

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA PLANTA PORTÁTIL PARA
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL HIDRATADO

GUSTAVO JOSÉ JARAMILLO RUIZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2009

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA PLANTA PORTÁTIL PARA
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL HIDRATADO

GUSTAVO JOSÉ JARAMILLO RUIZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Ing. Mecánico Luis Santiago Paris

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2009

CONTENIDO

	Pág.
1. PRESENTACIÓN	11
2. ANTECEDENTES.....	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. OBJETO DEL ESTUDIO	17
5. OBJETIVOS.....	19
5.1 GENERAL.....	19
5.2 ESPECÍFICOS.....	19
6. PRINCIPIOS Y CONCEPTOS BÁSICOS DEL ETANOL COMO COMBUSTIBLE	20
6.1 EL ALCOHOL ETÍLICO O ETANOL	20
6.2 EL ALCOHOL COMO COMBUSTIBLE.....	21
6.3 MITOS SOBRE EL ETANOL USADO COMO COMBUSTIBLE	23
6.4 ETANOL HIDRATADO MEZCLADO CON GASOLINA	25
6.5 PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR	27
6.5.1 Extracción de azúcares de la caña	27
6.5.2 Preparación para la fermentación	28
6.5.3 Fermentación	29
6.5.4 Destilación	30
6.5.5 Porcentaje de alcohol producido.....	32
6.5.6 Uso de sub productos	33
6.6 CARACTERÍSTICAS DEL ETANOL	34
7. MODELOS VIGENTES DE PLANTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL	36
7.1 PLANTA PEQUEÑA DE ALCOHOL	36
7.1.1 Planta pequeña construida en 1979	37
7.2 MICRO PLANTA DE ALCOHOL	37
7.2.1 Micro planta construida en 1978	38
7.2.2 Sistema eléctrico continuo Revenoor.....	38

7.2.3 Sistema completo de etanol	39
7.2.4 Planta de Robert Warren	40
7.2.5 Microfueler	41
7.3 PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA EN EL AREA DE ALCOHOL CARBURANTE	42
7.4 FUNCIONAMIENTO DE UNA MICRO PLANTA DE ETANOL.....	43
7.4.1 Diagrama “caja negra”	44
7.4.2 Diagrama “Estructura funcional”	44
7.4.3 Pasos a seguir para producir bio-etanol hidratado en una micro planta.	45
8. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES Y DEL PROCESO.....	47
8.1 PARTES.....	47
8.1.1 Trapiche	47
8.1.2 Tanque de cocción, fermentación y evaporador	47
8.1.3 Quemador	50
8.1.4 Sistema de refrigeración	50
8.1.5 El destilador	51
8.1.6 Tuberías y mangueras	52
8.1.7 Sistema de control de temperatura	52
8.2 INSTRUMENTOS	53
8.2.1 Medidor de pH	54
8.2.2 Hidrómetro y/o alcoholímetro	55
8.2.3 Termómetro	55
8.3 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.....	55
8.3.1 Caña de azúcar.....	55
8.3.2 Levadura	59
8.3.3 Ácido sulfúrico.....	60
8.4 DIMENSIONES DE LAS PARTES.....	61
8.4.1 Tanque de cocción, fermentación y evaporación.....	61
8.4.2 Destilador.....	62
8.4.3 Quemador	63
8.5 MATERIALES DE LAS PARTES	64
8.5.1 Tanque de cocción, fermentaron y evaporación	65

8.5.2 Destilador.....	65
8.5.3 Manguera de conducción de vapor.....	67
8.6 SELECCIÓN DE LAS PARTES	67
8.6.1 Tanque de cocción, fermentación y evaporación.....	68
8.6.2 Destilador.....	68
8.6.3 Control de temperatura	68
8.6.4 Manguera de conducción de vapor.....	69
8.6.5 Quemador.....	69
8.7 EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO.....	69
9. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	71
9.1 PLANOS	71
9.2 COMPRA DE MATERIALES, ACCESORIOS Y PARTES	72
9.3 ENSAMBLE	75
9.3.1 Tanque cocción, fermentación y evaporador	75
9.3.2 Destilador.....	76
10. PUESTA EN OPERACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	80
10.1 VERIFICACIONES ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA.....	80
10.2 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA	81
10.2.1 Embalaje técnico para el Transporte de la micro planta	81
10.2.2 Ensamble de la micro planta antes de la fermentación.....	82
10.2.3 Adquisición de la materia prima, transporte y preparación para la fermentación.....	83
10.2.4 Fermentación	87
10.2.5 Preparación para la destilación.....	88
10.2.6 Destilación	89
10.2.7 Tablas y diagramas del proceso de producción de etanol	92
10.2.8 Resultados obtenidos	94
10.2.9 Mejoras y arreglos después de terminada la primera prueba	95
10.3 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LA SEGUNDA PRUEBA	96
10.3.1 Adquisición de la materia prima y preparación para la fermentación	96
10.3.2 Fermentación	97
10.3.3 Preparación para la destilación.....	97

10.3.4 Destilación	97
10.3.5 Tablas y diagramas del proceso de producción de etanol	98
10.3.6 Resultados obtenidos	100
10.3.7 Mejoras y arreglos después de terminada la segunda prueba.....	101
10.4 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LA TERCERA PRUEBA.....	102
10.4.1 Adquisición de la materia prima y preparación para la fermentación	102
10.4.2 Fermentación	103
10.4.3 Destilación	104
10.4.4 Tablas y diagramas del proceso de producción de etanol	105
10.4.5 Resultados obtenidos	106
10.4.6 Mejoras y arreglos después de terminada la tercera prueba	108
10.5 PODER CALORÍFICO DEL BIOETANOL PRODUCIDO	108
11. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES	110
12. RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA.....	116

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Porcentaje de azúcar en volumen.....	28
Tabla 2. Porcentaje de alcohol en volumen	33
Tabla 3. Características etanol hidratado	35
Tabla 4. Características de los destiladores	38
Tabla 5. Investigaciones en desarrollo actualmente.	43
Tabla 6. Composición típica de la caña de azúcar.....	56
Tabla 7. Medidas y equivalencia de la caña de azúcar.....	58
Tabla 8. Relación diámetro/altura del destilador recomendada	62
Tabla 9. Materiales usados frecuentemente según el PH que deben resistir	65
Tabla 10. Cotizaciones de tubería principal Septiembre de 2008	66
Tabla 11. Costo producción etanol y comparación con otros combustibles.....	70
Tabla 12. Relación de planos del tanque de fermentación y evaporador	71
Tabla 13. Relación de planos del destilador	72
Tabla 14. Costos totales de cada componente y costo total del prototipo	72
Tabla 15. Materiales y costos de destilador Septiembre de 2008.....	73
Tabla 16. Material y costos tanque de fermentación y evaporador.....	74
Tabla 17. Otros materiales accesorios o partes y respectivos costos.....	74
Tabla 18. Evolución de temperaturas y tareas en el tanque	92
Tabla 19. Evolución de temperaturas en el destilador	92
Tabla 20. Evolución de temperaturas y tareas en el tanque	98
Tabla 22. Evolución de temperaturas y tareas en el tanque	105
Tabla 23. Evolución de temperaturas en el destilador	105
Tabla 24. Datos y resultados del poder calorífico del bioetanol producido	109

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama ternario (liq) etanol/gasolina/agua @ 20°C.....	26
Figura 2. Alambique.....	30
Figura 3. Destilador doble.....	31
Figura 4. Torre de destilación continua.....	32
Figura 5. Planta Revenoor.....	39
Figura 6. Sistema completo etanol.....	40
Figura 7. Diseño de Robert Warren.....	41
Figura 8. Microfueler.....	42
Figura 9. Caja negra.....	44
Figura 10. Estructura funcional.....	44
Figura 11. Fermentador.....	49
Figura 12. Quemador de Gas.....	50
Figura 13. Radiador.....	51
Figura 14. Destilador.....	52
Figura 15. Control temperatura análogo o termostato.....	53
Figura 16. Medidor de pH.....	54
Figura 17. Hidrómetro.....	55
Figura 18. Sección de destilación y condensación parcialmente terminadas.....	77
Figura 19. Sección inferior del destilador.....	78
Figura 20. Transporte de la micro planta.....	82
Figura 21. Ensamble de la micro planta antes de la fermentación.....	83
Figura 22. Trapiche para extracción de jugo de caña.....	84
Figura 23. Transporte de guarapo hacia la camioneta y carga manual.....	85
Figura 24. Llenado manual del tanque de fermentación.....	86
Figura 25. Agitación manual luego de adicionar ácido o levadura.....	87
Figura 26. Burbujeo durante la fermentación.....	88
Figura 27. Salida de agua con bajo contenido de alcohol.....	90

Figura 28. Destilador con control de temperatura automático averiado.....	91
Figura 29. Salida de etanol del destilador	91
Figura 30. Diagrama evolución de temperaturas en el tanque y en el destilador...	93
Figura 31. Diagrama tiempos de la primera prueba.....	93
Figura 32. Montaje para la segunda prueba	96
Figura 33. Diagrama evolución de temperaturas en el tanque y en el destilador...	99
Figura 34. Diagrama tiempos de la segunda prueba.	100
Figura.35. Calentamiento a 34 °C con biomasa.	103
Figura 36. Destilación usando biomasa	104
Figura 37. Diagrama evolución de temperaturas en el tanque y en el destilador.	106
Figura 38. Diagrama tiempos de la tercera prueba.....	106
Figura 39. Bomba calorimétrica utilizada	109
Figura 40. Diagrama de resultados del poder calorífico del bioetanol producido.	109

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Evaluacion financiera del proyecto.....	122
Anexo B. Planos	123
Anexo C. Espectrometrías	124
Anexo D. Guía para calcular el poder calorífico de un combustible.....	125

1. PRESENTACIÓN

Que el etanol hidro o hidratado brasileño mueva en ese país una flota de 2,4 millones de vehículos y también alimente los nuevos coches “flex fuel”, es una contribución probada para reducir la contaminación local, considerando sus motores potencialmente 20% menos contaminantes que similares con semejante desarrollo tecnológico movidos a gasolina. (Aguarani@2007)

El uso del alcohol combustible promueve la seguridad energética, genera empleos, evita la contaminación local y contribuye para la reducción del efecto invernadero. Cada tonelada de caña de azúcar cultivada para la fabricación de alcohol hidratado evita la emisión de 0,17 toneladas de CO₂ (dióxido de carbono, uno de los gases responsables del efecto invernadero) y el uso de alcohol anhidro combustible, evita la emisión de 0,25 toneladas de CO₂, gas resultante del proceso industrial de transformación y de la combustión del alcohol etílico en el empuje de motores de los vehículos. (Aguarani@2007)

El precio fluctuante de petróleo y su escasez creciente, ha hecho rentable la producción de etanol como combustible. El mundo ha duplicado su producción del 2000 al 2005, El etanol de Brasil de caña de azúcar es viable a partir de un precio de US\$35 del barril crudo (PEREIRA@.2008)

La producción de biocombustibles a partir de materias primas de origen agrícola, garantiza tanto la generación de empleos como la posibilidad de diversificación de cultivos (Minagricultura@2007)

La Ley 697 de 2001 de Colombia, determina el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como asunto de interés social, público y de conveniencia nacional. El objetivo fundamental de la ley antes mencionada, es promover el uso racional y

eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana y la protección al consumidor y la promoción de fuentes de energía no convencionales, de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. (Minminas@2007)

Por todas las razones anteriores y algunas más se ha decidido plantear un proyecto de etanol, consistente en la construcción de un prototipo para la producción a baja escala, que en algunas partes del mundo ya esta siendo implementado en parte resolviendo los problemas ya mencionados.

2. ANTECEDENTES

Antes de la era petrolera, los productos biológicos habían sido la principal fuente de energía. Nicolaus Otto, inventor del Motor "Otto" en 1876 utilizó etanol en unos de sus motores. Henry Ford construyó su primer vehículo para el uso de etanol. Durante las guerras mundiales, cuando algunos países no tenían acceso a petróleo, las tecnologías relacionadas con biocombustibles tuvieron gran auge en su desarrollo (PEREIRA@.2008)

Desde 2003, muchos automóviles han incorporado en Brasil la tecnología de motor bivalente, que permite mezclar etanol y gasolina en el tanque y logra funcionar con cualquier mezcla de ambos. En Estados Unidos se han venido desarrollando los vehículos FFV¹ que pueden funcionar con gasolina, E85² o cualquier mezcla de los dos, a diferencia de Brasil, Estados Unidos usa el E85 y no el E100³ porque este último presenta problemas en el momento de encender el motor cuando se encuentra a temperaturas menores a 15° C .

Brasil ha desarrollado y exportado a Estados Unidos la tecnología para permitir que los vehículos de inyección eléctrica de gasolina puedan también funcionar con E85 y E100, esta tecnología es muy fácil de implementar a un costo relativamente bajo y no necesita de especialistas para ser instalada en un vehículo.

En 1973 con el embargo petrolero de la OPEP, con sus conocimientos ancestrales de producción de alcohol para consumo humano y teniendo en cuenta que el motor de combustión interna fue creado originalmente para funcionar con etanol,

¹ FFV: vehículo de combustible flexible.

² E85: combustible con 85% etanol y 15% gasolina.

³ E100: 100% combustible etanol.

algunos norteamericanos convirtieron sus autos para funcionar con dicho combustible el cual era producido por ellos mismos en sus casas o fincas a partir de maíz, desde entonces se ha venido perfeccionando los equipos para producir etanol a baja escala. (Running @2002).

Hoy en día es factible y por medio de Internet es posible comprar un pequeña planta para producción de etanol, con capacidades que empiezan en 2 galones día. También a ganado gran fuerza la venta de planos para que una persona idónea la pueda construir, ya que de esta forma puede ser mas barato porque el transporte de estos equipos es costoso por su tamaño que en gran parte son tanques sencillos.

La resolución número 180609 de mayo 26 de 2006 del ministerio de minas y energía de Colombia en su artículo primero define como subprogramas que hacen parte integral de Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales, entre otros a (Minminas@2007):

- Cultura, Investigación y promoción del URE y análisis prospectivo de nuevas tecnologías de transformación energética relacionadas con el mismo
- Fomento y desarrollo de proyectos con fuentes energéticas no convencionales y de eficiencia energética, incluidos los proyectos de energías limpias o renovables con prioridad en las zonas no interconectadas.
- Estímulos e incentivos a tecnologías, productos y proyectos URE o al uso total o parcial de energías no convencionales
- Sustitución de combustibles tradicionales por otros combustibles potencialmente más limpios y específicamente el fomento y utilización de los Biocombustibles.

En Colombia existe una regulación completa para la producción, transporte, mezcla, distribución y comercialización de alcohol carburante o bioetanol anhidro cuya composición y calidad esta regida por la norma colombiana NTC 5308 (Minagricultura@2007) y lo describe como etanol con un contenido menor de 0.7% de agua en volumen que puede ser mezclado con gasolina.

El etanol hidro o hidratado es aquel que tiene un contenido igual o mayor a 4% de agua y se obtiene por destilación simple, requiere de condiciones especiales para mezclarlo con la gasolina, para asuntos legales en Colombia no aplica la ley de bioetanol ya que esta se refiere a etanol anhidro pero si la de biocombustibles porque en este caso proviene de biomasa.

La ley 693 de 2001 en Colombia dice entre otras cosas, la producción, distribución y comercialización de los alcoholes no potables estarán sometidas a la libre competencia, y como tal, podrán participar en ellas las personas naturales y jurídicas de carácter público o privado, en igualdad de condiciones, Exceptuándose la producción, distribución y comercialización del alcohol etílico potable con destino a la fabricación de licores, actividades éstas que constituyen el monopolio rentístico de los entes departamentales.

3. JUSTIFICACIÓN

Los proyectos que se han desarrollado en la carrera de ingeniería mecánica han servido como base para el desarrollo de máquinas y sistemas técnicos que han planteado soluciones simples e ingeniosas a tareas comunes.

El proyecto busca construir un prototipo de una planta portátil para producción de bioetanol hidratado, a partir de caña de azúcar con partes que se encuentren en el medio y con herramienta de fácil adquisición, esto con el fin de reducir los costos del producto y hacerlo viable.

La necesidad de un medio ambiente mejor, el calentamiento global, los problemas de depender del petróleo y los precios de este, así como muchos mas problemas hacen de este un proyecto que puede beneficiar en un futuro el planeta en especial las personas que viven en el.

Entre el Valle del Cauca, Cauca, Quindío, Risaralda y hasta Antioquia podrían incrementar a casi 4'000.000 millones de hectáreas la producción de caña de azúcar para biocombustibles. Entretanto, los ganaderos del país ya hablan de un plan para triplicar la capacidad de carga de animales por hectárea, lo que contribuirá a usar menos tierra para pastoreo, sin causar un desabastecimiento interno de alimentos, e incluso aumentando las posibilidades de exportación (TOVAR@2008).

La ley colombiana estimula e las empresas que producen biocombustibles con préstamos, subsidios, exención de impuestos y con la figura de zonas francas, este último dirigido a las empresas grandes, lo que hace mas fácil la creación de nuevas empresas (Minagricultura@2007).

4. OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto de estudio es un prototipo de una planta portátil pequeña para producción de bioetanol hidratado, la cual debe tener los equipos necesarios para la producción con calidad y seguridad. La materia prima principal es caña de azúcar y con esta se llega a etanol hidratado con una composición base de 91% etanol y 9% agua, la cual puede variar en 6 %. La capacidad de producción puede estar entre 10 y 20 litros en cada bache.

El bioetanol que producirá esta planta será usado sin mezclar con ningún otro tipo de combustible en motores que funcionan bajo el ciclo de Otto y que sean de inyección eléctrica, preferiblemente con menos de ocho años de uso.

Para cumplir con lo que se propone, se estudiarán diseños y modelos existentes así como también la posibilidad de modificarlos para mejorarlos o en su defecto realizar un diseño nuevo.

La temperatura en cada uno de los procesos es crítica por este motivo el proyecto esta orientado principalmente al manejo de temperaturas, flujos de calor y de masa.

Desde el punto de vista químico se asumen los datos y resultados de la literatura técnica, cuando se requieran, como es el caso del proceso de fermentación, ajuste de cantidad de azúcar en el jugo de la caña adicionado agua y ajuste de acidez mediante adición de ácido sulfúrico.

En la planta propuesta no se “propagará” levadura, porque el tamaño pequeño y la baja capacidad de producción hace que sea mas fácil usar levadura comprada, aparte de que el proceso de propagación es del área microbiológica

La planta será un prototipo funcional hecho a manera de estudio que producirá etanol el cual será examinado para determinar si es apto para uso en e motores ciclo Otto.

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

Construir un prototipo de una planta portátil para producción de bioetanol hidratado

5.2 ESPECÍFICOS

Objetivo 1: Identificar los principios básicos de: fluidos, transferencia de calor, termodinámica y Fisicoquímica., Nivel 1- Conocer.

