (Kcal/h)

W = Corriente de vapor de la cámara de calefacción (Kg/h)

λ_w = Calor latente de vaporización (Kcal/Kg)

1.4.11 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR

El coeficiente global de transferencia, U , depende de la superficie que se considere, este coeficiente también podría modificarse debido a variaciones en las propiedades de los fluidos y condiciones de flujo, la ecuación que se aplicara es la siguiente:

$$U = \frac{Q}{A \Delta T} \quad \text{Ec. 1.4.11-1}$$

Donde:

Q = Flujo de calor (Kcal/h)

U = Coeficiente global de transmisión de calor (J/sm²Kg)

A = Área de transferencia de calor (m²)

$\Delta T =$ Gradiente de temperatura del proceso ($^{\circ}\text{C}$)

1.4.12 RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR

Es un parámetro que nos permite saber el aprovechamiento máximo de la energía para la cual se utiliza la ecuación siguiente:

$$R = \frac{E}{W} * 100 \qquad \text{Ec. 1.4.12-1}$$

Donde:

R= Rendimiento de evaporación

E= Corriente del Evaporado (Kg/h)

W= Corriente de vapor de la cámara de calefacción (Kg/h)

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

Nuestro estudio a nivel de laboratorio permitió encontrar los parámetros óptimos para realizar el dimensionamiento del equipo (Evaporador de Simple Efecto), el mismo que para su funcionamiento necesitara vapor que se conduce a través de tuberías proveniente de las calderas y así podemos obtener vinaza concentrada con propiedades físico-químicas para su utilización como alimento para ganado vacuno.

2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.1.1 MÉTODOS

La presente investigación tiene un estudio tanto teórico como experimental para obtener la mejor metodología que se aplicara en el transcurso de la obtención de la vinaza concentrada.

2.1.1.1 MÉTODO INDUCTIVO

Se toma las muestras de vinaza una vez bien identificadas, se las enfría y, son llevadas al laboratorio donde se caracterizarán con los análisis correspondientes, para la obtención de datos que deberán ser tabulados para realizar los cálculos de ingeniería que serán utilizados en el diseño y luego en la construcción del equipo.

Mediante el empleo de la técnica de los grados Brix se verificara la concentración de la vinaza que llegara a 55°Brix considerando el tiempo y la temperatura, los que nos ayudara a determinar el parámetro importante para este estudio de investigación.

2.1.1.2 MÉTODO DEDUCTIVO

El método deductivo parte del diseño de un evaporador de simple efecto con serpentín horizontal construido a nivel industrial con el propósito de indicar las particularidades en la industria así como también la obtención de productos concentrados en este caso la vinaza.

En este método se estudia el fenómeno de evaporación, así como también la concentración del producto final para determinar si el objetivo planteado es alcanzado,

en caso de que la concentración del producto no sea la indicada, se realiza los ajustes pertinentes en el sistema de evaporación para que la meta propuesta sea la deseada.

Para obtener los resultados esperados se aplica los conocimientos necesarios como transferencia de calor, operaciones unitarias los cuales nos permitirá resolver los problemas más frecuentes que se presentes en el transcurso del proyecto.

2.1.1.3 MÉTODO EXPERIMENTAL

A nivel de laboratorio es posible obtener la concentración de la vinaza a partir de la vinaza diluida mediante métodos físico-químicos que permite analizar las propiedades de la materia prima.

2.1.1.4 ANÁLISIS

Para concentrar la vinaza hay que considerar las características de la vinaza diluida es importante tomar en cuenta los análisis previos realizados en el laboratorio como la temperatura, el pH, conductividad, y la concentración que es la más apreciada, para luego por medio de la evaporación mediante el evaporador obtener la concentración de la vinaza; y así realizar los análisis en el laboratorio y tener los resultados finales para adquirir la viscosidad o concentración requerida.

2.1.1.5 SÍNTESIS

La vinaza diluida presenta características importantes al analizar en el laboratorio, se considera los parámetros fundamentales mediante las cuales se tiene la idea necesaria para llegar a concentrar la vinaza que es el resultado final que se quiere obtener.

2.1.2 TÉCNICAS

Las técnicas de laboratorio que se muestran a continuación establecen los procedimientos que debe cumplir la vinaza para la determinación de parámetros físico – químicos.

2.1.2.1 DETERMINACIÓN DEL GRADO BRIX EN LA VINAZA

Fundamento

La técnica específica la forma de como la vinaza aumenta su concentración.

Objetivo y Alcance

Determinar los grados Brix en la vinaza aumentando la temperatura por un tiempo establecido.

Materiales y Reactivos

- Reverbero.
- Malla metálica.
- Vaso de precipitación.
- Varilla de agitación
- Refractómetro
- Pinzas para vaso de precipitación
- Termómetro
- Cronómetro
- Muestra de vinaza

Técnica para determinar los grados Brix en la vinaza

- Colocar 1200 ml de vinaza en el vaso de precipitación
- Poner la malla metálica sobre el reverbero
- Seguidamente de encender el reverbero colocar el vaso de precipitación con la muestra
- Después de 15 minutos tomar la temperatura
- Encender el refractómetro
- Colocar una muestra de esta vinaza en el refractómetro y dejar q lo lea
- La lectura del grado Brix de la vinaza se lo hará cuando este estabilizado el equipo a una temperatura de 20°C.

2.1.2.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA

Fundamento

La técnica específica como influye la temperatura en la concentración de la vinaza

Objetivo y Alcance

Determinar la temperatura en la vinaza conociendo que es directamente proporcional al tiempo.

Materiales y Reactivos

- Reverbero.
- Malla metálica.
- Vaso de precipitación.
- Varilla de agitación
- Refractómetro
- Pinzas para vaso de precipitación
- Termómetro
- Cronómetro
- Muestra de vinaza

Técnica para la determinación de la temperatura

- a) Colocar 1200 ml de vinaza en el vaso de precipitación
- b) Tomar la temperatura en cada muestra que se tomara para medir el brix

Esta técnica se lleva a cabo conjuntamente con la determinación del grado Brix.

2.1.2.3 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN LA VINAZA

Fundamento

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas así

como de la temperatura de medición. Cuanto mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad.

Materiales

- Muestra de vinaza
- Conductímetro
- Agua destilada

Técnica para la determinación de la conductividad

- Tomar 10 ml de muestra de vinaza
- Limpiar el conductímetro con agua destilada previa la lectura de la conductividad
- Leer la conductividad en la muestra hasta que se estabilice el dato.

2.1.2.4 DETERMINACIÓN DEL pH EN LA VINAZA

Fundamento

El pH es una característica propia de cada producto. La técnica específica como influye el pH en la concentración de la vinaza.

Objetivo y Alcance

Determinar el pH en la vinaza

Materiales y Reactivos

- Vaso de precipitación
- Muestra de vinaza
- Peachimetro

Técnica para la determinación del pH

- Colocar 100 ml de vinaza en el vaso de precipitación
- Introducir el electrodo en el vaso de precipitación.
- Mover el electrodo que se encuentra en el vaso
- Pulsar pH y Leer.

2.2 DIAGNÓSTICO

Para obtener un litro de alcohol se contaminan 600 litros de agua, y de los desechos líquidos industriales, de los más contaminantes son la VINAZA proveniente de la producción de ALCOHOL (ETANOL).

Por cada litro de alcohol fabricado se producen entre 12-15 litros de VINAZA. Con una demanda biológica (DBO) del orden de los 7,000 a 20,000 mg. /lt., esto provoca un rápido agotamiento del oxígeno en el agua, destruyendo flora y fauna presente. Se han propuesto una serie de tratamientos, químicos, biológicos, que realmente funcionan, pero el factor económico, no permite llevar a cabo en su totalidad.

La vinaza de destilería tiene un impacto negativo sobre el aire pues produce malos olores y aerosoles, que a su vez tiene un efecto negativo sobre la población incluso a distancias superiores a los 5 Km de la planta generadora del residuo. En cuanto al grado se considera no controlable y de temporalidad permanente, pues una vez generado el residual produce estos efectos.

Por otra parte la vinaza tiene una influencia negativa controlable y permanente sobre la calidad del agua, porque se pueden identificar alternativas para minimizar los impactos del residual sobre el agua. Este aspecto está muy relacionado con el impacto negativo que ejercería sobre el medio biótico (flora y fauna) y el paisaje, pues de verse en el río, provocaría un grado de contaminación alto en el cuerpo receptor, afectaría el equilibrio de la flora y la fauna, produciría un efecto de eutrofización no controlable y por tanto afectaría el paisaje al cambiar el aspecto del cuerpo receptor.

