



**UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS

**“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA RECUPERACIÓN DEL
ALCOHOL ETÍLICO DE LOS LODOS DE FERMENTACIÓN EN
UNA PLANTA DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE MELAZA”**

Presentada como requisito para optar título profesional de:

INGENIERO QUIMICO

Por:

**Bach. DANIEL LACHOS PEREZ
Bach. PAULO CESAR TORRES MAYANGA**

**Lambayeque
PERÚ
2013**

**“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA RECUPERACIÓN DEL
ALCOHOL ETÍLICO DE LOS LODOS DE FERMENTACIÓN EN
UNA PLANTA DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE MELAZA”**

TESIS

Presentada como requisito para optar el título profesional de

INGENIERO QUIMICO

Por:

**Bach. DANIEL LACHOS PEREZ
Bach. PAULO CESAR TORRES MAYANGA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado

M.Sc.Ing. César Alberto García Espinoza _____
Presidente

M.Sc. Ing. Pedro Pablo Ángeles Chero _____
Secretario

M.Sc. Ing. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno _____
Vocal

M.Sc. Ing. José Enrique Hernández Ore _____
Asesor

DEDICATORIA

A Dios.

Al único sabio y verdadero dador de la vida. El mismo que nos da la fortaleza necesaria para salir de las situaciones adversas que se nos presentaron en nuestro día a día, amigo incondicional con quien hemos compartido momentos tristes, momentos llenos de gozo y felicidad. Y quien deseamos nos acompañe siempre para alcanzar exitosamente nuestras metas, no solo en nuestro campo profesional, sino dentro de la sociedad.

*A mis **Padres, César Martín y Iris**, quienes me han brindado el amor y el apoyo suficiente para salir adelante con mis objetivos. A quienes amo y gratificare su inmenso esfuerzo con el fruto de mi trabajo.*

*A mi madre **Hilda** y mis **Hermanos Verónica, Alex y Rossio**, gracias a ustedes pude concluir mi carrera, gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y estudiante. Este triunfo es de todos nosotros.*

*A nuestro asesor, el **M.Sc. Ing. Enrique Hernández Oré**, por preservar en su rol como asesor y amigo, brindando apoyo intelectual y moral; motivando el arduo esfuerzo para lograr nuestra meta trazada.*

Paulo César y Daniel

AGRADECIMIENTOS

*A **Gary, Cinthya y milagros** mis hermanos por ser parte de mi vida, por mostrarme permanentemente su apoyo.*

*A **Mirla**, por estar siempre presente en mi vida, en las alegrías y dificultades, quien fortalece mi alma y ánimo.*

*A la **Ing. Gladys Miñope Gómez**, por habernos brindado su apoyo y confianza al realizar nuestro estudio en su planta de trabajo, brindándonos sugerencias con el propósito de mejorar la calidad de esta investigación.*

Paulo César

*Nuevamente a mi **madre y hermanos** y en **especial a mi Padre**, que sé que desde el cielo siempre me ha iluminado para andar por el camino del bien.*

*A **mis tíos, Lidonil, Gloria, Estelita, Nelly, Segundo y Reyna**, y al resto de mi familia, por estar presentes en los momentos importantes de mi vida.*

*A amigo y mi compañero de Tesis, **Paulo**, por su apoyo incondicional y su amistad sincera.*

Daniel

Índice

1	INTRODUCCIÓN	3
2	MARCO TEORICO	5
2.1	MELAZA.....	6
2.2	EVOLUCIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA	17
2.3	ALCOHOL ETÍLICO	20
2.4	LODOS DE FERMENTACIÓN	24
2.5	FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	28
3	DESCRIPCION DEL PROCESO.....	33
3.1	ALMACENAMIENTO DE MELAZA.....	34
3.2	CULTIVO Y DESARROLLO DE LA CEPA EN LABORATORIO.....	34
3.3	PREPARACIÓN DEL MOSTO	37
3.4	PROPAGACIÓN DE LA LEVADURA	38
3.5	FERMENTACIÓN.....	40
3.6	DESTILACIÓN	43
3.7	ALMACENAMIENTO DEL ALCOHOL ETÍLICO	45
4	MATERIALES Y METODOS	46
4.1	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
4.2	MATERIALES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	47
4.3	PROCEDIMIENTO EN LA RECUPERACIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A NIVEL LABORATORIO.	48
4.4	OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO DE LOS LODOS EN PLANTA.	49
4.5	EVALUACIÓN ECONÓMICA	53
5	RESULTADOS Y DISCUSION	54
5.1	EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ALCOHOL ETÍLICO MEDIANTE LA DILUCIÓN CON AGUA.....	55
5.2	ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS	62
5.3	COSTO DE LOS EQUIPOS	63
5.4	COSTO DE LOS INSUMOS	64
5.5	COSTO DE ENERGÍA	65
5.6	COSTO DE VAPOR	66
5.7	COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	68
5.8	COSTO DE MATERIA PRIMA	68
5.9	COSTO DE MANTENIMIENTO.....	68

5.10	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RECUPERACIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO DE LOS LODOS DE FERMENTACIÓN.	69
5.11	EVALUACIÓN ECONÓMICA:	70
6	CONCLUSIONES.....	71
7	RECOMENDACIONES.....	73
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
8.1	BIBLIOGRAFÍA	76
8.2	LINKOGRAFIA	78
9	ANEXOS	79
10	APÉNDICE	82

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Composición Aproximada de la Melaza de Caña	9
Cuadro N° 2: Aprovechamiento de la Melaza de Caña	16
Cuadro N° 3: Propiedades Fisicoquímicas y Termodinámicas del Alcohol Etílico	20
Cuadro N° 4: Reactivos para la Propagación a 5 L	35
Cuadro N° 5: Reactivos para la Propagación a 18 L.....	36
Cuadro N° 6: Reactivos para la Propagación a 50 L.....	36
Cuadro N° 7: Tanque Sedimentador.....	63
Cuadro N° 8: Costo de Tanque Sedimentador y Sistema de Bombeo	64
Cuadro N° 9: Costo Promedio Diario del Caldero	66
Cuadro N° 10: Detalle del Aumento del Consumo de Vapor.....	67
Cuadro N° 11: Flujo de Caja del proyecto	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje de recuperación de alcohol etílico del lodo en relación con el volumen de dilución.....	55
Tabla 2: Cálculo del % adicional de flujo de mosto recuperado	58
Tabla 3: Porcentaje de Reducción de alcohol etílico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna mostera.....	60
Tabla 4: Volumen y Porcentaje alcohólico de mosto recuperado en el proceso de recuperación de alcohol etílico en planta.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Proceso de Obtención de Melaza.....	14
Figura N° 2: Vías Tecnológicas para la Producción de Etanol	23
Figura N° 3: Fermentación Alcohólica	28
Figura N° 4: Poza de almacenamiento de melaza.....	34
Figura N° 5: Tanque de Recepción de Melaza.....	37
Figura N° 6: Tanque Agitador y Homogenizador	38
Figura N° 7: Semilleros y Pre's.....	39
Figura N° 8: Compresora	39
Figura N° 9: Fermentadores de Mosto	41
Figura N° 10: Enfriador de Placas	41
Figura N° 11: Sistema De Fermentación	42
Figura N° 12: Sistema de Columnas de Destilación	44
Figura N° 13: Almacenamiento del alcohol Etílico	45
Figura N° 14: Sistema de Recuperación Alcohol Etílico a Partir de Lodos de Fermentación	52
Figura N° 15: % alcohólico del mosto recuperado Versus Volumen de Agua de Dilución	56
Figura N° 16: Relación del % Recuperación de Alcohol Etílico y Volumen Agua de Dilución	56
Figura N° 17: Tanque Sedimentador Con Fondo Cónico	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fotos Parte Experimental	80
---	----

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo principal analizar la evaluación económica de la recuperación de alcohol etílico en los lodos de fermentación y diseño de una línea de recuperación de alcohol etílico, utilizando como materia prima los lodos de los tanques de fermentación en la industria alcoholera, ya que estos por su alta cantidad de materia en suspensión (levadura muerta, CaSO_4 , MgSO_4) incrustaría rápidamente el sistema de destilación, específicamente la columna de mosto. Experimentalmente se determinó el rendimiento del alcohol etílico, a partir de las relaciones de dilución con agua, luego, se recuperó el mosto alcohólico, que posteriormente se sometió a destilación evaluando el porcentaje de recuperación de alcohol etílico y el porcentaje alcohólico del mosto recuperado.

En la etapa previa a la destilación se partió de un volumen de lodo de 500 ml, y la relación de dilución fue de 1:3. Obteniendo 75% de la recuperación de alcohol etílico en los lodos. Partiendo de la relación de dilución, lo llevamos a volumen a escala industrial, con lo cual se determina el tamaño, la capacidad del tanque sedimentador, los equipos y accesorios utilizados, para luego describir, en forma detallada, cada uno de los procedimientos correspondientes al proceso de recuperación de alcohol etílico a partir de lodos.

En la evaluación económica se estableció, cada uno de los costos que va tener la nueva línea de recuperación de alcohol etílico, directamente en un año de funcionamiento que es el lapso en el cual se va a recuperar. Dentro del estudio de la evaluación económica de recuperación del alcohol etílico a partir de lodos de fermentación, una vez diseñada la línea de recuperación, se procedió a la simulación del mismo mediante los resultados obtenidos en laboratorio. Siendo capaz de trabajar con 2 lotes diarios de lodo al día, para recuperar 216 L de alcohol etílico al día, teniendo un VAN equivalente a 379,436.26 y un TIR de 2327.17%, lo que hace totalmente rentable el proyecto. Partiendo de una inversión de S. / 4503.90.

Palabras Claves: Evaluación económica, recuperación de alcohol etílico, lodo de fermentación, alcohol etílico.

ABSTRACT

The main objective of the following work is to the economic evaluation of the recovery of ethyl alcohol in sludge fermentation and design a line of recovery of ethyl alcohol, using sludge from alcohol industry fermentation tanks as raw material, a recovery line of ethyl alcohol since these due to their high amount of suspended matter (dead yeast, CaSO_4 , MgSO_4) could be embedded quickly the distillation system specifically column wort. Experimentally we determined ethyl alcohol yield from dilution ratios with water. Then, were covered the wort, which is then subjected to distillation, evaluating the percent recovery of ethyl alcohol in the wort recovered.

In the step prior to the distillation we started from a sludge volume of 500 ml, and the dilution ratio was one of 1:3. We obtained 75% recovery of ethyl alcohol in the sludge.

Based on the dilution ratio, we increase the volume to industrial scale, which determines the size, settling tank capacity, equipment and accessories required. Then we describe, in detail, each of the procedures for the recovery process of ethyl alcohol from sludge.

In the economic evaluation, we set each of the costs that the new recovery line ethyl alcohol will have, directly into a year of operation, which is the period in which it will recover.

Within the study of the economic evaluation of ethyl alcohol recovery from fermentation sludge, after designing the recovery line, we proceeded to the simulation thereof by the results obtained in laboratory. We worked with two batches of sludge per day to recover 213L, having an equivalent VAN of 379,436.26 and an equivalent TIR of 2327.17%, it means that the project is totally rentable. From an investment of S. / 4503,90.

Keywords: *Economic evaluation, recovery of ethyl alcohol, fermentation sludge, ethyl alcohol.*

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial está conduciendo cada vez más al incremento del uso del alcohol etílico, por la utilización de éste, directa o indirectamente para la elaboración de una serie de productos, en medicina, perfumería, textiles, disolventes, bebidas alcohólicas, combustibles, etc.; por lo cual se viene investigando nuevas fuentes de materia prima para la obtención de alcohol etílico que sean rentables y competitivas frente a las tradicionales como la melaza, granos y derivados del petróleo.

Frente a la preocupación mundial por el calentamiento global, nuestra dependencia a los combustibles fósiles no renovables con precios sobre los US\$ 94.35 /barril y en aumento y la reducción de las reservas mundiales de petróleo, urge la búsqueda de nuevas alternativas energéticas basadas en recursos renovables, como los desechos agrícolas, forestales, domésticos e industriales.

Según PRODUCE, en el 2003 en nuestro país la producción de alcohol rectificado ascendió a 30,4 millones de litros, creciendo ligeramente (2%) en comparación al año anterior , esta producción genera un desperdicio de residuos semisólidos; actualmente estos residuos semisólidos provenientes de la fermentación, conocidos como los lodos de fermentación o lodos de fondo que se asientan en los tanques de vino y el excedente de crema de los pre-fermentadores, que aunque no son los residuos eliminados en mayor volumen, si son los que tienen mayor potencial contaminante, debido a la gran cantidad de sólidos suspendidos y material orgánico que contienen.

Hasta el momento este material viene siendo utilizado en el mundo como fertilizante, para aumentar la producción de biomasa y en alimentación animal.

2 MARCO TEORICO

2.1 Melaza

2.1.1 Definición

La melaza, un subproducto del proceso de la fabricación o de la refinación del azúcar crudo, es una de las fuentes más baratas de carbohidratos utilizadas en la producción de alcohol etílico. Se le conoce con el nombre de miel final o miel de purga. La melaza es un líquido denso, viscoso y de color oscuro que se separa por la centrifugación de la masa tercera cocida de la cual los azúcares no pueden ser recuperados por métodos convencionales y económicos.

(Ponce, María / Bermeo, Mirella, 2011)

Las melazas, mieles finales o melazas “blackstrap”, suelen ser definidas, por muchos autores como los residuos de la cristalización final del azúcar de los cuales no se puede obtener más azúcar por métodos físicos. La Norma ICONTEC 587 de 1994, define como miel final o melaza (no cristalizable) al jarabe o líquido denso y viscoso, separado de la misma masa cocida final y de la cual no es posible cristalizar más azúcar por métodos usuales (ICONTEC, 1994). La denominación melaza se aplica al efluente final obtenido en la preparación del azúcar mediante una cristalización repetida. El proceso de evaporación y cristalización es usualmente repetido tres veces hasta el punto en el cual el azúcar invertido y la alta viscosidad de las melazas ya no permitan una cristalización adicional de la sacarosa.

(Swan y Karalazos, 1990)

La melaza es una mezcla compleja que contiene sacarosa, azúcar invertido, sales y otros compuestos solubles en álcali que normalmente están presentes en el jugo de caña localizado, así como los formados durante el proceso de manufactura del azúcar. Además de la sacarosa, glucosa, fructosa y rafinosa los cuales son fermentables, las melazas también contienen sustancias reductoras no fermentables. Estos compuestos no fermentables reductores del cobre, son principalmente caramelos libres de nitrógeno producidos por el calentamiento requerido por el proceso y las melanoidinas que si contienen nitrógeno derivadas a partir de productos de condensación de azúcar y amino compuestos.

(Honig, 1974)

2.1.2 Composición de la Melaza de Caña

Las melazas además de tener una gran cantidad de azúcar contienen sustancias nitrogenadas, vitaminas y elementos traza.

Sin embargo, la composición de las melazas varía dependiendo de la clase de caña; y la calidad depende de la localidad, condiciones del suelo, el clima y el proceso de producción. Las melazas de caña son ligeramente ácidas, con un pH de 5.5 a 6.5, el bajo pH es atribuible a la presencia de ácidos alifáticos.

(Castro, 1993)

Los constituyentes de la melaza de caña son:

2.1.2.1 Azúcares (Hidratos de Carbono)

El azúcar de las melazas está constituido principalmente por sacarosa, pero pueden estar presentes algunas cantidades de azúcar invertido (la dextrosa y la fructosa), y rafinosa. La fructosa presente en las mieles es más inestable a causa de la acción de la temperatura. El contenido de glucosa y fructosa en las mieles en muchas ocasiones, depende de la hidrólisis de la sacarosa bajo condiciones de elevada temperatura y bajo pH. Lamanosa, un epímero de la glucosa, aparece generalmente, en mieles con algún tiempo de almacenamiento. Los azúcares reductores libres en condiciones específicas del proceso de la fabricación se suelen convertir parcialmente, en ácidos y materias colorantes. En medio alcalino la fructuosa se puede descomponer en ácido láctico, puede también producirse ácidos fórmico, acético y dióxido de carbono.

La reacción entre aminoácidos y azúcares reductores o sus compuestos es en parte responsable del residuo no fermentable que se ha encontrado; contiene un promedio del 68% del nitrógeno combinado en la miel original.

Se ha comprobado que las sustancias no fermentables aumentan con el aumento de los azúcares invertidos y la disminución de la pureza del jugo, que dichas sustancias se acumulan gradualmente durante el proceso de fabricación del azúcar y que la cantidad más elevada de estas sustancias se halla en las mieles debido a los productos de condensación.

2.1.2.2 Agua

El agua de las melazas es en su mayor parte agua libre, pero otra parte está retenida como agua de hidratación. El porcentaje de agua depende de la cantidad de agua en el proceso de fabricación que corresponde aproximadamente de 12 - 17 %.

2.1.2.3 No azúcares

2.1.2.3.1 No azúcares orgánicos

- **Compuestos nitrogenados**

El nitrógeno total de los compuestos nitrogenados que contienen las melazas llega desde 0.4 al 1.5%. Tales como aminoácidos proteínas y nitrógeno amoniacal.

