



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA QUÍMICA.

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

TEMA:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA RECUPERACIÓN DEL CO₂
PRODUCIDO EN LA DESTILERÍA LA FE.

LUGAR DE REALIZACIÓN:

CÍA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. (INGENIO PUJILTIC).

ASESOR INTERNO:

ING. ROBERTO DAVID VÁZQUEZ SOLÍS.

ASESOR EXTERNO:

ING. ABEL CRUZ HIDALGO.

PRESENTA:

AIRY AMAURY RINCÓN RODRÍGUEZ.

No. DE CONTROL:

12270571

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

DICIEMBRE-2016

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos:	7
GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	8
PROBLEMAS A RESOLVER.....	12
ALCANCES Y LIMITACIONES	13
FUNDAMENTO TEÓRICO	14
Alcoholes.	14
Definición.....	14
Etanol.....	15
Generalidades.	15
Composición y propiedades físico-químicas.	15
Clasificación.	16
Usos y aplicaciones.	17
Obtención del Etanol.....	17
Métodos de síntesis.....	17
Fermentación alcohólica.....	17
Materias primas para la producción de alcohol.....	18
Caña de azúcar: Melaza.....	18
Etapas para la producción de alcohol a partir de melaza	19
Tratamientos previos de la melaza	19
Calentamiento global.....	21
Gases de efecto invernadero	21

Fuentes emisoras de gases de efecto invernadero.....	22
Emisiones de los gases de efecto invernadero.....	23
Consecuencias del aumento de gases de efecto invernadero.....	25
Bióxido de carbono.....	25
Generalidades.....	25
Composición y propiedades físico-químicas.....	26
Usos y aplicaciones.....	26
Tecnología para la purificación, compresión y almacenamiento de CO ₂ en procesos de producción de etanol.....	27
MÉTODOS.....	29
Cálculo del CO ₂ teórico emitido por las tinas de fermentación.....	29
Investigación de campo.....	30
Mediciones en el área de trabajo.....	30
Mediciones de las tinas de fermentación.....	31
Diámetro óptimo para las tuberías.....	32
Tubería unida al cabezal de la tapa.....	32
Tubería recuperadora del gas producido en el área de fermentación.....	34
Diseño de las tapas.....	34
Tipo de material.....	34
Tipo de tapa.....	34
Espesor de la tapa.....	34
Tipo de unión.....	35
Diseño de las tuberías.....	35
Tipo de material.....	35
Tipo de uniones.....	35
Cantidad a usar.....	36
Accesorios.....	36

RESULTADOS	37
CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	43

INTRODUCCIÓN.

En el presente informe técnico de residencia se propone un estudio de factibilidad de la recuperación, purificación, compresión y almacenamiento del CO₂ para la Destilería La Fe del Ingenio Pujiltic ya que en la actualidad, las emisiones al ambiente de este gas producido en el área de fermentación provocan que los organismos responsables del control ambiental y seguridad en el trabajo, los multen generando así grandes pérdidas económicas hacia la empresa.

El estudio se desarrolla en dos partes, primeramente se realiza el diseño del sistema de recuperación del gas y posteriormente se hace la evaluación de los costos de inversión incluyendo el sistema de purificación, compresión y almacenamiento del gas.

JUSTIFICACIÓN.

En el área de Fermentación de la Destilería La Fe se producen alrededor de 5,600 toneladas por año de CO₂ el cual se dispersa en la atmósfera ya que las tinas de fermentación operan como un sistema abierto.

Las emisiones de CO₂ causan grandes pérdidas económicas para la empresa, ya que es regulada por dos sectores importantes para la sociedad: salud y medio ambiente. A consecuencia de lo anterior se tienen que pagar multas que éstas establecen pues existe un descontrol con las emisiones generadas.

Para disminuir las emisiones del gas es necesario captarlo; para esto se requiere diseñar un sistema de recuperación del gas, una vez recuperado, se busca comercializarlo en estado líquido a diferentes empresas que lo utilizan como materia prima o en dado caso como insumo para generarle valor. Entonces, además de reducir la emisión del dióxido de carbono, se obtendrán ingresos y se reducirán las multas económicas con sólo aprovechar una emisión contaminante y dañina para la salud.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Evaluar la factibilidad de la recuperación, purificación, compresión y almacenamiento del CO₂ que se produce en el área de fermentación.

Objetivos específicos:

- Determinar el volumen teórico de CO₂ producido en cada tina de fermentación.
- Diseñar el sistema para la recuperación de CO₂.
- Describir la tecnología para la purificación, compresión y almacenamiento del CO₂.
- Estimar los costos de inversión para la recuperación y purificación del CO₂.
- Integrar el proyecto ejecutivo y evaluarlo.

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Empresa: CÍA AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. (INGENIO PUJILTIC).

Dirección: Domicilio conocido, S/N, Colonia San Francisco Pujiltic, Municipio de Venustiano Carranza, Chiapas. C.P. 30310.

Teléfono: 01 (992) 67 5 22 23

Dirección de correo electrónico: acruz@zucarmex.com

Giro empresarial: Industrial (producción de azúcar y la fabricación de alcohol de 96 grados).

Tipo de capital: Privado.