Objetivo 2: Reconocer modelos vigentes que sirven como base de desarrollo del prototipo, mediante búsqueda en Internet y literatura, incluyendo los aspectos de procesos físico-químicos ya establecidos en la planta. Nivel 2- Comprender

Objetivo 3: Aplicar conceptos de diseño de máquinas y equipos, como también de algunas de las siguientes áreas: electrotecnia, instrumentación y control, transferencia de calor, termodinámica, fluidos, entre otras, con las cuales se logran encontrar características de componentes, balances de masa y energía, y conllevan a la determinación del tamaño de la mayoría de las partes. Nivel 3- Aplicar.

Objetivo 4: Construir un prototipo de una planta portátil de bioetanol hidratado aplicando la metodología de diseño VDI 2222. Nivel 4- Analizar.

Objetivo 5: Probar y presentar los principales resultados obtenidos en el proyecto, puesta en operación y evaluación de la planta y el etanol producido.

6. PRINCIPIOS Y CONCEPTOS BÁSICOS DEL ETANOL COMO COMBUSTIBLE

6.1 EL ALCOHOL ETÍLICO O ETANOL

El compuesto químico etanol, o alcohol etílico, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, (Wikipedia@ 2003)

Con este proyecto se obtendrá por la fermentación del jugo de la caña de azúcar y de otros productos intermedios del proceso de fabricación de azúcar.

Aplicaciones del etanol:

- Combustible: en motores de combustión interna y como aditivo en la gasolina.
- Solvente en diversos sectores industriales, principalmente en pinturas y barnices.
- Materia prima para la producción de: acetato de etil, ésteres glicoles, acetaldeido, éter dietílico, alcohol neutro, cuaternario de amonio, entre otros.
- Desinfectante natural: formulación de productos de limpieza.
- Procesos de fermentación: como substrato en la producción de vinagre o ácido acético, pues presenta bajísimos tenores de inhibidores de fermentación.

Beneficios:

- Alta solubilidad en agua y solventes orgánicos
- Fuente de energía renovable y limpia.

Almacenaje:

- Grandes Volúmenes: se deben almacenar en tanques metálicos protegidos contra descargas atmosféricas y que tienen sistemas de protección de respiración (corta llamas). Los tanques deben estar protegidos por barreras de contención con capacidad suficiente para contener todo el volumen almacenado.
- Pequeños volúmenes: se deben almacenar en envases de acero-carbono, hierro o acero inoxidable lejos de fuentes de calor, en lugar aireado, con instalaciones eléctricas a prueba de explosiones y sistemas de aterrado. (Copersucar@2006)

6.2 EL ALCOHOL COMO COMBUSTIBLE

El alcohol combustible puede ayudar a que los países lleguen a ser autosuficientes en el tema energético, ya que para producir este combustible solo se necesita primordialmente tierras y luz solar, Brasil es el quinto país mas grande del mundo, no importa petróleo, sus carros funcionan principalmente con alcohol producido a partir de la caña de azúcar, sus cultivos destinados a este fin ocupan aproximadamente el 1% de su extensión total (BLUME'S 2007).

El calentamiento global puede ser mitigado en gran parte usando combustibles provenientes de plantas, como es el caso del etanol, estudios recientes demuestran que en la fase de crecimiento de las plantas de las cuales se obtiene este producto, éstas absorben hasta 13 veces la cantidad de dióxido de carbono que es emitido en el proceso de producción y combustión del alcohol (BLUMES'S.2007.)

La economía de los países productores de etanol combustible se vería mejorada gracias a que éste producto genera empleos permanentes y sostenibles en el campo y en las ciudades, donde se produce.

La tecnología necesaria para producir alcohol no necesariamente tiene que ser costosa y de punta para que sea rentable, se puede usar procesos y equipos convencionales de bajo precio, así como también se tiene la opción usar diferentes materias primas que no siempre demandan grandes extensiones de tierra para su cultivo.

Los vehículos a gasolina dependiendo de la marca fabricante pueden llegar a usar hasta 50% de etanol y 50% de gasolina sin ninguna modificación y con leves modificaciones que están entre \$500.000 y \$1.500.000 pueden llegar a usar 100% etanol hidratado (White Lightning@ 2008)

El etanol hidratado se considera combustible a partir 85% etanol y 15% de agua, pero solo mezcla con la gasolina a partir de 95% etanol y 5% agua máximo, se debe mezclar con gasolina en lugares donde requiera encender el motor a temperaturas inferiores a 15°C (TERRA 2002)

El etanol presenta varias ventajas en comparación con la gasolina, este tiene 105 octanos, la combustión genera menos temperatura y menos vibración en el motor, es menos inflamable generando menos accidentes, tiene menos emisiones evaporativas y no genera residuos de carbón en el motor, de esta manera aumenta la vida del motor, puede disminuir el consumo de combustible por kilómetro en vehículos diseñados exclusivamente para alcohol al permitir altos índices de compresión, aunque en vehículos "*flexfuel*" que tienen el índice de compresión bajo se aumenta hasta en un 20% el consumo de combustible por kilómetro recorrido usando etanol y no gasolina. (EPA @2008)

Los motores diesel pueden funcionar con un porcentaje de etanol, este último también puede usarse en la producción de biodiesel, también en motores de generadores eléctricos y algunos tipos de aviones, así como también en fogones para cocinar

Los subproductos de la producción de etanol pueden ser usados como fertilizantes y suplementos animales haciendo de esta forma que los cultivos para producción de comida y biocombustibles sean más productivos y a la vez se puedan criar más animales con los concentrados que se pueden producir. Estos subproductos pueden crear nuevos puestos de empleos.

La producción a baja escala permite producir etanol y en algunos casos puede ser más eficiente, usando residuos del proceso anterior, una micro planta puede usar diferentes tipos de materias primas según sea la temporada de cosechas (mandarinas, mangos, yuca, remolacha y demás productos agrícolas que contengan azúcares) y a su vez reduce los problemas relacionados con los monocultivos, por estar ubicada cerca del cultivo los subproductos pueden usarse directamente como fertilizante, ya que el transporte por ser a corta distancia es de bajo costo. Mientras que una gran planta hace que sea necesario evaporar el agua de los subproductos para producir concentrados o fertilizantes sólidos, para el mismo cultivo, y de esta manera poderlos transportar, ya que los cultivos de materia prima se encuentran hasta 60Km de distancia, influye en el precio el peso y el volumen a transportar. (BLUME'S 2007)

6.3 MITOS SOBRE EL ETANOL USADO COMO COMBUSTIBLE

En la década de 1970 durante la crisis petrolera, en los Estados Unidos de Norteamérica se hicieron algunos estudios acerca de combustibles alternativos especialmente el alcohol, se tuvo mucho en cuenta el concepto de “relación entre energía invertida en el proceso y energía obtenida”, las grandes compañías

petroleras fueron las encargadas de ésta tarea, el resultado fue que era necesario gastar mas energía en el proceso que la que finalmente se obtenía, esto trajo como consecuencia un gran mito que se popularizó, tiempo después se encontró que el estudio había sido hecho en destilería de licores que no eran construidas para ser eficientes energéticamente sino para crear bebidas espirituosas de buen sabor y calidad (BLUME´S 2007).

El gran mito que dice que “el etanol demanda más energía en el proceso que la que finalmente se obtiene”, fue desecho por los brasileños que crearon plantas de alcohol combustible donde no solo tienen la capacidad de cogenerar, a partir de la biomasa, la energía necesaria para el proceso sino que también obtienen excedentes de esta que se vende a electrificadores locales (WhiteLightning@2008)

Otro mito dice que “la tierra de cultivos no alcanza para plantaciones para alimentos y para biocombustibles”, pero en la actualidad países como Estados Unidos tiene 434,164,946 acres de tierra cultivada, el 7.45% son plantaciones de maíz, pero posee 939,279,056 acres de tierra apta para la agricultura que en este momento esta subutilizada y que puede usarse para producir biocombustibles sin ocasionar un descenso en la producción de alimentos. Además se esta empezando a producir etanol a partir de otras materias primas como son la caña de sorgo y la remolacha azúcarera, lo que garantiza que no se presenten los problemas propios de los monocultivos, y actualmente se encuentra en estudio el alcohol a partir de la biomasa (BLUME´S 2007).

Otro mito es que “la producción de alcohol daña el medio ambiente, se dice que los cultivos de biocombustibles son contaminantes porque en ellos es necesario aplicar una gran cantidad de herbicidas, pesticidas y abonos químicos y además queda una gran cantidad de subproductos contaminantes”, esto es falso ya que las plantaciones dedicadas a los biocombustibles requieren pocos herbicidas y

pesticidas porque son variedades resistentes, modificadas genéticamente, además los subproductos se usan como abonos, remplazando los provenientes del petróleo.

Es una creencia falsa que “el etanol ayuda al calentamiento global y contamina el aire”, ya que el alcohol carburante se usa en mezclas con la gasolina para reducir las emisiones de monóxido de carbono, además el etanol no tiene metales pesados ni ácido sulfúrico. Aunque en las gasolinas con mezclas de alcohol entre 2% y 20% si se aumenta las emisiones evaporativas, pero este no es un problema del etanol sino del proceso en el cual se hace la gasolina en el que agrega gas natural condensado para aumentar la cantidad, este reacciona con el alcohol produciendo este fenómeno, el cual se compensa con una emisión mucho mas limpia (White Lightning@ 2008).

6.4 ETANOL HIDRATADO MEZCLADO CON GASOLINA

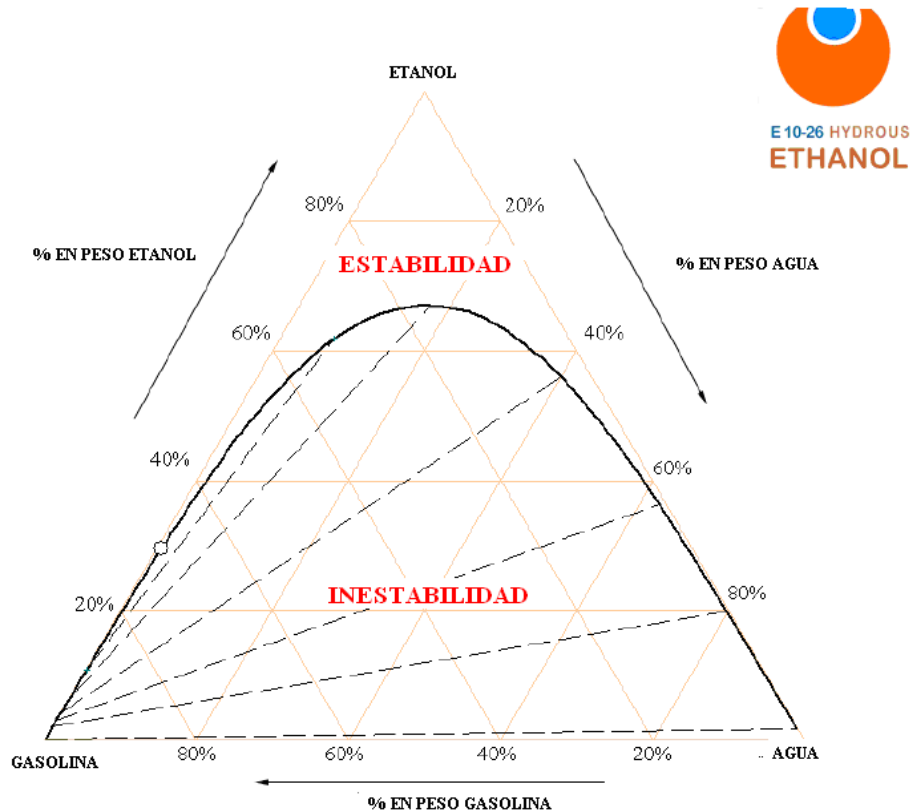
“H.E blends B.V” es una compañía creada para diseñar procesos químicos especialmente los relacionados con el etanol hidratado.

Tradicionalmente en el ámbito mundial se ha usado el etanol anidro⁴ para mezclarlo con la gasolina, esto trae sobre costos porque es necesario obtener etanol hidratado y luego someterlo a un proceso de deshidratación que es costoso por los equipos, el tiempo y los conocimientos necesarios para hacerlo, H.E. Blends es dueña de la patente Número WO 2006\137725 A1, donde se muestra que puede ser usado alcohol hidratado obtenido por destilación con porcentajes de agua entre 4y 5%, en mezclas con gasolina (Heblends@ 2008).

⁴ Etanol anidro: etanol con un contenido de agua inferior a 1%

"H.E blends B.V" propone la siguiente grafica para demostrar el comportamiento de las mezclas agua etanol y/o gasolina.

Figura 1. Diagrama ternario (liq) etanol/gasolina/agua @ 20°C



(Heblends@ 2008)

En Estados Unidos, África y Europa se encuentran vehículos de demostración sin modificaciones que usan etanol hidratado mezclado con gasolina, han demostrado una disminución en las emisiones. En Róterdam y Roosendaal en mayo de 2008 se empezó a distribuir en estaciones de gasolina comerciales el E15 con 15% etanol hidratado y 85% gasolina (Heblends@ 2008).

6.5 PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR

6.5.1 Extracción de azúcares de la caña

La caña de azúcar previamente cortada y llevada a la planta, es sometida a un proceso para prepararla para la fermentación, el proceso dependiendo del tamaño de la planta y de los recursos disponibles se puede hacer de tres maneras diferentes:

- Extracción de su jugo por aplastamiento: se realiza en una máquina llamada trapiche, funciona con un motor eléctrico o diesel, tiene varios cilindros de hierro fundido por donde pasa la caña aprisionándola y haciendo que se separe el guarapo del bagazo, a este jugo se le filtran las impurezas y es llevado a un tanque o fermentador.
- Extracción de los azúcares por difusión: durante un tiempo limitado la caña es sometida, a una contra corriente de agua con una temperatura y PH determinados que extrae la sacarosa de estas. El agua resultante que contiene la sacarosa recibe el nombre de "jugo de difusión" (BLUME'S 2007).
- Picado: de esta forma no se está propiamente extrayendo los azúcares de la caña sino que se esta preparando para que la levadura pueda consumir sus azúcares sin necesidad de sepáralos del bagazo. La caña se debe picar en máquina pica pasto con espesores de entre 5mm y 22,2 mm, Si se pica muy pequeña la caña disminuye la densidad y si se pica muy grande aumenta el tiempo y se disminuye efectividad. La proporción de caña:agua es entre 1:1.4 y 1:1.7, cuando no hay agitación, cantidades mas grandes de caña disminuyen la eficiencia de la levadura, proporciones mas grandes de agua aumentan el tamaño del fermentador y aumenta la energía necesaria para la cocción y destilación (ASTURIAS@ 1985).

6.5.2 Preparación para la fermentación

Es necesario comprender principios básicos de fisicoquímica, relacionados con soluciones. Los procesos que se mencionarán a continuación son indispensables para el proceso pero no se profundizará en ellos por considerarse sencillos y fuera del objeto de estudio.

- Disolución: La disolución es simplemente adicionar agua a la solución de azúcar hasta ajustar la densidad correspondiente a 15%-20% de azúcar, la disolución óptima se da cuando al finalizar la fermentación se obtiene la mayor cantidad de alcohol y la menor cantidad de azúcar, la medición se hace por medio de un hidrómetro. Por lo general el jugo de caña de azúcar no hay que diluirlo (Journeytoforever@2004)

Tabla 1. Porcentaje de azúcar en volumen

% azúcar	Gravedad específica	% azúcar	Gravedad específica
1	1	11	1,0441
2	1,0039	12	1,0483
3	1,0078	13	1,0525
4	1,0117	14	1,0568
5	1,0156	15	1,0620
6	1,0196	16	1,0653
7	1,0236	17	1,0697
8	1,0277	18	1,0741
9	1,0358	19	1,0785
10	1,0400	20	1,0829

(Journeytoforever@2004)

- Control pH: EL pH es la medida de la acidez o la alcalinidad de una solución se mide en la escala de 1 a 14 donde 7 es neutro, El pH óptimo para que la levadura produzca la mayor cantidad de alcohol sin ser atacada por otros microorganismos es entre 4.8 y 5, esto se logra mediante la adición de ácido sulfúrico en pequeñas cantidades, si se pasa la cantidad de ácido se puede usar un poco de soda cáustica. Para medir el pH se puede usar un medidor de pH o un papel de prueba de pH que se consigue en tiendas químicas. (Journeytoforever@2004)
- Cocción: Es un paso opcional, consiste en subir la temperatura del jugo de la caña y luego bajarla rápidamente, para pasteurizar la solución y así matar todos los microorganismos que pueden entrar a competir con la levadura, se puede omitir este paso adicionando mas levadura. (DOXON2001)
- Ajuste de temperatura de fermentación: Consiste en llevar la solución a la temperatura adecuada para que active la levadura.

6.5.3 Fermentación

En la fermentación se adiciona levadura, la cantidad requerida depende del tipo de levadura, en este caso se recomienda usar levadura turbo resistente a la temperatura y a alto grado de alcohol, la cual esta modificada genéticamente para cumplir con estos fines.

La fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los azúcares, para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico.

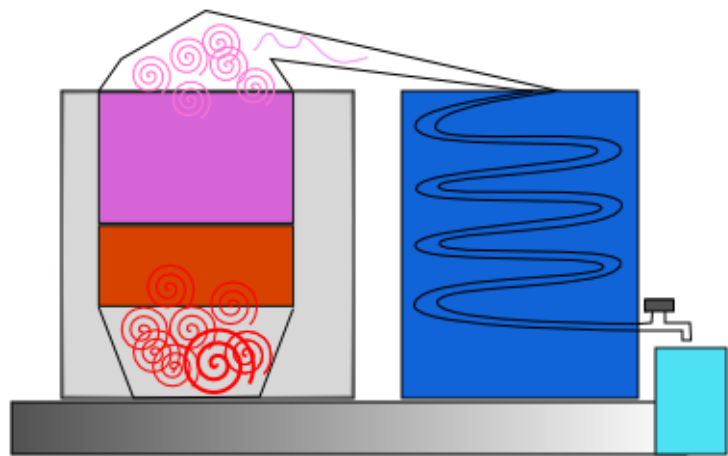
El tiempo necesario para que se lleve a cabo este proceso depende del tipo de levadura y de las condiciones en que se encuentre, la temperatura ideal por lo general está entre lo 29° C y 35° C (DOXON2001)

6.5.4 Destilación

El reducto de la fermentación es llevado a destilador donde se separa el etanol de la vinaza hasta un 95%, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de las dos sustancias. Existen varios tipos de destiladores, que se seleccionan dependiendo del tipo de aplicación y del volumen de producción que se requiere entre ellos encontramos los siguientes:

- Alambique: Consiste en un “recipiente de evaporación” que se llena en un 90% aproximadamente de líquido que contiene una baja cantidad de alcohol, el vapor producido es llevado a un condensador, este destilador puede alcanzar purzas hasta del 50%, es muy usado para fabricar licores de forma artesanal (Alambiques @2002).