- **Compuestos sin nitrógeno**

Las vitaminas que son estables en presencia de calor y en medio alcalino quedan concentradas en las melazas, pero de ello solo el Mioinositol existe en cantidades suficientes para satisfacer el requisito dietético mínimo.

- **Ácidos orgánicos**

Entre los ácidos orgánicos más importantes presentes en las mieles, se encontraron: acotínico, láctico, cítrico y los volátiles: fórmico, acético, butírico, propiónico y valérico.

- **Ceras, esteroides y lípidos**

Los contenidos cerosos y grasos del jugo, removidos y eliminados por defecación persisten en la melaza. Se reporta un contenido de estas materias como 0.5% sobre los sólidos.

- **Materias colorantes**

Generalmente, son el resultado de la descomposición de la sacarosa y las reacciones de los azúcares reductores y los aminoácidos cuyo producto es la melanoidina. El aumento de la concentración de los azúcares reductores de 0.13 – 0.2 gr/100 gr. hasta 0.24 - 0.38 gr/100gr. de sacarosa provocan un aumento de color en comparación con el color inicial, de cerca de 40%.

El efecto de la temperatura sobre la glucosa lleva a la formación de pequeñas cantidades de hidrometilfurfural, el cual es causante del color marrón.

2.1.2.3.2 No azúcar inorgánico

- **Cenizas**

La ceniza en las mieles finales tiene un valor mayor del 10 al 11% pero es frecuente encontrar del 12 al 15%.

(Ponce, M/ Bermeo M., 2011)

Cuadro Nº 1: Composición Aproximada de la Melaza de Caña

CONSTITUYENTES	COMPONENTES	PORCENTAJES (%)
Agua		17-25
Azúcares	Sacarosa	30 -40
	Glucosa(Dextrosa)	4-9
	Fructuosa(Levulosa)	5-12
	Otras sustancias reductoras(como invertidos)	1-4
	Total de sustancias reductoras(como invertidos)	10-25
Otros hidratos de carbono	Gomas, almidón, pentosanos, también trazas de hexitoles: mionositol, D-manitol y ác. Uronico(MeO,2.0-3.0)	2-5
Cenizas	Como Carbonatos	%Cenizas
	Bases: K ₂ O	30 – 15
	CaO	7 – 15
	MgO	2 – 14
	Na ₂ O	0.3 – 2.7
	R ₂ O ₃ Fe	0.4 – 2.7
	Ácidos: SO ₃	7 – 27
	Cl	12 – 30
	P ₂ O ₃	0.5 – 2.5
	SiO ₂ e Insolubles	1 – 7
Compuestos Nitrogenados	Proteína "Bruta" (Nx6.25)	2.5-4.5
	Proteína Verdadera	0.5-1.5
	Aminoácidos, principalmente ácidos aspártico y glutámico, incluyendo ácidos pirrolidin carboxílico	0.3-0.5
	Componentes nitrogenados no identificados	1.5-3.0
Ácidos no nitrogenados	Ácido Aconítico (1-5%) cítrico, málico, oxálico.	1.5-6.0
	Glicólico, mesaconico, succínico, fumarico, tartárico	0.5-1.5
Ceras, Esteroles y fosfatidos		0.1-1.0
Vitaminas	Vitamina A, biotina, niacina, ac. Pantoténico, riboflavina, tianina	Cantidades variables

Fuente: Spencer Meade, Manual del Azúcar de caña

2.1.3 Propiedades Físico-Químicas

2.1.3.1 Viscosidad

Las relaciones entre concentración y viscosidad para soluciones de azúcar pura son igualmente válidas para las melazas. La viscosidad de las soluciones saturadas de azúcar impuro, aumenta rápidamente con el contenido de impurezas debido al incremento de la concentración de sólidos.

El efecto de las sales minerales sobre la viscosidad de las soluciones de azúcar es variable. Un enriquecimiento de iones Ca^{2+} aumenta la viscosidad, mientras que un incremento de iones K^+ , la disminuye. Los compuestos orgánicos no azúcares, tienen un profundo efecto sobre la viscosidad, pues los componentes de alto peso molecular pueden incrementarla considerablemente.

La aireación influye marcadamente sobre la viscosidad aparente de las soluciones de azúcar, y si se disminuye el contenido de aire en las melazas, disminuye la viscosidad.

El efecto de las variaciones del pH sobre la viscosidad de las soluciones de azúcar es insignificante, excepto cuando el pH es superior a 11; en este caso, la viscosidad aumenta. El efecto de la concentración y la temperatura sobre la viscosidad de las melazas, tiene importancia práctica en la cantidad de melaza que fluye por las tuberías y bombas, así como la descarga por gravedad natural, o el desplazamiento por fuerza centrífuga. Si se considera que la viscosidad de las melazas decrece a una temperatura dada, con una disminución de la concentración, y también cuando la concentración es constante y la temperatura aumenta. La región de viscosidad crítica en la melaza de caña, está en un intervalo de concentraciones en grados Brix entre 81 y 85. Esto significa que un aumento de solo algunas décimas en el valor de la concentración, determina un incremento notable en la viscosidad.

(Swan y Karalazos, 1990)

2.1.3.2 Tensión Superficial

El estudio de las tensiones superficiales en las mieles finales o melaza es de interés en la clasificación de sus cualidades fermentativas por tener estas características coloidales. La tensión superficial se expresa en función de Dinas/cm^2 y varía el grado brix de la melaza.

2.1.3.3 pH

Las melazas de caña son ligeramente ácidas, tienen un pH entre 5.5 y 6.5; un pH bajo es atribuible a la presencia de ácidos alifáticos y al bajo pH de la clarificación, si es ácida.

El pH de las melazas cambia con la temperatura y depende también de la naturaleza y de la cantidad de material estabilizador del pH que posea.

La acción estabilizadora del pH tiene efecto sobre la melaza para resistir la adición de ácidos o álcalis, sin cambiar su naturaleza ácida o básica. En la melaza la acción estabilizadora depende del contenido de no azúcares y de las características de la melaza.

La estabilización del pH en las melazas de caña tiene un patrón uniforme, es decir, no existen variaciones irregulares debidas a relaciones de cambio de peso entre las sustancias que intervienen, por lo tanto la actividad estabilizadora se modifica.

(Swan y Karalazos, 1990)

2.1.3.4 Calor Específico y Conductividad Térmica

En las soluciones de azúcar, el calor específico depende de la temperatura, de la concentración y de la composición. Se ha comprobado, que el calor específico disminuye al aumentar la concentración de las soluciones impuras de azúcar; es necesario, conocer el calor específico de las melazas para calcular la transferencia de calor durante el calentamiento o enfriamiento.

(Swan y Karalazos, 1990)

2.1.3.5 Calor de Combustión

Los valores se expresan en calorías por gramo de miel física; la importancia de las mieles radica en que éstas se utilizan como sustratos y como fuentes de energía en procesos biológicos.

2.1.3.6 Densidad

En la práctica, la densidad se determina mediante equivalencia con la concentración en grados Brix. Además, para su determinación se usan tres instrumentos densimétricos: el hidrómetro, la balanza de Westphal y el picnómetro, de los cuales el primero es el más utilizado.

(Swan y Karalazos, 1990)

2.1.4 Proceso de Obtención

Las melazas se obtienen como un subproducto final en la elaboración del azúcar de caña. Una breve reseña de los principales pasos del proceso, se encuentran resumidos en la Figura N° 1. Sin entrar en mayores detalles, brevemente se explica en qué consiste cada uno de los pasos que llevan a la obtención de la melaza de caña de azúcar.

2.1.4.1 Almacenamiento

La caña después de ser cortada es llevada a patios de almacenamiento en el ingenio. Este almacenamiento no debe ser muy prolongado, puesto que los efectos del sol disminuyen el rendimiento del jugo, lo mismo que su calidad; por este motivo, debe pasarse a la molienda en el menor tiempo posible después de haber sido cortada; dentro de lo posible debe procurarse que este tiempo no sobrepase las 48 horas para evitar pérdidas.

(Swan y Karalazos, 1990)

2.1.4.2 Preparación y extracción del jugo

Estas dos operaciones se llevan a cabo en una forma continua, por lo cual generalmente se conoce bajo el nombre de “Extracción del jugo”. Este proceso, se lleva a cabo en una serie de “cuchillas desmenuzadoras y molinos extractores”. La caña es desmenuzada en preparación para la molienda con cuchillas giratorias y desmenuzadoras para facilitar una mejor extracción del jugo.

La caña desmenuzada pasa a los molinos donde se efectúa el proceso de extracción del jugo; luego, esta caña es rociada con agua y jugos claros a medida que sale de cada molino, en esta forma se diluye el azúcar que queda en el bagazo a la salida de cada molino y se obtiene un mayor rendimiento en la extracción. En esta forma, se extrae más del 90% del azúcar que hay en la caña, quedando una parte remanente en el bagazo, el cual va a las calderas como combustible.

(Ospina y Palacios, 1994)

2.1.4.3 Clarificación

El jugo es bombeado de los molinos a los clarificadores por medio de bombas centrífugas hechas de materiales resistentes a la abrasión y a los ácidos. La clarificación se lleva a cabo por medio de cal y calor. La acidez del jugo es neutralizada con cal y luego se eleva la temperatura hasta su punto de ebullición. El precipitado que se forma por acción de la cal y el calor, se deja sedimentar en los

tanques clarificadores continuos y el jugo clarificado es decantado de la espuma, barro y desperdicios y es llevado a la estación evaporadora.

(Ospinay Palacios, 1994)

2.1.4.4 Evaporación

El jugo clarificado pasa a un evaporador de efecto múltiple sin ningún tratamiento previo. Los evaporadores consisten en una serie de techos de vacío, de tal manera que se logre la ebullición a temperatura más baja.

(Ospina y Palacios, 1994)

2.1.4.5 Cristalización

Se hace en tanques de vacío de efecto simple a presión reducida. El jarabe o las aguas madres de cristalizaciones anteriores (melazas), se evaporan hasta su saturación de azúcar; en este punto, los granos son separados de la masa en ebullición y sirven como núcleo para la formación de cristales. El tanque es cargado a medida que el agua se evapora y su contenido de azúcar es depositado sobre los cristales presentes sin la formación de cristales adicionales. En este punto, la mezcla de cristales y jarabe, constituye una masa densa denominada "Templa".

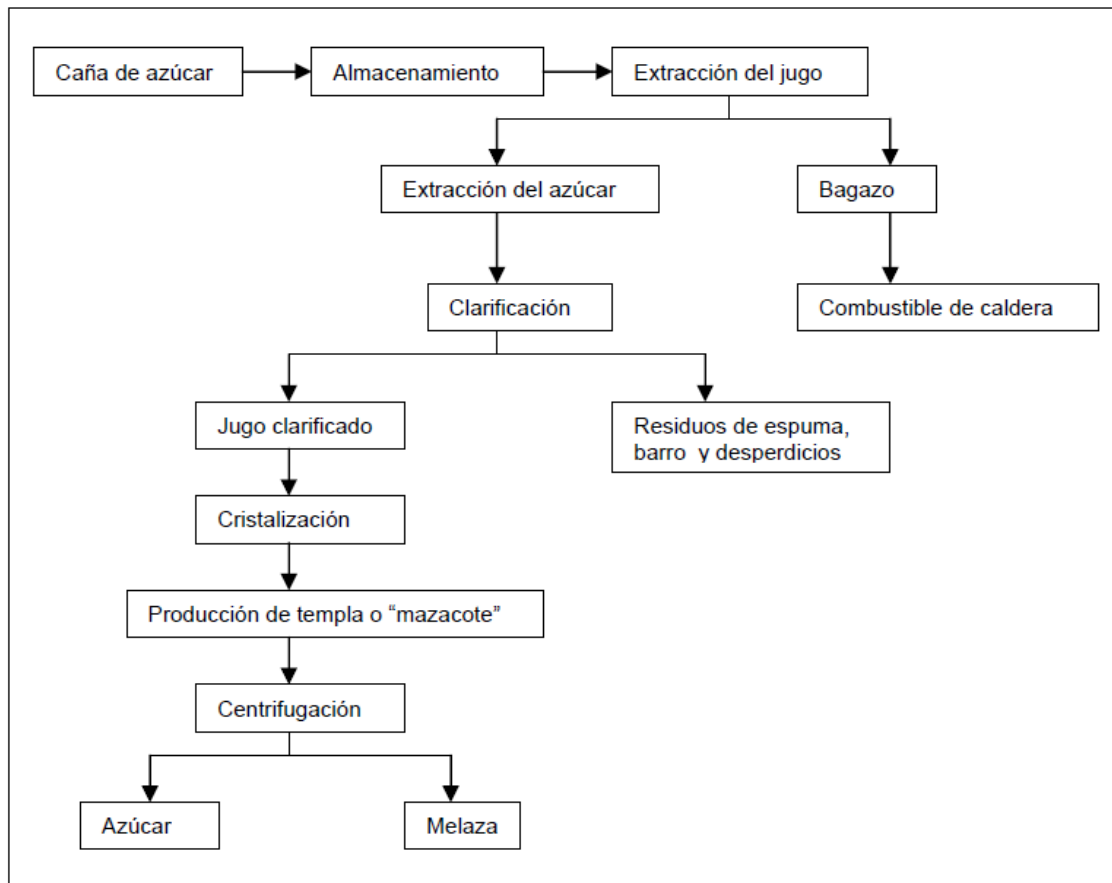
(Ospina y Palacios, 1994)

2.1.4.6 Centrifugación

La Templa es derramada sobre un mezclador y de allí pasa a centrífugas verticales de alta velocidad. Los cristales de azúcar son retenidos en la centrífuga y pueden ser lavados con agua si se desea. Las aguas madres que se separan, se denominan melazas de primera. Completada la centrifugación, se remueve el azúcar quedando la máquina lista para una nueva carga.

El azúcar obtenido pasa a los depósitos para su despacho, mientras que las melazas se envían a un nuevo evaporador y de ahí a la centrífuga "B", donde se obtiene el azúcar y las melazas de segunda. Estas melazas se someten aún proceso similar a los anteriores, obteniéndose en esta oportunidad azúcar de semilla y melazas finales. Estas melazas finales, han sido consideradas en los ingenios como producto sobrante y al cual son muy pocos los usos que se le dan.

(Ospina y Palacios, 1994)

Figura Nº 1: Proceso de Obtención de Melaza

Fuente: (Ariza y González 1997)

2.1.5 Valor Nutricional

Aunque hay muchos reportes sobre el valor nutritivo de las melazas, como ingredientes de las raciones para rumiante, parece haber poca concordancia entre los resultados obtenidos por los diversos investigadores. Aunque algunos de ellos llegan a la conclusión de que el valor nutritivo de las melazas es equivalente aproximadamente al 85% del maíz en grano.

(Tocagni, 1981)

Cuando las melazas son suministradas como alimento a novillos de engorde en proporción del 10%, éstas suministran una energía neta relativamente alta (EN). Sin embargo, cuando el nivel es incrementado a 25 y 40%, la EN se reduce en casi 100%.

(Olsen y Allermann, 1991)

La melaza es portadora de energía de fácil aprovechamiento por el animal, la cual representa del 70 al 75% del valor energético del maíz.

(Olsen y Allermann, 1991)

2.1.6 Clasificación

La Asociación Americana de Control Oficial de Alimentos (AAFCO), recomienda diferentes clasificaciones para las melazas, según el azúcar total y el contenido de humedad, así:

- **Melaza Superior Blackstrap:** Melaza de caña que contiene 23.4% de agua o menos, y 53.5% o más de azúcares totales.
- **Melaza Blackstrap:** Melaza compuesta por 23.5% a 26.4% de agua y 48.5% a 53.5% de azúcares totales.

Otra clasificación de las melazas, se da por el porcentaje de materia sólida en peso, o grados Brix, de la siguiente manera:

- **Melaza Blackstrap:** Es el subproducto de la elaboración del azúcar, cuyo porcentaje de materia sólida en peso (grados Brix), diluido con igual peso de agua es de 42.5 grados Brix.
- **Melaza de Caña Alimenticia:** Es la melaza blackstrap diluida con agua, hasta una concentración en grados Brix, no menor de 39.75; a este producto no se le ha especificado un valor de concentración de azúcares.
- **Melaza High Test o Jarabe Invertido:** Es el producto obtenido por la concentración del jugo clarificado, hasta un porcentaje de materia sólida en peso de 85% e invertido con ácido o con invertasa.

(Castro, 1993)

2.1.7 Microorganismos de la Melaza

Mediante ensayos adecuados con soluciones diluidas de melazas, se ha demostrado que éstas, a pesar de su bajo contenido de fósforo, constituyen un buen medio nutritivo para muchos microorganismos, tales como levaduras, hongos y bacterias.

Se considera importante la presencia de microorganismos mesófilos y termófilos dentro de la melaza. Los organismos mesófilos se desarrollan bien durante la dilución de las melazas.