Misión

La misión del grupo ZUCARMEX es ser cada día más productivos y aprovechar las oportunidades de negocios que se presenten en el entorno nacional e internacional, para lograr una mejor calidad de vida para todos los que somos ZUCARMEX, y crear los espacios para el desarrollo de los jóvenes que enfrentan los retos del Nuevo milenio.

Visión

Ser una empresa que invierta y participe en el proceso de desarrollo económico de nuestro país y nuestra región, además de ofrecer oportunidad y fuentes de trabajo estables a los jóvenes que constituyen la mayoría de nuestra población.

Ser líderes a nivel nacional en eficiencia, volumen de producción, calidad y servicio.

Ser líderes a nivel nacional en innovación y tecnología, respetando y protegiendo celosamente el medio ambiente.

Ser una empresa generadora de riqueza que se distribuya de la manera equitativa, a nuestros trabajadores, productores de caña y accionistas.

Ser una empresa dirigida con una perspectiva internacional, pero planificada con una visión nacionalista.

Valores

Integridad

Actuar con honestidad, responsabilidad y respeto

Colaboración

El trabajo productivo colectivo basado en trabajo de equipo y obtener los mejores resultados

Liderazgo

Visualizar el futuro y orientar el esfuerzo hacia la excelencia en el servicio y la competitividad.

Ética

Nuestro comportamiento estará siempre basado en nuestros principios y valores.

Nuestro código de ética:

Nuestra cultura ZUCARMEX cimentada en nuestros valores cumpliendo nuestra misión, promueve el crecimiento de nuestra empresa y el desarrollo de nuestros clientes, inversionistas, trabajadores, proveedores, productores de caña y la comunidad en general.

Compromisos

Colaboradores

Garantizar el respeto a su dignidad, a su individualidad y facilitar un ambiente para su bienestar y desarrollo.

Accionistas

Proporcionar una rentabilidad razonable de manera sostenida.

Proveedores

Mantener relaciones cordiales y proporcionar su desarrollo.

Clientes.

Brindar un servicio ejemplar y apoyarlos en su crecimiento y desarrollo.

Competidores

Competir en el mercado de manera vigorosa y objetiva, basándose en practicas de comercio leales.

Sociedad

Promover el fortalecimiento de los valores éticos universales. Apoyar el crecimiento económico y social de las comunidades en donde nos encontramos.

RFC de la empresa: AFE951229563

Croquis de la empresa:

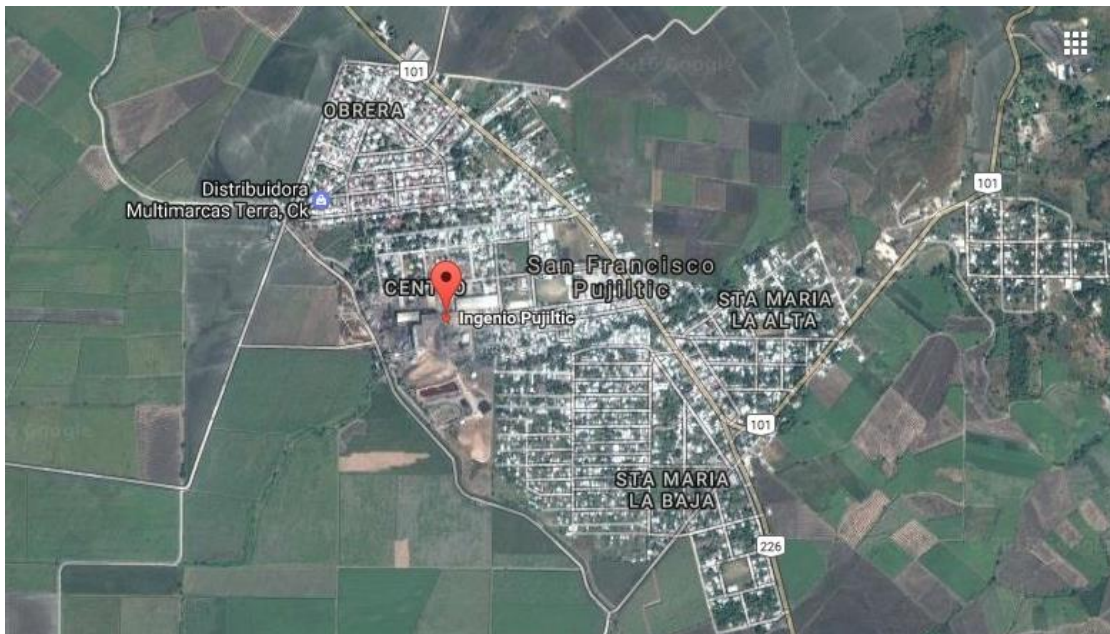


Ilustración 1 Ubicación del Ingenio Pujiltic. Fuente: Google Maps [San Francisco Pujiltic Mpio. de Venustiano Carranza].

Esta unidad industrial se encuentra en el kilómetro 46 de la carretera a Venustiano Carranza, Chiapas, la cual parte del kilómetro 1,204 de la carretera panamericana Cristóbal Colón.

Al norte con el ejido de Soyatitán

Al sur con la finca El Zapote

Al oriente con la colonia Hernández, Hernández

Al poniente con la finca el cascajal.

Descripción del departamento o área de trabajo

Nombre del departamento: Laboratorio de Alcohol y Ron.