La vinaza afecta la estructura urbana y rural, porque una vez producida se requiere diseñar esquemas de tratamiento y reutilización que ocupa un espacio, además debe ubicarse de acuerdo a la dirección de los vientos para minimizar el efecto de los malos olores y aerosoles durante su tratamiento en el sistema de lagunas.

Este subproducto contiene una gran carga de contaminante que lo convierte en un verdadero peligro para la conservación del medio ambiente. El presente trabajo ayudara a que se disminuya la contaminación que genera este residuo al concentrarlo para usos comerciales.

2.3 DATOS ADICIONALES

Tabla 2.3-1

DATOS ADICIONALES PARA EL EVAPORADOR

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Presión de trabajo	psi	10
Temperatura de Entrada	C	73
Volumen Final de Vinaza Concentrada	lt	10
Concentración Inicial de Vinaza	°Brix	9.3

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández.

2.4 DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 2.4-1

DATOS EXPERIMENTALES

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Temperatura de Salida	C	98
Agitación	rpm	250
Concentración de la Vinaza	°Brix	55
Volumen Inicial de Vinaza	lt	210

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández.

2.5 DATOS DEL SIMULADOR DEL EQUIPO

2.5.1 DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

Tabla 2.5-1

DATOS DE LABORATORIO (Volumen vs Tiempo)

VOLUMEN (ml)	TIEMPO (min)
900	0
800	30
700	48,5
600	58,26
500	74,4
400	89,4
300	129
200	142,2
100	153,6
95	180

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández.

Figura 2.5-1

Gráfica Volumen vs Tiempo

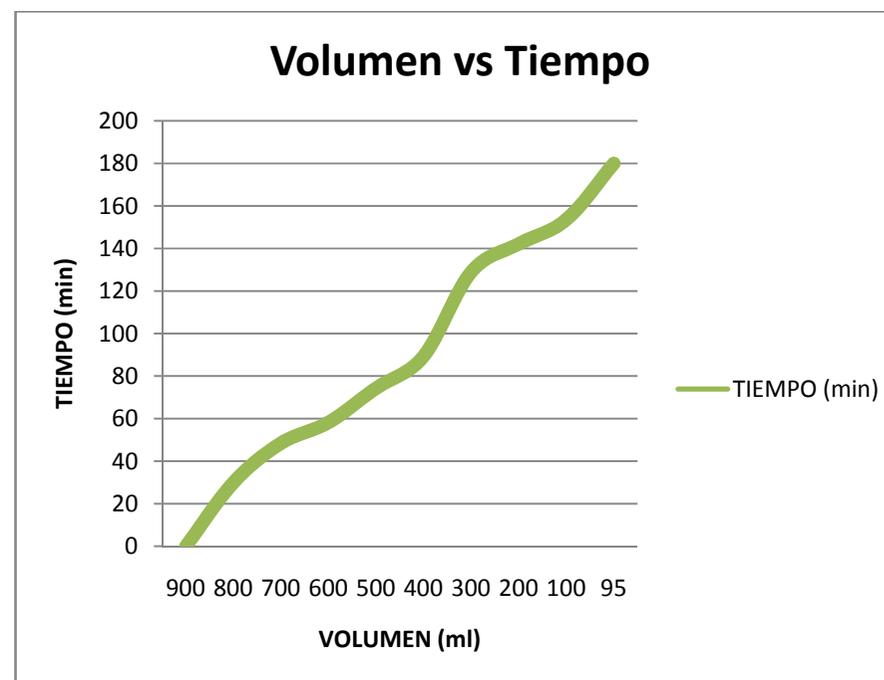


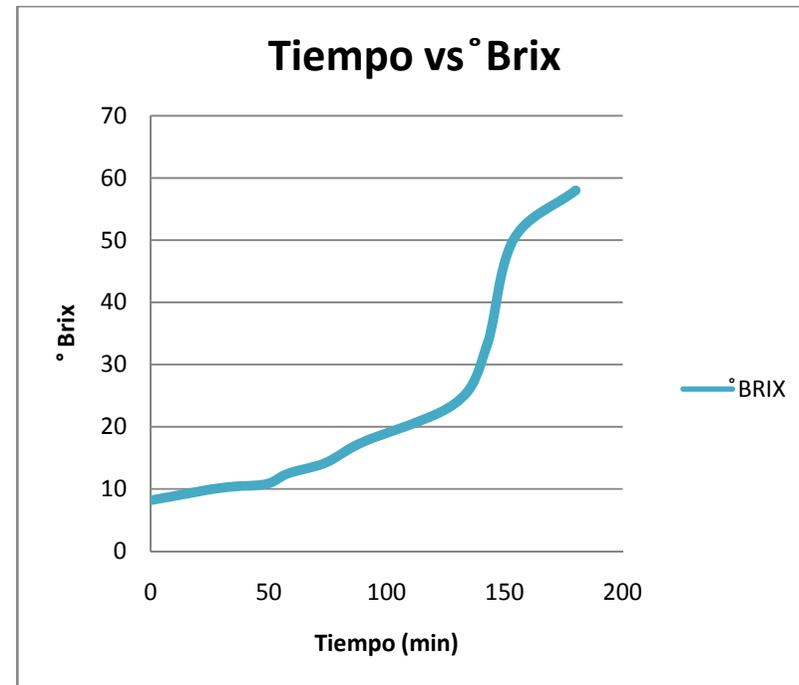
Tabla 2.5-2

DATOS DE LABORATORIO (Tiempo vs Brix)

TIEMPO (min)	°BRIX
0	8,19
30	10,2
48,5	10,76
58,26	12,5
74,4	14,26
89,4	17,47
129	23,77
142,2	32,82
153,6	50,06
180	58,01

Figura 2.5-2

Gráfica Tiempo vs ° Brix



Fuente: Nandy Gaviláñez, Marisol Hernández.

Tabla 2.5-3

DATOS DE LA VINAZA DILUIDA EN EL LABORATORIO

°BRIX	pH	Conductividad(Us/cm)	Temperatura(C)
8,19	4,74	12,7	68,3
8,3	4,8	12,5	67,9
8,1	4,69	12,7	67,8
8	4,66	12,3	68

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández.

CAPITULO III

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS DE INGENIERÍA

3.1.1 DISEÑO DEL TANQUE

3.1.1.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE

Deseando una producción de 10 L, a partir de un volumen inicial de 210 L de vinaza, utilizamos un factor de corrección de 0,25 en relación a la caída cónica que presenta en la base del evaporador de 27°.

$$V = f_s * V_r$$

Donde:

V: Volumen del factor de seguridad

f_s: Factor de seguridad

V_r: Volumen real de trabajo

Reemplazando valores tenemos:

$$V = 0.25 * 210$$

$$V = 52.5 \text{ litros}$$

El volumen total del cilindro (V_T):

$$V_T = V_r + V$$

$$V_T = 210 + 52.5$$

$$V_T = 262.5 \text{ litros}$$

3.1.1.2 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE

Tomando un diámetro interno del tanque de 46 cm, y, utilizando la fórmula del volumen de un cilindro circular recto tenemos:

$$V_T = \pi r^2 h$$

Donde:

V_T : Volumen total del cilindro (m^3).

r : Radio del cilindro (m).

h : Altura del cilindro (m).

Así tenemos:

$$h = \frac{V_T}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0.2625}{\pi(0.23)^2}$$

$$h = 1.58 \text{ m}$$

3.1.1.3 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL SUSTRATO EN EL TANQUE

La variación de altura es (Δ_H):

$$\Delta_H = V_r * h$$

$$\Delta_H = 0.210 * 1.58$$

$$\Delta_H = 0.3318 \text{ m}$$

La altura del sustrato (h_s) nos da:

$$h_s = h - \Delta_H$$

$$h_s = 1.58 - 0.3318$$

$$h_s = 1.248 \text{ m}$$

3.1.2 CÁLCULO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

El sistema de agitación cumple con la función de mantener en movimiento la vinaza durante la operación a fin de que no se pueda quemar, adherir a las paredes del tanque y reducir la formación de espuma.