(Ariza y González, 1997)

2.1.8 Aprovechamiento de la Melaza

La melaza ha sido suministrada al ganado de carne y de leche por muchos años, principalmente como aditivo para incrementar la gustosidad o facilitar la reducción a comprimidos de las raciones convencionales mezclados en seco. También ha sido utilizada como vehículo en varios tipos de alimentos líquidos; como suplemento para el ganado en pastoreo solo o adicionado con otros componentes como urea y ácido fosfórico. Igualmente ha sido común como ingrediente alimenticio para pollos y cerdos, en donde constituye un subproducto de primer orden para su alimentación, ya que puede ser utilizada a niveles hasta de 40%, logrando alimentación adecuada en los animales.

(Ariza y González, 1997)

Por otro lado, se usa como fertilizante para suelos, mezclada con bagazo y otros componentes, en casos especiales de abundancia. También es frecuentemente utilizada como combustible, para la preparación de pavimentos. Los diferentes usos de la melaza se resumen en el Cuadro N° 2.

(Ariza y González, 1997)

Cuadro N° 2: Aprovechamiento de la Melaza de Caña

UTILIZACION	GENERALIDADES
Alimentos	Alimentación rica
Animales	Alimentación menos rica: desecados sobre pulpas, mezcla con diversos alimentos, pulverizados de forrajes, suplemento de ensilajes.
Recuperación de líquidos desazucarados	Vinazas para la obtención de ácido glutámico. Lejías finales como alimento animal y para obtención de aminoácidos.
Fermentación	Levaduras para panificación Levaduras para alimentación humana y animal: aditivo para piensos, extractos e hidrolizados de levadura, fuente de enzimas, vitaminas y ácidos nucleídos. Además es el sustrato utilizado en la producción de proteína unicelular. Grasas de levadura Alcohol etílico Productos Colaterales de fermentación alcohólica.

Fuente: (Ariza y Gonzales, 1997)

2.1.9 Problemas del almacenamiento de la Melaza

Los principales cambios notados durante el almacenamiento son: pérdida de sacarosa, ganancia de azúcares reductores, incremento del porcentaje de compuestos orgánicos no azúcares, pérdida de sólidos totales, y gran incremento de color.

La descomposición se atribuye principalmente a la reacción de las sustancias orgánicas inestables, con los azúcares reductores, formándose impurezas coloidales coloreadas, con alto contenido de carbono. Estos productos llegan a contener entre un 15 y 50% del nitrógeno total de la melaza, en forma no asimilables por los microorganismos.

Para reducir la probabilidad de cambios químicos originados por las altas temperaturas (climas tropicales), la melaza recién centrifugada debe enfriarse, a la menor temperatura posible, antes de ser almacenada. La cantidad de melaza almacenada y la duración del período de almacenamiento, son factores que deben considerarse en las medidas de seguridad.

La pérdida de sacarosa, azúcares reductores y azúcares totales está acompañada de un aumento de las sustancias reductoras no fermentables.

Normalmente, el aumento de éstas últimas, es más rápido durante los tres primeros meses de almacenamiento. La formación de estos productos va acompañada de desprendimiento de anhídrido carbónico y además está en relación inversa con la magnitud de la temperatura de almacenamiento.

Es necesaria la limpieza periódica de los tanques de almacenamiento, ya que los sólidos sedimentables se adhieren y se compactan con facilidad, principalmente en el fondo, siendo necesario removerlos con elementos cortantes.

(Honig, 1974)

2.2 Evolución Económica-Financiera

La decisión de realizar proyectos no puede ser basada en intuiciones o hipótesis, sin un análisis criterioso. En un escenario económicamente globalizado, el mercado altamente competitivo se torna indispensable el estudio de evaluación económico y financiera económica de un proyecto.

(Hayashi, 2011)

En definitiva, un proyecto desde el punto de vista económico consiste en la búsqueda de múltiples soluciones inteligentes a un problema: es una estrategia de satisfacción de una necesidad humana no satisfecha. Dichos proyectos, cualesquiera que sean, antes de ser implementados deben ser evaluados para determinar cuál es la solución más económica, la más eficiente, la más eficaz para solucionar el problema o necesidad y poder decidir cuál será la que se implementará definitivamente. Las Ciencias Económicas han desarrollado una serie de técnicas para realizar la evaluación económica de proyectos, independientemente de la corriente económica que impere en la evaluación, y dichas técnicas siempre tienden a medir los costes de las distintas alternativas del proyecto y conocer las ventajas y desventajas, cualitativas y cuantitativas, que implican la asignación de recursos escasos en el proyecto.

(Novales, 2004)

Para las ciencias económicas, la evaluación de proyectos se ha convertido en un instrumento de uso prioritario para los agentes económicos encargados de la asignación de recursos de inversión, en la cual se pretende analizar cualitativa y cuantitativamente las ventajas y desventajas de asignar recursos a una determinada iniciativa. Para ello se han desarrollado múltiples técnicas para implementar este proceso. Hay que tener en cuenta que la evaluación de proyectos sólo apunta información para la toma de decisiones y nunca debe ser considerada como una herramienta que, por sí sola, decide la ejecución del proyecto en función de lo rentable o no de éste.

(Cosgrove y Carroll, 2002)

Las técnicas de ingeniería económica son la base para la evaluación de soluciones alternativas para una determinada necesidad o problema que se enfrenta la empresa. Estas técnicas se basan en la ciencia exacta llamada Matemática Financiera, que describe las relaciones del binomio Tiempo y Dinero.

El estudio de la evaluación económica- financiera, es la parte final de la secuencia del análisis de factibilidad del proyecto. Su finalidad es analizar el entorno financiero y cumple básicamente tres funciones:

- Determina la factibilidad en que todos los costos pueden ser cubiertos oportunamente.

- Mide la rentabilidad de la inversión.
- Genera la información necesaria para realizar una comparación del proyecto con otras oportunidades de inversión.

(Cárcamo De López, 2006)

Este análisis permitirá determinar de una manera más segura la rentabilidad del proyecto, fortaleciendo y respaldando cada uno de los estudios realizados. Para ello, se utilizaron técnicas de medición económicas-financieras que permitirán rechazar o aceptar el proyecto.

2.2.1 Evaluación económica

En esta evaluación se toma en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y son básicamente VPN o VAN y TIR. La base para la evaluación son los flujos netos de efectivo, generados en el estado de cambio en la situación financiera, mediante estos flujos se pudo hacer el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR).

2.2.1.1 Valor actual neto (VAN)

El análisis del VAN, es un indicador que comprende la actualización de los flujos del proyecto a lo largo del horizonte económico del proyecto. A continuación se presentan los criterios de evaluación del VAN.

Criterios:

Si **VAN > 0** se acepta el proyecto.

Si **VAN = 0** queda a consideración.

Si **VAN < 0** se rechaza el proyecto.

2.2.1.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero, esta tasa refleja el nivel de rentabilidad del proyecto durante su periodo de vida.

A continuación se presentan los criterios de evaluación de la TIR.

Criterios:

Si **TIR > 0** se acepta el proyecto.

Si **TIR < 0** se rechaza el proyecto.

2.3 Alcohol Etílico

2.3.1 Definición

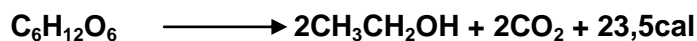
Se denomina corrientemente alcohol a la especie llamada también etanol, alcohol etílico, metilo carbinol, etc. En cantidades mínimas, se ha encontrado en la atmosfera y en aguas de algunos manantiales, así como en ciertos terrenos ricos en humus. Así mismo se le puede identificar en la orina de las personas diabéticas, producido por el metabolismo de los glúcidos que han ingerido. Igualmente se han encontrado alcohol etílico en ciertos tejidos, tanto vegetales como animales, y en la sangre pero siempre en cantidades pequeñas.

(Vázquez H.J./Dacosta O., 2007)

2.3.2 Composición

El alcohol es un compuesto ternario, constituido por: carbono 52%, oxígeno 34,8% e hidrógeno 13%; su fórmula general es C_2H_6O , derivado de los hidrocarburos, por sustitución de un átomo de hidrógeno por un hidroxilo.

El alcohol obtenido por fermentación obedece a la siguiente reacción; según Gay Lussac:



(Morrison y Boyd, 1990)

2.3.3 Propiedades Fisicoquímicas y termodinámicas

Cuadro N° 3: Propiedades Fisicoquímicas y Termodinámicas del Alcohol Etílico

Propiedad	
Formula	C_2H_6O , CH_3CH_2OH
Peso molecular	46.07g/mol
Composición	C: 52.24%, H: 13.13% y O:34.73% (%mol)
Estado de agregación	Líquida
Color	Incoloro
Punto de ebullición	78.3°C

Punto de fusión	-130°C
Índice de refracción (a 20°)	1.361
Densidad	0.7893 a 20°C
Presión de vapor	59mmHg a 20°C
Densidad de vapor	1.59 g/ml
Temperatura de ignición	363°C
Punto de inflamación(flash point)	12°C (al 100%), 17°C (al 96%), 20°C (al 80%), 21°C (al 70%), 22°C (al 60%), 24°C (al 50%), 26°C (al 40%), 29°C (al 30%), 36°C (al 20%)y 49°C (al 10%)
Límites de explosividad	3.3 -19%
Punto de congelación	-114.1°C
Calor específico (J/g°C)	2.42 (a 20°C)
Temperatura de auto ignición	793°C
Conductividad térmica (W/mk)	0.17 (a 20°C)
Momento bipolar	1.699 debeys
Constante dieléctrica	25.7 (a 20°C)
Solubilidad	Miscible con agua en todas proporciones, éter, metanol, cloroformo y acetona
Temperatura crítica	243.1°C
Presión crítica	63.116 atm
Volumen crítico	0.167 L/mol
Tensión superficial (dina/cm)	231 (a 25°C)
Viscosidad (cp)	1.17 (a 20°C)
Calor de vaporización en el puntormal de ebullición (J/g)	839.31
Calor de combustión (J/g)	29677.69 (a 25°C)
Calor de fusión (J/g)	104.6
Acidez (pKa)	15.9

FUENTE: www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/12etanol.pdf

2.3.4 Proceso de obtención

El etanol es un excelente combustible, puede ser mezclado con gasolina o quemarse puro en motores de encendido por chispa ligeramente modificados. Un litro de etanol contiene alrededor del 66 % de la energía suministrada por un litro de petróleo y mezclado con gasolina para el transporte, mejora el rendimiento de esta última (AIE, 2004).

(Wyman, 1994 citado en Prasad *et al.*, 2007)

Esta mezcla da como resultado un combustible que contiene 35% de oxígeno lo que reduce las emisiones de dióxido de carbono y óxido de nitrógeno en la combustión.

(Whealset *et al.*, 1999)

Si el etanol se usa directamente (95% etanol y 5% de agua) como combustible, podría proveer grandes beneficios ambientales debido a su baja presión y la reducción de emisiones en la atmósfera y así realizar una combustión más limpia, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono y ozono.

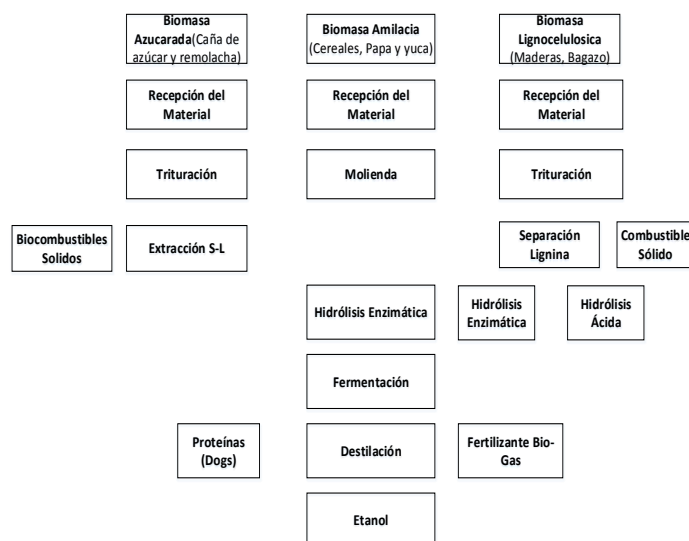
En comparación con la gasolina, el etanol contiene sólo una cantidad mínima de azufre; por tanto, en la combustión del etanol o de la mezcla de etanol con gasolina produciría menores emisiones de óxido de azufre, componente carcinogénico de la lluvia ácida.

(FAO, 2008a)

El etanol se produce, principalmente, a partir de azúcar o almidón, la primera se obtiene de la caña de azúcar, la remolacha azucarera y el sorgo azucarado; mientras que el segundo proviene del maíz, el trigo y la yuca. A nivel internacional, Brasil es reconocido por ser el precursor en introducir el etanol como biocombustible. Actualmente, junto con Estados Unidos de América, sigue siendo uno de los mayores productores de etanol; sin embargo, debido a las políticas actuales muchos otros países están aumentando su producción rápidamente. Entre estos países se encuentran China, India, Tailandia y varios países africanos

(Whealset *et al.*, 1999)

Figura Nº 2: Vías Tecnológicas para la Producción de Etanol



Fuente: <http://www.una.ac.cr/redibec-cisda/ponencias/Energia/Marco.pdf>

2.3.5 Usos del alcohol etílico.

Son innumerables las aplicaciones del alcohol etílico; así sus principales aplicaciones son:

2.3.5.1 Como disolvente

- Para colorantes en fabricación de tintes para confiterías y productos alimenticios.
- Para diluir y clarificar en fabricación de tintas para aviones, barniz para madera, pulidores para metales.
- En la fabricación de ceda artificial plásticos, adhesivos.
- En la fabricación de tintas para grabación.
- En la fabricación de fumigadoras, insecticidas y repelentes.
- En la fabricación de drogas y productos químicos como aloína, ácido tánico.
- En procesos de purificación en la obtención de trinitrotolueno, benzaldehído.

2.3.5.2 Como materia prima en la industria de síntesis química

- En la obtención de ésteres como acetato de etilo, butirato de etilo, sulfato de etilo, oxalato de etilo.
- En procesos de hidratación en producción de éter, etileno, di-cloro-etano.
- En procesos de oxidación en producción de acetaldehído, ácido acético, vinagre, cloroformo, yodoformo.

2.3.5.3 Como combustible

- El alcohol anhidro, tiene muchas aplicaciones como combustible o carburante para vehículos motorizados, siendo adicionado a las gasolinas para elevar su octanaje, ya que posee mayor solubilidad que el metanol.
- En acondicionamiento de estufas, fuente de luz en lámparas, etc.

2.3.5.4 Usos generales

- Además de las aplicaciones ya citadas el alcohol encuentra utilización en:
- Fabricación de bebidas alcohólicas.
- Agente de precipitación en fabricación de insulina y glicerato.
- Soluciones anticongelantes.
- Agente de deshidratación en fotografía.
- Antiséptico.

(Morrison y Boyd, 1999)

2.4 Lodos de Fermentación

2.4.1 Definición

Los lodos son las levaduras que después del proceso de fermentación se han asentado en el fondo del tanque (sistema de fermentación tradicional) y los sólidos en suspensión que trae la melaza de caña de azúcar que fue diluida con agua y sales que han precipitado por el uso del ácido sulfúrico tales como el CaSO_4 y MgSO_4 .

2.4.2 Fuentes y características generales

La materia prima es un residuo proveniente de la fermentación del mosto en la producción de alcohol etílico de una industria productora de alcohol etílico. El lodo sedimenta en el fondo de los tanques fermentadores.

Los productos principales de una destilería son: Alcohol Etílico Rectificado Extra neutro (calidad para consumo humano y uso farmacéutico) y Alcohol Anhidro de más de 99.7°G.L. cuyo utilización es industrial (solvente, pinturas y afines) y como aditivo mejorador de octanaje (bio-combustible) que será empleado en el futuro para aumentar la calidad de las gasolinas en el país.

Para la elaboración de estos dos productos alcohólicos principales, la destilería cuenta con plantas que producen Alcohol Etílico y Alcohol Anhidro con

producciones que están en un rango de 60.000 y 20.000 litros diarios respectivamente.

Adicionalmente, las plantas pueden contar con un sistema de recuperación de CO₂ líquido. El CO₂ es un subproducto del proceso de fermentación.

2.4.3 Proceso de formación de lodos de fermentación

Para la obtención del alcohol etílico se requiere de una fuente con contenido de azúcares fermentables por acción de levaduras especializadas para la producción de alcohol etílico principalmente.

El proceso propiamente de obtención de alcohol empieza con el bombeo de melaza proveniente del Ingenio, la misma que es almacenada en tanques de gran capacidad para proveer a la industria de la materia prima durante todos los meses del año, ya que ésta produce todo el año durante las 24 horas del día.

La melaza con aproximadamente 85° Brix es diluida con agua para reducir sus grados Brix a niveles entre 18 y 20°, que es un parámetro controlado para evitar que se inhiba la acción de las levaduras. De esta manera se forma el denominado *Mosto*, luego esta mezcla es bombeada a los tanques fermentadores (ocho en total de aprox. 81000L de capacidad c/u) para el proceso fermentativo propiamente dicho.