Estructura departamental:

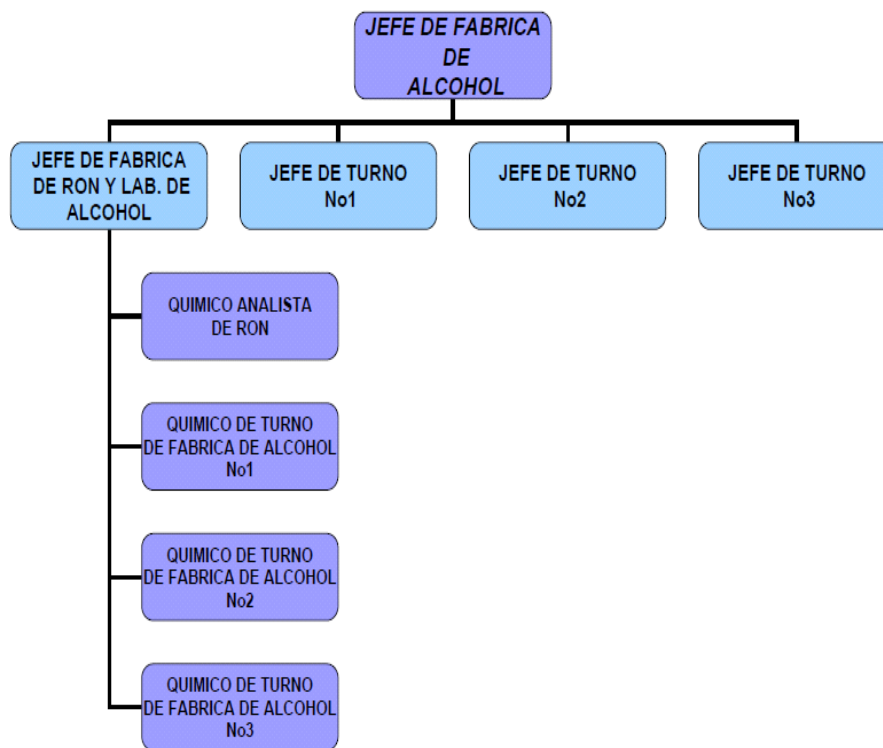


Ilustración 2 Organigrama del laboratorio de Alcohol y Ron. Fuente: Cía. Azucarera La Fe (Ingenio Pujiltic).

PROBLEMAS A RESOLVER

Este proyecto surge a partir de la necesidad de disminuir las pérdidas económicas que se generan en Destilería La Fe ya que se pagan multas por la producción y emisión del CO₂, el cual tiene como principales características ser un gas de efecto invernadero además de causar daños a la salud.

1. Control de la concentración del CO₂ generada en el área del trabajo.
2. Disminuir la emisión del CO₂ hacia el medio ambiente.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- Se realizó el dimensionamiento del área de fermentación.
- Se diseñaron las tapas para cada una de las tinas de fermentación.
- Se diseñó el sistema de recuperación del gas.

Limitaciones

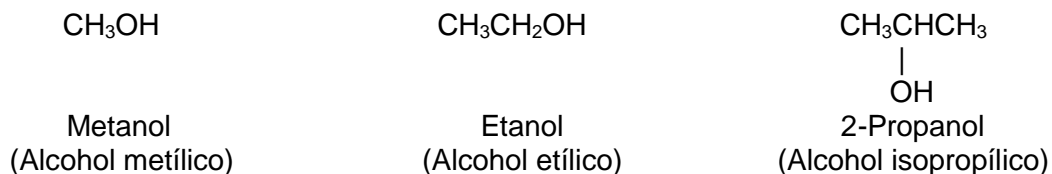
- Las tapas únicamente se fabrican sobre pedido; por esta razón no hay manera de obtener el costo unitario de la tapa.
- El espacio para la implementación de la tecnología para purificar, comprimir y almacenar el CO₂ aun no se encuentra definido y por tanto no se estableció su distribución en la destilería.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Alcoholes.

Definición.

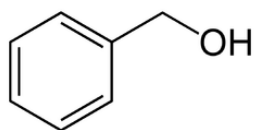
Los alcoholes son compuestos en los cuales un grupo oxhidrilo está unido a un carbono saturado. El carbono saturado puede ser un carbono o un grupo alquilo simple:



El carbono puede ser un carbono saturado o un grupo alqueno o alquino.

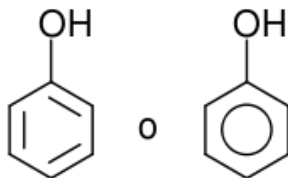


O bien, el carbono puede ser un carbono saturado unido a un anillo aromático.



Alcohol bencílico.

Los compuestos en los cuales un grupo oxhidrilo está unido directamente a un anillo bencénico se llaman fenoles.



Fenol.

Etanol.

Generalidades.

El etanol también es llamado alcohol etílico, espíritu de vino o simplemente alcohol. No se le encuentra en estado natural en grandes cantidades y las pequeñas porciones se pueden hallar, por ejemplo, en algunos frutos donde procede la fermentación espontánea de los azúcares que se encuentran en su composición (Solomons, 1981).

Composición y propiedades físico-químicas.