Figura 2. Alambique



(Alambiques @2002)

- Destilador doble: es un alambique pero entre el evaporador y el condensador hay unos recipientes llenos de agua, el vapor entra por la parte de debajo de estos recipientes sale por la parte de arriba, en cada uno de estos pasos queda un porcentaje de agua, incrementando el porcentaje de alcohol en el vapor. Se puede utilizar para fabricar bioethanol hidratado a pequeña escala (The Alcohol Library@ 2006)

Figura 3. Destilador doble



(The Alcohol Library@ 2006)

- Columna empacada de destilación: es una columna que esta llena de objetos que pueden ser mayas metálicas, canicas de cristal, anillos plásticos, etc, estos hacen que el agua presente en el vapor caiga y que el alcohol pueda seguir su camino, el etanol luego pasa por un condensador, la concentración de alcohol producido depende del diseño de este tipo de columna, de la relación altura diámetro. Puede ser usada para producir etanol hidratado (BLUME´S 2007).
- Columna de destilación continua: es la usada en la fabricación a gran escala de etanol, es una columna que tiene una entrada de vapor y otra por separado de la mezcla con bajo contenido de alcohol, tiene platos perforados interiormente y rellenos, el agua cae por la paredes mientras el etanol sale por la parte de arriba, requiere de un buen quipo de control y no permite residuos

sólidos en las sustancias que le entran , se obtiene etanol hidratado de 95% de pureza, para obtener etanol anidro es necesario adicionar al proceso otras dos de estas columnas, en la segunda se puede añadir líquido como benceno para retirar el agua y la tercera se usa para retirar el benceno, se obtiene etanol con gran porcentaje de pureza. (BLUME´S 2007)

Figura 4. Torre de destilación continua



(BLUME´S 2007)

De la destilación, el etanol hidratado es el producto principal, como subproductos se obtiene agua, levadura y vinaza

6.5.5 Porcentaje de alcohol producido

El porcentaje de alcohol ya sea antes o después de destilar en la mezcla está directamente relacionado con la densidad, para medir el porcentaje de alcohol se usa un alcoholímetro o un hidrómetro (Journeytoforever@2004) y se tiene en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 2. Porcentaje de alcohol en volumen

% Etanol	% Agua	Densidad g/ml
0	100	1.00
10	90	0.9836
20	80	0.9704
30	70	0.9555
40	60	0.9368
50	50	0.9155
60	40	0.8927
70	30	0.8692
80	20	0.8449
95	5	0.8056
100	0	0.7907

(Journeytoforever@2004)

6.5.6 Uso de sub productos

Los principales subproductos de la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar son el bagazo y la viñaza, no se pueden arrojar a ríos o depósitos de basura por lo que es necesario darles otro uso final

El bagazo se deja secar y puede ser usado como combustible solido ya que es 100% biomasa, es utilizado para calentar durante la cocción o la destilación, en los últimos años ha sido empleado también como materia prima para la producción de papel, especialmente en el Valle del Cauca en Colombia (Fedebiocombustibles@.2007).

La vinaza es altamente contaminante si se arroja a ríos o quebradas ya que posee una gran cantidad de minerales, puede ser usada como complemento alimenticio en nutrición animal, o también es utilizada como fertilizante en cultivos ya que

puede remplazar el uso de abonos con componentes provenientes del petróleo, si el lugar donde se le va a dar el uso final queda muy lejos de la planta es necesario concéntrala evaporando gran porcentaje de agua para ahorrar costos en el transporte (TERRA 2002).

6.6 CARACTERÍSTICAS DEL ETANOL

La concentración o grados de alcohol es la relación que hay entre el volumen total del líquido y la cantidad de alcohol etílico, o etanol, que contiene.. Para determinar esta concentración se conocen tres escalas de medición. La que tiende a ser usada mundialmente se conoce como escala Gay Lussac¹, o de grados G.L., donde cada grado de alcohol puro corresponde a 1% del volumen de la bebida que lo contiene (Alcoholinformate@.2004).

Las otras dos escalas de medición se usan menos: la *Proof*. estadounidense y la *proof* británica. En la primera, cada grado G.L. corresponde a dos grados *proof*; es decir, si en una botella de whisky en la etiqueta se lee 80° *proof*, esto equivale a 40° G.L. o sea, la mitad. En la escala *proof* británica cada grado G.L. corresponde a 1.75° de dicha escala; así, en una botella de ginebra donde se indica 83° *proof* británica, su equivalencia es de 47.4° G.L.

El etanol o alcohol combustible que se vende en Brasil tiene las siguientes características.

Tabla 3. Características etanol hidratado

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIONES	METODO
Aspecto	-	Limpio sin impurezas	Visual
Color	-	Incoloro o levemente opaco	Visual
Acidez total (como ácido acético), máx.	mg/L	30	ASTM: D1613
Conductividad eléctrica, máx.	S/m	500	ASTM D1125
Densidad 20° C	kg/m ³	807,6 a 811,0	ASTM D 4052
Tenor alcohólico	°INPM	92,6 a 93,8	
pH	-	6,0 a 8,0	
Residuo por evaporación, máx.	mg/100mL	5	
Tenor de hidrocarburos	%vol.	3,0	
Tenor de etanol, mín.	%vol.	92,6	ASTM D 5501
Íon Cloreto, máx.	mg/kg	1	ASTM D 512
Íon Sulfato, máx.	mg/kg	4	
Hierro, máx.	mg/kg	5	
Sodio, máx.	mg/kg	2	
Cobre, máx.	mg/kg	-	

(ANP@2005)

7. MODELOS VIGENTES DE PLANTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

En los modelos vigentes incorporan plantas de etanol que están en operación, como son plantas pequeñas y micro. Haciendo énfasis en esta última ya que en ella se basa el proyecto, también se habla del proceso para producir alcohol en una micro planta.

7.1 PLANTA PEQUEÑA DE ALCOHOL

Es una planta que puede producir alrededor de 60000 litros de alcohol año, es básicamente una gran planta llevada a una escala mas pequeña, especialmente el equipo y los tanques, produce combustible suficiente para proveer a varios vehículos, el costo para producir un galón es ligeramente menor comparado con el de una micro planta (BLUME'S 2007).

Una planta pequeña de alcohol se caracteriza porque los recipientes para cocción, fermentación y destilación se encuentran separados, además tiene equipos extra como son intercambiador de calor, torre de enfriamiento, compresor de dióxido de carbono, propagador de levadura, bombas, etc, hay varias plantas de estas en funcionamiento en países como Estados Unidos y Brasil

La fermentación completa no se puede realizar en este tipo de plantas, ya que es necesario transportar la materia prima a diferentes tanques a lo largo del proceso y la pulpa o caña de azúcar en trozos, es muy difícil trasladarla por tuberías (ASTURIAS@ 1985).

7.1.1 Planta pequeña construida en 1979

Está ubicada en USA y es de propiedad de un granjero, tiene un tanque de 4000 galones que sirve como fermentador, una torre de destilación de 10" de diámetro que produce 20 galones por hora con 90% etanol y 10% agua, y produce entre 15000 y 2000 galones cada otoño dependiendo el excedente de materia prima de los cultivos, utilizando 20 horas hombre para producir aproximadamente 20 galones, la inversión en 1979 fue de U\$10.000, el 40% de esta fue en instrumentación y control, el fermentador fue construido ya que comprado comercialmente uno de características similares valía entre US\$20.000 y US\$25.000 en dicha fecha (Journeytoforever@2004)

7.2 MICRO PLANTA DE ALCOHOL

Este tipo de planta es para quienes producen hasta 60000 litros de alcohol al año, es ideal para aquellas personas que poseen cultivos que no son de temporada sino que esta en cosecha durante todo el año, se usa para que en cada bache pueda proveer 400 litros de alcohol como máximo, aunque se pueden construir a escalas mucho mas pequeñas (BLUME´S 2007),

Se caracterizan porque trabajan en baches y la cocción, la fermentación y la destilación se hacen en el mismo tanque, ahorrando energía y requiriendo menos equipo al no tener que transportar el líquido a otros recipientes, permite realizar en ella fermentación del jugo o fermentación completa.

Una micro planta esta compuesta con un tanque de máximo 6000 litros, que posee agitación a velocidades de mínimo 6 RPM, un serpentín que permite la entrada de agua fría para controlar la temperatura de fermentación, una fuente de calor y una torre de destilación.

La fuente de calor esta ubicada por debajo del tanque y puede usar como combustible gas, carbón, madera o bagazo, mientras la torre de destilación puede tener un diámetro entre 2 y 8 pulgadas según sea el tamaño del tanque como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 4. Características de los destiladores

Diámetro de la columna	Salida (galones/hora)	Tamaño del tanque
2"	0.25-0.75	10-50
3"	.5-1.5	30-150
4"	1-3	50-250
6"	5-10	200-1000
8"	8-20	500-1500

(BLUME´S 2007)

Vía Internet las microplantas de etanol son comunes ya que permiten que una persona pueda hacer su propio combustible, en ellas encontramos varios ejemplos, hechos de diferentes formas que cumplen con la misma función

7.2.1 Micro planta construida en 1978

Fue construida por un granjero de USA con un tanque de 500 galones que sirve como fermentador, una torre de destilación de 4" de diámetro que produce entre 2 y 3 galones por hora con 95% etanol y 5% agua, y produce de 35 galones a la semana utilizando 20 horas hombre, utiliza el combustible en un tractor, el auto familiar y un camión de una tonelada, la inversión en 1978 fue de US\$1.000 (Journeytoforever@2004)

7.2.2 Sistema eléctrico continuo Revenoor

Esta compuesto por 2 fermentadores de 90 galones cada uno, 1 tanque para refrigeración, 1 tanque para cocinar los granos molidos y una torre de destilación, produce 10 a 12 galones diarios, viene desarmado y para control del proceso solo

posee dos llaves manuales, es eléctrica pero se puede ordenar de gas o vapor por un costo adicional. Cuesta US\$6.715 con envío incluido (Revenoor @2004)

Figura 5. Planta Revenoor



(Revenoor @2004)

7.2.3 Sistema completo de etanol

Lo ofrecen como el mejor y más completo sistema para producción de etanol en la casa, usa gas propano como fuente de energía y tiene una torre de destilación de 4" capaz de producir 3 galones de etanol por hora con un 95% de pureza, tiene 3 fermentadores de 55 galones con su respectivo serpentín, un enfriador de agua de 55 galones, un recipiente de evaporación de 55 galones, una bomba para agua y el quemador de gas (E85Machines@.2005).

Figura 6. Sistema completo etanol



(E85Machines@.2005)

Esta planta tiene un precio de US\$1.899 y gastos de envío dentro de USA US\$349, solo requiere de maíz, agua y levadura para producir etanol a un costo de aproximadamente de US\$1.00/gal dentro del mismo país.

7.2.4 Planta de Robert Warren

Este diseño lo ofrece Robert Warren por Internet haciendo énfasis en la columna de destilación capaz de producir etanol con una pureza de 95% a razón de 4 a 5 galones por hora, vende los planos para construir el sistema a US\$30,00 y calcula que la construcción vale U\$600,00, en su mayoría esta construida con cobre aunque en Internet es posible comprarla ya construida en acero inoxidable o cobre a precios entre U\$1300 y U\$1800, sin incluir el tanque que sirve como evaporador o fermentador (Running@.2002).

Figura 7. Diseño de Robert Warren.



(Running@.2002)

7.2.5 Microfueler

Es el primer sistema portátil integrado para la producción de etanol, a partir de azúcar, reemplaza la tradicional torre de destilación de reflujo, es un sistema ideal para la producción del propio combustible en la casa o pequeños negocios, es totalmente automático, y cuenta con la opción de recuperación del alcohol, que se usa especialmente cuando se tiene una fuente de etanol como pueden ser el licor sobrante en las copas después de una reunión o en un restaurante.

El costo es de aproximadamente U\$10.000 mas el envío, produce un máximo de 35 galones de etanol anidro a la semana si se usa azúcar y levadura o 75 galones a la semana si se usa una fuente de etanol, requiere para producir un galón de alcohol: 4 galones de agua, 5Kwh de energía eléctrica y de 10 a 14 libras de azúcar (EFuel100@2008).

Figura 8. Microfueler



(EFuel100@2008)

7.3 PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA EN EL AREA DE ALCOHOL CARBURANTE

Varios proyectos relacionados con la producción de alcohol carburante que actualmente se están realizando en Colombia.

Tabla 5. Investigaciones en desarrollo actualmente.

Proyecto	Región	Ejecutor	Valor Total (Millones)
Diseño de una planta piloto (400l/día) para la obtención de alcohol carburante a partir de jarabes glucosados de almidón de yuca	Antioquia	FUNDAUNIBAN, U. ANTIOQUIA, SECRETARIA DE AGRICULTURA,	1.028
Construcción de una planta piloto (480 l/día) para obtener alcohol a partir de banano de rechazo	Antioquia	BIOTROPICAL U. ANTIOQUIA	155
Planta prototipo (1.000 l/día) para la producción de alcohol carburante a partir de yuca, ñame y otras fuentes, para la región Caribe.	Turipaná	CORPOICA	514
Planta prototipo (1.000 l/día) para la producción de alcohol carburante a partir de yuca, batata y otras fuentes, para la región del Valle.	Palmira	CIAT	100
Construcción y validación técnica de una planta piloto (2.000 l/día) para la producción de etanol	Hoya del Río Suárez	CORPOICA	3.870

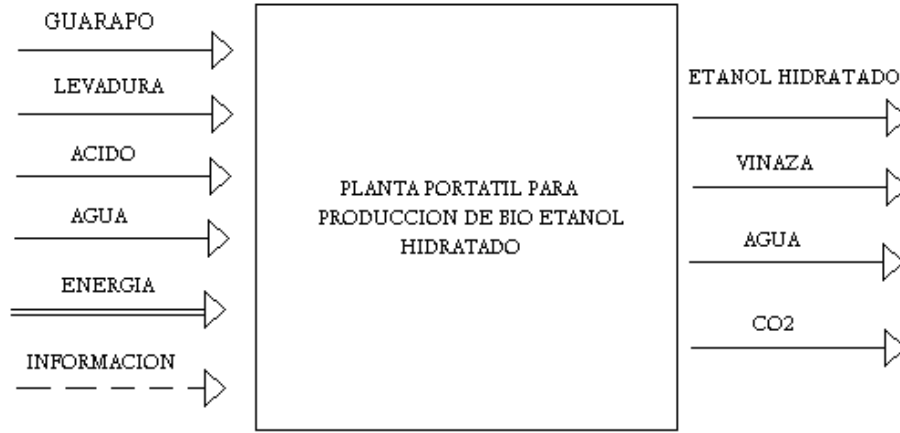
(Minagricultura@ 2007)

7.4 FUNCIONAMIENTO DE UNA MICRO PLANTA DE ETANOL

El proceso para la obtención de de bioetanol hidratado es sencillo y se describe a continuación.

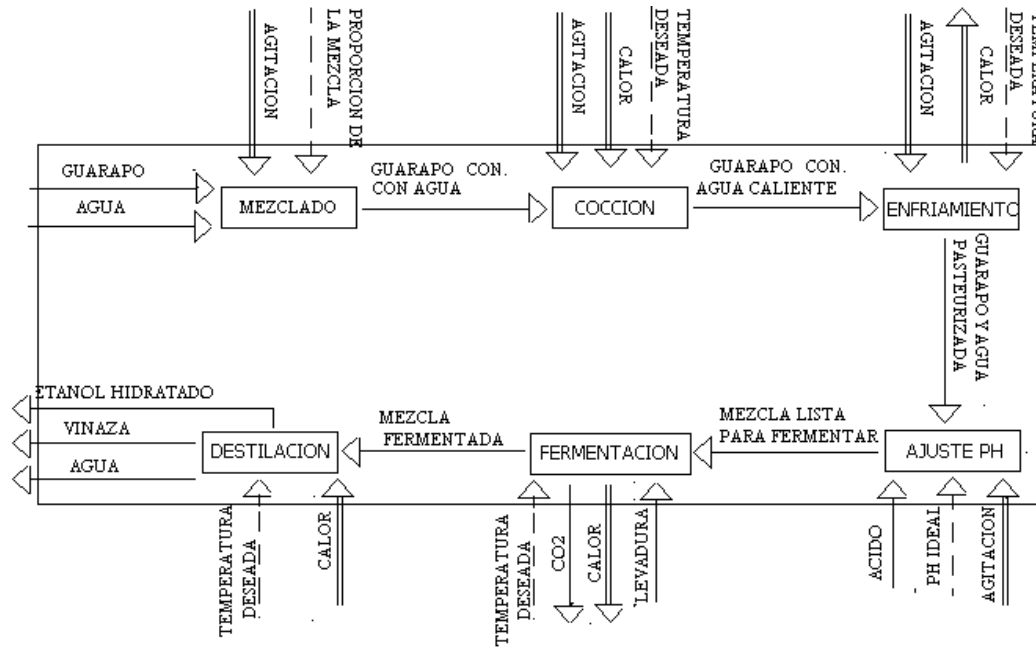
7.4.1 Diagrama “caja negra”

Figura 9. Caja negra



7.4.2 Diagrama “Estructura funcional”

Figura 10. Estructura funcional



7.4.3 Pasos a seguir para producir bio-etanol hidratado en una micro planta.

Luego de tener la planta completa se requiere conseguir la materia prima que es caña de azúcar, la cual es llevada a un trapiche donde le extraen el jugo o guarapo, estos procedimientos se hacen fuera de la micro planta.

El guarapo es introducido a un tanque que hace parte de la micro planta.

De manera opcional se puede usar agua o vinaza resultante del proceso anterior para diluir el guarapo, esto se hace si la levadura que se tiene es poco resistente al alcohol. A continuación se procede a la cocción y a un enfriamiento rápido con el fin de pasteurizar el guarapo y evitar la formación de ácido acético o de microorganismos que compitan con la levadura, este paso también es opcional, si no se hace es necesario añadir mas adelante una mayor cantidad de levadura,

El ajuste de pH se hace añadiendo ácido sulfúrico y agitando hasta que el pH de la solución quede en el rango que tolera la levadura, entre más bajo mejor porque tendrá menos competencia la levadura.

La fermentación comienza llevando el guarapo a la temperatura recomendada por el vendedor de levadura, se agrega levadura en cantidad indicada, se agita y se pone la trampa de fermentación. Se debe garantizar el rango de temperatura donde es más efectiva la levadura, si lo sobrepasa puede morir o dejar de actuar, la fermentación termina cuando deja de salir dióxido de carbono por la trampa de fermentación, la duración de este proceso depende del tipo de levadura.

La destilación comienza cuando termina la fermentación, se quita la trampa de fermentación y se instala un ducto que comunica con la torre de fermentación, se sube la temperatura de la mezcla hasta que empiece a ebullición el alcohol, se controla la temperatura de la torre de destilación en 79°C aunque este valor puede

cambiar según el lugar de ubicación, este paso termina cuando de ha extraído todo el alcohol que había en el tanque.

El alcohol se prueba para ver si puede ser usado como combustible, y los subproductos como la vinaza se usan como abono del cultivo de caña de azúcar.

8. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES Y DEL PROCESO

Las características de los componentes incorporan todo lo relacionado con las formas, tamaños, balances de masa y energía, que dependen de la capacidad de producción deseada. Todo lo anterior se conjuga y da como resultado un modelo que se adapta a las condiciones deseadas.