El pH de la mezcla es regulado para mantenerse entre los valores de 4 y 4.5 utilizando ácido sulfúrico para tal efecto. Además, se adiciona fuentes de Nitrógeno y Fósforo (urea y ácido sulfúrico) como fuentes de nutrientes para las levaduras que son las encargadas de producir la fermentación, que básicamente es la transformación de los azúcares de la melaza en alcohol etílico y dióxido de carbono (CO₂) como productos principales.

2.4.4 Fermentación del Mosto

Como se ha mencionado, la fermentación en este caso es la transformación de los azúcares presentes en la melaza de caña en alcohol etílico y dióxido de carbono como elementos principales ya que se producen en menores proporciones otros tipos de alcoholes como: metílico, iso-propílico, iso-butílico, además de ésteres y aldehídos.

Una vez que los fermentadores estén con un contenido de mosto en mezcla con las levaduras y los nutrientes mencionados que representa el 85% de su capacidad se da inicio a la fermentación que tiene un lapso de tiempo entre 10 y 12 horas, siendo

su grado alcohólico monitoreado por el laboratorio como parámetro a controlar y que es indicativo de cómo va produciéndose la fermentación y hasta qué punto deberá llegar la misma.

El grado alcohólico final establecido en la industria alcoholera está entre 9 y 10.5° G.L. (% volumen) y de aquí pasará el mosto fermentado al sistema de destilación donde se separará el vino alcohólico, que será destilado para producir el alcohol, de los lodos de fermentación que contienen levaduras y restos de sólidos que se han ido arrastrando en los procesos previos

2.4.5 Características físico-químicas y microbiológicas

Los lodos que se asienta en los tanques de mosto, al estar en un ambiente inhóspito la levadura tiene una viabilidad muy baja menor al 1%, posee un color más oscuro que el de la crema y olor más fuerte a alcohol. Tiene una humedad entre de 74% y 84%.

(Ponce, M/ Bermeo M. 2011)

2.4.6 Utilización de los Lodos

Según reportes hechos de estudios realizados en otros países acerca del uso de los lodos de fermentación, se destacan:

2.4.6.1 Reciclamiento de Levaduras

En la fermentación convencional la población inicial de levaduras, debe ser de 50 a 60 millones de células/mL que para su formación consumen de un 2 a 3% de azúcar. La moderna industria del alcohol utiliza sistemas tipo batch continuos, buscando tiempos de fermentación cortos y alta producción de alcohol con el aumento de la concentración de levaduras, operación que se logra empleando o reciclando la ya utilizada y que ha venido quedando en los lodos de fermentación. Con una concentración de levadura entre 10-15 gr/L de sustrato, la fermentación se logra entre 12 y 16 horas utilizando melaza como sustrato; con un aumento en la concentración de levadura.

(A LAVAL, Suecia 1959)

2.4.6.2 Fuente de Proteína unicelular

La proteína unicelular identifica alimentos proteicos derivados de microorganismos unicelulares que crecen en cultivos sumergidos en diversas fuentes y desperdicios, también se conoce como proteína microbiana o biomasa. Algunas ventajas para la utilización de microorganismos en la producción de proteínas unicelular son:

Los microorganismos para su desarrollo no dependen de condiciones climáticas y agrícolas, sino que se controlan totalmente en grandes fermentadores, con tiempos de duplicación de la masa microbiana muy cortos, posibilidad de experimentación genética con miras al mejoramiento de las cepas para así lograr mayor producción al menor costo.

(Chem. Eng. 1974)

El número de sustratos utilizados para la producción de proteínas unicelular se ha incrementado para tratar de aprovechar materiales que por lo general son desechos industriales y agrícolas. Los sustratos se han clasificado en renovables y no renovables. Los no renovables son fundamentalmente derivados del petróleo, como n-parafinas y gasóleo que se utilizan en la producción de levaduras.

(Y. MASUDA, K. XOSHIKAWA 1973)

Dentro de los renovables están la melaza, sub-productos de la caña de azúcar como el bagazo, el metanol y algunos desechos como animales. Hasta el momento, la proteína unicelular solo se ha usado para el consumo animal y para el futuro se deberá perfeccionar la tecnología para que pueda ser digerida directamente por el hombre. De lograrse será un avance para la lucha contra la desnutrición. Sin embargo, el verdadero valor de la proteína se debe establecer comparándola con otras opciones, pues requiere de grandes inversiones, poca mano de obra y procesos complejos. Además su precio debe ser competitivo con las fuentes conocidas.

(C. D. CALLIHAM, 1970)

2.4.6.3 Alimento Animal

Debido a que la alimentación es el reglón más costoso en la alimentación animal, principalmente por la escasez de fuentes tradicionales de proteína y cuya demanda ha aumentado considerablemente en los últimos años, mientras que su disponibilidad presenta incrementos muy bajos, se ha decidido experimentar con sub-productos agroindustriales que tienen poca utilización, un costo relativamente bajo y no compiten con el consumo humano. Además de que estos subproductos posean un gran valor nutritivo, deben tener ciertas características físicas que le den buena apariencia y palatabilidad.

En un alimento hay componentes que desempeñan una función útil, lo cual garantizara un completo mantenimiento y desarrollo de los animales; estos

componentes se consideran como parámetros alimenticios y son: Proteínas, carbohidratos, lípidos fibra, vitaminas y minerales.

(E.W. CRAMPTON, L HARRY)

2.5 Fermentación Alcohólica

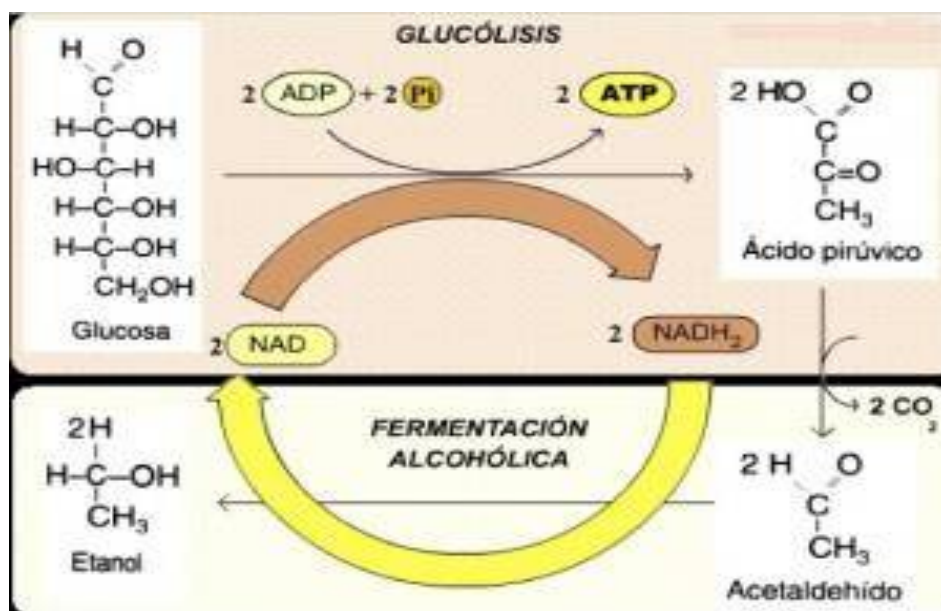
La fermentación alcohólica es un proceso anaerobio en el que las levaduras y algunas bacterias, descarboxilan el piruvato obtenido de la ruta Embden – Meyerhof - Parnas (glicolisis) dando acetaldehído, y éste se reduce a etanol por la acción del NADH_2 [1 – 2]. Siendo la reacción global (1), conocida como la ecuación de Gay-Lussac [3]:



El balance energético de la fermentación puede expresarse de la siguiente forma:



Figura Nº 3: Fermentación Alcohólica



FUENTE: www.biologia.edu.ar/metabolismo/met4.htm#inicio

La transformación de glucosa en alcohol supone la cesión de 40 kcal. Mientras que la formación de un enlace de ATP necesita 7,3 kcal, por tanto se requerirán 14,6 kcal, al crearse dos enlaces de ATP, tal y como se muestra en la reacción (3). Esta

energía es empleada por las levaduras que llevan a cabo la fermentación alcohólica para crecer. De forma que sólo quedan, $40 - 14,6 = 25,6$ kcal que se liberan, calentando la masa de fermentación [3]. No obstante, la fermentación alcohólica no es una utilización eficiente del sustrato glucídico, fundamentalmente por su carácter anaerobio. Si se compara con la degradación aeróbica de la glucosa, se llega a la conclusión de que esta última pone a disposición de la actividad celular de las levaduras, un 40,4 % del total de la energía. En cambio, en la fermentación sólo se consigue abastecer a las células de las levaduras con un 2,16 % de la energía total, almacenada en forma de ATP.

Pese a esta baja eficiencia energética con respecto al proceso aerobio, se recurre a la fermentación alcohólica en la fabricación de diversos productos alimenticios como: pan, vino, cerveza, champagne, todo tipo de bebidas alcohólicas fermentadas y chocolate. Asimismo, las bebidas destiladas, como por ejemplo el brandy, se obtienen a partir de las bebidas fermentadas, en concreto del vino blanco, por simple evaporación del agua. Además, una característica importante de la fermentación alcohólica, es que produce gran cantidad de CO_2 , responsable de las burbujas del champagne y de la textura esponjosa del pan.

(Ward, O.P. 1991)

2.5.1 Fermentación a escala industrial

A través del tiempo se han introducido diferentes modelos de fermentación tales como los sistemas discontinuos y sistemas continuos.

La mayoría de las fermentaciones son procesos discontinuos, cuya cinética propia permite que los equipos sean operados en intervalos. Al final de dicho tiempo, se procede a la recuperación de la levadura por centrifugación. Es un sistema que presenta facilidad en sus operaciones, ya que disminuye los requerimientos para obtener su completa esterilización, evitando así, el riesgo de pérdidas financieras y facilitando el manejo de materias primas. Como desventaja de este sistema, se muestra la decreciente productividad en la fermentación debido al largo tiempo de rotación y retraso en el crecimiento inicial.

(Quintero, 1981)

2.5.2 Fermentación Discontinua

Llamados también procesos en “Batch” o lote, son de gran importancia comercial para su amplio uso. Las técnicas de instalación de los cultivos discontinuos, van a depender de si el proceso es aerobio o anaerobio.

(Doran, 1998)

Una fermentación discontinua “Batch” puede considerarse como un “sistema cerrado”. A tiempo cero (t_0), la solución esterilizada de nutrientes se inocula con microorganismos y se permite que se lleve a cabo la incubación en condiciones óptimas de fermentación. A lo largo de toda la fermentación no se adiciona nada, excepto oxígeno (en forma de aire), un agente antiespumante y ácidos o bases para controlar el pH. La composición del medio de cultivo, la concentración de la biomasa y la concentración de metabolitos, cambia generalmente en forma continua como resultado del metabolismo de las células.

(Doran, 1998)

2.5.3 Control y medida durante la fermentación discontinua

Una vez que un microorganismo y un sustrato han sido seleccionados es necesario encontrar las condiciones de operación más adecuadas y que optimicen el sistema. Desde el punto de vista de la operación es muy importante decidir las siguientes variables: temperatura, pH y productividad entre otras. Unas de estas variables se miden de manera continua, mientras que otras se miden a intervalos de tiempo. Las variables que se deben medir continuamente son: temperatura, pH, aireación, adición de nutrientes, y las variables mediadas de manera intermitente son: biomasa, producto y consumo de sustrato.

(Quintero, 1981)

2.5.3.1 Temperatura

La temperatura óptima de crecimiento de las levaduras especialmente de *Saccharomyces cerevisiae* es de 30 a 35°C. La temperatura afecta el crecimiento de manera notable, principalmente porque los microorganismos de una especie dada solo pueden crecer en un rango restringido de temperaturas, esto afecta de manera importante el crecimiento microbiano.

(Quintero, 1981)

2.5.3.2 pH

El pH es la medida de la concentración de iones hidrógeno y tiene un marcado efecto en la velocidad de crecimiento y el rendimiento. También el pH es óptimo para algunas especies como la de las levaduras que comprende un rango de 4.0 a 6.0. Un cambio en el valor de pH del medio puede afectar su composición y la naturaleza de la superficie microbiana al disociarse ácidos y bases. Este último, puede afectar la floculación de la biomasa o su adhesión al vidrio. El pH tiene una gran influencia en los productos finales del metabolismo anaeróbico.

(Quintero, 1981)

2.5.3.3 Nutrientes

Un medio de cultivo debe tener todos los elementos necesarios para el crecimiento microbiano, pero es conveniente señalar que las relaciones entre ciertos elementos son de particular importancia. Según investigaciones realizadas, se ha encontrado que en un cultivo para levaduras en melazas la relación carbono/nitrógeno debe ser 1:1 para que la productividad celular sea máxima. También la relación fósforo/oxígeno es relevante en lo que refiere a la eficiencia de conversión energética y a la respiración.

(Quintero, 1981)

2.5.3.4 Aireación

La ausencia o abundancia de oxígeno permite una selección tanto de microorganismos como de productos del metabolismo. Cuando el cultivo se produce en presencia de oxígeno molecular, la fermentación se denomina aeróbica y cuando éste carece de oxígeno anaeróbica. Si la fermentación es anaeróbica, la mayor parte del carbono se emplea como energía y sólo el 2% se asimila como material celular. *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura que posee alta actividad metabólica, por lo que en un proceso fermentativo en fase aerobia se caracteriza por la producción de biomasa y en fase anaerobia generalmente por la producción de etanol.

(Owen, 1991)

2.5.3.5 Productividad

La productividad se define como la producción de biomasa por unidad de volumen, por unidad de tiempo del cultivo, dado en concentración de biomasa (g/L) en función del tiempo (h). Esta depende del diseño del fermentador, ya que afecta la

transferencia de oxígeno que se ve reflejada en el rendimiento obtenido al final de la fermentación.

(Quintero, 1981)

Un microorganismo adecuado para su utilización industrial debe producir la sustancia de interés, pero hay muchos otros aspectos a considerar. Es preciso disponer del organismo en cultivo axénico (puro), debe ser genéticamente estable, y debe crecer en cultivo a gran escala.

(Stanbury *et al.*, 1995)

2.5.4 Mecanismo de Transformación de azúcar en biomasa

La levadura obtiene la energía a través de dos tipos de metabolismo:

2.5.4.1 Asimilación

En el cual la levadura toma las sustancias nutritivas que necesita del medio en que se desarrolla.

2.5.4.2 Desasimilación

En el cual, se degradan los hidratos de carbono incorporados a la célula.

(Jorgensen, 1990)

Se distinguen dos formas de desasimilación, la respiración y la fermentación.

La primera se define como un proceso metabólico que conduce a una oxidación total de los hidratos de carbono incorporados bajo formación de dióxido de carbono, agua y energía, generando biomasa (Ecuación 1). Esta vía se presenta como ruta catabólica de glucosa; la mayoría de las células que convierten glucosa en piruvato pasan al ciclo del ácido tricarboxílico, donde se convierte en dióxido de carbono y agua. Lo anterior se presenta en la siguiente ecuación.

(Jorgensen, 1990)

Ecuación 1:



3 DESCRIPCION DEL PROCESO

La obtención de alcohol etílico rectificado en la Empresa Destilera sigue las etapas siguientes:

3.1 Almacenamiento de Melaza

La melaza es obtenida desde diversos ingenios azucareros proveedores como: Tumán, Pomalca, esta es transportada en camiones cisterna hacia la planta, la cual cuenta con una poza rectangular a 1 m sobre el piso y 2 m bajo el piso, la cual tiene una capacidad de 500 toneladas, construida de material noble con techo de eternit y sirve para la acumulación de melaza de caña.

Figura N° 4: Poza de almacenamiento de melaza.



Fuente: Autores

La melaza de caña de azúcar se utiliza para preparar el mosto de fermentación, es viscosa y densa, con 52% de azúcares totales aproximadamente y con una concentración de sólidos aparentes que varía en el rango de 80-85° Bx a presión atmosférica y temperatura ambiente.

3.2 Cultivo y Desarrollo de la Cepa en Laboratorio

La técnica de cultivos de la levadura empleadas en la fermentación del mosto para producción de alcohol etílico empieza con la selección de la cepa la cual se realiza en medio de cultivos sólidos en placas petri, y que luego se replica en una medio llamado reactivación.

Para el medio de reactivación se utilizan los siguientes reactivos:

Extracto de levadura, Fosfato de potasio, Peptona, Sulfato de amonio, Sulfato de magnesio, Maltosa, Cloruro de potasio, melaza. Se sabe también que para llevar a cabo la reactivación correctamente, debe hacerse en condiciones asépticas y controlando bien la temperatura y tiempos de incubación.