El alcohol es un compuesto ternario, esto es, se compone de carbono, oxígeno; su grupo funcional es el hidroxilo unido directamente a un carbono. Funde a $-117,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su punto de ebullición es de $78,35\text{ }^{\circ}\text{C}$, bajo una presión de 760 milímetros de mercurio. A los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiene una densidad de 0.7943. Es un líquido claro, incoloro, móvil; de olor aromático, reacción neutra y sabor ardiente, debido a que, por ser muy higroscópico, quita a las mucosas su humedad.

Por la acción de los ácidos, tanto orgánicos como minerales, se forman los ésteres correspondientes, los cuales, por hidrólisis, se descomponen en alcohol y en ácido.

Oxidando los alcoholes se forman aldehídos; y si la oxidación continúa, los aldehídos pasan a ácidos.

Ingerido en pequeñas dosis y diluido, primero reanima al organismo humano, pues produce excitación, pero a continuación, y mientras las dosis se repiten, ocasiona un descenso de la temperatura del cuerpo a la vez que actúa como narcótico y conduce a la embriaguez y, finalmente, a un estado de postración. Tomado puro, o diluido en grandes cantidades, es tóxico.

El alcohol etílico es soluble en el agua en todas proporciones, con desprendimiento de calor, como le ocurre a los cuerpos que tienen gran afinidad para ella (ácido sulfúrico, hidróxido sódico, cal viva, etcétera), y la mezcla resultante experimenta una contracción. Dada su gran afección por el agua, es un excelente agente para impedir las putrefacciones, pues deshidrata los tejidos sumergidos en él, a la vez que impide la disolución de los cuerpos que aquella disolvía, por ejemplo, las albuminas, las cuales coagula. De esto proviene su empleo para la conservación de preparaciones anatómicas, frutos, etc. Por tal razón es un poderoso bactericida que impide las fermentaciones.

Arde con llama azul, poco luminosa, pero muy caliente, y en estado puro se enciende el alcohol espontáneamente por la acción de los rayos del sol.

Es, después del agua, uno de los disolventes más empleados; en él se disuelven numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos, esencias, hidrocarburos, grasas, etc.

Es fuertemente polar, debido al grupo hidroxilo, y disuelve sustancias de estructura polar, como los colorantes, nitrocelulosas y resinas. Absorbe muchos gases (oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, óxido nítrico, óxido de carbono, ácido carbónico, ácido sulfuroso, etc.) en mayor proporción que el agua.

Su vapor es estable hasta los 300°. A la temperatura del rojo se descompone en hidrógeno, metano, etileno, acetileno, etc., y en contacto con polvo de zinc calentado al blanco, se convierte en etileno, y calentado al rojo oscuro, en hidrógeno, metano y óxido de carbono (Fabricación de alcohol, 1956).

Clasificación.

El alcohol etílico se presenta corrientemente al mercado bajo las formas o clases siguientes:

Alcohol sólido.

Alcohol deshidratado o absoluto, con un contenido de 99.6 a 99.8° Gay-Lussac.

Alcohol neutro o alcohol rectificado; tiene una riqueza de alcohol de 96 a 97° Gay-Lussac.

Alcohol desnaturalizado; corrientemente posee 90° Gay-Lussac.

Alcohol sólido. Como su nombre lo indica, es sólido, y las aplicaciones propias que su estado le depara y que, en ciertas ocasiones, tales como viajes, etc., presentan una mayor comodidad que el empleo del alcohol líquido. Fuera de estos casos, que podemos considerar excepcionales, no tienen mayor aplicación, pues no puede competir en precio con el alcohol de quemar, al que sustituye tan solo en las circunstancias citadas.

Alcohol absoluto, alcohol carburante. El mayor consumo que de él se hace es como carburante, pues, unido con la gasolina en ciertas cantidades, mejorará la calidad de ésta. Es miscible con ella en todas proporciones, siendo una buena composición la que resulta de mezclar de un 10 a 25 por 100 de alcohol deshidratado con gasolina que tenga un 4 por ciento de benceno.

La mezcla gasolina-alcohol deshidratado se emplea ya corrientemente como carburante en muchos países, aun en aquellos que poseen yacimientos de petróleo, pues, simultáneamente al logro de una economía de éste, se consigue una mejora en la calidad de la gasolina utilizada.

Alcohol neutro. También llamado de buen gusto, tiene en la actualidad multitud de aplicaciones. Uno de los mayores consumos que se hace del alcohol es para la preparación de licores, así como para el encabezado de los vinos de baja graduación. Igualmente se emplea en gran cantidad para fines científicos y sanitarios, y es hoy día imprescindible en sanatorios y hospitales.

Alcohol desnaturalizado. Son aquellos a los que se haya mezclado alguna sustancia extraña que los haga impropios y desagradables para la bebida y que no pueda fácilmente separarse de ellos por procedimientos físicos, químicos ni mecánicos (Fabricación de alcohol, 1956).

Usos y aplicaciones.

Se emplea principalmente como disolvente industrial de grasas, aceites y resinas. Es un antiséptico y se utiliza como desinfectante en medicina.

También se usa en mezclas anticongelantes, como combustible, como materia prima en síntesis y en la preservación de especímenes fisiológicos y patológicos. De igual manera para fabricar licores.

Industrialmente se utiliza para la obtención de acetaldehído, vinagre, butadieno, cloruro de etilo y nitrocelulosa, entre otros.

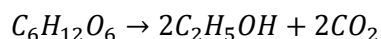
Obtención del Etanol.