8.1 PARTES

La planta portátil o micro planta para producción de etanol tiene como función principal procesar el jugo de caña o guarapo para producir etanol hidratado, al tratarse de una micro planta, la capacidad de producción es pequeña, del orden de 20 litros por bache y por esto los equipos que la conforman son básicos, sencillos y tienen tareas muy puntuales. Está compuesta por:

8.1.1 Trapiche

Este es el encargado de extraer el jugo de la caña de azúcar por medio de aplastamiento. Está movido por un motor cuyo tamaño varía según la capacidad, una transmisión por correas. Los materiales que se utilizan comúnmente para su construcción son la fundición de Hierro. El jugo de caña que se va extrayendo del trapiche va a un tanque de almacenamiento, donde se sacan impurezas visibles e insectos por medio de un cedazo o un filtro antes de pasar al fermentador. Estos componentes no hacen parte de la planta portátil.

8.1.2 Tanque de cocción, fermentación y evaporador

Es un tanque donde se almacena el jugo de caña, para luego ajustar la cantidad de azúcar en la solución adicionando agua o vinaza del proceso anterior en caso de ser necesario. Es importante garantizar para una buena fermentación que el

volumen de la solución ocupe entre 85% a 90% de la capacidad del tanque (DOXON2001).

Antes de almacenar el jugo de caña que va a ser fermentado es necesario hacer una buena limpieza del fermentador para evitar microorganismos que puedan interferir para mal en el proceso,

De manera opcional se puede esterilizar la solución llevándola inicialmente a alta temperatura alrededor de 90°C y luego a temperatura ambiente, en este momento funciona como tanque de cocción, se hace con el tanque sin tapa a presión atmosférica y se puede agitar, para cumplir con esta condición es necesario un material resistente a la temperatura.

La temperatura para activar la levadura es de vital importancia y está en el rango de 30°C a 40°C, por lo que es necesario llevar la solución a este valor, pero antes de adicionar la levadura se ajusta el pH entre 3.5 y 6 mediante la adición de ácido sulfúrico.

Se adiciona levadura y el tanque debe mantener la temperatura ideal para la propagación de esta. El fermentador es el mismo recipiente pero tiene una válvula o trampa de fermentación que permite la salida del CO₂ y restringe la entrada de aire e insectos durante este proceso.

La temperatura ideal para la fermentación es entre 29° C y 34° C, este proceso puede durar entre 12 y 48 horas según el tipo de levadura, genera calor durante el proceso y termina en el momento en que deja de burbujear la trampa de fermentación.

Terminada la fermentación se procede a quitar la trampa húmeda y se instala un ducto que transporta el vapor entre el evaporador que es el mismo recipiente y el

destilador, se aplica calor al tanque hasta alcanzar una temperatura de 80°C aproximadamente que se debe mantener hasta que se haya extraído todo el alcohol.

Antes de almacenar el jugo de caña que va a ser fermentado es necesario hacer una buena limpieza del fermentador, usando detergente y agua, para evitar microorganismos que puedan interferir para mal en el proceso,

El fermentador posee un serpentín con el cual se enfría el jugo de caña y la levadura. Se recomienda usar un control automático de temperatura

Todos los aspectos anteriores se deben tener en cuenta para el diseño y la construcción.

Figura 11. Fermentador



(E85Machines@,2005)

8.1.3 Quemador

El quemador es necesario para suministrar calor y garantizar las temperaturas durante en las etapas de cocción, fermentación y destilación cuando sea necesario, algunas plantas de este tipo funcionan con resistencias eléctricas, quemadores de gas o biomasa. La fuente de calor se ubica debajo del tanque de cocción, fermentación o evaporador y es importante tener en cuenta que entre mayor sea el tamaño de la superficie del tanque en contacto con la fuente de calor mejor será la eficiencia (WARREN 1999).

Figura 12. Quemador de Gas



(mile@2008)

8.1.4 Sistema de refrigeración

La refrigeración puede ser realizada por un radiador convencional de automóvil, una torre de enfriamiento o agua directa según la cantidad de calor que se quiere disipar y los recursos disponibles, el sistema de refrigeración se utiliza para evitar que la levadura muera al sobrepasar la temperatura que es capaz de resistir y algunos destiladores la usan como reguladora de temperatura (Running@.2002).

Figura 13. Radiador



(Hard@.2008)

8.1.5 El destilador

Este dispositivo es el encargado de separar el agua y el etanol hasta una concentración máxima de 95% etanol y 5% agua. Por ser una planta reducida se pueden encontrar destiladores de reflujo, dobles o columnas empacadas. Funcionan con vapor de alcohol y agua fría que sirve para el control de temperatura.

El sistema de control es importante para el manejo de temperaturas y flujos de calor, Se recomienda separar el destilador del recipiente de evaporación porque de lo contrario se hace muy difícil de pasar de una concentración de 60% alcohol, 40% agua (Running @2002).

Figura 14. Destilador



(mile@2008)

8.1.6 Tuberías y mangueras

Estos es el encargado de transportar los fluidos de un punto a otro durante el proceso, ya sea el vapor entre el recipiente de evaporación y el destilador, o el agua encargada de la refrigeración (DOXON.2001)

8.1.7 Sistema de control de temperatura

Este sistema es el encargado de regular el flujo de agua que controla la refrigeración, consta de una termocupla que mide la temperatura en el punto deseado y de una válvula “on-off” que permite el flujo de agua cuando la temperatura pasa el valor deseado (WARREN 1999).

El control de temperatura se puede hacer con instrumentos análogos o digitales, los primeros no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento y la calibración depende de la técnica de ensayo y error y es necesario añadir un termómetro cerca del lugar donde se pone la termocupla, mientras los segundos requieren de energía eléctrica, sirven de termómetro, tienen gran exactitud y es fácil y rápido el ajuste de los valores deseados

Figura 15. Control temperatura análogo o termostato



(E85Machines@,2005)

8.2 INSTRUMENTOS

Los instrumentos son fundamentales para poder medir las diferentes variables durante el proceso, garantizar la máxima eficiencia y calidad del producto obtenido

8.2.1 Medidor de pH

Permite medir la acidez o la alcalinidad de la solución, para poderla ajustar al valor óptimo con la adición de ácido sulfúrico, que garantice la propagación de la levadura y es el encargado de mostrar el pH⁵ del etanol hidratado obtenido, el cual no debe ser inferior a 6 porque puede corroer las partes del motor (BLUME'S 2007).

Para medir el pH se puede usar papel de tornasol o un peachimetro. El primero consiste en un papel que es sumergido en la solución y reacciona formando una gama de colores, los cuales son comparados con un patrón que indica el pH, es un método no muy preciso pero es de bajo precio, el segundo consiste en un aparato digital al que se le introduce la punta en la solución y muestra el pH de esta, es necesario calibrarlo periódicamente y hay que tener cuidado que el sensor no esté contaminado a la hora de efectuar la medición porque daría lecturas erróneas.

Figura 16. Medidor de pH



(mile@2008)

⁵ pH: potencial hidrogeno

8.2.2 Hidrómetro y/o alcoholímetro

Son Indispensables para medir la densidad de la solución y así poder graduar la concentración de azúcar antes de la fermentación de ser necesario y para saber el porcentaje de alcohol en el producto final (Journeytoforever@2004).

El hidrómetro y el alcoholímetro funcionan con el principio de Arquímedes, el primero mide la densidad de la solución y el segundo mide la concentración de alcohol en °GL que es proporcional a la densidad.

Figura 17. Hidrómetro



(mile@2008)

8.2.3 Termómetro

Este permite medir la temperatura en la solución dentro del tanque o en el destilador, en diferentes etapas del proceso, si se tiene un control de temperatura digital no se requiere ya que este lo trae incluido.

8.3 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

8.3.1 Caña de azúcar.

Saccharum officinarum L es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído en el trapiche forma la materia prima principal de la planta portátil. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis (PERAFÁN@.2007)

El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas.

Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. Sin embargo, unos valores de referencia general pueden ser:

Tabla 6. Composición típica de la caña de azúcar

Constituyente	Valores de referencia
Agua	73 - 76 %
Sacarosa	8 - 15 %
Fibra	11 - 16 %
Glucosa	0,2 - 0,6 %
Fructuosa	0,2 - 0,6 %
Sales	0,3 - 0,8 %
Ácidos orgánicos	0,1 - 0,8 %
Otros	0,3 - 0,8 %

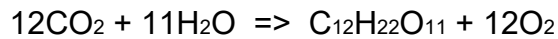
(PERAFÁN@.2007)

El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz solar, razón por la cual su cultivo se realiza en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado.

La clorofila existente en las células de las hojas de la caña absorbe la energía de la luz solar la cual sirve como combustible en la reacción entre el dióxido de carbono que las hojas toman del aire y el agua que junto con varios minerales las raíces sacan de la tierra , para formar sacarosa que se almacena en el tallo y constituye la reserva alimenticia de la planta, a partir de la cual fabrican otros azúcares, almidones y fibra .

Ecuación química:

Dióxido de carbono + agua => sacarosa + oxígeno.



(PERAFÁN@.2007)

La caña de azúcar se encuentra dentro del grupo más eficiente de convertidores de la energía solar que existen.

La caña de azúcar que se usará para operar la planta portátil, proviene del municipio de San Roque, Antioquia, donde es usada para la producción de panela, para ello es necesario entender la forma en que cultivan y recolectan la caña, la manera en que miden la producción y los costos de esta, para poder realizar una comparación etanol-panela.

La caña es cultivada y recolectada por el dueño de la tierra o en su defecto un cosechero⁶. Para la primera recolecta la caña tarda en estar lista para cortar 18 meses y de la segunda recolecta en adelante tarda 12 meses, la corta es selectiva y se realiza a mano con machete.

El dueño del trapiche es quien se encarga de la recogida de la caña ya cortada en el cultivo y es transportada en mulares al lugar donde se convertirá en panela, cuando la panela esta lista el dueño del trapiche divide por partes iguales la panela producida entre él y el dueño de la caña, esto por lo general sucede los viernes y en temporadas de alta demanda se realiza también los miércoles.

⁶ Cosechero: persona que toma en arriendo una tierra para cultivarla.

El día que funciona un trapiche lo hace aproximadamente de 2:00 a 20:00 horas, sin parar, requiere aproximadamente de 10 personas sin contar las que los días anteriores estuvieron transportando la caña, es un solo turno de trabajo, a los empleados se les paga el jornal que es igual al salario mínimo.

La panela producida se conoce con el nombre de panela regional, el precio de esta es fijado en el municipio de Barbosa el día sábado, por lo general tiene pocas variaciones con respecto a la semana anterior, es común ver que la caña se pierda ya que el precio es muy bajo y no justifica sacarla, el precio de la panela es alto en las cosechas cafeteras por que es difícil encontrar quien trabaje en la producción de esta.

Las medidas de peso y la productividad de la tierra que se manejan en la industria de caña en Colombia, según datos dados por de cosechadores, productores y comercializadores con base a su experiencia son las siguientes:

Tabla 7. Medidas y equivalencia de la caña de azúcar

MEDIDA	EQUIVALENCIA O PRODUCCIÓN
Carga de mula de caña	230-250 Kg. caña cortada sin hojas
Carga de panela	96 Kg. de panela
Bolsa de panela	24 Kg. de panela
Carga de panela	4 bolsas de panela
Carga de mula de caña	1 Bolsa de panela
Bolsa de panela	48 pares de panela
1 hectárea de caña	9000 litros de etanol año
1 tonelada de caña	20-25 galones etanol
1 carga de mula de caña	4-6 galones de etanol

La producción de etanol hidratado y la de panela se puede comparar teniendo en cuenta que con la materia prima necesaria para producir una carga de panela se puede producir entre 20 y 25 galones de etanol (TERRA@.2002), el costo de la carga de panela regional de 96 Kg. se encuentra a \$112.000 según la cartelera de la cooperativa de productores de San Roque del día 27 de Septiembre de 2008.

8.3.2 Levadura

Se denomina levadura a cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la fermentación de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias (Wikipedia@.2002).

La levadura elegida es una de las mas conocidas que es la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Esta levadura tiene la facultad de crecer en forma anaerobia⁷ realizando fermentación alcohólica.

La levadura es de marca “Superstart” que es levadura activa seca para uso en fermentación de alcohol combustible o bebidas alcohólicas, contiene cepas selectas de *Saccharomyces cerevisiae*, se caracteriza por un rápido comienzo de la fermentación y porque resiste el estrés, el primero previene la contaminación por partes de bacterias incrementando la producción de alcohol. La levadura es resistente a la temperatura, al pH y a la presión, produce pocos subproductos de fermentación, tiene las siguientes características (Ethanoltech@2006):

- “Superstart” contiene cepas de *Saccharomyces cerevisiae*
- Aplicaciones: “Superstart” es especialmente usada para uso en alcohol combustible y bebidas alcohólicas, fermenta muy bien en temperaturas hasta 34°C y rangos de pH entre 3.5 y 6.

⁷Anaerobia: Organismos que no necesitan oxígeno.

- Forma de uso: puede ser agregada directamente al fermentador en proporciones de 1 o 2 libras por cada 1000 galones americanos lo que equivale a 12 a 24 gramos por hectolitro, si se quiere usar menores cantidades es necesario propagar la levadura antes de introducirla en el fermentador, para mejores resultados agregar a líquidos entre 30°C y 40°C.
- Almacenamiento y transporte: “Superstart” debe ser almacenada en lugares secos y fríos lejos de una fuente de calor, cuando se almacena en estas condiciones la levadura es estable durante 24 meses después de la fecha de fabricación
- Empaque: tiene presentación en empaque de 20 kilogramos y de 1 libra ambos envasados al vacío.

8.3.3 Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Generalmente se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Normalmente después se llevan a cabo procesos para conseguir una mayor concentración del ácido. Antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitriolo, porque se producía a partir de este mineral (Wikipedia@.2004).

El ácido sulfúrico se usa para ajustar el pH de la solución a un valor apto para que la levadura se propague, no es necesario que este tenga alta pureza, se puede conseguir en talleres de baterías para carro pero diluido en agua ya que este en forma pura es una sustancia controlada en Colombia por antinarcóticos.

8.4 DIMENSIONES DE LAS PARTES

8.4.1 Tanque de cocción, fermentación y evaporación

El volumen de este componente determina la cantidad de jugo caña de azúcar que se requiere y la capacidad de producción de etanol hidratado en cada bache, es necesario tener en cuenta que las anteriores capacidades están determinadas por el rendimiento del proceso de fermentación (DOXON 2001).

La capacidad de diseño es de 5 galones de etanol hidratado por bache, teniendo en cuenta que un valor aceptado de producción de alcohol a partir de fermentación de jugo de caña es de 10°GL, lo que equivale a 10% de alcohol en la solución, también requiere aproximadamente 10% de volumen libre, esto significa que se requiere un tanque de 55 galones donde 50 galones son para jugo de caña y los otro 5 galones se dejan libres.

La fermentación se puede hacer si se quiere con caña picada, en caso de no tener un trapiche que extraiga el jugo de caña, esta forma se llama fermentación completa, la capacidad de producción por bache es ligeramente menor a la mitad de la capacidad de producción si se hace con jugo de caña. La Producción de etanol y las características en fermentación completa son (ASTURIAS@ 1985):

- 10 kg de caña picada producen 1 litro de etanol
- La caña se debe picar en espesores de ente 5mm y 22,2 mm
- Si se pica muy pequeña la caña disminuye la densidad y si se pica muy grande aumenta el tiempo y se disminuye efectividad.
- La proporción de caña:agua es entre 1:1.4 y 1:1.7, cuando no hay agitación, proporciones más grandes de caña disminuyen la eficiencia de la levadura, proporciones más grandes de agua aumentan el tamaño del fermentador y aumenta la energía necesaria para la cocción y destilación

El tanque de cocción fermentación y evaporación se puede usar para este proceso sin ninguna modificación, teniendo en cuenta que tiene una capacidad de 55 galones, 208 L aproximadamente, se requiere y se puede obtener lo siguiente:

- Se pueden producir 7 litros de etanol hidratado por bache,
- Se requieren 75 kg de caña de azúcar picada en espesores se aproximadamente 5mm.
- Se requieren entre 75-90 litros de agua o en su defecto viñaza sobrante de un bache anterior.
- Se requieren entre 100-200 gramos de levadura

8.4.2 Destilador

El diámetro de este componente depende del tamaño del evaporador y de la capacidad de producción, la altura depende del diámetro y de la pureza requerida del alcohol (WARREN 1999).

Se tiene un recipiente de evaporación de 55 galones y se requiere alcohol con pureza de 95°GL, de acuerdo con la tabla 4 se requiere un diámetro de 3 pulgadas y tendrá una capacidad entre 0.5 y 1.5 galones/hora dependiendo del tamaño del quemador y de la concentración de alcohol dentro del recipiente de evaporación.

La altura de una torre de destilación de reflujo se determina de acuerdo con la siguiente tabla, los valores no incluyen la altura de la sección de condensación.

Tabla 8. Relación diámetro/altura del destilador recomendada

Pureza del alcohol	60° GL	70° GL	80 ° GL	90 ° GL	95 °GL
Relación altura/diámetro	5/1	9/1	13/1	18 /1	24/1

(BLUME'S 2007)

La altura recomendada para una torre de 3 pulgadas de diámetro y alcohol con 95°GL es de 72 pulgadas, 1.83m aproximadamente.

8.4.3 Quemador

La potencia de este componente depende del tamaño del recipiente de evaporación y del diámetro del destilador, sabiendo que se tiene 50 galones de solución y que se deben llevar a aproximadamente 80°C para que el alcohol empiece a ebulir (DOXON 2001).

El recipiente de evaporación tiene pérdidas de calor y la solución que tiene adentro no tiene bien definida las valores de transferencia de calor, se supone, para efectos de cálculos que se esta trabajando con agua, la temperatura que debe alcanzar es de 95°C. y la eficiencia es del 80%. Los cálculos son los siguientes:

Se define el calor necesario para elevar la temperatura de la mezcla de temperatura ambiente a 95 °C, asumiendo que la mezcla se puede considerar como agua.

Ecuación Calor necesario para elevar la temperatura del evaporador a 95°C

$$M_{agua} = 180 Kg$$

$$C_p = 4.18 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$$

$$T_i = 25^{\circ}C$$

$$T_f = 95^{\circ}C$$

$$Q = M_{agua} C_p (T_f - T_i)$$

$$Q = 180 Kg * 4.18 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * (95^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Q = 52668 KJ$$

Con el calor que se necesita durante el proceso, se puede encontrar la capacidad promedio del quemador de gas asumiendo un tiempo para el calentamiento de 60 minutos.