- Lo primero que se realiza es la siembra de la cepa de *Saccharomyces Cerevisiae* en placas petri con Agar Sabouraud por el método de estría en superficie; incubar a 30°C por 48 horas.
- Se realiza luego un lavado del cultivo de levadura con agua destilada estéril.
- Se vierte el lavado en 100 ml. de caldo de melaza a 6°Bé., e incubar a 30°C por 12 horas.
- Transcurrido este tiempo se siembra por el método de incorporación y vertidos los 100 ml. de cultivo en 500 ml. de caldo de melaza de 6° Bé, e incubar a 30°C por 12 horas.
- Luego se transvasan 200 ml. del cultivo en un matraz que contenga 700 ml. de mosto e incubar a 30°C por 6 horas.
- De esta forma, se alcanza una concentración aproximadamente de 200 a 250 millones de células por mililitro.

Posteriormente se sigue la propagación de la levadura desde un volumen pequeño hasta conseguir los 50 litros necesarios para la siembra en el semillero, se hace de la siguiente forma:

Pase del cultivo de 900 ml. a 5 litros:

Para ello se alimenta los 900ml. con mosto de melaza a 3°Bé en un recipiente de 2 litros y se deja incubar por 6 horas a 30°C en presencia de aire. Para ello la melaza tiene que acondicionarse agregando los siguientes reactivos:

Cuadro Nº 4: Reactivos para la Propagación a 5 L

REACTIVOS	CANTIDADES
Urea	10gr
Sulfato de Magnesio	3 gr
Sulfato de Amonio	5 gr
Fosfato de Potasio	1 gr

Extracto de Levadura	2 gr
Peptona	3gr
Lactrol diluido a 100ppm(antibiótico)	4ml
Ácido Sulfúrico	2 – 3 ml

Fuente: Autores

Pase del cultivo de 5 litros a 18 litros:

Para ello se alimenta los 5 litros con mosto de melaza a 4°Bé y en un recipiente de 20 litros y se deja incubar por 4 horas a 30°C en presencia de aire. Para ello la melaza tiene que acondicionarse agregando los siguientes reactivos:

Cuadro Nº 5: Reactivos para la Propagación a 18 L

REACTIVOS	CANTIDADES
Urea	50gr
Sulfato de Amonio	25 gr
Fosfato de Potasio	10 gr
Lactrol en polvo (antibiótico)	0.2 gr
Ácido Sulfúrico	17 ml

Fuente: Autores

Pase del cultivo de 18 litros a 50 litros:

Para ello se alimenta los 18 litros con mosto de melaza a 6°Bé y en un recipiente de 50 litros y se deja incubar por 6 horas a 30°C en presencia de aire, controlando el pH de 4- 4.5, y al cabo de este tiempo se tienen 50 litros de cultivo listo para la siembra en planta. Para ello la melaza tiene que acondicionarse agregando los siguientes reactivos:

Cuadro Nº 6: Reactivos para la Propagación a 50 L

REACTIVOS	CANTIDADES
Urea	50gr
Sulfato de Amonio	30 gr
Fosfato de Potasio	30 gr
Lactrol en polvo (antibiótico)	0.3 gr
Ácido Sulfúrico	20 ml

Fuente: Autores

La planta usa el sistema de fermentación tradicional con cultivo puro, el cual es proporcionado por el laboratorio (50litros), para su posterior siembra en los semilleros en donde se reproduce la levadura para los fermentadores y luego alimentar a los 7 tanques fermentadores cada 12 horas.

3.3 Preparación del Mosto

La melaza es bombeada desde la poza de almacenamiento a un tanque que se encuentra a 15m de altura, en donde se almacena para ser utilizada con mayor facilidad, este tanque es de fierro revestido con pintura epóxica.

Figura N° 5: Tanque de Recepción de Melaza



Fuente: Autores

La melaza cae por gravedad hacia un tanque homogenizador, a este tanque también es bombeado agua con la finalidad de diluir la melaza a 8°Be si es para siembre de levadura en semilleros y pre-fermentadores. Pero a 18°Be si es para los tanques fermentadores o Mosteras. El tanque homogenizador, es de acero inoxidable y está provisto de paletas las cuales le dan mayor agitación al fluido y de esta forma hacer una eficiente homogenización. Este tanque está provisto de un muestreador en el cual se regulan la concentración requerida de la mezcla mediante la densidad de la misma, para ello se utiliza el baumé. A la melaza ya preparada para la etapa de fermentación se le conoce como mosto.

Figura Nº 6: Tanque Agitador y Homogenizador

Fuente: Autores

3.4 Propagación de la levadura

3.4.1 Propagación en los Semilleros

El cultivo de levadura del bidón de 50 litros preparado en laboratorio es llevado hacia los semilleros, los cuales son dos tanques de acero inoxidable y tienen una capacidad de 1000 litros cada uno. A este pie de semilla se le agrega en el semillero Urea como nutriente nitrogenado, Ácido Sulfúrico para controlar el pH y antibiótico lactrol a una concentración de 0.75 ppm para reducir la contaminación bacteriana que tiene la melaza, además se le adiciona sulfato de amonio; posteriormente se alimenta el semillero con melaza diluida a una concentración de 7-8°Bé, además es importante el efecto de la aeración de éstos cultivos llamados semilleros, por lo que se procura inyectarles la cantidad suficiente por tonelada de mosto por minuto, este aire es inyectado por medio de una compresora y la regulación del flujo que ingresa al semillero es controlada por un operario encargado del área de fermentación.

Este proceso es realizado bajo una exacta supervisión, ya que se deben controlar la inoculación de la semilla, la adición de los nutrientes, así como la temperatura de la reacción que debe llegar como máximo a 32°C, el ajuste del pH debe de ser 4.5 y finalmente la limpieza y esterilización del semillero. La reacción debe durar 6 horas por cada corte, al cabo de este tiempo la concentración debe llegar de 3.5-3°Bé y el conteo celular en el semillero ha llegado aproximadamente entre 270-300 millones de células por mililitro de mosto.

Figura N° 7: Semilleros y Pre's**Fuente: Autores****Figura N° 8: Compresora****Fuente: Autores**

3.4.2 Propagación en los Pre-Fermentadores

Los pre-fermentadores son dos y tienen una capacidad de 5000 litros cada uno, actualmente solo se utiliza un pre-fermentador. En esta fase la semilla proveniente de los semilleros es vaciada al pre-fermentador por caída libre y se alimenta el pre-fermentador con mosto de melaza a 7-8 °Bé, también se adiciona nutrientes y se inyecta aire durante todo el proceso; la pre-fermentación termina al cabo de 6 horas por corte (a volumen total por 12 horas) cuando la lectura del Baumé residual se

repita, esto es aproximadamente a 3 ó 3.5°, aquí se produce una reacción exotérmica y el desprendimiento de vapores se torna evidente, después de este tiempo el conteo celular ha alcanzado aproximadamente de 250 a 280 millones de células por mililitro de mosto y así el volumen de semilla sea suficiente para fermentar una dorna o tanque de fermentación.

Aquí a diferencia de un proceso fermentativo la cantidad de energía liberada es mucho mayor y el consumo de glucosa menor por lo que en presencia de oxígeno la multiplicación es más intensa, la temperatura óptima de reacción es de 32°C para el crecimiento de la levadura y el pH debe quedar en 4.5, una vez terminada esta etapa el fluido es enviado a los tanques de fermentación.

Cada 4-5 días la levadura es cambiada para poderla usar nuevamente en los fermentadores, de esta forma se consigue la continuidad en el proceso.

3.5 Fermentación

El sistema de fermentación en Destilería Naylamp, está formado por 7 cubas o fermentadores de 80000 L, estos tanques están contruidos de fierro forjado revestido con pintura epóxica.

Par empezar la fase de fermentación, primero se agrega un pie semilla proveniente del pre-fermentador a una mostera, luego se le alimenta con melaza diluida a 18° Bé (esto dependiendo de la cantidad de azúcares reductores que tenga la melaza), se alimenta el 1°, 2°, 3° y 4° paño de la mostera respectivamente y se le adiciona ciertas dosis de ácido sulfúrico para controlar el pH apropiado y tener mejor rendimiento en la fermentación, antibiótico lactrol y bactericida necesarios para controlar posibles infecciones.

La fermentación se inicia con el desprendimiento de CO₂. La producción de este gas al principio incipiente va aumentando progresivamente con rapidez dando la impresión muchas veces que el mosto está en plena ebullición, por lo que se agrega directamente al tanque de fermentación antiespumante para evitar derrames de mosto.

Los tanques de fermentación cuentan con un sistema de enfriamiento en el cual el mosto pasa por un Enfriador de placas para mantener la temperatura de fermentación entre 32-34°C, ya que durante las primeras horas la fermentación es turbulenta con lo que la temperatura aumenta rápidamente alcanzando el máximo desprendimiento de gas. Usualmente el ciclo de fermentación dura 48 horas en la

que el mosto se transforma en vino y un signo de que la fermentación ha terminado es que la levadura muere al final del proceso, característica de eso es que ya no hay presencia de CO_2 y además el $^{\circ}\text{Bé}$ disminuye, posteriormente a esto se agrega anti-incrustante para que los lodos del vino floculen en el tanque y el vino exento de lodos vaya a destilación.

Al término del proceso de fermentación el contenido de alcohol etílico de la masa es de 9.5 a 12% de su volumen, esto dependiendo de la calidad de la melaza utilizada en el proceso.

Figura N° 9: Fermentadores de Mosto



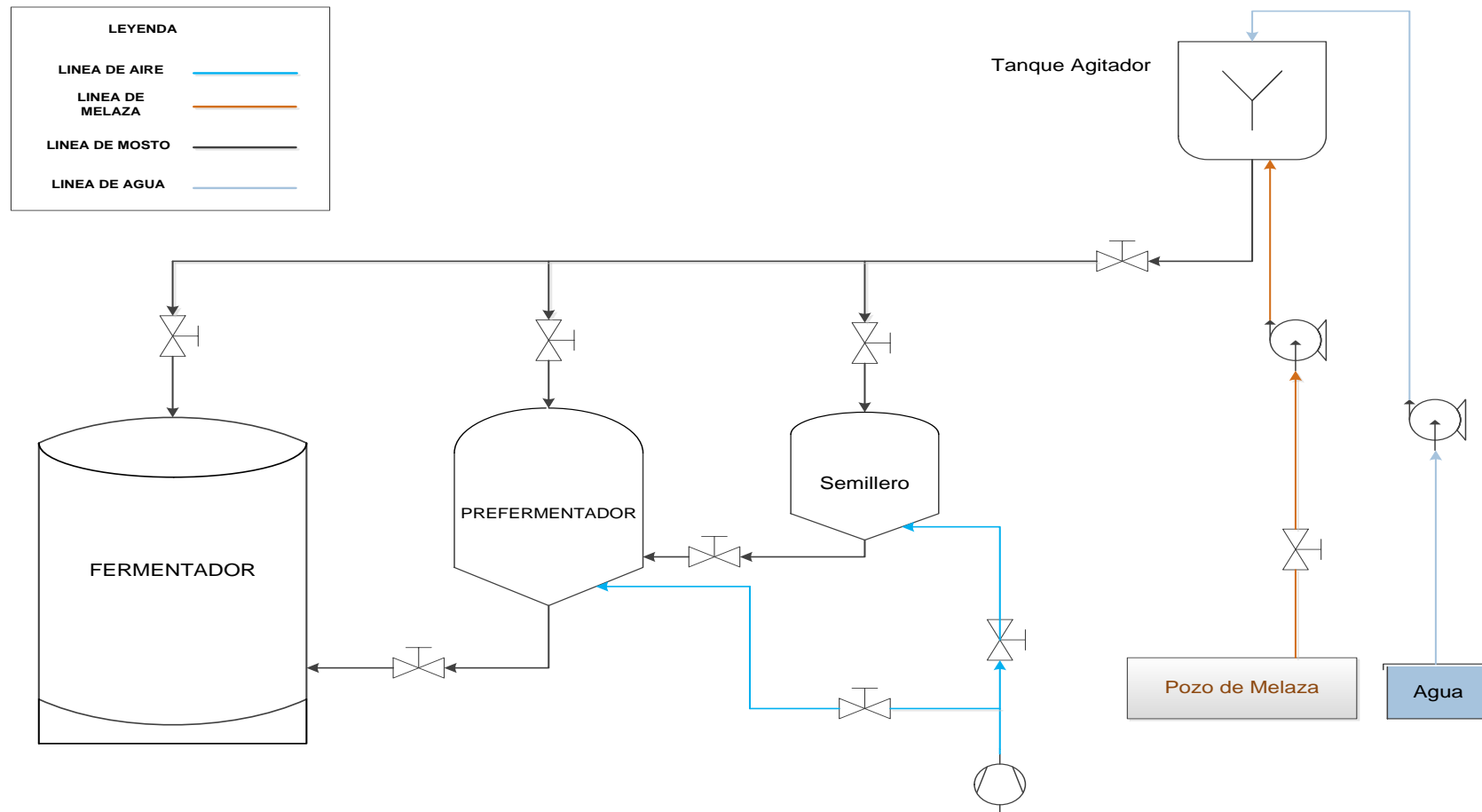
Fuente: Autores

Figura N° 10: Enfriador de Placas



Fuente: Autores

Figura N° 11: Sistema De Fermentación



Elaborado por: Autores

3.6 Destilación

Terminada la fermentación el vino está listo para ser destilado, previo calentamiento. El vino es bombeado del fermentador hacia el calentador de vinos pasando por un rompedor de espumas, el cual permite al mosto entrar en la columna sin espuma. El calienta vinos se encarga de calentar el vino desde 30°C hasta 70°C, posteriormente éste vino calentado pasa a un intercambiador de calor en donde éste es calentado a una temperatura un poco más elevada para posteriormente entrar a la etapa de destilación en las siguientes columnas: *mostera*, *purificadora* y *rectificadora*.

➤ **Columna Mostera**

La columna mostera, consta de 22 platos perforados intercambiables, 5 visores, 2 termómetros, 2 manómetros y es alimentada con 5500 L de mosto por hora.

El mosto fermentado es bombeado del tanque fermentador a la parte superior de la columna mostera, pasando previamente a través de un pre-calentador (calienta vinos). El pre-calentador posee en la parte superior una tubería de desgasificación destinado a llevar el gas carbónico del vino a la atmósfera. El vino prácticamente des-gasificado es precalentado a cerca de 70°C; la columna mostera recibe vapor directo por la parte inferior con una presión de 2.8 psi para mantener una temperatura de 103°C en la parte inferior y 100°C en la parte superior. Dentro de la columna el mosto y el vapor de agua arrastra los vapores alcohólicos del mosto que están compuestos por alcohol etílico, alcoholes pesados, isopropílico, ácido acético, aldehídos, vapor de agua en menor proporción, etc.; atravesando una serie de platos perforados y por el fondo sale el residuo libre de alcohol etílico denominado vinaza.

➤ **Columna Purificadora**

En esta columna, los vapores ingresan por la parte lateral inferior arrastrados por su energía de vapor, y a la vez ingresa a la columna vapor de agua directo, lo cual permite reducir las impurezas del alcohol etílico extrayendo los productos más volátiles que el alcohol etílico, especialmente los cogenericos, estos alcoholes salen por el tope de la columna en forma de vapores, se condensan en intercambiadores de calor de casco y tubos apropiados que utilizan agua a 25 °C para condensar los alcoholes que son extraídos como alcohol etílico de segunda.

➤ **Columna Rectificadora**

En esta columna ingresa el alcohol diluido con la finalidad de concentrarse hasta el grado de 95.7 – 96.5 °GL, por el tope de la columna rectificadora sale la mezcla de alcohol etílico y alcohol de segunda, la cual ingresa a dos condensadores que trabaja con agua para condensar el alcohol de segunda y eliminarlo por lo que se une a la línea de alcohol industrial de la columna purificadora, y el alcohol etílico separado regresa a la columna rectificadora. La columna de rectificación también cuenta con intercambiadores de calor adecuados para condensar el alcohol como reflujo y buscar la concentración adecuada.

Los vapores que salen por la cabeza se condensan de la siguiente manera:

- Pasan por un intercambiador de calor (calienta vinos) que cumple dos funciones, calienta el mosto frío y condensa una parte de los vapores ricos en alcohol etílico.
- Los vapores no condensados en el calienta vinos pasan a través de un intercambiador de calor denominado deflamador donde sufre una segunda condensación, este equipo opera con agua fría.
- Del condensado obtenido parte de ellos retorna como reflujo y la otra pasa a través de un enfriador de producto en donde se acondiciona el alcohol etílico para su almacenamiento, el alcohol etílico es conducido desde los intercambiadores de calor a través de tuberías hasta los tanques de almacenamiento de alcohol.

Figura N° 12: Sistema de Columnas de Destilación



Fuente: Autores

3.7 Almacenamiento del Alcohol Etílico

El producto principal es el alcohol etílico rectificado de 96.5°GL, el cual es almacenado en dos tanques con capacidad de 35000 litros cada uno; también se cuenta con dos tanques para el almacenamiento de alcohol industrial con capacidad de 28000 litros cada uno. El grado alcohólico del alcohol de segunda varía de 94 a 95°GL, ambos alcoholes son vendidos a granel en cilindros de 200 litros.

Figura Nº 13: Almacenamiento del alcohol Etílico



Fuente: Autores

4 MATERIALES Y METODOS

4.1 Población y Muestra

4.1.1 Población

Empresas Destilerías de Alcohol Etílico del departamento de Lambayeque que tengan sistema de fermentación tradicional.