3.1.2.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA HÉLICE

$$L_H = 0.2 * \phi$$

$$L_H = 0.2(0.46)$$

$$L_H = 0.092 \text{ m}$$

3.1.2.2 CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA HÉLICE

$$h_B = 0.1 * \phi$$

$$h_B = 0.1(0.46)$$

$$h_B = 0.046 \text{ m}$$

3.1.2.3 CÁLCULO DE LA ALTURA DESDE LA BASE AL RODETE

$$b = 0.25 * \phi$$

$$b = 0.25 (0.46)$$

$$b = 0.115 \text{ m}$$

3.1.2.4 CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL EJE

$$L_r = h_T - b$$

$$L_r = 1.85 - 0.115$$

$$L_r = 1.74 \text{ m}$$

3.1.2.5 CÁLCULO DEL DIÁMETRO RODETE

$$\phi_B = \frac{2}{3} \phi_{Ser}$$

$$\phi_B = \frac{2}{3} (0.306)$$

$$\phi_B = 0.204 \text{ m}$$

3.1.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL SISTEMA DE AGITACIÓN

3.1.3.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

$$N_{RE} = \frac{\phi_B^2 N \rho}{\mu}$$

N_{RE} : Número de Reynolds (adimensional)

ϕ_B : Diámetro del rodete (m)

N : Número de revoluciones por Segundo

ρ : Densidad de la vinaza (Kg/m^3)

μ : Viscosidad de la vinaza (Pa.s)

Así tenemos que:

$$\rho = 1300 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 0.45 \text{ Pa.s}$$

$$N_{RE} = \frac{(0.204)^2 * 4.2 * 1300}{0.45}$$

$$N_{RE} = 5.049 \times 10^2$$

3.1.3.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

- **NÚMERO DE POTENCIA**

Este número adimensional se encarga de establecer la relación existente entre el consumo de la potencia generado por el impulsor, la densidad del líquido, la velocidad de rotación y el diámetro. Es decir, es la razón de fuerzas externas implicadas en la agitación a fuerzas inerciales por unidad de volumen del fluido. Este número adimensional es resultado del esfuerzo necesario del impulsor para contrarrestar la fricción generada por el fluido en movimiento, las paredes y el fondo del tanque de agitación.

El número de potencia se obtiene desarrollando la siguiente ecuación:

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 \phi_B^5}$$

Donde

N_p : Número de potencia (adimensional)

P: potencia del motor (Hp)

ρ : Densidad de la vinaza (Kg/m³)

N: Número de revoluciones por Segundo

ϕ_B : Diámetro del rodete (m)

Con el número de Reynolds obtenido anteriormente, utilizamos el Anexo II y así tenemos un valor de **$N_p = 0.80$**

- **NÚMERO DE FROUDE**

Para el valor corregido de N_p se debe determinar el Número de Froude que es dada por la siguiente ecuación:

$$N_{FR} = \frac{N^2 \phi_B}{g}$$

Donde

N_{FR} : Número de Froude (adimensional)

N: Número de revoluciones por Segundo

\emptyset_B : Diámetro del rodete (m)

g: gravedad (m/s^2)

$$N_{FR} = \frac{(4.2)^2 * 0.204}{9.8}$$

$$N_{FR} = 0.37$$

Como también se debe determinar m conociendo las constantes a= 2.3 y b=18.0 estas constantes se obtienen por ser un agitador de hélice, por lo tanto la ecuación es la siguiente:

$$m = \frac{a - \log N_{RE}}{b}$$

$$m = \frac{2.3 - \log 5.049 \times 10^2}{18.0}$$

$$m = -0.022$$

El valor corregido de N_p es:

$$N_p = 0.80 * (0.37)^{-0.022}$$

$$N_p = 0.82$$

Con este valor de $N_p=0.82$ reemplazamos

$$P = N_p * \rho N^3 \emptyset_B^5$$

$$P=0.75 \text{ Hp}$$

3.1.4 DISEÑO DEL SERPENTÍN

El serpentín acoplado al tanque de almacenamiento es la cámara de calefacción, es decir, el elemento que sirve de medio para el transporte del vapor de agua para calentar la vinaza y así poder concentrarla a 55°Brix.

3.1.4.1 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL SERPENTÍN EN EL TANQUE

$$h_{\text{Ser}} = 1/5 h_s$$

$$h_{\text{Ser}} = 1/5 * 1.248$$

$$h_{\text{Ser}} = 0.249 \text{ m}$$

3.1.4.2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE CADA ANILLO DEL SERPENTÍN

$$\emptyset_{\text{Ser}} = \frac{2}{3} \emptyset$$

$$\emptyset_{\text{Ser}} = \frac{2}{3} * 0.46$$

$$\emptyset_{\text{Ser}} = 0.306 \text{ m}$$

Tomando en cuenta que el diámetro de cada vuelta es de 0.31m y la altura que ocupará el serpentín es de 0.25m, con estos datos decimos que existirán 6 anillos.

3.1.4.3 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANILLOS

$$L_{\text{Anillos}} = (2\pi r) * 6$$

$$L_{\text{Anillos}} = (2 * \pi * 0.155) * 6$$

$$L_{\text{Anillos}} = 0.9739 * 6$$

$$L_{\text{Anillos}} = 5.84$$

3.1.4.4 CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL SERPENTÍN

$$L_{Ser} = L_{Anillos} + L_{EntVap} + L_{SalCon}$$

$$L_{Ser} = 5.84 + 0.09 + 0.07$$

$$L_{Ser} = 6 \text{ m}$$

3.1.5 BALANCE DE MASA GLOBAL

$$F = C + E$$

$$E = F - C$$

$$E = (210 - 10) \text{lt}$$

$$E = 200 \text{ litros}$$

$$E = 200 \text{ Kg/h}$$

3.1.6 BALANCE DE ENERGÍA

Sabemos que trabajaremos a una presión de vapor de 120 PSI transformándole, equivale a 1.41 Kg/cm^2 , con este valor obtendremos una temperatura de $108.89 \text{ }^\circ\text{C}$. (Utilizando la tabla de vapor saturado. ANEXO I)

Con esta temperatura encontraremos la entalpia tanto de vapor como del líquido.

$$H_w = 642.10 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_w = 109.002 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\lambda_w = 642.10 - 109.002$$

$$\lambda_w = 533.098 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\lambda_e = H_e - h_e \quad \text{Con una } t = 98^\circ\text{C}$$

$$H_e = 638.14 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_e = 98.028 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\lambda_e = 638.14 - 98.028$$

$$\lambda_e = 540.112 \text{ Kcal/Kg}$$

$$W\lambda_w = (F - C)\lambda_e + FCp_F(t_s - t_f)$$

$$W = \frac{(F-C)\lambda_e + FCp_F(t_s - t_f)}{\lambda_w}$$

$$W = \frac{(210 - 10)(540.112) + 210(0.67)(98 - 73)}{533.098}$$

$$W = 207.91 \text{ Kg/h}$$

3.1.7 GRADIENTE DE TEMPERATURA

$$\Delta T = T_{CC} - T_{CE}$$

$$\Delta T = 108.89 - 98$$

$$\Delta T = 10.89 \text{ C}$$

3.1.8 ÁREA DE TRANSFERENCIA

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

$$A = 2 * \pi * 0.155 * 6$$

$$A = 5.843 \text{ m}^2$$

3.1.9 CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN

$$\lambda_w = H_w - h_w$$

$$\lambda_w = 642.10 - 109.002$$

$$\lambda_w = 533.098 \text{ Kcal/Kg}$$

3.1.10 FLUJO DE CALOR

$$Q = W \lambda_w$$

$$Q = 207.91 * 533.098$$

$$Q = 110836.41 \text{ Kcal/h}$$

3.1.11 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR

$$U = \frac{Q}{A\Delta T}$$

$$U = \frac{110836.41}{5.843 * 283.89}$$

$$U = 4659 \text{ J/m}^2\text{sK}$$

3.1.12 RENDIMIENTO DEL EVAPORADOR

$$R = \frac{E}{W} * 100$$

$$R = \frac{200}{207.91} * 100$$

$$R = 96.20\%$$

3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

Tabla 3.2-1
DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VARIABLE
CÁMARA DE CALEFACCIÓN		
Altura	m	0,25
Longitud del Serpentin	m	6
Anillos		6
Diámetro	m	0,31
Material		Acero inoxidable 304
CÁMARA DE EBULLICIÓN		
Volumen	lt	263
Altura	m	1,6
Diámetro	m	0,46
Material		Acero inoxidable 304
SISTEMA DE AGITACIÓN		
Longitud del Eje	m	1,74
Altura del Fondo al Rodete	m	0,12
Diámetro del Rodete	m	0,21
Longitud de la Hélice	m	0,1
Altura de la Hélice	m	0,05
Potencia del Motor	Hp	0,75

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández.