Ecuación Capacidad máxima del quemador de gas

$$T_{\text{calentamiento}} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ S}$$

$$\eta = 80\%$$

$$Q = \frac{\dot{Q}}{t}$$

$$\dot{Q}_{\text{req}} = \frac{52668 \text{ KJ}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{req}} = 14.63 \text{ KW}$$

$$\dot{Q}_{\text{req}} = 49.965 \text{ BTU} / \text{h}$$

$$\dot{Q}_{\text{gen}} = \frac{\dot{Q}_{\text{req}}}{\eta} = \frac{49.965 \text{ BTU} / \text{h}}{0.8} = 62.415 \text{ BTU} / \text{h}$$

Para llevar la mezcla de temperatura ambiente a 95°C en una hora se requiere un quemador de 62.500BTU/h considerando la mezcla como agua y que la eficiencia es del 80%.

8.5 MATERIALES DE LAS PARTES

Los materiales más duraderos y con mejores características para la construcción de una planta de estas especificaciones son el cobre y el acero inoxidable, pero debido a los altos costos es necesario buscar alternativas de menor valor, que puedan cumplir con los objetivos y que sean duraderas, si esto no sucede se requiere el uso de estos materiales en partes puntuales.

Las partes que requieren materiales especiales son el tanque de cocción, fermentación y evaporador, el destilador y la manguera de conducción de vapor, las demás partes no requieren atención especial en la selección del material.

8.5.1 Tanque de cocción, fermentaron y evaporación

Este tanque posee un serpentín que controla la temperatura de fermentación, en el tanque se encuentra la solución que debe tener un pH en un rango de 3.5 a 6 para que la levadura cumpla se trabajo de forma adecuada, el material se puede elegir de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 9. Materiales usados frecuentemente según el PH que deben resistir

Material	Acero inox serie 300	Acero al carbono	Cobre	Acero inox serie 300
Rango pH	14-11	13-6	8-4	1-3

(BLUME'S 2007)

El material elegido para el tanque es acero al carbono, pero se debe ajustar el pH a mínimo 6 para que no se corroa, no se puede usar ningún tipo de polímero ya que estos no pueden soportar el fuego directo proveniente del quemador, el acero inoxidable o cobre puede tener un precio entre 5 y 10 veces mayor al del material seleccionado.

El material elegido para el serpentín encargado de la refrigeración es la tubería cobre flexible tipo M, ya que este es fácil de darle forma, presenta una buena conductividad térmica, resiste pH bajos y es de bajo precio.

8.5.2 Destilador

Es común encontrar destiladores de cobre especialmente en destilerías artesanales de bebidas alcohólicas así como también en algunas micro plantas de alcohol combustible, El acero inoxidable se encuentra en plantas de todos los

tamaños pero especialmente en medianas y grandes destilerías, este tiene un costo parecido al del cobre pero requiere equipo especializado para soldarlo (BLUME'S 2007).

El destilador consta básicamente de tubos comerciales con ligeras modificaciones como son agujeros, soldaduras, etc. Para elegir el material se basa en el costo de la tubería de mayor diámetro, en la siguiente tabla se muestra el valor de un tubo de 3 pulgadas en 3 diferentes materiales.

Tabla 10. Cotizaciones de tubería principal Septiembre de 2008

Cotizaciones		
Parte/producto	vendedor	Precio sin IVA
tubo 3"x1.5m cobre	Ferroválvulas	\$180000
tubo 3"x1.5m inox Schedule 10	Acinox	\$ 221.850
tubo 3"x1.5m galvanizado	Ferroválvulas	\$52500

El material elegido para algunos componentes de la columna de destilación fue el acero galvanizado, los tubos de este material se pueden roscar facilitando el ensamble y el desensamble de ser necesario, no requieren soldadura salvo para algunos sub ensambles especiales, gracias a su recubrimiento tiene una buena resistencia a la corrosión y su costo es casi la cuarta parte comparada con alternativas como cobre o acero inoxidable.

La tubería galvanizada no puede ser usada para todos los sub ensambles por esto es necesario utilizar algunos accesorios y tuberías en cobre como lo son los serpentines de refrigeración, los termopozos y la entrada de vapor.

La soldadura entre accesorios de tubería galvanizada se hace precalentando la pieza si es de fundición (tapones, reducciones, etc.) y aplicando soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido cuando se alcanza la temperatura deseada, si se

quiere soldar la tubería o accesorio con un material como cobre es necesario aplicar soldadura de plata o estaño, es importante tener en cuenta que al momento de aplicar calor sobre a pieza galvanizada el zinc presente en el recubrimiento se evapora, puede causar defectos en la soldadura y puede ser perjudicial para la salud.

8.5.3 Manguera de conducción de vapor

Esta es la encargada de conducir el vapor de alcohol entre el recipiente de evaporación y el destilador, este vapor alcanza una temperatura de 80°C aproximadamente, se puede usar una manguera de aire multipropósito que puede resistir 80°C como máximo y quedaría trabajando al limite o se puede usar una manguera de vapor que resiste mas de 120°C pero esta última tiene un costo aproximadamente tres veces mayor comparado con el anterior material.

La manguera para radiador de automóvil se tuvo en cuenta porque resiste altas temperaturas, líquidos y vapores de alcohol presentes en los refrigerantes de los radiadores de los vehículos pero presenta un costo mayor que el de la manguera de vapor y se consigue solo en longitudes máximas de 80cm

La manguera multipropósito para aire fue la seleccionada especialmente por su costo y porque puede trabajar a la temperatura aunque este en el limite máximo de resistencia.

8.6 SELECCIÓN DE LAS PARTES

La selección de las partes se hace teniendo en cuenta la complejidad para la construcción, la disponibilidad de materiales en el medio, los tiempos y los costos de fabricación.

8.6.1 Tanque de cocción, fermentación y evaporación

Se usará una caneca de 55 galones o 200 litros, de tapa removible, de acero al carbono, de construcción estándar y disponible en el mercado, se agregará el serpentín en tubería de cobre para refrigeración tipo M, las salidas de vinaza y de vapor serán con tubería galvanizada soldada a la caneca, este tanque no tendrá agitación, ni recubrimiento aislante para conservar el calor.

8.6.2 Destilador

Se seleccionó la propuesta de “Robert Warren” ya que cumple con los requisitos de altura, diámetro, pureza y capacidad de producción de alcohol, además se encuentra suficiente información en Internet, pero a este diseño se le harán algunas modificaciones como:

- Control de temperatura digital.
- Uso de tubería y accesorios galvanizados para reducir costos.
- Juntas roscadas y con flanges para ensamble y desensamble rápido.
- Uso de termopozo para que la termocupla no entre en contacto con el vapor.

8.6.3 Control de temperatura

Se seleccionó un control de temperatura digital de marca Maxthermo y referencia MC-2438, que es el que la universidad presta, requiere energía eléctrica para su funcionamiento pero es fácil cambiar los valores de temperatura del “set point”, posee una termocupla la cual debe ir dentro del termopozo, ya sea del tanque o del destilador según sea la etapa del proceso.

La válvula solenoide seleccionada fue una on-off de $\frac{1}{4}$ ” de diámetro y bobina a 110V marca Danfoss y referencia AB110C.

8.6.4 Manguera de conducción de vapor

Se seleccionó una manguera para aire tipo multipropósito con una extensión de 3m y un diámetro de 1" con sus respectivos acoples machos roscados a cada uno de sus extremos.

8.6.5 Quemador

Se seleccionó un quemador a gas propano, para que pueda ser transportado a cualquier lugar, este requiere de una pipeta de 40 o 100 libras para su funcionamiento, y debe tener una potencia de 62.500 BTU/h.

8.7 EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO.

El proyecto se evalúa en un horizonte de 10 años, primero se calcula el costo de producción de un galón de alcohol hidratado, utilizando los precios de las materias primas al día 27 de septiembre de 2008, con base a rendimientos teóricos de la industria de alcohol en Brasil y Colombia de 20 galones de etanol por tonelada de caña, y suponiendo: los costos aumentan 7% anual, se producen 1000 gal/año en 180 baches, el cultivo de caña esta ubicado a 200 m de la micro planta.

Con el costo de producción del alcohol combustible, se realiza un análisis de alternativa de costos entre las opciones de comprar un vehiculo movido con gasolina, Diesel o alcohol hidratado, teniendo en cuenta el costo del vehiculo, el mantenimiento, el consumo de combustible, etc.

Tabla 11. Costo producción etanol y comparación con otros combustibles.

COSTO ETANOL	5014 \$/gal.
Tíio	10%
VPN Gasolina	\$ 161572719
VPN Diesel	\$ 153173857
VPN Alcohol combustible	\$ 143757090

La tabla muestra que con los supuestos anteriores cuesta menos movilizarse en un vehiculo movido a etanol, si el combustible proviene de una micro planta ubicada en un sitio donde se tenga acceso a la materia prima, además su puede ver que el costo de producción del etanol, si se fuera a producir en este momento seria de \$5014 el galón. El análisis completo se puede ver en el anexo A

9. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La construcción de la planta se lleva a cabo teniendo en cuenta los recursos disponibles tanto técnicos como económicos, la universidad proporciona los talleres y el estudiante corre con los gastos de la compra de materiales, pero antes de todos es necesario tener los diseños definitivos plasmados en planos.

9.1 PLANOS

Los planos se encuentran en el anexo B y se detallan a continuación:

Tabla 12. Relación de planos del tanque de fermentación y evaporador

PARTE O sub. ENSAMBLE	PLANO
Soporte serpentín bajo (L)	PT01
Soporte serpentín medio (M)	PT02
Soporte serpentín alto (H)	PT03
Tanque de fermentación y evaporador	PT04
Tapa tanque	PT05
Soporte base	PT07
Serpentín	PT08
trampa de fermentación	PE01
Sistema de refrigeración del tanque	PE02
Tapa de tanque	PE03
Tanque de fermentación y evaporador	PE04
Soportes de serpentín	PE05
Tanque de fermentación y evaporador	PE06

Tabla 13. Relación de planos del destilador

PARTE O sub. ENSAMBLE	PLANO
Serpentín del condensador	PT09
Sección destilación	PT10
Reducción copa perforada a 45°	PT11
Serpentín destilación	PT12
Sección destilación	PT13
Sección inferior	PT14
Sección destilación	PE08
Sección Intermedia	PE09
By pass refrigeración	PE10
Sección destilación	PE11
Sección inferior	PE12
Destilador	PE13-A
Destilador	PE13-B

El quemador no posee planos ya que es una parte que se compra construida.

9.2 COMPRA DE MATERIALES, ACCESORIOS Y PARTES

Los materiales que se adquieren para cada parte de la micro planta se relacionan a continuación con su respectivo precio, cantidad y lugar de compra.

Tabla 14. Costos totales de cada componente y costo total del prototipo

COMPONENTE	COSTO	%
Destilador	\$270.134	24.5
Tanque de fermentación	\$84.036	7.5
Otras partes	\$750.582	67.8
TOTAL	\$1.105.75t	100

Tabla 15. Materiales y costos de destilador Septiembre de 2008

DESCRIPCIÓN	LUGAR DE COMPRA	CANT.	PRECIO
Niple galvanizado 1 ½" x 30 cm	Ferrovalvulas	1	\$6.606
Niple galvanizado 3" x 40 cm	Ferrovalvulas	1	\$18.792
Niple galvanizado 3" x 90 cm	Ferrovalvulas	1	\$35.408
Niple galvanizado 3" x 20 cm	Ferrovalvulas	1	\$12.146
Tapón copa galvanizado 3"	Ferrovalvulas	2	\$16800
Reducción copa galvanizada 3" x 1 1/2	Ferrovalvulas	2	\$23.200
Flanche A/C roscado 3"	Ferrovalvulas	2	\$43.700
Empaque asbesto para flanche	Ferrovalvulas	1	\$5.000
Niple galvanizado ½" x 5cm	Ferrovalvulas	4	\$5.280
Niple galvanizado ½" x13cm	Ferrovalvulas	2	\$1.672
Tee galvanizada 1/2"	Ferrovalvulas	2	\$1.560
Medio codo galvanizado ½"	Ferrovalvulas	1	\$640
Adaptador hembra cobre ¾"	Ferrovalvulas	1	\$2.800
Codo para soldar cobre ¾"	Ferrovalvulas	1	\$1.400
Reducción cobre 3/4" a ½"	Ferrovalvulas	1	\$1700
Tubería cobre tipo M ¾ 30 cm	Ferrovalvulas	1	\$3.720
Tubería cobre flexible ¼", 12m	Ferrovalvulas	1	\$38.400
Tornillos ¾ x 3" grado 2	Mundial de tornillos	4	\$7.041
Tuerca hexagonal ¾" grado 2	Mundial de tornillos	4	\$1.689
Bolsa de 100 canicas de cristal	Floristería	7	\$25.000
Rejilla A4 Aluminio	Homecenter	1	\$5100
Codo Galvanizado ¼"	Ferrovalvulas	2	\$1.720
Union galvanizada ¼"	Ferrovalvulas	1	\$680
Universal galvanizada ¼"	Ferrovalvulas	1	\$4.000
Niple galvanizado ¼ x 16cm	Ferrovalvulas	2	\$3.080
Esponjilla bonbrill	Exito	2	\$4.000

Tabla 16. Material y costos tanque de fermentación y evaporador

DESCRIPCIÓN	LUGAR DE COMPRA	Cant.	PRECIO
Caneca 55 galones acero tapa removible	Minorista	1	\$20.000
Niple galvanizado 2" x 10 cm	Ferrovalvulas	1	\$5.324
Tapón copa galvanizado 2"	Ferrovalvulas	1	\$3.400
Reducción copa galvanizada 1 ½ a 1"	Ferrovalvulas	1	\$2.450
Adaptador macho PVC presión 1"	Ferrovalvulas	1	\$774
Codo PVC presión 1"	Ferrovalvulas	2	\$1.866
Codo PVC presión 1 ½"	Ferrovalvulas	2	\$1.711
Buje PVC presión 1 ½" x 1"	Ferrovalvulas	1	\$1.711
Tubería cobre flexible 3/8" 5m	Ferrovalvulas	1	\$28.000
Codo para soldar cobre ¼"	Ferrovalvulas	1	\$1.600
Tubo PVC presión 1 ½ 1m	Homecenter	1	\$4.250
Tubo PVC presión 1 ½ 1m	Homecenter	1	\$3.450
Angulo 90° 1"x3m	Chatarrería	1	\$9.500

Tabla 17. Otros materiales accesorios o partes y respectivos costos

DESCRIPCIÓN	LUGAR DE COMPRA	Cant.	PRECIO
Fogón enano con doble quemador de gas	Uno-A	1	\$170.000
Termómetro de punzón	Químicos JM	1	\$19.580
Manguera multipropósito de 3m de largo, con respectivos acoples de 1"	Poleas y Bandas S.A.	1	\$65.002
Válvula solenoide referencia AB110C	Ferrovalvulas	1	\$98.000
Levadura "Superstart"	Kermits products	4	\$88.000
Medidor de pH	Kermits products	1	\$80.000
Control de Temperatura		1	\$150.000
Gastos varios			\$80.000

9.3 ENSAMBLE

El ensamble comienza cuando se tiene listos los materiales, se requiere soldadura y herramientas como taladro, llave de tubo, segueta, destornilladores, alicate, etc.

9.3.1 Tanque cocción, fermentación y evaporador

Los pasos para la construcción son los siguientes:

- Con la caneca de 55 galones lista se procede a abrir un orificio redondo de 2 pulgadas de diámetro en la parte inferior de la cara lateral y otro orificio redondo de 1.5" de diámetro en la tapa superior removible tal como lo muestran los planos: PT04 y PT05.
- Se taladran dos orificios en la pared lateral de la caneca de 3/8" para pasar la tubería de cobre flexible que servirá para la refrigeración en el lugar que muestra el plano PT04
- Se dobla la tubería flexible, entre dos personas, usando un cilindro con diámetro aproximado a 30 cm como lo muestra el plano PT08.
- Se corta, se taladran orificios de 1/2" y se sueldan a la caneca los soportes de la tubería de refrigeración, teniendo en cuenta los planos: PT01, PT02, PT03, PT07 y PE05
- Se pasa la tubería de refrigeración por los orificios de los soportes como lo muestra el plano PE02.
- Se suelda con estaño los codos de la tubería de refrigeración y se sacan un segmento de este tubo por los orificios de previamente taladrados de 3/8.
- Se suelda con MIG un niple de 2" en el orificio inferior de la caneca y un niple de 1.5" en el orificio de la tapa, como lo muestra el plano: PE04, PE06 y PE03
- Se suelda con plata los lugares donde sale la tubería de refrigeración para prevenir pérdidas.

- Se taladra el orificio del termopozo de $\frac{1}{4}$ " y se suelda el miple como lo muestran los planos: PT04, PE04 y PE06

9.3.2 Destilador

Los pasos para la construcción son los siguientes

- Se recorta un niple de 1.5" a 18cm dejando solo rosca por un extremo según plano PE09.
- Se tornea la rosca pequeña de una reducción de copa de 3 pulgadas a 1.5", de forma que un niple de 1.5" pueda pasar según plano PE11.
- Se taladra un orificio de 0.5" en la pared de la reducción y se suelda un niple galvanizado de 0.5" como lo muestra el plano PE11
- Se inserta el niple de 1.5" en la reducción de copa aproximadamente 8cm, se aplica calor y se suelda con arco eléctrico con electrodo revestido según plano PE11.
- Usando un tubo Schedule 40 de PVC con diámetro de 1.5" se da forma a la tubería de refrigeración de $\frac{1}{4}$ " respetándole paso y número de vueltas que muestra los planos PT9, PT12. Y rematando de forma que los extremos puedan quedar por fuera del tubo donde van ubicados
- Se taladran dos orificios de $\frac{3}{8}$ " en el tubo de 3"x 40 cm, dos orificios de $\frac{3}{8}$ " para la salida de la tubería de refrigeración, uno de $\frac{1}{2}$ " en el tubo de 3"x 90 cm para ubicar el termopozo y un orificio de $\frac{7}{8}$ " en el tubo de 3"x 20 cm de la sección inferior para la entrada de vapor como lo muestran los planos: PT10, PT13 y PT14
- Para construir la pieza de entrada de vapor se suelda con plata el adaptador hembra $\frac{3}{4}$ " de cobre, el codo $\frac{3}{4}$ " de cobre, y la reducción $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " usando dos niples de $\frac{3}{4}$ " x 3.2 cm según plano PE12.
- Se hacen orificios de $\frac{1}{4}$ " en la pieza de entrada de vapor y se cortan en el extremo de $\frac{1}{2}$ " de la reducción 4 aletas de $\frac{1}{4}$ " según lo muestra el plano

- Se inserta la tubería de refrigeración en el respectivo tubo galvanizado de 3" y se suelda con plata, después se sueldan adaptadores machos roscados en cada punta del tubo de refrigeración según planos PE8 y PE11,

Figura 18. Sección de destilación y condensación parcialmente terminadas



- Se inserta la pieza de entrada de vapor en el tubo de 3" x 20 cm de la sección inferior por el orificio de 7/8" y se suelda con plata, se debe verificar que no queden fugas, según plano PE12.