4.1.2 Muestra

Lodos del fermentador.

4.2 Materiales, Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

4.2.1 Materiales

- Jarras de 1 L
- 2 baldes de 5 y 10 L
- Probetas
- Pizeta

4.2.2 Equipos y Reactivos

- Equipo de destilación
- Balanza electrónica.
- Lodos de Fermentación
- Cocina
- Alcoholímetro
- Brixometro
- Agua destilada
- Flocculante

4.2.3 Recolección de datos

De acuerdo con la investigación, en el desarrollo del trabajo en la experimentación y observación, será nuestra herramienta para la validez de los datos obtenidos. Los datos obtenidos serán plasmados en tablas, los que resultaran del material, equipos y materia que participa en el proceso.

4.3 Procedimiento en la recuperación de alcohol etílico a nivel laboratorio.

El estudio se realizó empleando una investigación explorativa descriptiva. La información primaria requerida se obtuvo de ensayos realizados en laboratorio de la empresa destilera.

Los ensayos para la evaluación preliminar se describen a continuación:

4.3.1 Obtención del mosto recuperado.

Esta operación consta;

1º.- Recolección de muestra de lodo, 500 ml de lodo de los tanques de fermentación.

2º.- Dilución y homogenización del lodo, lo cual se varió el volumen de agua en las siguientes proporciones 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 1:6 y 1:7. Se utilizaron 3 recipientes de 5 y 3 recipientes de 10 litros. Empleados para la homogenización y posteriormente separación de la mezcla.

3º.- Separación de líquido alcohólico recuperado y residuo, transcurridos unos 20 min visualizando las dos fases (mosto y residuo), se procede a la recuperación del mosto alcohólico.

4.3.2 Destilación del mosto recuperado

Esta operación se realizó mediante destilaciones simples en laboratorio, obteniendo porcentajes de alcohol etílico de acuerdo a las relaciones de dilución en los ensayos.

4.3.3 Evaluación del Rendimiento

Los ensayos realizados en el laboratorio con el objetivo de evaluar el % alcohólico del mosto recuperado y % de recuperación de alcohol etílico en el lodo, con las diferentes relaciones de dilución, lo determinamos mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Alcohólico del mosto recuperado} = \frac{\% \text{ alcohólico de lodo} * \text{volumen de lodo}}{\text{volumen del lodo} + \text{volumen de agua agregada}}$$

$$\% \text{ recuperado de OH en lodo} = \frac{\frac{\% \text{Alcoholico del mosto recuperado} \times \text{volumen de mosto recuperado}}{100}}{\frac{\text{Volumen de lodo} \times \% \text{ Alcoholico del lodo}}{100}} * 100$$

Los resultados serán registrados y analizados en una tabla de comparación evaluando el porcentaje de alcohol etílico que presenta cada volumen de líquido alcohólico recuperado del lodo. Y el porcentaje de recuperación de alcohol etílico en el lodo.

4.4 Operación de recuperación de alcohol etílico de los lodos en planta.

La recuperación alcohólica de los lodos se realizó como primer paso, con la dilución del lodo con agua en el tanque fermentador homogenizando, posteriormente es bombeado al tanque sedimentador con el fin de separar el líquido alcohólico del lodo limpio de alcohol, luego es bombeado al tanque pulmón finalmente e ir al sistema de destilación. El residuo sin alcohol etílico es desechado o quemado junto a la cáscara de arroz.

4.4.1 Dilución de lodo en tanque Fermentador

Una vez terminado el bombeo del mosto normal fermentado del tanque. En dicho tanque queda un residuo (Lodo) cuyo volumen aproxima a los 2000 Lts.

El volumen del lodo se complementa con 6000 Lts de agua, esto por la relación de 1:3 (1 de lodo con 3 de agua), que se llegó a dicha relación previos ensayos en el laboratorio. Teniendo en cuenta 2 parámetros limitantes muy importantes en la operatividad del proceso, los cuales son: La reducción del porcentaje de alcohol etílico en el mosto que ingresa a la columna mostera y la variabilidad del flujo de mosto que ingresa a la columna mostera.

1. Siendo la reducción del porcentaje alcohólico en el mosto un problema, está limitada en un rango de disminución de 0.64% -0.78%, con el cual no afectara en el rendimiento y rentabilidad del proceso. Calculamos la reducción del % de alcohol etílico que ingresa a la columna mostera de la siguiente manera:

% de reduccion de alcohol etilico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna mostera

$$= \%OH \text{ del mosto} - \left(\frac{\left(\frac{\%OH \text{ de mosto} \cdot \text{vol de mosto por dia}}{100} + \frac{\text{vol de mosto recuperado por dia} \cdot \%OH \text{ del mosto recuperado}}{100} \right)}{\frac{\text{vol. de mosto por dia} + \text{vol. de mosto recuperado por dia}}{100}} \right)$$

2. La variabilidad del flujo de mosto que ingresa a la columna mostera, debe ser de 8 – 8.5% adicional al flujo normal de mosto por hora que ingresa al sistema de destilación (esto por diseño de la columna de mostera), para compensar la disminución del porcentaje alcohólico ocasionado por la mezcla del mosto recuperado del lodo con el mosto del proceso de fermentación en el tanque pulmón. Calculamos el % adicional del flujo de mosto recuperado que ingresa a columna de destilación de la siguiente manera:

% adicional del flujo de mosto recuperado

$$\text{que ingresa a columna de destilacion} = \frac{\text{Vol. de mosto recuperado por dia}}{\text{Vol. de mosto por dia}} * 100$$

4.4.2 Adición de floculante

Se agregó 5-10ppm de floculante TA-50 en el tanque fermentador, este aditivo ayuda a atrapar las partículas de lodo e impurezas y sedimentarlas, obteniendo un líquido alcohólico limpio.

4.4.3 Homogenización de la mezcla

Por medio de la bomba del sistema de enfriamiento, se procederá a recircular el lodo diluido por un lapso de 10 min, tiempo suficiente para una buena homogenización.

4.4.4 Sedimentación de lodo

Con el sistema de bombeo que usamos para la recirculación e enfriamiento del mosto, se traslada todo el fluido del tanque fermentador al tanque sedimentador, en el cual permanecerá en reposo por 2 horas, obteniendo como parte de fondo residuo sin alcohol y el líquido alcohólico en la parte superior.

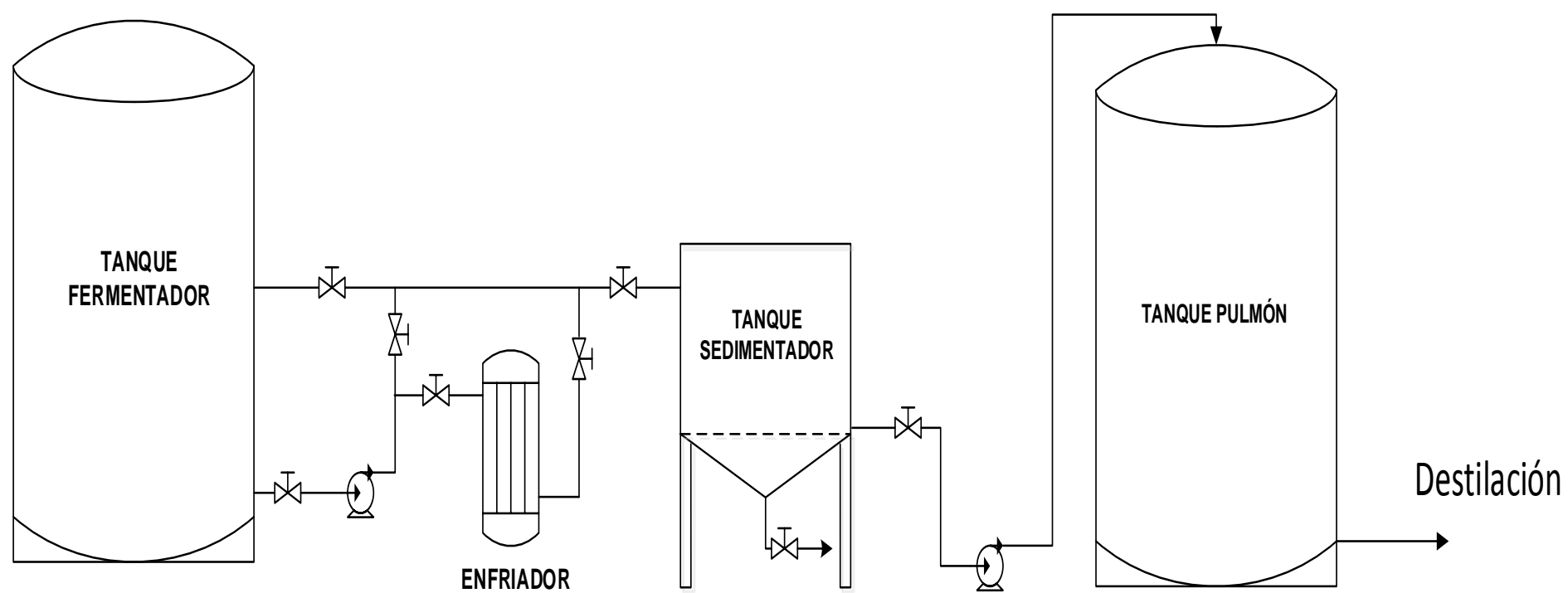
4.4.5 Bombeo del líquido alcohólico al tanque pulmón

Pasado el tiempo necesario para separar el alcohol etílico que permaneció en el lodo, por medio de un nuevo sistema de bombeo debidamente instalado, este líquido alcohólico libre de sólidos en suspensión, es bombeado al tanque pulmón a razón de 0.6 m³/h. Mientras que el lodo libre de alcohol etílico, pasa a ser un residuo que podría ser mezclado con la cascara de arroz y ser quemado en el caldero o para formular alimentos balanceados por su alto contenido proteico.

4.4.6 Destilación del mosto del tanque pulmón.

Una vez bombeado el líquido alcohólico al tanque pulmón, aquí obtendremos un nuevo % alcohólico de la mezcla del mosto fermentado en el proceso con el líquido alcohólico recuperado de los lodos, el cual pasa al sistema de destilación para finalmente tener como producto el alcohol etílico al 96 °GL.

Figura N° 14: Sistema de Recuperación Alcohol Etílico a Partir de Lodos de Fermentación



Elaborado por: Autores

4.5 Evaluación Económica

De acuerdo al trabajo de investigación a realizarse, la evaluación económica se centrara de manera siguiente:

- A. Determinación económica del alcohol etílico presente en los lodos de fermentación que pueden recuperarse en un lapso de 4 años en una planta de alcohol etílico.
- B. Los costos de los insumos, manipuleos, energía, equipos y accesorios (tanques, bombas, tubería, válvulas, etc.) necesarios para lograr obtener el líquido alcohólico.

En el análisis económico determinaremos los ingresos anuales, la inversión, costos de operación para elaborar el estado de ganancias y pérdidas, cual lo cual obtendremos nuestro Flujo de Caja, para finalmente calcular la rentabilidad del proyecto mediante la estimación de los ingresos durante 4 años. Para que el proyecto sea rentable usaremos dos parámetros en el cálculo de la viabilidad que son el VAN (Valor actual Neto) y el TIR (tasa interna de retorno o rentabilidad). El VAN tendrá que ser superior a cero, lo que significaría que recuperaremos la inversión inicial, mientras que el TIR se utiliza como indicador de la rentabilidad del proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad, utilizándolo como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo del proyecto de inversión. El TIR tiene que ser mayor a la tasa mínima que en nuestro proyecto es del 10%.

La fórmula para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n}$$

Fórmula para el cálculo de la TIR:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n} - I = 0 ; TIR = r = ?$$

Dónde:

I = Inversión

Qn =Flujo de caja del año

R= tasa de interés con la que estamos comparando; 10% en este caso.

N = número de años de la inversión; 4 años del proyecto con proyección indefinida.

5 RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Evaluación del rendimiento de alcohol etílico mediante la dilución con agua.

Los porcentajes de recuperación de alcohol etílico en el lodo se obtuvieron de los diferentes ensayos de acuerdo a las relaciones de dilución y posteriormente la destilación, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Porcentaje de recuperación de alcohol etílico del lodo en relación con el volumen de dilución

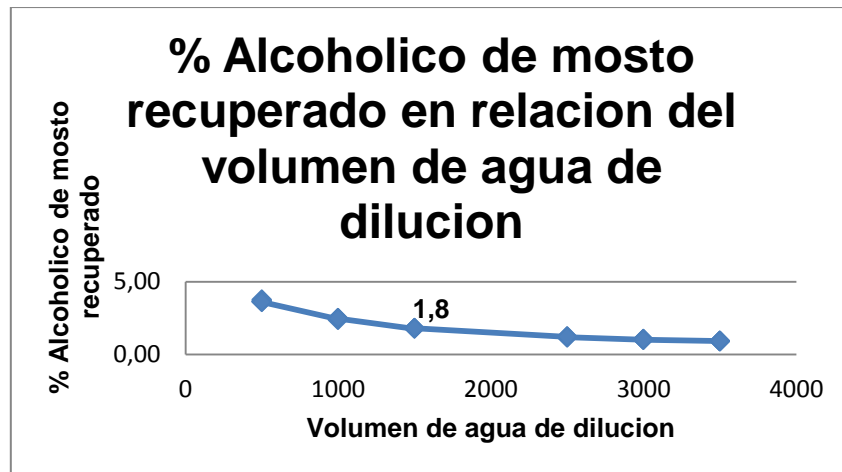
% de Etanol en mosto normal	Volumen de Lodo (ml)	Volumen de Agua agregada (ml)	% de etanol en Lodo	Volumen de Mosto Recuperado (ml)	% Alcohólico de mosto recuperado	% de recuperación de etanol en lodo
10.3	500	500	7.3	500	3.65	50
10.2	500	500	7.3	500	3.65	50
10.6	500	500	7.5	500	3.75	50
10.3	500	500	7.2	500	3.6	50
10.4	500	1000	7.3	1000	2.43	66.67
10.6	500	1000	7.4	1000	2.47	66.67
10.2	500	1000	7.1	1000	2.37	66.67
10.5	500	1000	7.4	1000	2.47	66.67
10.2	500	1500	7.1	1500	1.78	75
10.2	500	1500	7.2	1500	1.8	75
10.3	500	1500	7.2	1500	1.8	75
10.3	500	2500	7.3	2500	1.22	83.33
10.1	500	2500	7	2500	1.17	83.33
10.2	500	2500	7.2	2500	1.2	83.33
10.3	500	3000	7.2	3000	1.03	85.71
10.2	500	3000	7.1	3000	1.01	85.71
10.3	500	3000	7.3	3000	1.04	85.71
10.3	500	3000	7.1	3000	1.01	85.71
10.4	500	3500	7.4	3500	0.93	87.5
10.3	500	3500	7.2	3500	0.9	87.5
10.3	500	3500	7.3	3500	0.91	87.5
10.5	500	3500	7.4	3500	0.93	87.5

Elaborado por: Autores

En la **Figura N° 15**, se muestra que conforme aumenta el volumen de agua de dilución con los 500 ml de lodo, menor es el porcentaje alcohólico del mosto recuperado. En la **Figura N° 16**, muestra que al aumentar los volúmenes de dilución mayor es porcentaje de recuperación de alcohol etílico en el lodo.

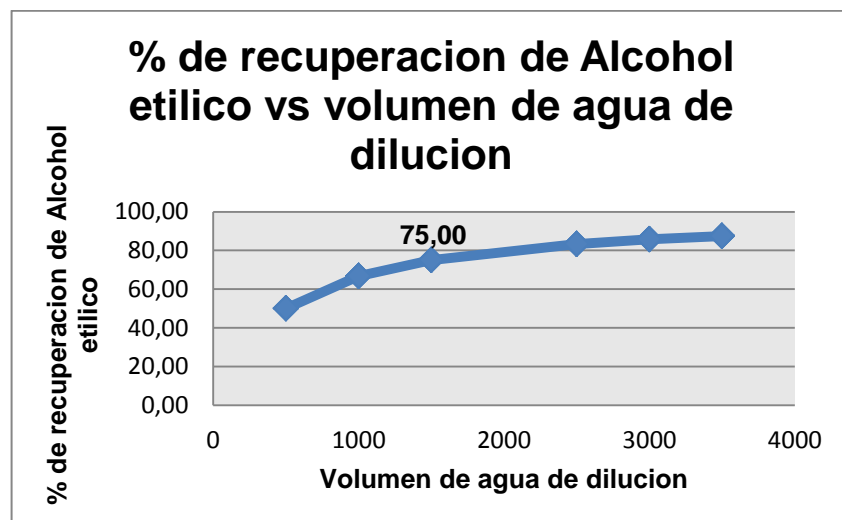
Por consiguiente se presenta un límite refiriéndonos al volumen adicional de agua que ingresa a la columna, y mientras más agua ingrese a la columna mostera más bajo es el porcentaje de alcohol etílico que ingresa a la columna en promedio. También un incremento en el costo de producción.