3.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Tabla 3.3-1
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD
Codo de Acero Inoxidable	3	2 Pulgadas
Válvula Tipo Bola de Bronce	1	2 Pulgadas
Válvula Tipo compuerta de Bronce	2	1 Pulgadas
Válvula de Seguridad	1	50(psi)
Trampa de Vapor Termoestatica	1	¾ Pulgadas
Manómetro	1	60(psi)
Válvula Tipo Bola	1	½ Pulgada
Termómetro	1	0-200 (C)
Termómetro	1	-20-120 (C)
Válvula Tipo Compuerta	1	1 ½ Pulgada
Tubería de Acero Inoxidable	3	2 Pulgadas
Unión de Acero al Carbón	5	½ Pulgada
Unión de Acero al Carbón	1	1 ½ Pulgada
Neplo de Acero al Carbón	2	1 ½ Pulgada
Neplo de Acero al Carbón	8	½ Pulgada
Neplo de Acero al Carbón	3	¾ Pulgada
Neplo de Acero al Carbón	2	1 Pulgada
Conector Rápido Para Manguera	2	1 Pulgada
Manguera Flexible	2	1 Pulgada
Tubería de Acero Inoxidable	2	½ Pulgada
Tubería de Acero Inoxidable	1	1 ½ Pulgada
Tubería de Acero Inoxidable	1	1 Pulgada
Codo de Acero Inoxidable	1	¾ Pulgada
Codo de Acero Inoxidable	1	1 ½ Pulgada

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

3.4 REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

3.4.1 RECURSOS HUMANOS

Tabla 3.4.1-1

DETERMINACIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS

CONCEPTO	MONTO (\$)
Mano de Obra para la construcción del equipo	1560
Mano de obra para la instalación del equipo	660
TOTAL	2220

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

3.4.2 RECURSOS MATERIALES

Tabla 3.4.2-1

DETERMINACIÓN DE LOS RECURSOS MATERIALES

CONCEPTO	MONTO (\$)
Materiales y Suministros de Oficina	47.00
Materiales para la Construcción del Equipo	2000
Varios	60.00
TOTAL	2107

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

3.4.3 RECURSOS FINANCIEROS

Tabla 3.4.3-1
DETERMINACIÓN DE LOS RECURSOS FINANCIEROS

CONCEPTO	MONTO (\$)
Recursos Humanos	2220
Recursos Materiales	2107
Subtotal	4327
Imprevistos (10 %)	433
Total	3894

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

3.4.4 FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Tabla 3.4.4-2
DETERMINACIÓN DE LA FUENTE DE FINANCIAMIENTO

CONCEPTO	MONTO (\$)	%
ESPOCH	660	15.25
SODERAL	3560	82.27
PROPIO	107	2.48
Total	4327	100

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

3.5 RESULTADOS

PRUEBA 1

Tabla 3.5-1

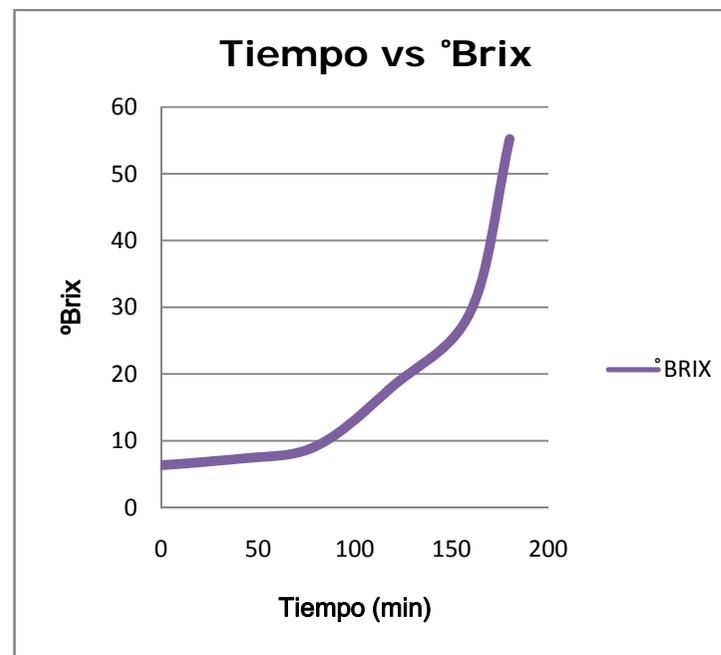
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN
DEL EQUIPO
(Tiempo vs °Brix)

Tiempo (min)	°BRIX
0	7,22
40	7,82
80	11,31
120	15,29
160	24,21
180	55,71

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

Figura 3.5-1

Gráfica Tiempo vs °Brix



PRUEBA 2

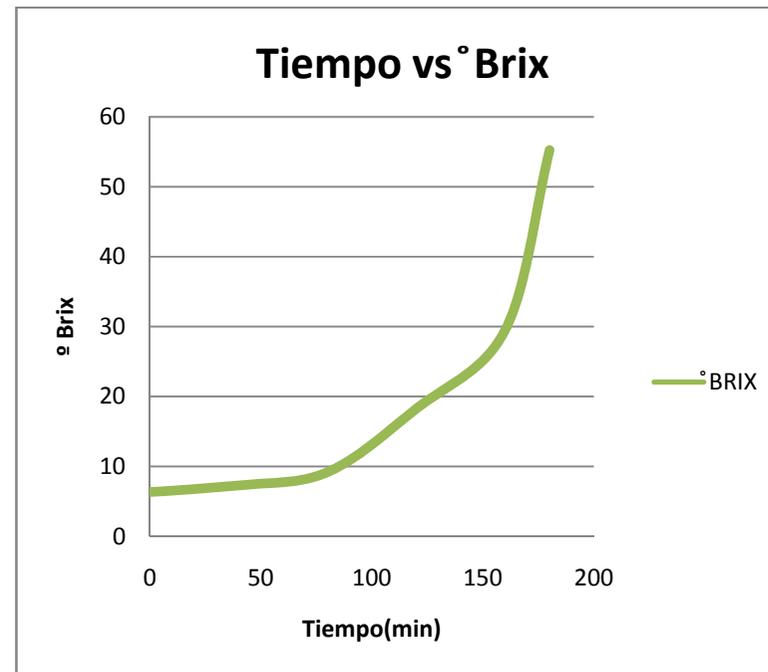
Tabla 3.5-2

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN
DEL EQUIPO
(Tiempo vs Brix)**

Tiempo (min)	°BRIX
0	6,34
40	7,3
80	9,18
120	18,26
160	29,49
180	55,23

Figura 3.5-2

Gráfica Tiempo vs °Brix



Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

PRUEBA 3

Tabla 3.5-3

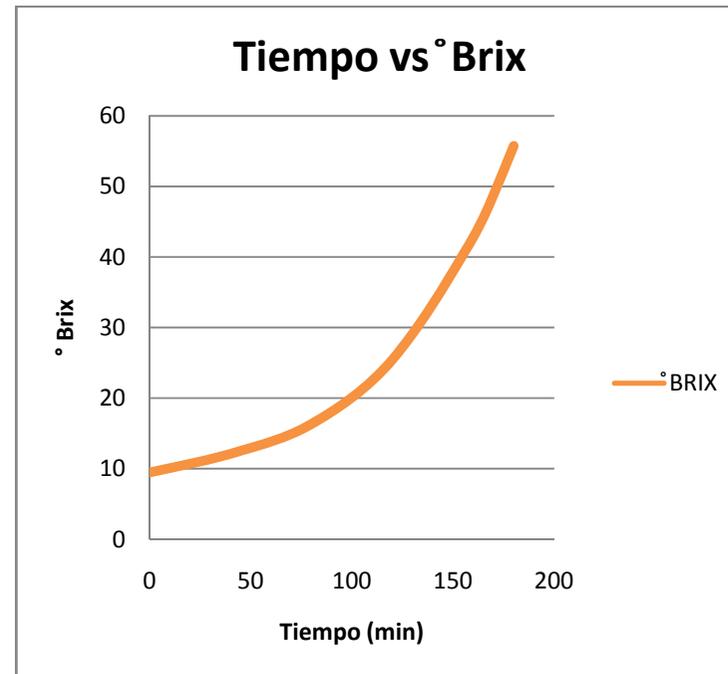
**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN
DEL EQUIPO
(Tiempo vs Brix)**