Figura 19. Sección inferior del destilador



- Se suelda con arco eléctrico y electrodo revestido una unión de $\frac{1}{2}$ " galvanizada en el lugar donde se ubicara el termopozo.
- Para construir el plato inferior se recorta una lamina redonda de cobre de con espesor aproximado de $\frac{1}{8}$ " y diámetro de $2\frac{3}{4}$ " y se suelda con plata a un niple de $\frac{3}{4}$ " x 5cm
- El tapón inferior se le taladra un orificio de $\frac{1}{2}$ " y se suelda con arco eléctrico y electrodo revestido un niple galvanizado del mismo diámetro, luego con soldadura epoxica se suelda el plato inferior teniendo en cuenta que debe quedar perfectamente centrado, se rellena con esponjilla de cobre.
- El plato superior se hace con una rejilla para baño sencilla de 4", se tornea hasta que pueda entrar forzada en el tubo de 3" galvanizado. Y se inserta donde va ubicado el flanche, plano PE13A
- Usando cinta de teflón o Loctite fuerza media para conexiones de gas se roscan los tubos verificando que las entradas queden alineadas correctamente unas con otras de acuerdo al plano de ensamble, antes de unir la zona de

destilación con la zona de condensación se debe introducir las canicas, llenado hasta el nivel en que entra sale el serpentín inferior, plano PE13A y PE13B.

Después de terminado el destilador no se debe inclinar a menos de 30 grados porque las canicas pueden pasar de la zona de destilación a la zona de condensación, es importante tener cuidado con los acoples de la tubería de refrigeración porque están soldados a la tubería de cobre flexible y esta se puede averiar fácilmente

10. PUESTA EN OPERACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La puesta en marcha de la planta y la toma de datos se realiza cuando se ha culminado la etapa de construcción, pero antes de que esto ocurra es necesario verificar el funcionamiento correcto de las partes para disminuir la probabilidad de que se presenten inconvenientes durante la producción de bioetanol.

10.1 VERIFICACIONES ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA

Las fugas se pueden presentar fácilmente en las partes que están sometidas a presión o contienen líquidos, por este motivo es conveniente verificar las juntas roscadas, flanches y soldaduras

La inspección de fugas del tanque se hace llenándolo de agua hasta el nivel indicado, durante este procedimiento se encuentra que el tanque tiene una fuga y por esta razón se repara con un punto de soldadura de arco con electrodo revestido.

La inspección de fugas del destilador se hace poniendo tapones en las entradas o salidas de fluidos y un manómetro en el lugar donde va ubicado el termopozo, se presuriza con aire comprimido hasta alcanzar 10 psi y se deja durante una hora aproximadamente, no se debe presentar descompresión pasado este período de tiempo.

El taponamiento de tuberías es común en diámetros pequeños como el usado en las tuberías de refrigeración razón por la cual se debe hacer circular agua por estas para descartar que se presente dicho problema.

La prueba demuestra que las tuberías de refrigeración, tanto del tanque como del destilador, no presentan obstrucciones y que el agua entra y sale perfectamente, a pesar de que se presenta una caída de presión propia de diámetros pequeños y gran cantidad de curvas en la tubería, especialmente del destilador

Las partes eléctricas y de control son delicadas y pueden fallar fácilmente a pesar de que se encuentren nuevas, se deben probar especialmente el control de temperatura y la válvula solenoide, si se usa un medidor de pH digital de debe verificar que se encuentre calibrado.

La válvula solenoide se conecta al control de temperatura y se realiza una prueba, ajustando el set point a 30 °C, la termocupla se acerca y se aleja de una fuente de calor, la válvula y el control de temperatura responden perfectamente.

10.2 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA

La primera prueba se realiza en el municipio de San Roque Antioquia los días 26, 27 y 28 de septiembre de 2008, se usa guarapo o jugo de caña como materia prima y a continuación se mencionan los procedimientos y resultados obtenidos

10.2.1 Embalaje técnico para el Transporte de la micro planta

Este procedimiento se realiza el día 26 de septiembre empieza en horas de la mañana y termina en horas de la tarde y tarda aproximadamente 4 horas.

El transporte de la micro planta requiere de una camioneta, el destilador es necesario atarlo de forma que no quede a menos de 30° con la horizontal, porque si se supera este limite las canicas pueden pasar de la zona de destilación a la zona de condensación, es importante tener cuidado con los acoples de la tubería de refrigeración porque están soldados a la tubería de cobre flexible y esta se puede averiar fácilmente.

Una caja plástica se requiere para transportar las herramientas y accesorios de tamaño pequeño, evitando así que se extravíen.

Figura 20. Transporte de la micro planta



Al llegar al lugar los componentes son des atados y ubicados en el lugar donde se va realizar la prueba.

10.2.2 Ensamble de la micro planta antes de la fermentación

En el momento en que todas las partes de la micro planta se encuentran en su lugar se empieza con el ensamble, el tanque de fermentación es ubicado sobre el fogón, este último es conectado a un cilindro de gas propano de 40 lb.

Una mesa pequeña es ubicada al lado del termopozo del tanque de fermentación y en esta se ubica el control de temperatura, el cual es conectado a la corriente eléctrica, se conecta la válvula solenoide al control de temperatura, además a la entrada de agua de esta, se le conecta una manguera de jardín, a la salida de agua de la válvula se le une una manguera, la cual a su vez se une con la tubería de refrigeración del tanque de fermentación, la salida de agua del tanque de

refrigeración también se le instala un tramo de manguera para que el agua refrigerante sobrante pueda ser depositada en el lugar deseado.

La trampa de fermentación es instalada en la tapa del tanque, la termocupla es introducida hasta el fondo del termopozo y el tapón inferior del fermentador es revisado para descartar una fuga.

Figura 21. Ensamble de la micro planta antes de la fermentación



10.2.3 Adquisición de la materia prima, transporte y preparación para la fermentación.

La materia prima utilizada es guarapo o jugo de caña de azúcar para conseguirla es necesario dirigirse a un trapiche, donde pueden extraer el jugo de la caña de azúcar, en este caso este procedimiento se hace en el trapiche Los Tabares

ubicado a 2.5 km del montaje de la micro planta, donde la materia prima no fue cobrada.

Figura 22. Trapiche para extracción de jugo de caña



La materia prima requerida son 180 litros que son transportados en baldes desde un tanque ubicado después de la maquina de caña o trapiche hacia un caneca plástica en la camioneta, para poder ser transportada hacia la micro planta.

Figura 23. Transporte de guarapo hacia la camioneta y carga manual



El carro es ubicado cerca de la micro planta, pero como no es posible llegar en el esta el sitio del montaje, con un sifón se transfiere la materia prima a baldes para terminar de arrimar y llenar el tanque de fermentación, verificando que el volumen sea aproximadamente 180 litros. Esta medición se hace con el nivel de llenado que es proporcional a la altura, si el nivel es el 100% el volumen es 200 litros y si se tiene 90% el volumen es 180 litros.

Figura 24. Llenado manual del tanque de fermentación.



Para terminar la preparación para la fermentación se verifica con un termómetro que la temperatura este entre 30°C y 35°C ,si esta por debajo de este rango es necesario prender el fogón para que la levadura se pueda activar, se adiciona ácido sulfúrico de a poco hasta ajustar el pH en 4 , sin olvidar que cada vez que se agrega esta sustancia se debe agitar manualmente, luego en una balanza se ajustan 25 gramos de levadura y se introducen en el tanque, se agita manualmente, se instala la tapa y se introducen 300 ml de agua por la trampa de fermentación.

Figura 25. Agitación manual luego de adicionar ácido o levadura



El set point del control de temperatura debe estar en 38°C

10.2.4 Fermentación

Esta se desarrolla hasta las 6:00 AM del día domingo 28, durante este período de tiempo se verifica que se presente burbujeo constante por la trampa de fermentación, que es una muestra de que la levadura está realizando su trabajo.

Si no se presentan burbujas en la trampa de fermentación y aun no han pasado 24 horas es necesario verificar la temperatura, si se encuentra por encima de 40°C la levadura está muerta, se debe bajar la temperatura a un rango de 30°C a 35°C destapar el tanque y adicionar una dosis igual de levadura, si está por debajo de 28°C la levadura está inactiva y es necesario aumentar la temperatura prendiendo la fuente de calor. En este caso no se tuvo que recurrir a ninguno de los dos procedimientos anteriores.

Figura 26. Burbujeo durante la fermentación



10.2.5 Preparación para la destilación

Empieza a las 6:00 AM y termina media hora después, el procedimiento es el siguiente: se ubica y se asegura el destilador en forma vertical, de forma que el termopozo queda cerca del control de temperatura y se introduce la punta de la termocupla en él, se retira la válvula solenoide del tanque de fermentación y se instala en la entrada superior de la tubería de refrigeración del destilador, se quita la trampa de fermentación y se instala la manguera multipropósito entre el tanque y el destilador

El control de temperatura se ajusta para que se active a 78°C, se apaga y prende y se asegura que circule agua por el sistema de refrigeración, por último se prende la fuente de calor.

10.2.6 Destilación

Empieza el día domingo 28 a las 6:30AM y termina el día lunes 28 a las 4:30 PM, esta etapa del proceso presenta varios inconvenientes que se tienen que superar durante la marcha.

El proceso para calentar el tanque de fermentación que a las 6:30 AM se encuentra a 27°C toma aproximadamente 10 minutos en aumentar un grado de temperatura, debido a que el tanque se encuentra expuesto a vientos que causan gran pérdida de calor debido al fenómeno de convección forzada, por este motivo se decide cubrir con barreras los alrededores del tanque para que actúen como aislantes y se conserve mejor el calor. A las 3:00 PM se alcanza la temperatura de ebullición del alcohol y empieza a viajar el vapor de este por la manguera hacia el destilador.

La manguera muestra claramente en que lugar va el avance del vapor y a las 3:10 PM empieza a entrar vapor en el destilador, hasta las 3:18 PM el control de temperatura muestra 18°C, dos minutos después se eleva a 77°C y se presenta una fuga de alcohol por la junta roscada al final de la sección de destilación y 30 segundos después caen el primer goteo de alcohol en la pimpina de almacenaje.

La fuga se trata de sellar con silicona pero no es posible, luego empieza a salir por la parte de abajo del destilador agua con bajo contenido de alcohol, el control de temperatura funciona perfectamente

Figura 27. Salida de agua con bajo contenido de alcohol



A las 6:30 PM se presenta una falla de la válvula solenoide, varias personas que tocaron el destilador reciben una pequeña descarga eléctrica, la bobina no puede accionar la válvula que controla el paso de agua para refrigeración, se trata de corregir el error pero no es posible, entonces se decide dejar el agua directa.

El agua directa baja la temperatura hasta 16°C a las 7:00PM ocasionando que por la parte inferior del destilador salga agua con un gran contenido de alcohol, y que por la sección de condensación se detenga la llegada de alcohol, se decide desconectar la tubería de refrigeración entre la sección de destilación y condensación, se deja agua directa solo en esta última sección, se aprovecha la temperatura ambiente que es baja y puede ayudar a enfriar la sección de destilación y se juega variando la potencia del quemador para que la temperatura se mantenga en el rango de 75°C y 80°C en el termopozo del destilador.

Figura 28. Destilador con control de temperatura automático averiado



Los arreglos durante la marcha dieron resultado y permiten mantener un goteo constante de alcohol durante toda la noche hasta las 4:00AM del día lunes, cuando se para el proceso, se desensambla y empaca la planta para llevarla a Medellín.

Figura 29. Salida de etanol del destilador



10.2.7 Tablas y diagramas del proceso de producción de etanol

Tabla 18. Evolución de temperaturas y tareas en el tanque

TEMPERATURA EN EL TANQUE		
Tiempo (hora)	°C	Tarea
0.0	20.00	Prep. Fermentación
1.0	35.00	fermentación
12.0	28.00	fermentación
18.0	35.00	fermentación
36.0	27.00	Prep. destilación
36.5	27.00	destilación
45.0	78.00	destilación
58.0	78.00	FIN

Tabla 19. Evolución de temperaturas en el destilador

TEMPERATURA EN EL DESTILADOR	
Tiempo (hora)	Temperatura °C
36.0	18
36.5	18
45.0	18
45.16	77
48.5	77
49.0	16
49.16	80
58.0	75

Figura 30. Diagrama evolución de temperaturas en el tanque y en el destilador

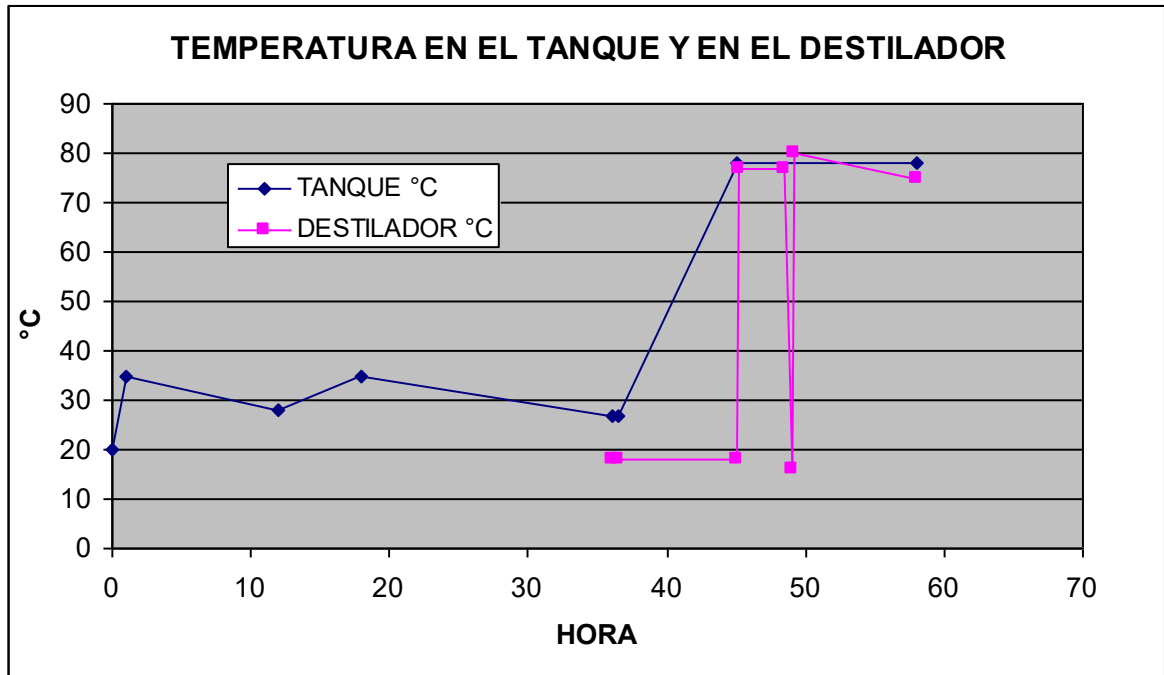
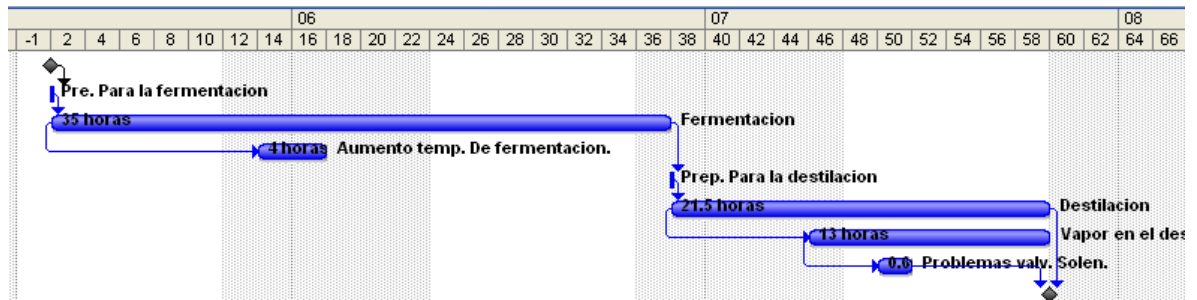


Figura 31. Diagrama tiempos de la primera prueba.



10.2.8 Resultados obtenidos

El etanol obtenido es examinado en el laboratorio de análisis instrumental de la universidad Eafit, se mide el grado de alcohol con un alcoholímetro, el pH. con un papel de tornasol y se hace una espectrografía para determinar las sustancias que contiene, el agua con bajo contenido de alcohol que sale por la parte de debajo de la torre también es examinada para saber con que contenido de etanol esta saliendo

El primer bache produce 7 litros de etanol hidratado con 86% de alcohol y 14% de agua, tiene un pH de 5, por lo anterior puede ser considerado como alcohol combustible.

Agua con bajo contenido de alcohol se produce un volumen de 16 litros, se mezclan varias muestras aleatorias, el resultado muestra que contiene 12 % de alcohol y 88% de agua.

La vinaza que es el subproducto que queda en el recipiente de evaporación al final del proceso se obtiene 150 litros, este es dado una parte al ganado y otra parte es regada en un potrero como abono de forma manual.

Al final del proceso se obtiene entre producto y subproductos un total aproximado de 173 litros, lo que muestra una perdida de volumen aproximada de 7 litros comparando con el volumen al principio del proceso.

El costo aproximado teniendo en cuenta costos de la materia prima, insumos y gas propano es 3570 \$/litro, sin tener en cuenta gastos de transporte.

El alcohol combustible es probado en un motor Briggs and Stratton cuatro tiempos vertical, de gasolina y 12.5 hp, el motor funciona sin ninguna modificación y sin carga, enciende normalmente y funciona bien cuando esta acelerado, pero cuando

pasa a ralenti se apaga, esto último es normal porque no tiene modificado los boquereles del carburador, la solución a este problema consiste en aumentar el diámetro de los boquereles en aproximadamente un 20% para compensar la menor energía que tiene el etanol comparado con la gasolina.

El motor de combustión interna produce emisiones más limpias con alcohol que con gasolina, cuando funciona con esta última deja residuos negros en objetos situados cerca del escape mientras que cuando funciona con alcohol combustible no deja ninguna clase de residuo.

La espectrometría realizada en la universidad arroja los resultados mostrados en el anexo C que según interpretación del analista, la grafica deja ver que hay presencia de etanol y hay un pequeño pico que probablemente no es metanol sino un contaminante que no es posible determinarlo con esta prueba.

Los combustibles con alta presencia de metanol, no son recomendados por los fabricantes de vehículos de calle, ya que este alcohol puede dañar algunos componentes del sistema de inyección.

10.2.9 Mejoras y arreglos después de terminada la primera prueba

Lo primero que se hace es cambiar la válvula solenoide china por una Danffos, que se prueba y funciona perfectamente.

El tanque de fermentación es lavado y se retira la pintura interna que se desprendió durante el ensayo,

El destilador se le quita el teflón en las juntas por donde tiene pérdidas y se reemplaza por Loctite fuerza baja para conexiones de gas.

10.3 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LA SEGUNDA PRUEBA

La segunda prueba se realiza en la ciudad de Medellín con panela que es un derivado de la caña de azúcar, esta es básicamente guarapo que se pone a altas temperaturas y el agua presente se evapora.