Figura N° 15: % alcohólico del mosto recuperado Versus Volumen de Agua de Dilución



Elaborado por: Autores

Figura N° 16: Relación del % Recuperación de Alcohol Etílico y Volumen Agua de Dilución



Elaborado por: Autores

Por lo tanto debemos evaluar con las variables de desarrollo del proceso, para así acertar en la recuperación de mayor porcentaje de alcohol etílico en la planta, sin afectar los tiempos de operación, exceso en gasto de energía y producción diaria.

De los ensayos logramos determinar que la relación más que acertada es trabajando con una relación de 1:3, refiriéndonos a 1 parte de lodo por 3 partes de agua. Teniendo una recuperación del 75% de alcohol etílico del total presente en el lodo y un % alcohólico del 1.8%.del mosto recuperado.

De acuerdo con los porcentajes promedios en los que pueden variar la columna de destilación de mosto; Por datos de planta son los siguientes:

1. Debe de tener una variabilidad en el flujo de mosto de 8 a 8,5% del flujo adicional por hora como máximo que equivale a 500 L/h.
2. El % de alcohol etílico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna de mosto debe reducirse como máximo entre 0,63 a 0,74% menos del que presenta el tanque fermentador.

Teniendo claro esta variación de los porcentajes promedios en la columna de destilación, procedemos a realizar el Cálculo del % adicional de flujo de mosto recuperado y reducción del % de alcohol etílico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna. Partiendo de un volumen global de lodo que queda como residuo en todo fermentador. Para evaluar los volúmenes de dilución con los que trabajaremos en el diseño de la línea de recuperación de alcohol etílico a partir de los lodos.

Tabla 2: Cálculo del % adicional de flujo de mosto recuperado

Volumen Lodo por fermentador (Lts)	Volumen de Agua de dilución por fermentador (Lts)	Volumen mosto recuperado por fermentador (Lts)	Volumen mosto recuperado por día (Lts)	Volumen de mosto normal fermentado por día (Lts)	% Adicional de mosto recuperado
1980	1980	1980	4000	144000	2.78
1980	1980	1980	4000	144000	2.78
1980	1980	1980	4000	144000	2.78
1980	1980	1980	4000	144000	2.78
1980	3960	3960	8000	144000	5.56
1980	3960	3960	8000	144000	5.56
1980	3960	3960	8000	144000	5.56
1980	3960	3960	8000	144000	5.56
1980	5940	5940	12000	144000	8.33
1980	5940	5940	12000	144000	8.33
1980	5940	5940	12000	144000	8.33
1980	9900	9900	20000	144000	13.89
1980	9900	9900	20000	144000	13.89
1980	9900	9900	20000	144000	13.89
1980	11880	11880	24000	144000	16.67
1980	11880	11880	24000	144000	16.67
1980	11880	11880	24000	144000	16.67
1980	11880	11880	24000	144000	16.67
1980	13860	13860	28000	144000	19.44
1980	13860	13860	28000	144000	19.44
1980	13860	13860	28000	144000	19.44
1980	13860	13860	28000	144000	19.44

Elaborado por: Autores

En la Tabla 2, se presenta el cálculo del porcentaje adicional del flujo de mosto recuperado, el cual incrementa de acuerdo al aumento del volumen de dilución, pero que en base a los porcentaje promedios en los que puede variar la columna de destilación, el flujo de mosto puede incrementar en un rango de 8 – 8.5% del flujo normal. El fin de la Tabla 2 es mostrar porque se toma la relación de volúmenes de 1:3 para el proceso de recuperación de alcohol etílico a partir de los lodos, ya que con el 8.33% que da como resultado estaríamos trabajando dentro de lo establecido para que no tener ninguna variación en el proceso normal de destilación.

Calculo del % adicional del flujo de mosto recuperado:

$$\frac{\% \text{ adicional del flujo de mosto recuperado}}{\text{que ingresa a columna de destilacion}} = \frac{12000}{144000} * 100$$

$$= 8.33 \text{ es el \% adicional del flujo de mosto recuperado}$$

Tabla 3: Porcentaje de Reducción de alcohol etílico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna mostera.

Volumen Lodo por fermentador (Lts)	Volumen de Agua de dilución por fermentador (Lts)	Volumen mosto recuperado por fermentador (Lts)	Volumen mosto recuperado por día (Lts)	% Alcohólico de mosto recuperado	% Alcohólico de mosto normal Fermentado	Volumen de mosto normal fermentado por día (Lts)	% de reducción de alcohol etílico del mosto normal fermentado
1980	1980	1980	4000	3.65	10.3	144000	0.18
1980	1980	1980	4000	3.65	10.2	144000	0.18
1980	1980	1980	4000	3.75	10.6	144000	0.19
1980	1980	1980	4000	3.60	10.3	144000	0.18
1980	3960	3960	8000	2.43	10.4	144000	0.42
1980	3960	3960	8000	2.47	10.6	144000	0.43
1980	3960	3960	8000	2.37	10.2	144000	0.41
1980	3960	3960	8000	2.47	10.5	144000	0.42
1980	5940	5940	12000	1.78	10.2	144000	0.65
1980	5940	5940	12000	1.80	10.2	144000	0.65
1980	5940	5940	12000	1.80	10.3	144000	0.65
1980	9900	9900	20000	1.22	10.3	144000	1.11
1980	9900	9900	20000	1.17	10.1	144000	1.09
1980	9900	9900	20000	1.20	10.2	144000	1.10
1980	11880	11880	24000	1.03	10.3	144000	1.32
1980	11880	11880	24000	1.01	10.2	144000	1.31
1980	11880	11880	24000	1.04	10.3	144000	1.32
1980	11880	11880	24000	1.01	10.3	144000	1.33
1980	13860	13860	28000	0.93	10.4	144000	1.54
1980	13860	13860	28000	0.90	10.3	144000	1.53
1980	13860	13860	28000	0.91	10.3	144000	1.53
1980	13860	13860	28000	0.93	10.5	144000	1.56

Elaborado por: Autores

La Tabla 3, muestra el cálculo del % de reducción de alcohol etílico que ingresa a la mostera, el cual está establecido por los porcentajes promedios de variabilidad. La variabilidad en el proceso está establecida como máximo en un rango de 0.63 – 0.74% el cual se debe reducir el porcentaje alcohólico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna mostera. Mediante los volúmenes de dilución se determinó que la relación 1:3, sigue siendo la mejor opción de trabajo para el proceso de recuperación de alcohol etílico, teniendo una reducción del 0.65% de alcohol etílico del mosto normal fermentado que ingresa a la columna mostera.

Habiendo determinado los porcentajes promedios de variabilidad, que dependen del volumen total de mosto recuperado por día, se procederá a especificar los equipos que intervendrán en la línea de recuperación de alcohol etílico a partir de los lodos de fermentación.

Cálculo del % de reducción de OH del mosto normal fermentado que ingresa a la columna

$$\% \text{ de reducción de OH del mosto normal fermentado} = 10.2 - \left(\frac{\frac{10.2 \cdot 144000}{100} + \frac{12000 \cdot 1.8}{100}}{\frac{144000 + 12000}{100}} \right)$$

= 0.65 es el % que se reduce el mosto normal fermentado que ingresa a la columna mostera.

5.2 Especificaciones de los Equipos y Accesorios

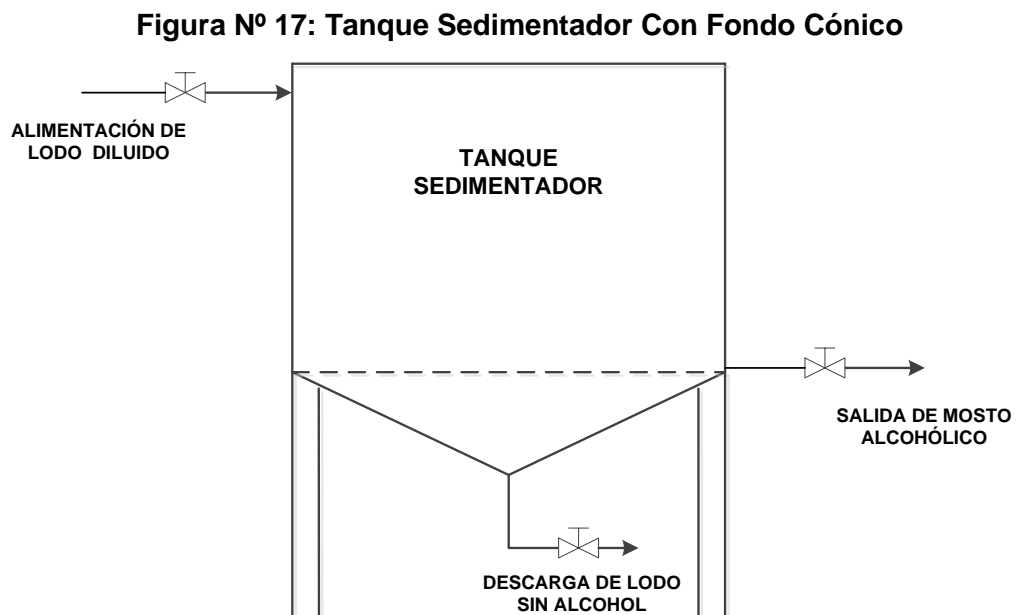
5.2.1 Tanque Sedimentador

El propósito de este equipo es almacenar por un tiempo de residencia la mezcla del lodo con el agua de lavado la cual presenta el alcohol etílico que se ha recuperado del lodo de los tanques de fermentación.

Obteniendo dos fases; en la parte superior presentara mosto recuperado con un determinado % de alcohol etílico, y, en la parte inferior el lodo sin alcohol etílico.

El tanque sedimentador está hecho de fierro inoxidable de 3/16". Presenta una tubería de entrada de 3/4" para el fluido. Dos tuberías de salida, la 1° una tubería de 3/4" para la succión del mosto recuperado, y la 2° tubería de 2 1/2" por el cual se descarga el lodo limpio de alcohol etílico.

Tiene una capacidad de 8000 litros. El tanque sedimentador se encuentra ubicado en el área de fermentación de la planta de alcohol etílico, siendo un sitio estratégico para la recuperación alcohólica de los lodos de los tanques de fermentación.



Elaborado por: autores

5.2.2 Sistema de Bombeo

El transporte del fluido se realiza en dos etapas: Bomba # 1 desde los tanques de fermentación hacia el tanque sedimentador y Bomba # 2 del tanque sedimentador hacia el tanque pulmón para ser destilado.

- **Bomba 1:** Bomba de 4" de succión y 3" de salida de acero con acoplamiento directo a 1 motor WEG de 5 HP, trifásica 380V, 10°A y 1750 rpm. El sistema de bombeo es parte del sistema de enfriamiento del mosto en el proceso de fermentación.
- **Bomba 2:** Bomba Centrífuga de ¾" de succión y ¾" " de salida, con motor de potencia de 0.5 HP.

5.2.3 Tubería de fierro

El sistema de tuberías necesitó de 22 m de tubería de fierro negro.

5.2.4 Accesorios

Dentro de los accesorios necesarios para la instalación se requirió de 6 codos de ¾", 2 válvulas de ¾", y Válvula de 2 ½ ".

5.3 Costo de los Equipos

El costo de los equipos para el proceso de recuperación de alcohol etílico de los lodos de fermentación, son costos establecidos de acuerdo al precio en planta, el cual se detalla en el siguiente **Cuadro N°7**.

Cuadro N° 7: Tanque Sedimentador

Equipo	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Planchas de Fierro	9	225.00	2295.00
Soldadura	18 kg	11.00	198.00
Válvulas	3	-	258.00
Tuberías	22 mts	24.24	537.90
Total			3288.90

Elaborado: Por Autores

- **Bomba 1:** El costo de la bomba no se considera, por lo que no es un equipo nuevo. Trabaja la bomba del sistema de enfriamiento de mosto en esta operación.
- **Bomba 2:** Esta bomba es adquirida de acuerdo a nuestra necesidad de trabajo, ya que necesitamos una bomba pequeña de 0.5 HP, para alimentar el mosto recuperado al tanque pulmón de manera que por cada hora se bombee solo 600 L/h. El costo de la Bomba #2 es de S/. 1215.00.

Cuadro Nº 8: Costo de Tanque Sedimentador y Sistema de Bombeo

Equipo	Cantidad	Costo en nuevos soles
Tanque Sedimentador	1	S/.3288.90
Bomba #2	1	S/.1215.00
Total	2	S/.4503.90

Elaborado por: Autores

5.4 Costo de los Insumos

Para la operación de sedimentación es necesario la utilización del Floculante TA-50 el cual tiene un costo de S/. 9.80 por cada kilogramo.

Se adicionaran 5 ppm de floculante TA-50 por lote, siendo 2 los lotes de trabajo que equivale a 16 TM de mosto recuperado al día.

El valor mensual y anual equivale a:

$$5ppm = 5 \frac{gr}{TM} * 16 \frac{TM}{dia} = 80 \frac{gr de TA - 50 consumidos}{dia}$$

$$80 \frac{gr de TA - 50 consumidos}{dia} * \frac{365 dias}{año} = 29200 \frac{gr de TA - 50 consumidos}{año}$$

$$29200 \frac{gr de TA - 50 consumidos}{año} * \frac{1kg}{1000gr} * 9.80 \frac{soles}{kg de TA - 50} = 286.16 \frac{soles}{año}$$

El gasto de floculante TA-50 en la recuperación de alcohol étlico en los lodos es de S/. 286.16 soles en un año.

5.5 Costo de Energía

5.5.1 Bombas.

El cálculo de energía se hizo para el motor que proporciona la potencia para el funcionamiento del sistema de bombeo. Teniendo en cuenta el tiempo que se emplea en el proceso y el consumo de energía reportado en las especificaciones del motor de 5 HP y 0.5HP.

Bomba #1:

- Tiempo total de funcionamiento= 60min
- Vatios Consumidos por el motor= $10A \cdot 380V = 3800 \text{ W} = 3800 \text{ J/s}$
- Tiempo en segundos= $60\text{min} \cdot 60\text{seg/min} = 3600\text{s}$
- Energía consumida por el motor en el tiempo de operación= $3800 \text{ J/s} \cdot 3600\text{s} = 13680000 \text{ J}$
- Kilovatios hora consumida en el proceso = $13680000 \text{ J} \cdot (1\text{kw/h}) / (3.6 \cdot 10^6) = 3.8 \text{ kwh}$ consumidos.
- Costo de kilovatios por hora= S/. 0.35/kw.hr.
- Costo de energía consumida por una hora de operación= S/. 1.33/hr.
S/. 1.33/hr*1hr= S/.1.33(equivalente a los 2 lotes durante el día).

Entonces el gasto anual adicional para la Bomba #1 equivale a:

$$1.33 \frac{\text{soles}}{\text{dia}} * 365 \text{ dias} = 485.45 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Bomba #2:

- Tiempo total de funcionamiento= 60min
- Vatios Consumidos por el motor= $1A \cdot 380V = 380 \text{ W} = 380 \text{ J/s}$
- Tiempo en segundos= $60\text{min} \cdot 60\text{seg/min} = 3600\text{s}$
- Energía consumida por el motor en el tiempo de operación= $380 \text{ J/s} \cdot 3600\text{s} = 1368000 \text{ J}$
- Kilovatios hora consumida en el proceso = $1368000 \text{ J} \cdot (1\text{kw/h}) / (3.6 \cdot 10^6) = 0.38 \text{ kwh}$ consumidos.
- Costo de kilovatios por hora= S/. 0.35/kw.h
- Costo de energía consumida por una hora de operación= S/.0.133/ h

S/. 0.133/h* 20h = S/. 2.66 (equivale a las 20 horas durante el día).

Entonces el gasto anual adicional para la Bomba #1 equivale a:

$$2.66 \frac{\text{soles}}{\text{dia}} * 365 \text{días} = 970.90 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costo total de la energía consumida en un año:

$$485.45 + 970.90 = 1456.35 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

5.6 Costo de Vapor

El costo de vapor y el consumo de vapor de agua adicional considerando el aumento del flujo de mosto por hora y la reducción de 0.65% de alcohol etílico en mosto.

En el Cuadro N° 9, se detalla el gasto promedio diario del caldero.

Cuadro N° 9: Costo Promedio Diario del Caldero

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Cascara de Arroz (TM)	9	55.00	495.00
Calderistas	2	43.57	87.14
Ayudantes	2	23.33	46.66
Supervisión			61.11
Cargas laborales, uniformes, etc.	4	14.05	56.20
Arrume de cascara por día		83.33	83.33
Coste de sacos de sal	3	7.20	21.60
Agua / corriente eléctrica		45.30	45.30
Eliminación de cenizas		25.00	25.00
Reparación promedio		73.33	73.33
Otros		25.00	25.00
Total			S/. 1019.67

Elaborado por: Autores

La producción de vapor del caldero es de 2850 kg de vapor/h o en 68.40 TM/día este es el gasto energético en el proceso de destilación, teniendo un costo por TM de vapor de:

$$\frac{S./1019.67}{68.40 \text{ TM de vapor}} = S./14.91 \text{ por TM de vapor}$$

El flujo de alimentación de mosto al proceso de destilación es de 6000 L/h de mosto, para este volumen el vapor necesario es de 2850 kg de vapor /h.