Tiempo (min)	° BRIX
0	9,48
40	12,13
80	16,35
120	25,46
160	42,85
180	55,76

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

Figura 3.5-3

Gráfica Tiempo vs ° Brix



PRUEBA 1

Tabla 3.5-4

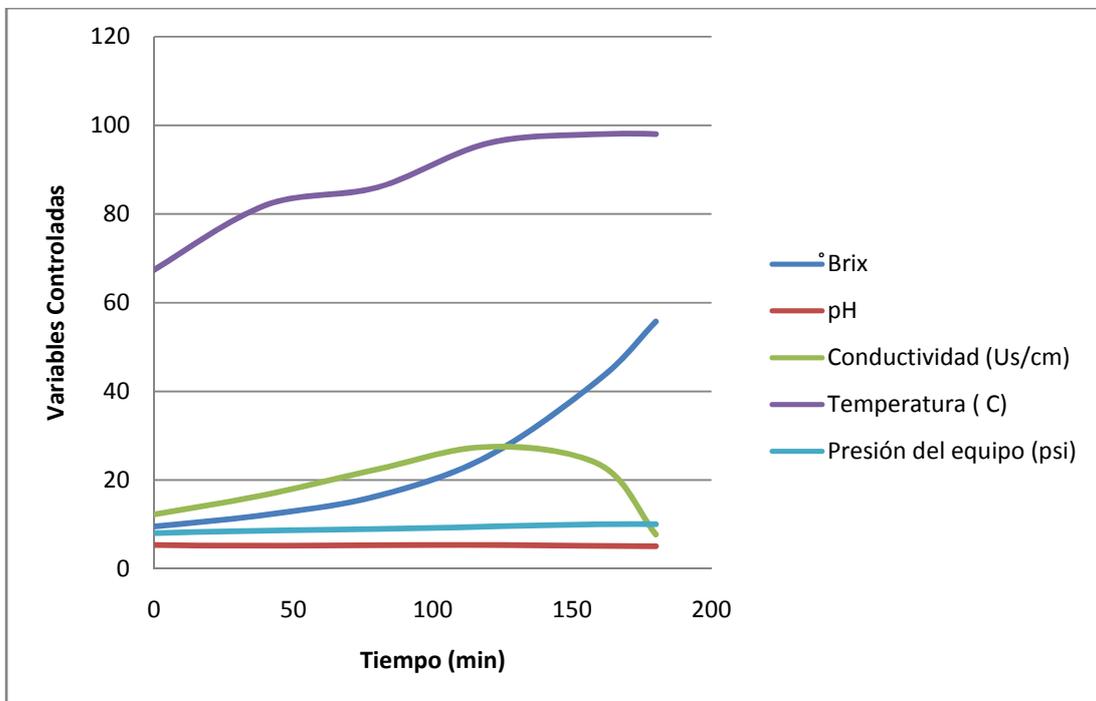
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Tiempo (min)	°Brix	pH	Conductividad (Us/cm)	Temperatura (C)	Presión del equipo (psi)
0	7,22	5,23	12,4	68,3	7,5
40	7,82	5,14	13,28	80	9,0
80	11,31	5,42	16,45	82	10
120	15,29	5,02	22,54	90	10
160	24,21	5,00	20,6	98	12
180	55,71	5,01	10,2	98	10

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

Figura 3.5-4

VARIABLES CONTROLADAS DURANTE EL PROCESOS DE EVAPORACIÓN



PRUEBA 2

Tabla 3.5-5

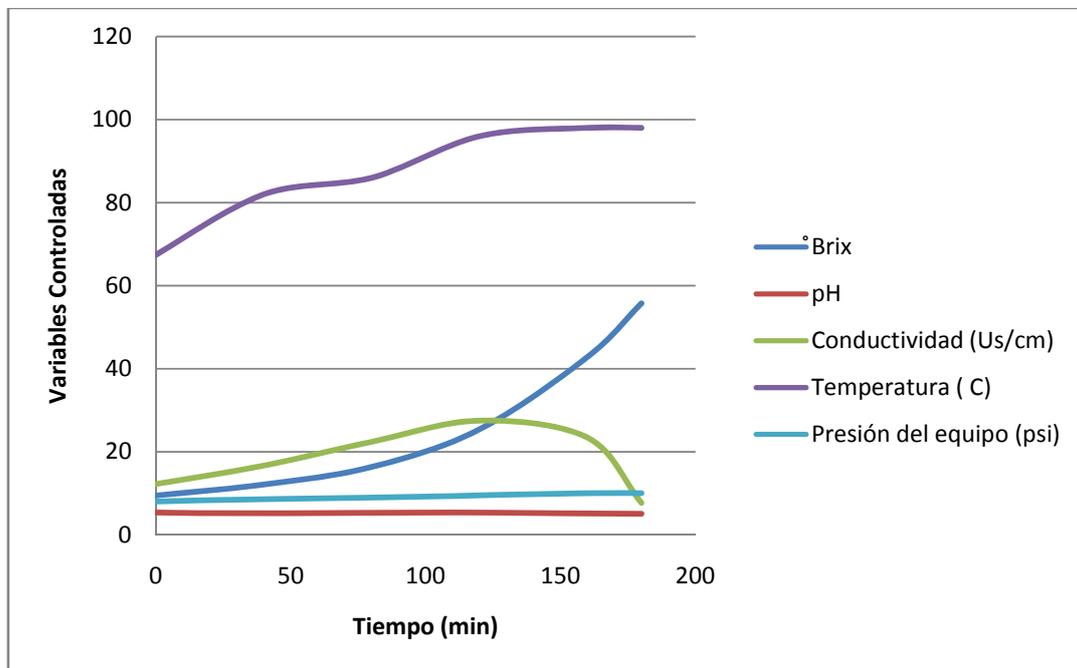
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Tiempo (min)	°Brix	pH	Conductividad (Us/cm)	Temperatura (C)	Presión del equipo (psi)
0	6,34	5,11	12,54	65,42	8
40	7,3	5,19	13,23	82	8,6
80	9,18	5	16,34	86	8,9
120	18,26	5,03	23,1	96	9,5
160	29,49	5,05	22,8	98	10
180	55,23	5,02	7,59	98	10

Fuente: Nandy Gaviláñez, Marisol Hernández

Figura 3.5-5

VARIABLES CONTROLADAS DURANTE EL PROCESOS DE EVAPORACIÓN



PRUEBA 3

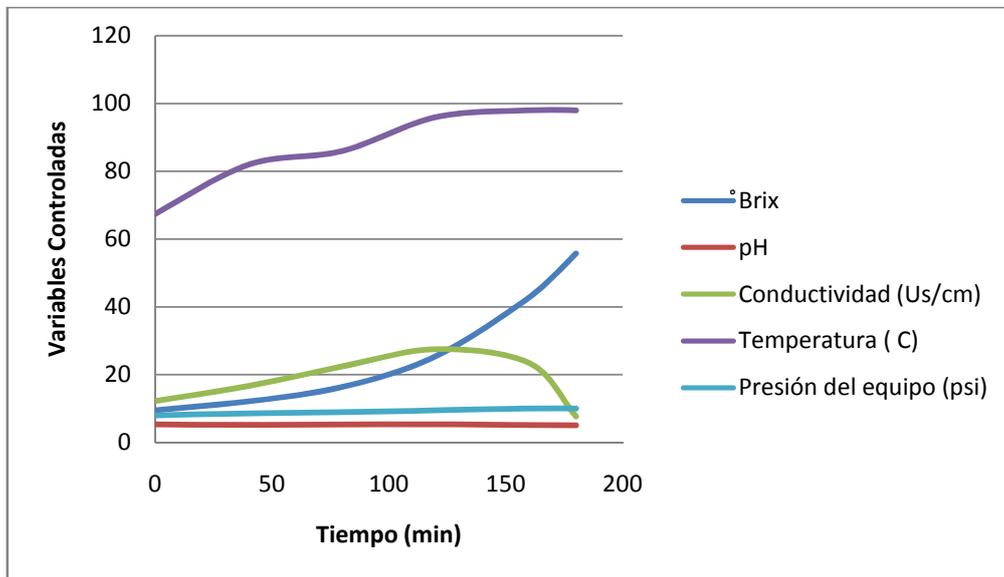
Tabla 3.5-6
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Tiempo (min)	°Brix	pH	Conductividad (Us/cm)	Temperatura (C)	Presión del equipo (psi)
0	9,48	5,35	12,23	67,4	8
40	12,13	5,14	16,67	82	8,6
80	16,35	5,32	22,4	86	8,9
120	25,42	5,34	27,5	96	9,5
160	42,85	5,12	23,4	98	10
180	55,76	5,04	7,68	98	10