La micro planta se ensambla de la misma forma en que se hizo durante la primera prueba

10.3.1 Adquisición de la materia prima y preparación para la fermentación

La panela se compra en la plaza mayorista, se compran las terceras que es panela quebrada, se adquiere una bolsa que pesa 24 Kg y cuesta \$25000

Figura 32. Montaje para la segunda prueba



El tanque de fermentación se llena con agua hasta un 85% de su altura, la panela se parte en trozos lo mas pequeño posibles y se arrojan al recipiente, se aumenta la temperatura a 35°C y se agita manualmente hasta que no quede panela sólida, se ajusta a el pH a 4 agregando ácido sulfúrico, y se agregan 25 gr de levadura. La tapa del tanque y la trampa de fermentación se instalan, se agregan 300 ml de agua en la trampa de fermentación.

10.3.2 Fermentación

Empieza el día 5 de octubre de 2008 a las 6:00 PM, el tanque de fermentación tiene una temperatura de 35°C, al otro día el tanque a las 8:00 AM tiene una temperatura de 14°C razón por la cual la levadura se desactiva, la trampa de fermentación no presenta burbujeo, es necesario aumentar la temperatura de nuevo a 35°C la levadura se vuelve a activar y empieza el burbujeo por la trampa de fermentación.

La fermentación se deja hasta el día 8 a las 8:00 AM durante todo este tiempo se hacen revisiones periódicas de la temperatura, ya que al estar en un lugar tan frío, con techo pero sin protección del viento es muy vulnerable a que se baje la temperatura, razón por la cual durante las dos noches se hacen revisiones periódicas y se ayuda con el quemador de gas a subir la temperatura cuando esta por debajo de los 28°C.

10.3.3 Preparación para la destilación

Esta se hace se la misma forma en que se hizo para la primera prueba, empieza a las 8:00 AM y termina media hora después.

10.3.4 Destilación

La destilación empieza a las 8:30 AM del día 8 de octubre y termina a las 8:00AM del día 9 de octubre, se hace de la misma forma que en la primera prueba, el calentamiento del tanque es mas demorado porque la temperatura ambiente es menor, solo se llega a la temperatura de destilación a las 7:15 PM.

La válvula solenoide funciona perfectamente pero a las 8:30 PM la tubería de refrigeración de ¼" por donde entra el agua, se revienta, lo que requiere que se desconecte la tubería de refrigeración entre la zona de destilación y condensación y se instale la válvula en la salida de la tubería de la zona de condensación, se deja funcionando así hasta que termina el proceso de destilación.

10.3.5 Tablas y diagramas del proceso de producción de etanol

Tabla 20. Evolución de temperaturas y tareas en el tanque

TEMPERATURA EN EL TANQUE		
Tiempo (hora)	°C	Tarea
0.0	18.00	Prep. Fermentación
1.0	35.00	Fermentación
16.0	14.00	Fermentación
17.0	35.00	Fermentación
32.0	28.00	Fermentación
40.0	33.00	Prep. destilación
40.5	27.00	Destilación
51.25	79.00	Destilación
63.0	79.00	FIN

Tabla 21. Evolución de temperaturas en el destilador

TEMPERATURA EN EL DESTILADOR	
Tiempo (hora)	°C
40.0	18.00
40.5	18.00
51.25	18.00
51.416	77.00
63.0	77.00

Figura 33. Diagrama evolución de temperaturas en el tanque y en el destilador.

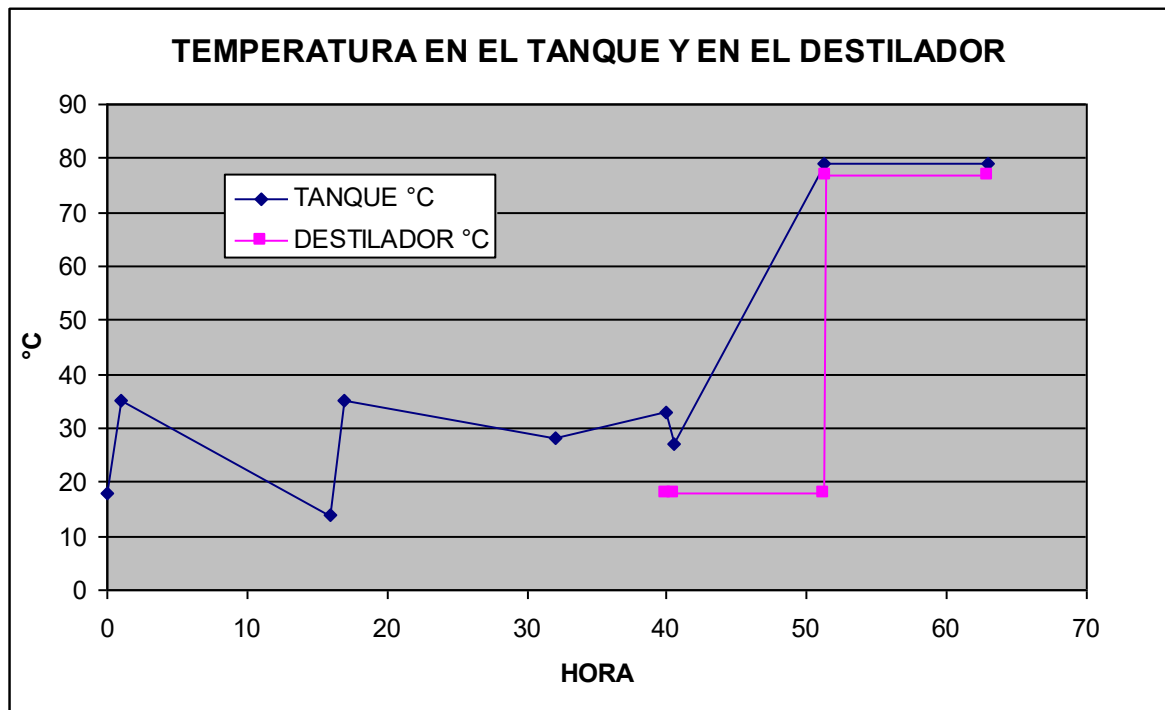
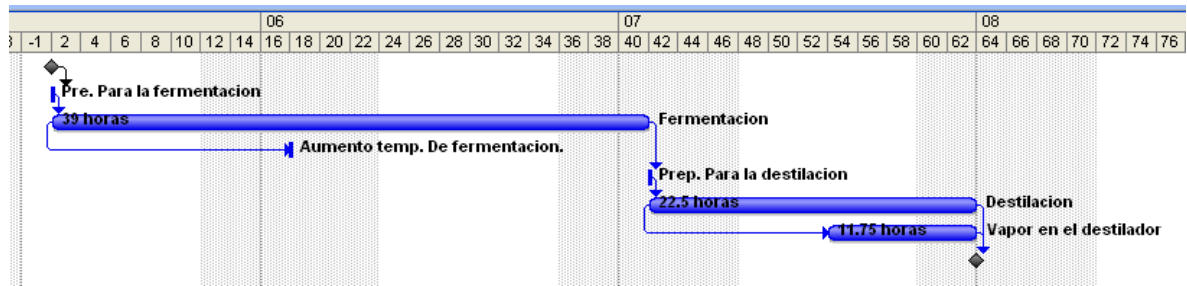


Figura 34. Diagrama tiempos de la segunda prueba.



10.3.6 Resultados obtenidos

El producto y subproductos obtenidos son sometidos a los mismos análisis que se efectuaron en la primera prueba.

El segundo bache produce 4 litros de etanol hidratado con 93% de alcohol y 7% de agua, tiene un pH de 5, por lo anterior puede ser considerado como alcohol combustible.

De agua con bajo contenido de alcohol se produce un volumen de 19 litros, se mezclan varias muestras aleatorias, el resultado muestra que contiene 15% de alcohol y 85% de agua.

El subproducto que queda en la caneca es aproximadamente 145 litros, este es arrojado a la grama como abono en forma manual.

Al final del proceso se obtiene entre producto y subproductos un total aproximado de 169 litros, lo que muestra una perdida de volumen aproximada de 11 litros comparando con el volumen al principio del proceso.

El costo aproximado teniendo en cuenta costos de la materia prima, insumos y gas propano es 7500 \$/litro, sin tener en cuenta gastos de transporte

El alcohol combustible es probado en un motor Briggs and Stratton, el cual funciona de la misma manera que lo hizo en el primera prueba.

La espectrometría realizada en la universidad arroja los resultados mostrados en el anexo B que según interpretación del analista, la grafica deja ver que hay presencia de etanol y hay un pequeño pico que no son metanol sino un contaminante que no es posible determinarlo con esta prueba, el área bajo la curva que muestra el etanol es un poco mas grande que la de la muestra anterior de 86°GL ya que esta tiene una mayor contracción de alcohol que es 93°GL

10.3.7 Mejoras y arreglos después de terminada la segunda prueba. Lo primero que se hace es arreglar la entrada de agua de refrigeración al destilador.

Se decide para la próxima prueba no usar como combustible el gas sino que se decide usar biomasa para remplazar energía no renovable por energía renovable y además realizar un calentamiento más rápido.

10.4 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE LA TERCERA PRUEBA

La tercera prueba se lleva a cabo en el municipio de San Roque los días 24, 25 y 26 de octubre, como materia prima se usa guarapo o jugo de caña de azúcar, en esta prueba se usa como combustible biomasa, aunque con esta es más difícil controlar la temperatura se puede lograr un calentamiento mas rápido.

El transporte de la micro planta de Medellín hacia San Roque se hace de la misma forma en que se hizo durante la primera prueba.

10.4.1 Adquisición de la materia prima y preparación para la fermentación

Como materia prima se utilizan 100 kg de caña de azúcar, ya que no es posible conseguir los 150 kg restantes para poder realizar el bache completo. La caña de azúcar es cortada el día viernes 24 en horas de la mañana, no es posible completar los 250KG requeridos ya que solo se encuentran 100 kg aptos para el corte.

El montaje de la micro planta termina en horas de la tarde y en la camioneta es subida la caña y llevada a un trapiche donde es molida y se obtienen aproximadamente 68 litros de guarapo.

El jugo de caña es transportado del trapiche al montaje de la micro planta de la misma forma en que se hizo para la primera prueba, como no se tiene materia prima para llenar el tanque de fermentación hasta el nivel adecuado se ajusta con agua hasta alcanzar el 85% de su capacidad.

Figura.35. Calentamiento a 34 °C con biomasa.



Se prende una pequeña cantidad de biomasa y se aumenta la temperatura a 34°C, se agita manualmente hasta que el agua y el jugo de caña queden bien mezclados, se ajusta a el pH a 4 agregando ácido sulfúrico, y se agregan 25 gr de levadura.

10.4.2 Fermentación

Empieza el día 24 de octubre de 2008 a las 7:30 PM, y termina el día domingo 26 a las 7:00 AM, se realizan las mismas inspecciones que se hicieron durante la primera prueba, es normal que se presente menos burbujeo ya que tiene tres quintas partes menos de jugo de caña que la primera vez.

La fermentación termina y se prepara para la destilación, se hace el montaje de la misma forma en que se hizo durante los dos anteriores ensayos, con la diferencia que se usa biomasa para generar el calor requerido, este montaje dura 30 minutos.

10.4.3 Destilación

Este proceso comienza el día domingo 26 a las 7:30 AM y termina el mismo día a la 1:00 PM, se prende una buena cantidad de biomasa hasta que alcanza la temperatura de destilación, cuando empieza a salir alcohol se disminuye un poco la cantidad de biomasa para que no siga aumentando la temperatura dentro del tanque pero si se mantenga.

En el momento en que se empieza a activar el sistema de refrigeración del destilador es evidente que se presenta una obstrucción ya que el flujo de agua es muy pequeño y sale a gran temperatura, se decide ayudar a mantener la temperatura ideal en el termopozo remojando las paredes exteriores del destilador y reduciendo un poco la biomasa que calienta el tanque,

Figura 36. Destilación usando biomasa



10.4.4 Tablas y diagramas del proceso de producción de etanol

Tabla 22. Evolución de temperaturas y tareas en el tanque

TEMPERATURA EN EL TANQUE		
Tiempo (hora)	°C	Tarea
0	20.00	Prep. Fermentación
0.5	34.00	Fermentación
12	28.00	Fermentación
12.5	35.00	Fermentación
36	27.00	Prep. destilación
36.5	27.00	Destilación
39	79.00	Destilación
41	79.00	FIN

Tabla 23. Evolución de temperaturas en el destilador

TEMPERATURA EN EL DESTILADOR			
Tiempo (hora)	°C	Tiempo (hora)	°C
36	19.00	39.82	79.00
36.5	19.00	40.5	80.00
39	19.00	40.66	98.00
39.16	77.00	40.98	79.00
39.5	79.00	41	77.00
39.66	95.00		

Figura 37. Diagrama evolución de temperaturas en el tanque y en el destilador.

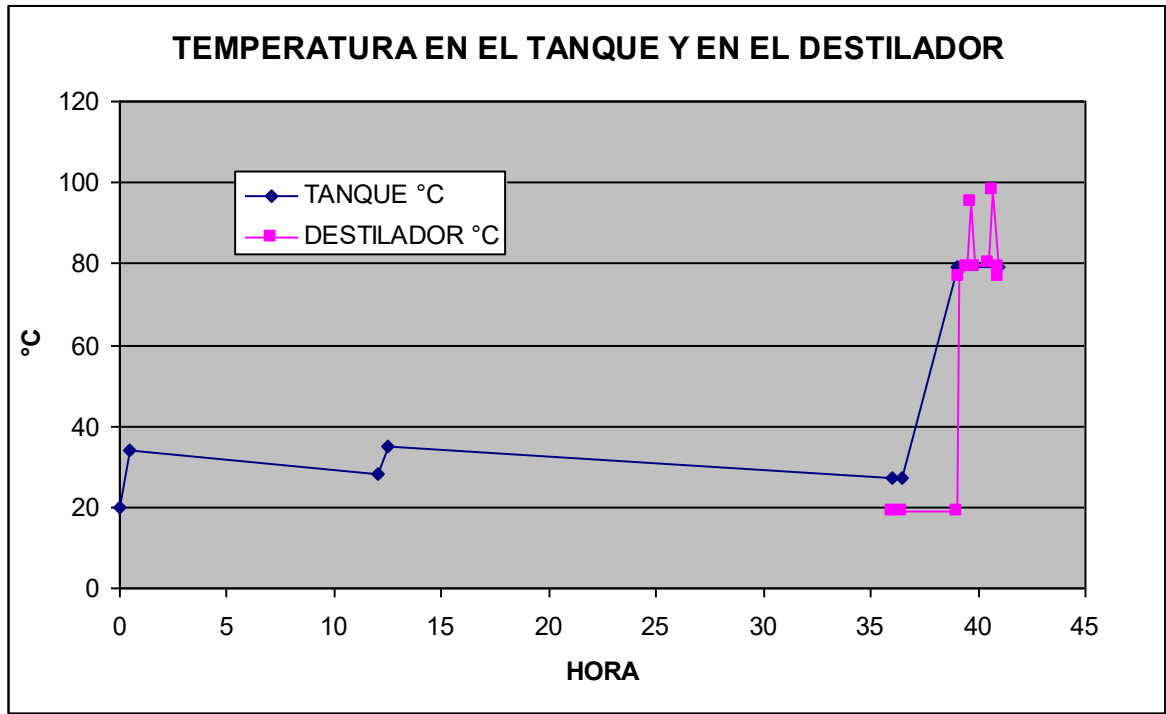
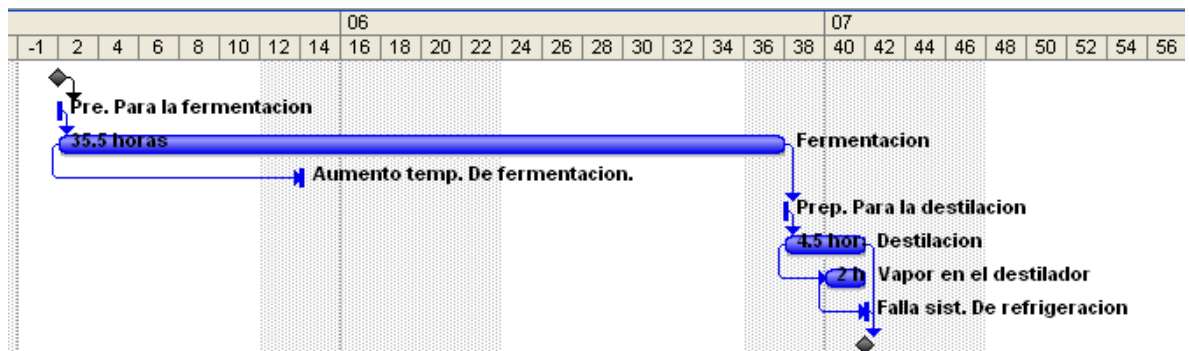


Figura 38. Diagrama tiempos de la tercera prueba



10.4.5 Resultados obtenidos

El producto y subproductos obtenidos son sometidos a los mismos análisis que se efectuaron en las anteriores pruebas

El tercer bache produce 5 litros de etanol hidratado con 66% de alcohol y 44% de agua, tiene un pH de 5, por el alto contenido de agua no puede ser considerado como alcohol combustible.

De agua con bajo contenido de alcohol se producen 15 litros, se mezclan varias muestras aleatorias, el resultado muestra que contiene 10% de alcohol y 90% de agua.

El subproducto que queda en la caneca o vinaza es aproximadamente 155 litros, este es arrojado a la grama como abono en forma manual.

Al final del proceso se obtiene entre producto y subproductos un total aproximado de 175 litros, lo que muestra una perdida de volumen aproximada de 5 litros comparando con el volumen al principio del proceso.

El costo aproximado teniendo en cuenta costos de la materia prima, insumos y gas propano es 4250 \$/litro, sin tener en cuenta gastos de transporte

El alcohol a pesar de no ser combustible es probado en un motor Briggs and Stratton, el cual no funciona debido a la gran cantidad de agua presente.

La espectrometría realizada en la universidad arroja los resultados mostrados en el anexo B que según interpretación del analista, la grafica deja ver que hay presencia de etanol, no hay metanol, ni picos que representen contaminante, como los hay en las dos anteriores pruebas, el área bajo la curva que muestra el etanol es un poco mas pequeña que la de las muestras anteriores de 86°GL y 93°GL respectivamente, ya que esta tiene una menor contracción de alcohol que es 66°GL

10.4.6 Mejoras y arreglos después de terminada la tercera prueba

Lo primero que se hace es arreglar el circuito de refrigeración del destilador, se encuentra que en la anterior reparación se dejó un pequeño residuo de masilla epoxi la cual restringe el normal flujo de agua, se extrae el objeto y se hace una prueba para verificar que el flujo de agua sea el correcto y descartar que tenga otro objeto extraño.