Con el volumen de 6000 litros de mosto recuperado obtenidos del lodo lavado, este volumen es bombeado al tanque pulmón de manera fraccionada de 600 L/h. Por lo tanto un aumento en la producción de mosto, también un incremento del flujo de alimentación de mosto para el proceso de destilación manteniendo el tiempo de trabajo en el proceso.

Teniendo en cuenta la reducción del 0.65 % de alcohol etílico que se determinó en la Tabla 2. Erro! Fonte de referência não encontrada. Y aumento de mosto en el proceso como resultado el incremento de consumo de vapor para el proceso de destilación.

Cuadro Nº 10: Detalle del Aumento del Consumo de Vapor

Volumen Que Ingresa A La Columna De Destilación		Consumo de Vapor
Inicial	6000 L/h	2850 kg de vapor/h
Final	6600L/h	3108 kg de vapor/h
Aumento	600L/h	258 kg de vapor/h

Elaborado por: Autores

Con el aumento de 258 kg de vapor/h para el proceso determinamos el costo por hora, teniendo como resultado el costo adicional del vapor en un día de trabajo:

$$258 \frac{\text{kg de vapor}}{\text{hora}} * \frac{1 \text{ TM vapor}}{1000 \text{ kg vapor}} * 14.91 \frac{\text{soles}}{1 \text{ TM de vapor}} = 3.85 \frac{\text{Soles}}{\text{Hora}}$$

Por lo tanto el costo adicional de vapor al año es:

$$3.85 \frac{\text{soles}}{\text{hora}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 365 \frac{\text{dia}}{\text{año}} = 33726 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

5.7 Costo de Mano de Obra Directa

El operario responsable de la línea de recuperación de alcohol etílico es el operario del Área de Fermentación, al cual se le bonificara en 1.5 horas por día.

El operario de fermentación tiene un sueldo de S/. 1520.00 mensuales, cumpliendo su faena semanal de 6 días más 1 de descanso.

$$1520.00 \frac{\text{soles}}{\text{mensuales}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 2.10 \frac{\text{soles}}{\text{hora}}$$

$$2.11 \frac{\text{soles}}{\text{hora}} * 1.5 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 1155.23 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

El gasto anual será S/. 1155.23 de bonificación al operario que realizara la operación de recuperación de alcohol etílico en los lodos.

5.8 Costo de Materia Prima

La materia prima es el residuo de las mosteras de fermentación que comúnmente es el lodo, no tiene ningún precio.

5.9 Costo de Mantenimiento

Según Peters (2001) el cálculo para determinar el costo de mantenimiento de los equipos se realiza de la siguiente forma:

$$\text{costo total de los equipos} * 1\% = \text{costo de mantenimiento anual}$$

$$\text{S/. } 4944.15 * 1\% = \text{S/. } 49.44$$

Costo de mantenimiento anual = **S/. 49.44**

5.10 Análisis Económico de la Recuperación de Alcohol Etílico de los Lodos de Fermentación.

Tabla 4: Volumen y Porcentaje alcohólico de mosto recuperado en el proceso de recuperación de alcohol etílico en planta.

Volumen Lodo por fermentador (Lts)	Volumen de Agua por Fermentador (Lts)	Volumen de mosto recuperado por fermentador (Lts)	Volumen mosto recuperado por día (Lts)	% Alcohólico de mosto recuperado
1980	5940	5940	12000	1.78
1980	5940	5940	12000	1.80
1980	5940	5940	12000	1.80

Elaborado por: Autores

La Tabla 4, presenta el volumen de mosto recuperado al día en el proceso de recuperación alcohólica en planta. Con lo cual determinaremos el volumen de alcohol etílico a partir de los lodos y su respectivo valor económico en el lapso de un año

Calculamos el volumen diario de alcohol etílico:

$$12000 \frac{\text{Lts de mosto recuperado}}{\text{día}} * 1.8\% = 216 \frac{\text{Lts de alcohol etílico}}{\text{día}}$$

Litros de alcohol etílico ganados a 1 año:

$$216 * 365 = 78840 \frac{\text{Lts de alcohol etílico}}{\text{año}}$$

Que en cilindros equivale a:

$$78840 \frac{\text{Lts de alcohol etílico}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ cilindro}}{200 \text{ litros}} = 394.20 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}}$$

Valor promedio en el mercado nacional de 1 cilindro de alcohol etílico de 96 °GL es de: S/. 420.00. Entonces:

$$394.20 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}} * \frac{\text{S./420.00}}{1 \text{ cilindro de alcohol etílico } 96^\circ \text{GL}}$$

$$= \text{S./165,564.00}$$

El valor de la producción anual por medio de la recuperación de alcohol etílico a partir de los lodos equivale a S./ 165,564.00.

Por lo tanto dentro del análisis económico es rentable, con un ingreso anual alto.

5.11 Evaluación Económica:

Cuadro N° 11: Flujo de Caja del proyecto

	0	1	2	3	4
INGRESOS		97683	136756	175829	195366
Capital de Trabajo		8278,2	11589,48	14900,76	16556,4
EGRESOS					
Inversión	4503,9				
Costos de Energía		1456,35	1456,35	1456,35	1456,35
Costos de Vapor		33726	33726	33726	33726
Costos de mantenimiento		49	49	49	49
Costos de Insumos		286,16	286,16	286,16	286,16
Costos de Operación		1155,6	1155,6	1155,6	1155,6
Impuestos		13833	23767	33700	38667
FCE	-4503,9	55455	87906	120356	136582

Elaborado por: Autores

$$VAN = 379,436.26$$

$$TIR = 2327.17\%$$

El cuadro N° 11, representa el flujo de caja efectivo en los 4 años del proyecto de recuperación de alcohol etílico a partir de los lodos de fermentación.

Con un VAN igual a 379,436.26, con lo que se concluye que el proyecto es rentable desde el punto de vista que la inversión es recuperada en los 4 años de funcionamiento de la línea de recuperación de alcohol etílico.

El TIR equivalente a 2327.17% lo cual es un buen indicador de la rentabilidad del proyecto, ya que supera demasiado a la tasa mínima del 10%, con este criterio se decide sobre la aceptación del proyecto.

6 CONCLUSIONES

- La cantidad de alcohol etílico que se recuperada de los lodos de fermentación es 216 litros diarios.
- Para el funcionamiento de la línea de recuperación de alcohol etílico a partir de lodos se necesita una inversión inicial de S. / 4503.90, lo cual conlleva a una inversión muy baja.
- El proyecto es rentable, ya que la ganancia o rentabilidad neta generada por el proyecto con un VAN igual 379,436.26, y un TIR 2327.17%.
- Se diseñó el equipo correspondiente para procesar los lodos en una sedimentación siendo su volumen de 10000 litros de capacidad, su fondo es cónico para lograr extraer lodo con la menor cantidad de alcohol posible, está hecho de fierro de 3/16" de espesor, las tuberías son de 2 ½ " en el fondo del cono para extraer el lodo, tubería de entrada de ¾ " de los fluidos, tubería de salida de agua con alcohol de ¾ ".
- Los costo que ocasiona el sistema de recuperación del alcohol etílico de los lodos de fermentación en un año es S/. 41,177.08, sumada la inversión y los costos.

7 RECOMENDACIONES

- Llevar a la practica dicho proyecto, ya que desde el punto financiero, es viable, exitoso y no presenta riesgo alguno.
- Recomendamos a las destileras a desarrollar la recuperacion de alcohol etilico de los lodos de fermentacion, ya que en dicha investigacion se encuentra debidamente sustentada y analizadas las razones, que auguran el éxito del mismo.
- Se deben mantener los porcentajes alcoholicos sobre el 10.2% como minimo en los tanques de fermentacion, ya que en los lodos como se ve reflejado en la investigacion tenga un volumen considerable de alcohol etilico, aumentando asi mas la produccion diaria reflejando aún más la rentabilidad del proyecto.
- Los lodos de fermentacion tienen un considerable porcentje alcoholico, el cual es desechado a los drenes mas cercanos a las plantas industriales y aumentando la contaminacion ambiental. Por eso, se recomienda poner en marcha la recuperacion del alcohol etilico de los lodos de fermentacion, para disminuir el impacto ambiental.
- Poder darle un mejor uso a los lodos sin alcohol etilico, como alimento balanceado para animales y como parte del combustible a quemar en calderas junto con la càscara de arroz.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8.1 Bibliografía

- Ariza, B. y Gonzalez, L. 1997. *Producción de Proteína Unicelular a partir de levaduras y melaza de caña de azúcar como sustrato*. Tesis de pregrado Bacteriología. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Bacteriología. Bogotá. Colombia. 22-27p.
- Castro, M. 1993. *Estudio de la melaza de caña como sustrato de la fermentación Acetobutílica*. Tesis Pregrado Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 3-35p.
- Doran, P. 1998. *Principios de Ingeniería de los bioprocesos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 289-291p.
- Henry c. Vogel, (1996), *fermentation and biochemical engineering handbook principles, process design, and equipment second edition* edited by.
- Honig, P. 1974. *Principios de Tecnología Azucarera. Segunda Edición*. Compañía Editorial Continental. México. 23- 54p.
- Jagnow, H y Dawid, W. *Biotecnología. Introducción con experimentos modelo*. Acribia, S.A. Zaragoza, 1991.
- Jorgensen, A. 1990. Microbiología de las fermentaciones industriales. Séptima Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 22-25p.
- Montoya, Maria / Quintero, Julián / Sánchez, Oscar/ Cardona, Carlos. (2005) *Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz*. Artículo de Investigación. Universidad EAFIT.
- Morrison y Boyd. (1999). Química Orgánica. 5ª edición.
- Olsen, J. y Allermann, K. 1991. *La biomasa microbiana como fuente de Proteína*. Biotecnología Básica. Editorial Acribia. España. 65-72p.

- Ospina, A. y Palacios, M.1994. *Efecto del cultivo de levaduras sobre la carga orgánica de los efluentes de SUCROMILES S.A.* Tesis pregrado Microbiología. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 23-29p.
- Owen, P.1991. *Biotecnología de la Fermentación*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 27-36p.
- Pereira, Rogério (1999) *Producción de Etanol a partir de melaza de soja*. Tesis de Maestría. UNIVERSIDAD DE RIO GRANDE DEL SUR – BRASIL.
- Ponce, M/ Bermeo M. (2011) *Aprovechamiento de levadura recuperada de la fermentación en destilería*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica Del Litoral
- Prasad, S., Singh, A., Joshi, H. C. 2007. *Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues*. Resources, conservation and recycling. 50: 1-39.
- Quintero, R. 1981. *Ingeniería Bioquímica*. Primera Edición. Editorial Alambra. México. 33-37p.
- Swan, H. y Karalazos, A. 1990. *Las melazas y sus derivados*. Revista Tecnología. Geplacea. No. 19. España. 78-82p.
- Tocagni, H. 1981. *La caña de Azúcar*. Editorial Albatros. Argentina. 56-58p.
- Vázquez, J. y Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: *Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas*. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 8, 249-259.
- Wheals, A. E, Basso, L, C., Alves, D. M., Amorim, H. V. 1999. Fuel etanol after 25 years. Elsevier Science. Volumen (17):482-487

8.2 Linkografía

- Anónimo, (1991). Aumento de la Producción de etanol a partir de melaza de caña de azúcar por la adición de benzoato, disponible en <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v48/02.pdf>, accesado 19, 12, 2012.
- Anónimo (-) Fermentación alcohólica, disponible en http://www.bedri.es/Libreta_de_apuntes/F/FE/Fermentacion_alcoholica.htm accedido 17, 12, 2012.
- Anónimo, (1991). Estudio Físico-Químico y Determinación del valor proteico de los Lodos de Fermentación, disponible en <http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/farmacia/revista/V19P58-62.pdf>, accesado 18, 12, 2012.
- Anónimo, (2005) *Criteria for Assessing Environmental, Economic, and Social Aspects of Biofuels in Developing Countries*. Öko-Institute.V. Berlin February. Disponible en www.oeko.de, accesado 19, 12, 2012
- Anónimo, (-) *Economic Impacts of Ethanol Production*, disponible en http://www.ethanolacrossamerica.net/CFDC_EconImpact.pdf, accesado 19, 12, 2012
- Anónimo, (2008), *Biofuel Technology Handbook* Dominik Rutz & Rainer Janssen 2008. Publicado por WIP Renewable Energies München Germany, disponible en www.wip-munich.de, accesado 19, 12, 2012

9 ANEXOS

Anexo 1: Fotos Parte Experimental

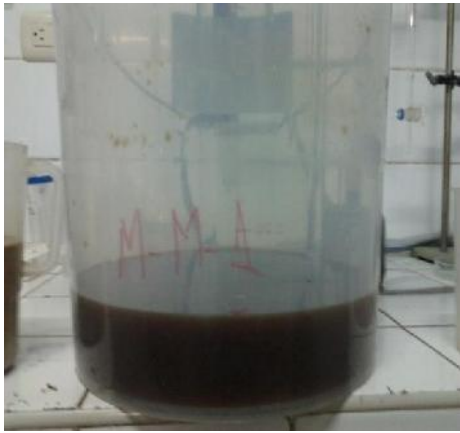
- Toma de Muestra-Lodo



- Dilución y Sedimentación



- **Recuperación de mosto alcohólico**



- **Lodo lavado sin alcohol etílico**



- **Destilación de mosto recuperado**



10 APÉNDICE

Evaluación económica - Análisis económico

Línea de Recuperación de EtOh	Max. Rend. lt/día	Días	PROD. (Lt.)
	216	365	78840

Producción y Ventas Físicas:

Años	1	2	3	4
	(80% máx.)	(90% máx.)	(95% máx.)	(100 % máx.)
PRODUCCION (Lt.)	63072	70956	74898	78840
VENTAS (Kg.)	63072	70956	74898	78840
<i>Ventas monetarias:</i>				
PRECIO NACIONAL (S/.)	2.1			
INGRESOS:				
Años	1	2	3	4
TOTAL VENTAS	132451.20	149007.60	157285.80	165564.00
IGV VENTAS NACIONALES (18%)	23841	26821	28311	29802
INGRESOS (Total Ventas + IGV)	156292	175829	185597	195366

<i>INVERSIÓN:</i>		<i>COSTO DE MANTENIMIENTO</i>	
Planchas de Fierro	2295	Costos de Mantenimiento	49.00
Soldadura	198		
Válvulas	258		
Tuberías	537.9		
Bomba de 0.5 HP	1215		
TOTAL	4503.9		

COSTOS DE OPERACIÓN:

PERSONAL DE AREA DE OPERACION	N° DE TRABAJADORES	COSTO UNITARIO (S/.)
PERSONAL OPERARIO	1	96.3
COSTO TOTAL (ANUAL)		1155.6

**ESTADOS DE GANANCIAS Y
PERDIDAS:**

Años	1	2	3	4
VENTAS	132451.20	149007.60	157285.80	165564.00
COSTOS	36673.11	36673.11	36673.11	36673.11
Costos de Energía	1456.35	1456.35	1456.35	1456.35
Costos de Vapor	33726.00	33726.00	33726.00	33726.00
Costos de mantenimiento	49.00	49.00	49.00	49.00
Costos de Insumos	286.16	286.16	286.16	286.16
Costos de Operación	1155.60	1155.60	1155.60	1155.60
UTILIDAD BRUTA	95778.09	112334.49	120612.69	128890.89
IMPUESTO A LA RENTA (30%)	28733.43	33700.35	36183.81	38667.27
UTILIDAD NETA	67044.66	78634.14	84428.88	90223.62

FLUJO DE CAJA					
Años	0	1	2	3	4
INGRESOS		156292.42	175828.97	185597.24	195365.52
Capital de Trabajo		13245.12	14900.76	15728.58	16556.40
EGRESOS					
Inversión	4503.90				
Costos de Energía		1456.35	1456.35	1456.35	1456.35
Costos de Vapor		33726.00	33726.00	33726.00	33726.00
Costos de mantenimiento		49.00	49.00	49.00	49.00
Costos de Insumos		286.16	286.16	286.16	286.16
Costos de Operación		1155.60	1155.60	1155.60	1155.60
Impuestos		28733.43	33700.35	36183.81	38667.27
FCE	-4503.90	104131.00	120356.27	128468.91	136581.54

Calculo del VAN:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

$$VAN = -4503.90 + \frac{104131}{(1+0.1)^1} + \frac{120356.27}{(1+0.1)^2} + \frac{128468.91}{(1+0.1)^3} + \frac{136581.54}{(1+0.1)^4}$$

$$VAN = 379436.26$$

Calculo del TIR:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n} - I = 0 ; TIR = r = ?$$

$$0 = -4503.90 + \frac{104131}{(1+r)^1} + \frac{120356.27}{(1+r)^2} + \frac{128468.91}{(1+r)^3} + \frac{136581.54}{(1+r)^4}$$

$$TIR = r = 2327.17\%$$