Fuente: Nandy Gavilánez, Marisol Hernández

Figura 3.5-6

VARIABLES CONTROLADAS DURANTE EL PROCESOS DE EVAPORACIÓN



CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a las tablas q obtuvimos en los resultados con relación de tiempo VS concentración el análisis corresponde al siguiente, las pruebas de simulación en el laboratorio para la concentración de vinaza se calentó la vinaza diluida en un reverbero en donde al hervirla tomamos muestras en diferentes tiempos lo cual pudimos observar como iba subiendo su concentración hasta llegar a obtener 58,01 °Brix; para esto se inicio con un volumen de 900 ml en un tiempo de 180 min equivalente a 3 horas.

Para la validación del evaporador de simple efecto, se inicio con un volumen de 210 lt de vinaza diluida para lo cual se calentó por medio de una cámara de calefacción por donde ingresa vapor de agua, tomamos muestras cada 40 min hasta llegar a 180 min equivalente a 3 horas lo cual pudimos obtener la concentración deseada que es de 55°Brix.

Como podemos observar los datos obtenidos en el laboratorio y los resultados de la validación del equipo el tiempo para llegar a la concentración deseada es el mismo, la diferencia es su volumen de inicio y la manera de vaporización.

Los resultados que obtuvimos en el evaporador de simple efecto son exactos comparados con los de laboratorio; ya que en el equipo podemos controlar las variables inmersas en el proceso de evaporación como el tiempo, concentración y temperatura. Es importante reconocer que a medida que el tiempo avanza la vinaza se va concentrando esto quiere decir que el tiempo es directamente proporcional a la concentración.

Por otro lado se determinaron las variables del proceso para su óptimo funcionamiento del equipo así se detalla a continuación: temperatura final de 98°C una concentración

de la vinaza de 55 °Brix con una presión del equipo de 10 PSI, y un volumen final de 10 Lt de vinaza concentrada.

Las variables controladas durante el proceso de evaporación son: la temperatura, la presión del equipo, el pH, la conductividad, el °Brix estos parámetros permitirán el buen funcionamiento del equipo así como también obtener una vinaza concentrada sin perder sus nutrientes para poder ser usado como alimento para ganado vacuno.

Hay que reconocer q el °Brix sube con el paso del tiempo y el pH se mantiene, el mismo que nos ayudo a saber que el proceso de evaporación no afectaba a este parámetro y nos permitió conocer que se mantiene igual al pH de la melaza característica importante para el análisis posterior de la vinaza concentrada.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La vinaza diluida que es utilizada como materia prima para nuestro estudio, posee un gran contenido de materia orgánica y nutrientes teniendo un pH de 5,31 conductividad de 12,7 Us/cm a una temperatura inicial de 68,3°C y un Brix de 8,19 estos datos permitirá conocer el tiempo que tardará en obtenerse la vinaza concentrada
- Al desarrollar las pruebas de simulación para la concentración de vinaza en el laboratorio sacamos datos experimentales como referencia para el diseño de nuestro evaporador en donde se fijo una temperatura de 98 °C y una concentración de 55° Brix alrededor de 3 horas.
- Las variables inmersas en el proceso de evaporación son: el tiempo, la concentración, la temperatura, la presión; las mismas que van hacer controladas durante el proceso industrial.
- Con las pruebas de simulación en el laboratorio nos permitió realizar el diseño del evaporador con camisa teniendo el mismo una caída cónica de 27°, con una capacidad de 263 litros, un motor para la agitación de 0.75 Hp. Estos datos permitieron el buen dimensionamiento del equipo para obtener 10 litros de vinaza concentrada.
- Se realizo las pruebas de validación del equipo obteniéndose así un rendimiento de 96.20%, alcanzando una concentración de vinaza de 55° Brix en un tiempo de 3 horas y un volumen final de 10 litros de vinaza concentrada. Al obtener este producto se realizará los análisis pertinentes para ser usado como alimento para ganado.

5.2 RECOMENDACIONES

- La materia prima Vinaza Diluida debe ser aquella que se encuentre en proceso instantáneo de la destilación del alcohol para que pueda ser concentrada sin que varíe sus propiedades físico-químicas
- Al momento de realizar las pruebas de simulación en el laboratorio, se debe tomar en cuenta lo importante que es la agitación constante para que no se derrame la vinaza al momento de hervir.
- Un factor principal para el desarrollo del proyecto es el tiempo para llegar a la concentración esperada de la vinaza.
- Los cálculos arrojados en la construcción del equipo son exactos por lo que no deben sufrir varianza alguna
- La limpieza del equipo debe ser continua para evitar una variación en los cálculos de los resultados finales.
- La cantidad de vapor que ingresa al evaporador debe ser lento hasta alcanzar una presión de 10 PSI y así evitar que la vinaza se riegue.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- DEUTSCHMAN, A.**, Diseño de Maquinas., 4ª. ed., México DF. Continental., 1991., Pp. 13-28

- 2.- FELDER R.**, Cálculos Básicos de Ingeniería Química., 3ª. Ed., México., Mc Graw Hill., 2004., Pp. 42-47

- 3.- FOUST, A.**, Principios de Operaciones Unitarias., 3a. ed., México., CECSA., 1990., Pp. 500-510.

- 4.- Mc CABE W / SMITH.J.**, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., trad. LANTO.M., 6ª ed., Distrito Federal-México., McGraw-Hill., 1980., Pp. 259-303, 511,512.

- 5.- PERRY. R.**, Manual del Ingeniero Químico., 7a Ed., New York-USA., Mc Graw Hill., 2001., Pp. 5-30,11-151.

- 6.- TREYBAL, R.**, Operaciones de transferencia de Masa., 2ª. Ed., México., Mc Graw Hill., 1988., Pp.130-141.

7.- WARREN, L. Operaciones Básicas de Ingeniería Química.,
2ª. ed., Barcelona-España., Reverte. V. II., 1973., Pp.
977-980.

8.- VINAZA

<http://es.wikipedia.org/wiki/Vinaza>

2012/02/05

9.- CARACTERÍSTICAS DE LA VINAZA

<http://www.mem.gob.gt/portal/documents/imglinks/2007->

[11/750/10.pdf.](http://www.mem.gob.gt/portal/documents/imglinks/2007-11/750/10.pdf)

2012/02/05

10.- COMPOSICIÓN DE LA VINAZA

<http://es.scribd.com/doc/58449837/13/IV-1-Composicion-de-la-vinaza>

http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p14-18.pdf

2012/02/05

11.- EMPLEO DE LA VINAZA

<http://www.monografias.com/trabajos71/vinazas-sustratos-fermentados-cana-azucar.shtml>

2012/02/05

12.- EVAPORACIÓN

<http://es.wikipedia.org/wiki/Evaporaci%C3%B3n>

2012/03/20

13.- EVAPORADOR

<http://es.wikipedia.org/wiki/Evaporador>

2012/03/22

<http://senaevaporadores.blogspot.com/>

2012/03/23

14.- CARACTERÍSTICAS DE UN EVAPORADOR

[http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=evaporador.ppt&source./](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=evaporador.ppt&source/)

2012/03/24

15.- ECONOMÍA DE UN EVAPORADOR SIMPLE

http://ocwus.us.es/arquitecturaeingenieria/operacionesbásicas/contenidos1/tema10/pagina_11htm

2012/03/25.