Métodos de síntesis.

Gran parte del etanol se produce por hidratación de eteno (etileno) catalizada con ácidos pero también se obtiene de manera natural a través de la fermentación de ciertos azúcares.

Fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica es una bioreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la ecuación:



Las principales responsables de esta transformación son las levaduras. La *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura usada con más frecuencia.

A pesar de parecer, a nivel estequiométrico, una transformación simple, la secuencia de transformaciones para degradar la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos moléculas de bióxido de carbono es un proceso muy complejo, pues al mismo tiempo la levadura utiliza la glucosa y nutrientes adicionales para reproducirse.

El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO₂ por 1 g de glucosa. Este valor fue cuantificado por Gay Lussac. En la realidad es difícil lograr este rendimiento, porque como se señaló anteriormente, la levadura utiliza la glucosa para la producción de otros metabolitos (Vázquez & Dacosta, Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production, 2007)

Boudarel (como se citó en Vázquez & Dacosta, 2007) establece que los rendimientos en la industria varían entre 87 y 93% del rendimiento teórico.

Materias primas para la producción de alcohol.

Cualquier producto que contenga azúcares o hidratos de carbono fácilmente transformables en azúcar fermentable, almidón o celulosa, por ejemplo, pueden servir de material de partida, desde un punto de vista estrictamente teórico. Para que en la práctica se utilicen es imprescindible considerar su rendimiento en alcohol y su costo.

De las materias azucaradas se pueden mencionar los mostos y jugos de diversas frutas, remolacha y caña de azúcar, azúcar de remolacha y de caña, los productos de sus industrias de extracción (melazas), sorgo azucarado, etc.

En el grupo de las amiláceas se incluyen todos los cereales que contienen almidón (maíz, cebada, malta, trigo, avena, arroz, etc.) tubérculos y raíces que contienen almidón, inulina, etcétera, tales como papas, raíz de girasol, yuca, etc.

Referente a las materias celulósicas se encuentra la madera y sus residuos, paja, residuos agrícolas, líquidos sulfíticos residuales de la fabricación de la pasta de papel que contienen azúcares derivados de la celulosa y de las hemicelulosas por hidrólisis (Fabricación de alcohol, 1956).

Caña de azúcar: Melaza

La melaza o miel final (miel C) es un subproducto final de la elaboración del azúcar de caña. Este subproducto ha sido tradicionalmente utilizado como un sustrato adecuado y económico para la producción de etanol ya que como perteneciente a las materias

azucaradas, ésta no tiene una composición química compleja y no es necesario realizar tratamientos previos para obtener los azúcares fermentables. Fuentes con alto contenido de almidones, como por ejemplo el maíz, cebada, arroz y otros, deben ser tratadas previamente para obtener los azúcares fermentables (Larrahondo, 2013).

De acuerdo a Honig, 1974; Swan & Karalazos, 1990 (citado en Ossa 2010), la melaza es un líquido denso, viscoso de color oscuro y que contiene sales y otros compuestos solubles en álcali; es un producto final de la fabricación o refinación de la sacarosa, glucosa y fructosa procedente de la caña de azúcar; además, contienen sustancias no fermentables y melanoidinas (a base de nitrógeno), derivados a partir de la condensación del azúcar y aminocompuestos.

Etapas para la producción de alcohol a partir de melaza

Tratamientos previos de la melaza

Dilución

La altísima concentración de azúcares y sales presentes en las melazas impiden que los microorganismos puedan fermentarlas, debido a la gran presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares; asimismo, las melazas son altamente viscosas, y su manipulación es difícil en estas condiciones. Por estas razones, es necesario diluir las melazas; para ello, se les agrega agua, hasta obtener diluciones de 25° Brix o menores; a valores mayores se tiene el riesgo de inicios lentos de fermentación y contaminación bacteriana.

Adición de nutrientes

Es necesario añadir algunos elementos adicionales, con el fin de complementar los nutrientes necesarios para los microorganismos que realizarán la fermentación. Para las melazas de caña de azúcar, es necesario añadir algo de nitrógeno y fósforo.

Además hay otra serie de pretratamientos previos a la fermentación, encaminados en su mayoría a reducir compuestos suspendidos o disueltos en las melazas que pueden causar incrustaciones o bloqueo en los platos de las columnas de destilación, disminuyendo su capacidad.

Dilución previa de las melazas a 45° Brix con agua caliente, manteniendo por algunas horas una temperatura de alrededor de 70°C; esto provoca la sedimentación de una parte considerable de los sólidos suspendidos.

En lo posible usar fermentadores con fondo de pendiente inclinada, para mejorar la separación de sólidos.

Luego que el pH del caldo de fermentación se ajusta entre 4.0-5.0 (con ácido mineral diluido), se inocula con los microorganismos para iniciar la fermentación.

Fermentación

Disipación del calor

Las fermentaciones alcohólicas generan alrededor de 17000 BTU por cada 50 lb de etanol producido, aproximadamente entre la hora 10 y la hora 30 de fermentación. Para ello, es necesario diseñar un sistema de enfriamiento que disipe ese calor generado, para evitar un sobrecalentamiento del fermentador.