10.5 PODER CALORÍFICO DEL BIOETANOL PRODUCIDO

El poder calorífico del combustible es equivalente al cambio en la energía interna del agua y el calorímetro; es decir que es equivalente al cambio en la temperatura. El poder calorífico se determina así:

Fórmula poder calorífico:

$$\text{PoderCalorífico} = \frac{C(T_2 - T_1) - e_3}{m_{\text{combustible}}}$$

Donde:

- C: Equivalente en agua del calorímetro=10155.236J/°C
- T1: Temperatura del agua antes de la ignición
- T2: Temperatura en la que el sistema se estabiliza
- e_3 : Corrección por combustión del alambre = $(I_o - I_f)$
- $m_{\text{combustible}}$ = masa de combustible = 1g
- $I_f=9.63\text{J/cm}$

A cada muestra de etanol se le efectúa una prueba para determinar una aproximación del poder calorífico de acuerdo a la guía en el anexo D, y se puede comparar con el valor de 75.670 BTU/gal para etanol anhidro (DOXON2001), se utiliza un calorímetro adiabático marca Parr ref: 1341E8.

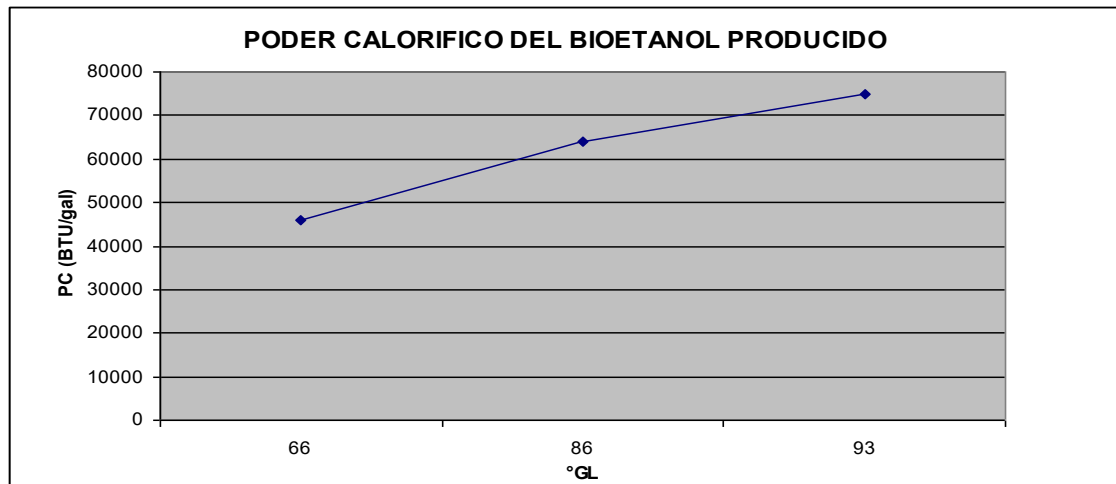
Figura 39. Bomba calorimétrica utilizada



Tabla 24. Datos y resultados del poder calorífico del bioetanol producido

Muestra	93°GL	86°GL	66°GL
T1 (°C)	23.8	27.17	26.16
T2 (°C)	26.36	29.31	27.6
Lo (cm)	9	9	6
e3 (J)	86.67	86.67	57.78
Poder calorífico (kJ/kg)	25911	21646	14566
Poder calorífico (BTU/gal)	74885	64084	46034

Figura 40. Diagrama de resultados del poder calorífico del bioetanol producido



Analizando los anteriores resultado se puede observar que el poder calorífico del bioetanol de 93°GL se aproxima al poder calorífico del etanol anhidro y entre mayor cantidad de agua tiene la muestra menor poder calorífico tiene.

11. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

El mundo y Colombia requieren energías menos contaminantes y renovables, de menor costo y que lleven progreso a más lugares, la producción de etanol hidratado es una alternativa viable técnicamente tal como lo indican los resultados de este trabajo.

La construcción de la micro planta para producción de bioetanol hidratado fue un proyecto de desarrollo tecnológico, en el cual se apropiaron y adoptaron algunas tecnologías de países, desarrollados en esta materia, como lo son USA y Brasil.

Se trataron los principios fundamentales del etanol, su uso como combustible, los mitos que existen sobre su producción y uso, el proceso para obtenerlo a partir de caña de azúcar, las características del alcohol combustible brasileño, el estado del arte y modelos constructivos donde se mostraron: las diferencias entre una micro y una pequeña planta de etanol hidratado, diferentes tipos de micro plantas que se encuentran en el mercado en algunos países, los proyectos de investigación desarrollados en Colombia y el funcionamiento de una micro planta, dando cumplimiento a los objetivos 1 y 2

De lo anterior es importante resaltar: el bioetanol hidratado es considerado alcohol combustible cuando tiene un contenido de agua igual o menor a 15% y además tiene un pH superior o igual a 4. El manejo adecuado de temperaturas es indispensable para producir alcohol con la pureza requerida en períodos de tiempo entre 30 y 40 horas. Estos fueron principales factores para elegir la construcción de una micro planta además de la capacidad de producción, de 10 a 20 litros bache.

Se evaluaron las ventajas y desventajas de diferentes opciones que se usan actualmente en países como USA y Brasil, así como también los diferentes procesos para obtención del alcohol a partir de caña de azúcar.

Se trató el diseño de la micro planta para lo cual se tuvo en cuenta: las diferentes partes e instrumentos que pueden hacer parte o utilizarse en la micro planta, así como las características de las materias primas e insumos que se utilizan, con la anterior información se escogió una propuesta que se adaptaba a los requerimientos, se dimensionaron las partes y se eligieron los materiales para la construcción, por último se calculó el costo teórico de producir el etanol en la planta, dando cumplimiento al objetivo 3.

De lo anterior es relevante que: se optó por desarrollar una micro planta con un recipiente de fermentación y evaporación de 200 litros, con su respectivos sistema de control de temperatura; el destilador se construyó teniendo como guía la propuesta de “Robert Warren”, a la cual se le hicieron modificaciones y como fuente de calor se eligió un quemador de gas, a pesar de esto la última prueba se hizo con biomasa.

La materia prima es común en algunas zonas de Colombia y se podría cosechar en tierras que se encuentran improductivas en este momento, en estos lugares se tiene suficiente experiencia en el cultivo y recolección.

Teniendo en cuenta todo lo desarrollado en los anteriores objetivos se construyó la micro planta, para lo cual se realizaron los planos necesarios, se hizo la lista de partes y se describió el procedimiento y los procesos de construcción, dando cumplimiento al objetivo 4.

Es significativo resaltar que los componentes de la planta portátil son comerciales en nuestro medio o se pueden fabricar con los recursos que se tienen, lo que reduce costos y hace posible su construcción.

Por último se trató la puesta en marcha y resultados obtenidos, para lo cual se describieron las tres pruebas que se realizaron con sus análisis de resultados, dando cumplimiento al objetivo 5

La capacidad de producción por bache esperada era entre 10 y 20 litros, mientras que la máxima que se logró, con la micro planta, fue de 7 litros, debido a varios inconvenientes que se presentaron, a la falta de experiencia en el manejo y a que solo se hizo una prueba según lo planeado, para otra se usó panela como materia prima sustituta y para la tercera se usó solo un porcentaje de guarapo el cual fue completado con agua.

Según los ensayos realizados para el proceso se requieren 250 kg de caña y se logran obtener 150 litros de vinaza que sirve como abono o suplemento alimenticio para animales, 15 litros de agua con contenido de alcohol de 14% el cual puede ser destilado de nuevo en el siguiente bache y 7 litros de etanol hidratado, los valores pueden mejorar si se hacen nuevos ensayos corrigiendo los problemas que se presentaron.

La calidad del etanol obtenido en cuanto a la concentración de alcohol a la que se quería llegar que estaba en el rango de 85°GL a 96°GL, se logró en dos oportunidades con 86°GL y 93°GL respectivamente y no se alcanzó en el tercer bache, debido a que el sistema de refrigeración del destilador presentó una falla, por lo cual se logró 66°GL.

El costo de producción por galón promedio fue \$18.800 superior al costo teórico de \$5.014, para disminuir los costos se requiere mejorar: la capacidad real por

batche, las condiciones de la materia prima, la confiabilidad del equipo, disminuir las pérdidas y hacer nuevos ensayos.

Este proyecto demuestra que producir biocombustibles, más concretamente bioetanol hidratado, se puede hacer técnicamente a pequeña escala, se requieren inversiones, y tecnologías que están al alcance local, pero es necesario realizar nuevos proyectos y estudios para hacer rentable la producción a pequeña escala.

12. RECOMENDACIONES

Un vehículo con motor a gasolina ciclo Otto puede ser convertido a alcohol combustible, es necesario si es de carburador aumentar aproximadamente en un 20% el diámetro de los boquereles y si es de inyección eléctrica multipunto o de inyección directa de combustible se requiere un “Kit. de conversión a etanol” que aumente en un 20% el pulso que llega a cada inyector, tener muy en cuenta la menor temperatura ambiente en que trabaja el motor ya que de esta depende la selección del kit de conversión, el cual puede costar entre U\$150 y U\$800 para un motor de inyección electrónica dependiendo del número de cilindros, marca y si es o no para arranques en frío a temperaturas menores a 15°C

En el mercado se pueden encontrar vehículos Flex-full los cuales pueden usar como combustible: gasolina, alcohol combustible o cualquier mezcla entre los dos, pero para que el último caso sea posible es necesario que el etanol tenga un bajo porcentaje de agua de lo contrario la mezcla presentara dos fases.

El alcohol combustible es inflamable y si es sometido a presión puede ocasionar explosiones, en micro plantas de este tipo nunca exceder presiones de 5 PSI.

El tanque de fermentación le debe rediseñar, aislándolo para reducir pérdidas y tiempo de calentamiento, u otra opción es recubrir el tanque con un conducto que dirijan los gases de escape calientes por las paredes laterales del tanque.

Usar siempre levadura turbo, resistente a la temperatura, de esta forma la fermentación se hace en períodos cortos de tiempo evitando la contaminación y por ende formación de ácido acético, también por ser resistente a la temperatura permite que el rango en que se debe mantener el tanque durante la fermentación sea mas grande.

Verificar que el etanol producido cumpla con los requisitos de pureza y pH requeridos para que sea considerado alcohol combustible y antes de usar este en un motor constatarse de que este último es apto para el uso de este combustible, de lo contrario realizar la conversión como lo recomienda las empresas de Brasil, USA o Europa especialistas en este tema,

Se debe continuar con desarrollos y pruebas que permitan una mejor estabilidad durante el proceso, para así obtener una mayor cantidad de etanol por bache y homogeneidad del producto. Se recomienda usar materia prima, con características conocidas para ello es necesario medir el contenido de azúcar en grados Brix del guarapo, de esta manera es posible comparar rendimientos entre bache y bache y se puede hacer un costeo mas preciso para cada situación.

En futuros proyectos relacionados con el tema es importante profundizar aun mas en investigación sobre la tecnología y los conocimientos que se tienen en Brasil, en lo que ellos llaman micro destilerías de alcohol combustible

BIBLIOGRAFÍA

BLUME´S, David. 2007. *Alcohol can be a gas!*. Santa Cruz, California: The International Institute for Ecological Agriculture, 2007. ISBN 9780979043789

CENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael A. *Termodinámica* - Traducido por Carlos Roberto Cordero Pedraza. México D.F.: Ed: Mc Graw Hill, 2006. ISBN: 970-10-5611-6.

CROSS, N. *Métodos de Diseño*. México D.F: Ed: Limusa Wiley, 1999. ISBN: 84-7485-211-0.

DOXON, Lynn Ellen. 2001. *The Alcohol Fuel Handbook*. Haverford, Pensilvania: Ed: Infinity Publishing, 2001. ISBN 0-7414-0646-2

KREITH, Frank y BOHN, Marck S. *Principios de Transferencia de Calor* – Traducido por Rodolfo Navarro Salas – México D.F.: Ed: Thomson Learning, 2001. ISBN: 970-686-063-0

MUNSON, Bruce R.; YOUNG, Donald F. y OKIISHI, Theodore H. - *Fundamentos de mecánica de fluidos* - Traducido por Hugo Villagomez Velásquez. USA-Iowa: Ed: Limusa Wiley, 2004. ISBN: 968-18-5042-4

NORTON, Robert L. *Diseño de maquinaria*. Los Ángeles-USA: Ed: Mc Graw, 2006. ISBN: 978-84-96426-91-7

STREET, Rudolph L. *Elementary Fluid Mechanics*. Indiana-USA: Ed: Wiley Editors, 1996. ISBN: 0-07-240233-4.

TERRA, Helder Victor. 2002. *Como construir, montar e operar uma microdestilaria de alcohol combustivel (etanol) de capacidade de 100 litros/dia*. Campos Gerais: Sociedade do Sol, 2002

WARREN, Robert 1999. *Building an Ethanol Still & Making your own Fuel* . Sacramento, California 1999

SITIOS DE INTERNET

Alambiques @. 2002. Alambiques: descripción y tipos. [En línea] 2002 [Citado el: 25 de Octubre de 2008] Disponible en:
<http://www.alambiques.com/alambiques.htm>

Alcoholinformate@.2004. Otras bebidas con alcohol. [En línea] 2004 [Citado el: 2 de Noviembre de 2008] Disponible en:
http://www.alcoholinformate.org.mx/cursos_tipps.cfm?articulo=4

Aguarani@.2007. Etanol. [En línea] 2007 [Citado el: 5 de Marzo de 2008] Disponible en:
<http://intranet.aguarani.com.br/hp/lang/espanhol/responsibility/ambiental/ambiental.PHP?nSubTopicoN2=4>

ANP@,2005. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Especificações para comercialização do Álcool Etílico Hidratado Combustível (AEHC)* [En línea] Septiembre de 2005 [Citado el: 4 de Noviembre de 2008] Disponible en: http://www.anp.gov.br/doc/audiencia_publica/Minuta_de_Resolucao_AP_9_2005.pdf

ASTURIAS@, Carlos. 1985. Free Patents Online. *Ethanol production from fermentation of sugar cane United States Patent 4560659*. [En línea] 24 de Diciembre de 1985. [Citado el: 20 de Octubre de 2008] Disponible en: <http://www.freepatentsonline.com/4560659.html>

Copersucar@. 2006. Alcohol etílico. [En línea] 2006. [Citado el: 15 de Octubre de 2008] Disponible en: http://www.copersucar.com.br/produtos/esp/alcool_etilico.asp

E85Machines@.2005. The Ethanol Hog Complete System. [En línea] 2005 [Citado el: 5 de Noviembre de 2008] Disponible en : <http://www.e85machines.com/e85.htm>

EFuel100@.2008. EFuel100 Earth's First Home Ethanol System. *Technology*. [En línea] 2008 [Citado el: 5 de Noviembre de 2008] Disponible en: <http://www.efuel100.com/t-technology.aspx>

EPA@ 2008.. US Environmental Protection Agency. *Fuel economy guide 2008*. [En línea] Octubre de 2008. [Citado el: 16 de Octubre de 2008] Disponible en: <http://www.fueleconomy.gov/feg/FEG2008.pdf>

Ethanoltech@2006. Lallemand Ethanol Technology. "*Superstart*". [En línea] 2006 [Citado el: 8 de Noviembre de 2008] Disponible en: [http://www.ethanoltech.com/PDF/"Superstart".pdf](http://www.ethanoltech.com/PDF/)

Fedebiocombustibles@.2007 .Federación Nacional de Biocombustibles. *La energía del azúcar*. [En línea] 2007 [Citado el: 1 de Noviembre de 2008] Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/energia-azúcar.html>

Hard@.2008, Hard H2o Modding and Hardware. *Radiador Pecomark AT-10* [En línea] 2008 [Citada el: 6 de noviembre de 2008] Disponible en: <http://www.hard-h2o.com/review/radiadores/pecomark-at10.html>

Heblends@ 2008. Abstract Hydrous Ethanol Blends. *General and technical FAQs*. [En línea] 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008] Disponible en: http://www.heblends.com/index.PHP?option=com_content&task=view&id=10&Itemid=25

Journeytoforever@. 2004. The Manual for the Home and Farm Production of Alcohol Fuel. [En línea] 2004 [Citado el: 10 de marzo de 2008 y el 25 de octubre de 2008] Disponible en: http://www.journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_manual/manual4-5.html

Mile@.2008 Mile Hi Distilling, *Alcohol fuel still Parts & Ethanol stills Supplies* [En Línea] 2008 [Citado el: 6 de noviembre de 2008] Disponible en: http://www.milehidistilling.com/Alcohol_fuel_still_Parts_Ethanol_stills_Supplies_s/1.htm

Minagricultura@ 2007. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. *Biocombustibles*. [En línea] 2007 [Citado el: 5 de Marzo de 2008 y el 20 de Septiembre de 2008] Disponible en: <http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>

Minminas@.2007. Ministerio de Minas y Energia de Colombia. *Proure*. [En línea] 2007 [Citado el: 5 de marzo de 2008] Disponible en: http://www.minminas.gov.co/_05256b6d006776fb.nsf/802040a04060204040e020402040c020/b621e3dcfc85da890525719d006dfb6e?OpenDocument&Highlight=2,proure

PERAFÁN@. Felipe 2007. Azúcar de caña. *La caña de azúcar*. [En línea] 2007 [Citado el: 7 de noviembre de 2008] Disponible en:
<http://www.perafan.com/ea02cana.html>

PEREIRA@. Jorge E. 2008 . Revista digital Mercadeo. *Etanol y el petroleo*. [En línea] 2008 [Citado el: 5 de marzo de 2008] Disponible en:
http://www.mercadeo.com/60_etanol_petroleo.htm

Revenoor@. 2004. Alcohol Stills. *Revenoor 25 Electric Continuous System*. [En línea] 2004 [Citado el: 6 de Noviembre de 2008] Disponible en:
<http://www.revenoor.com/merchant.ihtml?pid=28&step=4>

Running@. 2002, Running on Alcohol. *Robert Warren's true reflux still*. [En Línea] 2002 [Citado el: 6 de Noviembre de 2008] Disponible en:
http://running_on_alcohol.tripod.com/id3.html

The Alcohol Library@ 2006. Designs & Plans. [En línea] 1 de Septiembre de 2006 [Citado el: 25 de Octubre de 2008] Disponible en:
<http://distillers.tastylime.net/library/HomedistillerMirror/Org/designs.htm>

TOVAR@ Edmer 2008. Diario Portafolio. *Bioenergía cambiará mapa agropecuario de Colombia, en menos de 20 años*. [En línea], 7 de abril de 2008 [Citado el: 7 de abril de 2008] Disponible en:
http://www.portafolio.com.co/economia/economiahoy/2008-04-07/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-4075807.html

White Lightning@. 2008. Ethanol conversión Systems. *FAQ*. [En línea] 2008 [Citado el 16 de octubre de 2008] Disponible en:
http://www.e85conversionkits.net/why_ffv_ethanol/faqs.html

Wikipedia@.2002. Levadura. [En línea]. 4 de Diciembre de 2002 [Citado el: 8 de noviembre de 2008] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Levadura>

Wikipedia@.2003. Etanol. [En línea] 2003. [Citado el: 15 de Octubre de 2008] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol>

Wikipedia@.2004. Ácido Sulfúrico. [En línea]. 14 de abril de 2004 [Citado el: 8 de noviembre de 2008] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ácido_sulfurico

Anexo A. Evaluacion financiera del proyecto.

Anexo B. Planos

Anexo C. Espectrometrías

Anexo D. Guía para calcular el poder calorífico de un combustible