16.- CAPACIDAD DE EVAPORACIÓN

http://ocwus.us.es/arquitecturaingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema10/pagina_08.htm

2012/03/25

17.- APLICACIONES DE LA EVAPORACIÓN

<http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080826194157AA0Td7o>

2012/03/25

18.- SERPENTÍN

<http://es.wikipedia.org/wiki/Serpent%C3%ADn>

2012/03/28

19.- AGITACIÓN

<http://www.cps.unizar.es/~jblasco/agitacion.pdf>

2012/04/10

20.- AGITACIÓN Y MEZCLA DE LÍQUIDOS

<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r84020.PDF>

F

2012/04/10

21.- FUNDAMENTOS DE MEZCLADO

<http://es.scribd.com/doc/18664638/Mezclado-de-liquidos>

2012/04/10

22.- MEZCLADORES

<http://eqyherramientas.blogspot.com/2009/04/operaciones-unitarias-la-reduccion-de.html>

2012/04/12

23.- AGITADORES DE HELICE

<http://www.google.com.ec/search?q=agitadores+de+helice&hl=es&prmd=imvns&tbm>

http://www.ecured.cu/index.php/Agitaci%C3%B3n_%28Qu%C3%ADmica%29

2012/04/12

24.- POTENCIA DEL MOTOR

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/cossio_c_hj/capitulo10.pdf

2012/04/15

25.- NUMERO DE POTENCIA

<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r84026.PDF>

F

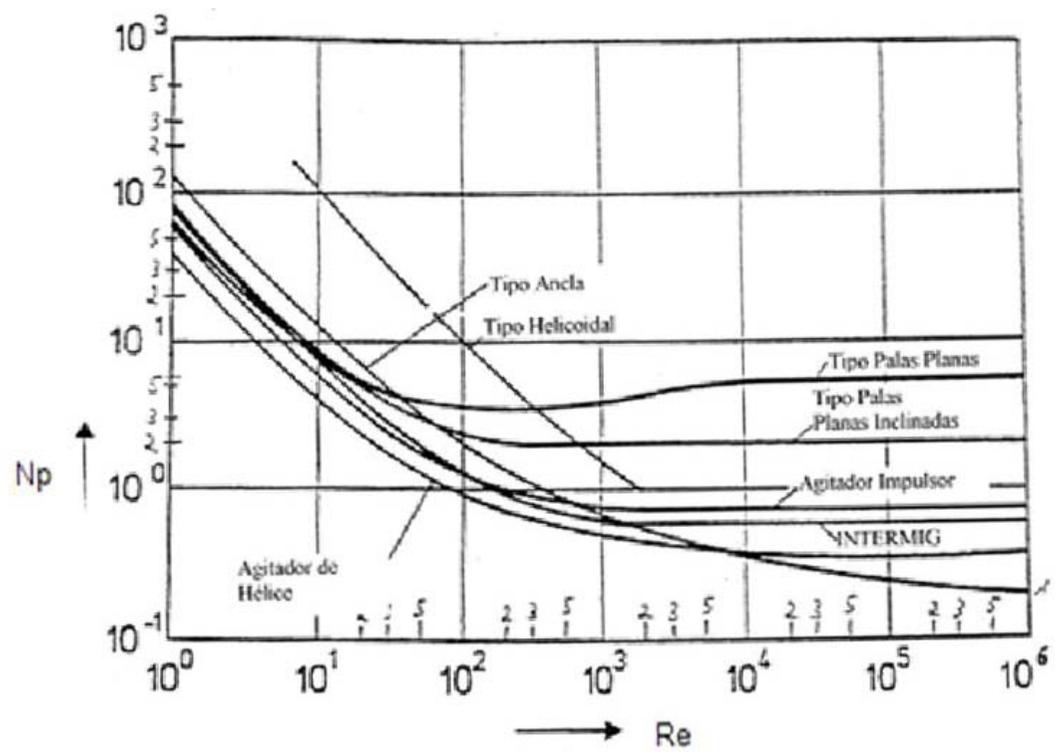
2012/04/15

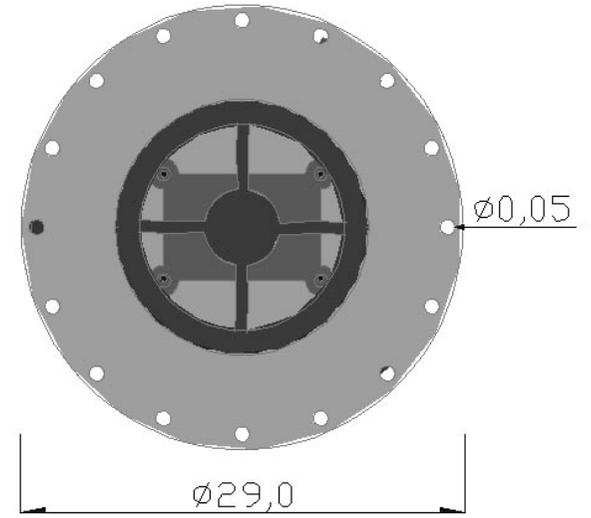
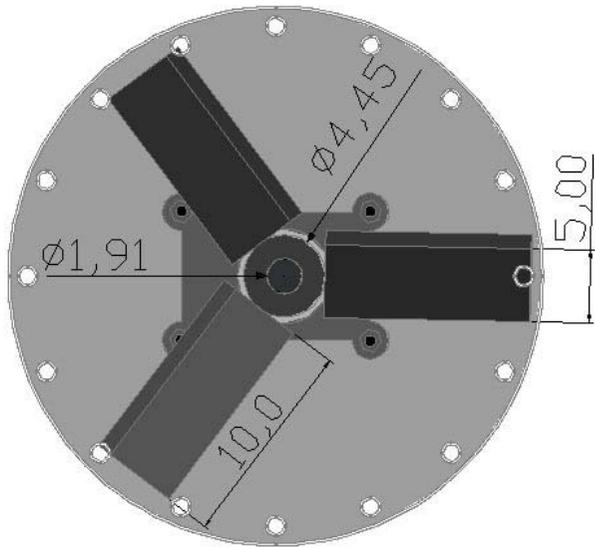
TABLA A. 7
Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado
(extradas por interpolación)

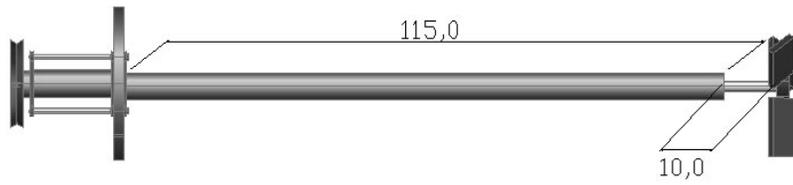
Temperatura de saturación t_s °C	Presión de saturación p_s bar	Volumen específico		Entalpía h kJ/kg		Entalpía h kcal/kg	
		Del líquido v_f m ³ /kg	Del vapor v_g m ³ /kg	Del líquido h_f kJ/kg	Del vapor h_g kJ/kg	Del líquido H_f kcal/kg	Del vapor H_g kcal/kg
0	0,0061123	1,0002	206,3	0	2,1063	0	597,2
5	0,0088993	1,0050	147,2	0,0182	2,1551	5,03	599,4
10	0,0122513	1,0094	106,4	0,0361	2,2153	10,04	601,6
15	0,017376	1,0018	77,99	0,0536	2,2870	15,04	603,8
20	0,02383	1,0018	57,84	0,0708	2,3697	20,03	606,0
25	0,03229	1,0030	43,41	0,0876	2,4636	25,02	608,2
30	0,04325	1,0044	32,91	0,1042	2,5687	30,00	610,4
35	0,05721	1,0061	25,21	0,1205	2,6857	34,99	612,7
40	0,07482	1,0081	19,57	0,1365	2,8148	39,98	614,9
45	0,09771	1,0099	15,28	0,1524	2,9568	44,96	617,1
50	0,12758	1,0121	12,05	0,1679	3,1127	49,95	619,0
55	0,16651	1,0145	9,584	0,1833	3,2835	54,94	621,0
60	0,2161	1,0171	7,682	0,1987	3,4691	59,93	623,0
65	0,28059	1,0199	6,205	0,2133	3,6702	64,93	625,2
70	0,3647	1,0229	5,049	0,2270	3,8872	69,93	627,3
75	0,4731	1,0258	4,116	0,2402	4,1205	74,94	629,3
80	0,6129	1,0290	3,410	0,2530	4,3708	79,95	631,3
85	0,7904	1,0323	2,830	0,2654	4,6381	84,96	633,2
90	0,10149	1,0359	2,361	0,2774	4,9225	89,97	635,1
95	0,13619	1,0399	1,991	0,2893	5,2240	95,01	637,0
100	0,17512	1,0452	1,673	0,3011	5,5435	100,07	638,9
105	0,22118	1,0519	1,419	0,3125	5,8810	105,08	640,7
110	0,27609	1,0594	1,210	0,3237	6,2365	110,05	642,5
115	0,34239	1,0678	1,036	0,3348	6,6100	115,00	644,3
120	0,42245	1,0771	0,891	0,3457	7,0015	120,00	646,0
125	0,51869	1,0874	0,770	0,3565	7,4110	125,00	647,7
130	0,63461	1,0987	0,668	0,3672	7,8385	130,00	649,3
135	0,77381	1,1110	0,581	0,3778	8,2840	135,00	650,8
140	0,94009	1,1244	0,505	0,3883	8,7475	140,00	652,3
145	1,1382	1,1389	0,439	0,3987	9,2290	145,00	653,8
150	1,3741	1,1546	0,382	0,4091	9,7285	150,00	655,3
155	1,6536	1,1715	0,333	0,4194	1,0270	155,00	656,8
160	2,0000	1,1897	0,290	0,4297	1,1345	160,00	658,3
165	2,4380	1,2094	0,252	0,4399	1,2510	165,00	659,8
170	2,9820	1,2307	0,218	0,4501	1,3765	170,00	661,3
175	3,6480	1,2537	0,188	0,4603	1,5110	175,00	662,8
180	4,4520	1,2784	0,161	0,4705	1,6545	180,00	664,3
185	5,4100	1,3049	0,136	0,4807	1,8070	185,00	665,8
190	6,6400	1,3334	0,113	0,4909	1,9685	190,00	667,3
195	8,1700	1,3640	0,092	0,5011	2,1390	195,00	668,8