Manejo de la temperatura de fermentación

La fermentación alcohólica es una reacción exotérmica, provocando un aumento en la temperatura del sistema. En el caso de las levaduras, la temperatura óptima de fermentación es de 32 °C, y su temperatura óptima de reproducción es de 28 °C. Si no se tiene un adecuado sistema de enfriamiento, el aumento de la temperatura causa inhibición en el proceso de fermentación, ya que estos microorganismos no toleran temperaturas tan altas. Por lo general, las fermentaciones realizadas a temperaturas por encima de la temperatura óptima comienzan más rápido, pero asimismo disminuyen prematuramente, no llegando a completarse o tomando demasiado tiempo para ello. Además, estos incrementos favorecen el crecimiento de *Lactobacillus*, bacteria que compite con las levaduras por la glucosa, produciendo ácido láctico, este producto metabólico inhibe considerablemente la fermentación, provocando su detención o una dramática disminución.

Nivel de alcohol

El etanol inhibe el crecimiento de la levadura y la producción de alcohol en forma no competitiva, y concentraciones por encima de 110 g/L los detienen totalmente, aunque con las levaduras más tolerantes es posible una producción de etanol (más no crecimiento) con una concentración de un 20% de éste.

Destilación

Luego del proceso de fermentación, es necesario aplicar métodos de separación para obtener el etanol. La destilación es una de las más importantes operaciones unitarias empleadas en los procesos de separación. Los sistemas modernos de destilación son multi-etapa, continuos, en contracorriente y de contacto vapor-líquido que operan dentro de las leyes físicas que establecen que materiales distintos bullen a distintas temperaturas. El líquido proveniente de la fermentación se alimenta en la columna de destilación, dividiéndola en dos secciones: la sección de agotamiento (por debajo del punto de alimentación) y la sección de rectificación (por encima del punto de alimentación). El líquido desciende gradualmente por la sección de agotamiento. Al mismo tiempo, se genera vapor desde el fondo de la columna, el cual va extrayendo sucesivamente etanol del líquido descendente, enriqueciéndose con alcohol paulatinamente a medida que asciende por la columna. Finalmente, la mezcla rica en etanol se condensa y se divide en dos corrientes: el producto de cabeza y el reflujo; este último se devuelve a la cima de la columna, para suministrar el líquido requerido en la sección de rectificación (Arteaga, Carvajal, & Bolaños, 2013).

En la destilación de los líquidos alcohólicos se pueden recoger tres destilados. El primero, denominado alcoholes de cabeza, está compuesto por productos de punto de ebullición bajo, tales como aldehídos y ésteres. A continuación tenemos los alcoholes de buen gusto, que están constituidos principalmente por el alcohol etílico, y finalmente tenemos los alcoholes de punto de ebullición alto constituidos en su mayoría por los alcoholes superiores (o de cola), el alcohol amílico e insoamílico, el propílico, etc. Al conjunto de todos ellos se los llama genéricamente alcoholes amílicos o aceites fusel (Fabricación de alcohol, 1956).

Calentamiento global

Gases de efecto invernadero

Definición

Son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero (Green Facts: Facts on Health and the Environment, 2001).

El efecto invernadero es un fenómeno que ocurre en forma natural en la atmósfera. No obstante, su efecto beneficioso puede ser modificado por actividades humanas que aumentan la concentración en la atmósfera de muchos de los gases que lo producen. Por lo tanto, el hombre a través de sus actividades, es capaz de alterar un fenómeno beneficioso como es el efecto invernadero y provocar modificaciones en el clima, generando múltiples efectos en el equilibrio de los ecosistemas.

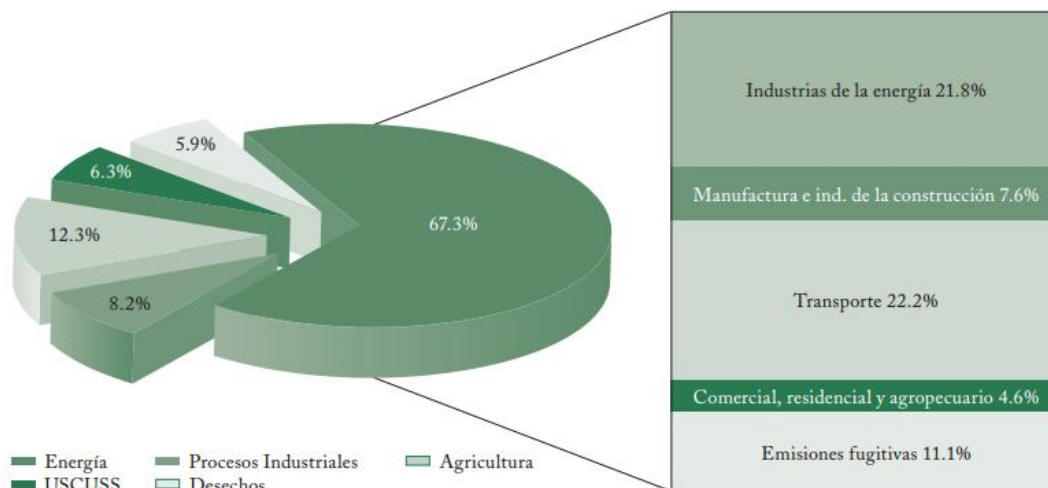
Los gases de efecto invernadero son el vapor de agua, dióxido de carbono –CO₂–, metano –CH₄–, óxido nitroso –NO₂–, hidrofluorocarbonados –HFC–, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre –SF₆– (Doménech Quesada & A. E. D. N, 2007).

El vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), y ozono (O₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Además existe en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, N₂O, y CH₄, el Protocolo de Kiyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC) (Green Facts: Facts on Health and the Environment, 2001).

Fuentes emisoras de gases de efecto invernadero.

Las actividades antropogénicas son las causantes de la producción descomunal de los gases de efecto invernadero, elevando así sus concentraciones en el medio ambiente. Algunas de estas actividades son, en términos del energía, industria generadora de energía, transporte, leña y biogás; con respecto al sector industrial se encuentran la industria química, la producción de metales, la producción de papel, alimentos y bebidas, producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruros de azufre; referido a la agricultura se encuentran la fermentación entérica, los suelos agrícolas, quema de residuos agrícolas y en la categoría de desechos se encuentran las actividades la incineración de residuos, el tratamiento biológico de desechos sólidos, entre otros.

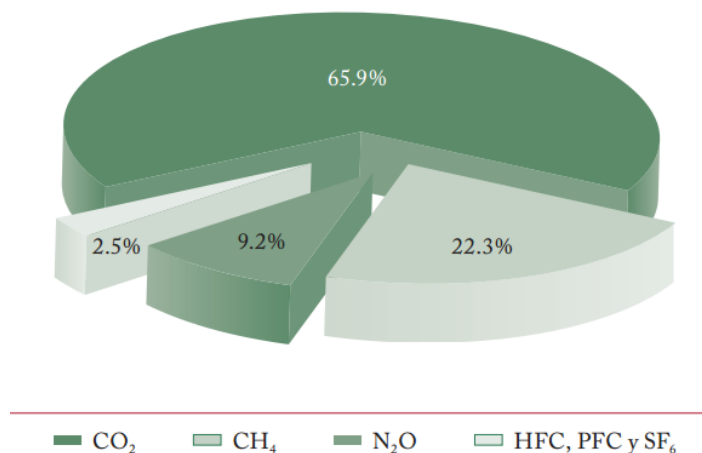
A continuación se presentan las categorías de las actividades antropogénicas antes mencionadas y su contribución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en México.



Gráfica 1 Contribución de emisiones de GEI por categoría (2010). Fuente: INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990-2010.

Como se observa en la gráfica anterior, la categoría predominante es la de Energía, principalmente por las emisiones que generan las industrias de la energía y la del transporte, 21.8 y 22.2 % respectivamente.

Emisiones de los gases de efecto invernadero



Gráfica 2 Contribución de emisiones de GEI por gas (2010). Fuente: INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990-2010.

Como se observa en la grafica anterior, en nuestro país, el gas de efecto invernadero que se genera en mayor porcentaje es el dióxido de carbono (CO₂) teniendo un valor del 65.9%, seguido del metano que tiene como porcentaje el 22.3%.

A continuación se presenta una tabla en la cual se muestran las emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero generados en México desde el año 1990 hasta el año 2010.

Tabla 1 Tabla resumen de las emisiones de GEI 1990-2010 por tipo de gas en fuente y sumideros en Gg de CO₂ eq.

Año	Emisiones de CO ₂	Absorción de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Emisiones Totales
1990	407,148.6	-8,070.7	104,325.7	56,178.7	776.5	646.8	29.6	561,035.2
1991	439,561.5	-9,415.8	102,446.7	54,998.6	901.3	306.5	32.1	588,830.9
1992	432,955.6	-10,760.9	101,189.9	54,158.2	618.6	271.0	35.9	578,468.3
1993	436,930.4	-11,356.7	105,631.5	55,633.2	1,270.1	165.5	40.2	588,314.2
1994	454,782.5	-11,952.5	107,018.3	55,847.7	1,173.7	0.0	41.1	606,910.8
1995	428,649.6	-12,548.3	105,981.3	55,428.7	1,723.1	66.9	42.6	579,343.8
1996	437,695.5	-13,144.1	111,325.0	55,441.4	3,135.9	394.3	50.2	594,898.2
1997	448,436.5	-13,739.8	113,169.7	56,217.1	3,852.1	426.0	51.7	608,413.2
1998	465,734.7	-14,335.6	115,873.4	57,453.8	4,075.9	432.4	53.1	629,287.8
1999	454,826.2	-14,931.4	117,490.1	57,285.7	5,075.5	498.6	55.0	620,299.7
2000	471,784.0	-15,527.2	118,978.6	58,142.0	5,686.2	543.3	56.9	639,663.8
2001	460,840.5	-16,123.0	117,860.1	59,667.6	4,913.8	330.7	59.8	627,549.5
2002	446,241.9	-17,091.0	120,219.9	60,722.4	5,824.6	250.4	69.8	616,237.9
2003	456,612.2	-18,058.9	123,372.1	61,358.3	5,935.5	160.5	78.0	629,457.6
2004	487,948.1	-19,026.9	123,970.0	63,329.3	6,404.8	128.4	84.2	662,837.9
2005	482,141.1	-19,994.9	132,606.8	63,589.2	8,351.1	128.4	91.4	666,913.0
2006	495,126.3	-19,617.7	142,139.6	64,694.9	12,496.9	128.4	90.9	695,059.3
2007	513,067.2	-19,240.6	147,614.3	66,448.7	14,077.7	128.4	111.9	722,207.7
2008	526,121.8	-18,863.4	158,330.2	68,332.0	15,189.5	128.4	110.1	749,348.6
2009	506,846.6	-18,486.3	165,454.4	68,602.9	14,905.4	128.4	108.1	737,559.6
2010	511,559.8	-18,109.2	166,716.4	69,140.1	18,692.3	128.4	124.4	748,252.2

Las emisiones de gases de efecto invernadero en unidades de CO₂ eq., crecieron 33.4% en el periodo 1990 a 2010. La categoría de Energía prevalece como la principal fuente de emisiones de GEI y, dentro de ésta, el transporte y la generación eléctrica predominan como fuentes clave de emisión.