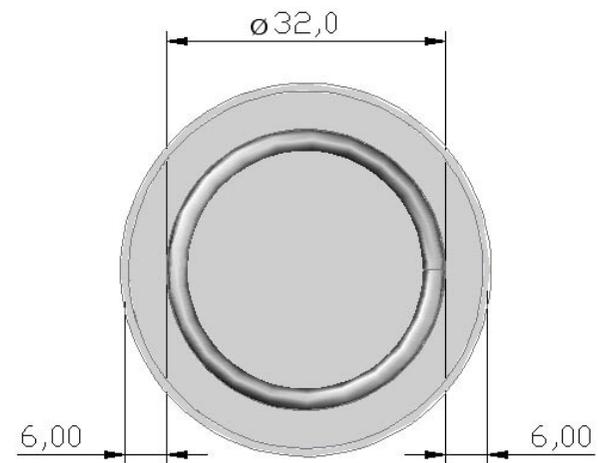
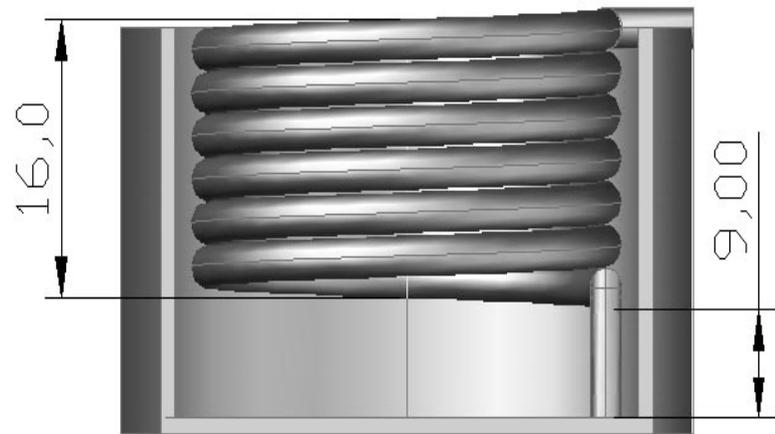
Tabla A. 7 (Continúa)

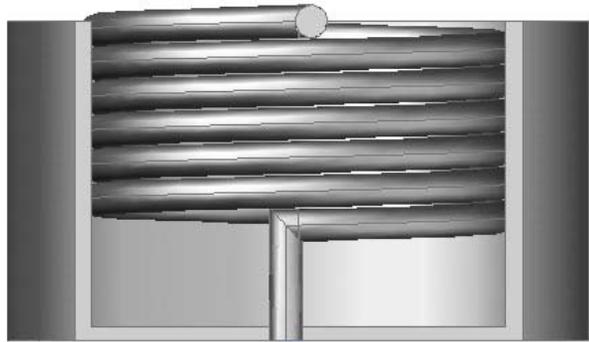
Temperatura de saturación t_s °C	Presión de saturación p_s bar	Volumen específico		Entalpía h kJ/kg		Entalpía h kcal/kg	
		Del líquido v_f m ³ /kg	Del vapor v_g m ³ /kg	Del líquido h_f kJ/kg	Del vapor h_g kJ/kg	Del líquido H_f kcal/kg	Del vapor H_g kcal/kg
200	15,557	1,1565	0,1273	0,5562	1,5358	203,5	667,0
205	17,585	1,1645	0,1151	0,5673	1,5270	208,9	667,7
210	19,456	1,1726	0,1043	0,5783	1,5184	214,3	668,3
215	21,177	1,1812	0,09572	0,5899	1,5099	219,8	668,8
220	23,659	1,1900	0,08814	0,6010	1,5012	225,3	669,3
225	26,007	1,1991	0,08145	0,6120	1,4926	230,8	669,5
230	28,231	1,2088	0,0753	0,6229	1,4840	236,4	669,7
235	31,239	1,2186	0,06970	0,6339	1,4755	242,1	669,7
240	34,140	1,2291	0,06550	0,6448	1,4669	247,7	669,6
245	37,344	1,2400	0,06163	0,6558	1,4584	253,5	669,4
250	40,96	1,2512	0,05806	0,6667	1,4499	259,2	669,0
255	44,10	1,2629	0,05479	0,6776	1,4415	265,0	668,4
260	47,67	1,2755	0,05181	0,6886	1,4327	271,0	667,8
265	51,88	1,2881	0,04900	0,6997	1,4240	277,0	666,9
270	56,14	1,3023	0,04637	0,7103	1,4153	283,0	665,9
275	60,66	1,3169	0,04392	0,7212	1,4066	289,2	664,8
280	65,46	1,3321	0,04163	0,7321	1,3978	295,3	663,5
285	70,54	1,3481	0,03951	0,7431	1,3885	301,6	661,9
290	75,92	1,3655	0,03755	0,7542	1,3797	308,0	660,2
295	81,60	1,3837	0,03575	0,7653	1,3706	314,4	658,3
300	87,61	1,4026	0,03410	0,7767	1,3613	321,0	656,1
305	93,95	1,4221	0,03259	0,7880	1,3516	327,7	653,6
310	100,64	1,4421	0,03120	0,7995	1,3415	334,6	650,8
315	107,69	1,4627	0,02992	0,8110	1,3312	341,7	647,6
320	115,11	1,4839	0,02874	0,8228	1,3206	349,0	644,2
325	122,95	1,5057	0,02766	0,8341	1,3097	356,5	640,4
330	131,18	1,5281	0,02668	0,8456	1,2982	364,2	636,0
335	139,85	1,5510	0,02580	0,8573	1,2862	372,3	631,1
340	148,96	1,5744	0,02500	0,8693	1,2738	380,7	625,6
345	158,54	1,5983	0,02427	0,8817	1,2610	389,6	619,3
350	168,63	1,6227	0,02360	0,8944	1,2477	398,9	611,9
355	179,24	1,6476	0,02300	0,9073	1,2340	408,5	603,3
360	190,42	1,6730	0,02246	0,9205	1,2200	418,5	593,8
365	202,21	1,6989	0,02197	0,9340	1,2057	428,9	583,6
370	214,63	1,7253	0,02153	0,9478	1,1912	439,7	572,9
375	227,71	1,7522	0,02114	0,9619	1,1765	450,9	561,0
380	241,47	1,7796	0,02079	0,9763	1,1617	462,5	547,7
385	255,94	1,8075	0,02048	0,9910	1,1468	474,5	533,3
390	271,15	1,8359	0,02020	1,0060	1,1318	486,9	518,0
395	287,14	1,8648	0,02000	1,0212	1,1167	499,7	501,9
400	303,94	1,8942	0,01987	1,0367	1,1015	512,9	485,3











∅ 2,54