El crecimiento de las emisiones de GEI en México es menor al de su economía. Entre 1990 y 2010 la economía creció a una TCMA de 2.5%, mientras que las emisiones crecieron al 1.5% anual.

Cabe mencionar que para los últimos tres años se tuvo una reducción de emisiones de CH₄ por la implementación de proyectos bajo el esquema del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) en manejo de estiércol, equivalentes a 3,388.93 Gg de CO₂ eq.; sin embargo, esta reducción no se consideró en el inventario.¹

Con las cifras obtenidas en el INEGEI 1990- 2010 se confirma que en México existen indicios de desacoplamiento entre el crecimiento económico y el crecimiento de las emisiones de GEI.

Consecuencias del aumento de gases de efecto invernadero

Como estos gases son los causantes del calentamiento global, son varias las consecuencias que pueden surgir a causa del incremento de los gases de efecto invernadero, tales como el aumento del nivel de los océanos llevando consigo la inundación de las ciudades que se encuentran al nivel del mar y además puede llevarlos a su desaparición. También pueden desarrollarse eventos climáticos extremos alterando los ecosistemas. Escasez de agua y alteración en la producción de alimentos trayendo consigo el aumento de enfermedades infecciosas.

Bióxido de carbono

Generalidades.

En la naturaleza, billones de toneladas de carbono en forma de CO₂ son emitidas a la atmosfera anualmente por medio de los procesos naturales (fuentes) y son absorbidas por los océanos y la biomasa viviente (sumideros). En la atmosfera, el carbono existe predominantemente en forma oxidada: el bióxido de carbono. Este gas forma parte del ciclo global del carbono, por lo que su destino es una función compleja de diversos procesos geoquímicos y biológicos. El tiempo de vida del CO₂ en la atmosfera es de 5 a 200 años. La mayoría de las emisiones durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil; el resto (de 10 a 30%) proviene predominantemente de los cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación (Guatecontzi & Gasca, 2004).

¹ Fuente: INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990-2010.

Composición y propiedades físico-químicas

El dióxido de carbono es un compuesto de carbono y oxígeno en proporciones de 27,3% de carbono y 72,7% de oxígeno. A presión y temperatura atmosférica, el dióxido de carbono es incoloro e inodoro.

A temperaturas y presiones debajo del punto triple (-56,6°C y 416kPa), el dióxido de carbono puede existir tanto como sólido ('hielo seco') o un gas, dependiendo de las condiciones de temperatura y presión.

A temperaturas y presiones cercanas al punto triple y por debajo de 31,1°C, el dióxido de carbono líquido y gaseoso puede existir en equilibrio en un tanque reservorio cerrado. Dentro de este rango de temperatura la presión de vapor dentro del tanque cerrado mantiene el dióxido de carbono líquido y gaseoso en equilibrio, se mantiene en una relación definida con la temperatura.

Cerca de la temperatura crítica que es 31,1°C, el dióxido de carbono no puede existir en la fase líquida a pesar de la presión.

Se disuelve en la mayoría de los líquidos casi instantáneamente. La cantidad que puede disolverse está afectada por la temperatura y la presión.

Mientras mayor es la presión, mayor cantidad de dióxido de carbono puede retener un líquido en solución. Una vez se libera la presión, el dióxido de carbono se libera con burbujeo efervescente característico de las bebidas carbonatadas al destapar las botellas. Mientras más frío se encuentra el líquido, mayor cantidad de dióxido de carbono puede mantenerse en solución.

En condiciones normales es 1,64 veces más denso que el aire. Fluye superficialmente, se asienta en la parte baja de los tanques de almacenaje, desplazando al aire (Castillo Villeda, 2011).

Usos y aplicaciones

Se utiliza tanto para formar parte del producto, así como en los procesos de preparación, para desplazar el oxígeno en tanques de almacenamiento, generando contrapresión en tanques de fermentación, desaireación de agua cervecera, desaireación de líneas, contrapresión en llenadoras de producto, etc.

Es decir llenando los recipientes y desplazando el oxígeno donde no es deseable, por producir oxidación al entrar en contacto con el producto.

Tecnología para la purificación, compresión y almacenamiento de CO₂ en procesos de producción de etanol

La recuperación de Dióxido de carbono resultante del proceso de producción de etanol constituye una tecnología simple de amplio dominio internacional, por lo que no resulta difícil su inclusión en el paquete de la destilería. Para ello se requiere del empleo de fermentadores cerrados, lo que incrementa ligeramente sus costos, lo que debe ser retribuido por los beneficios que reporta la venta de este subproducto.

A continuación se presenta el diagrama de flujo para la producción de CO₂.

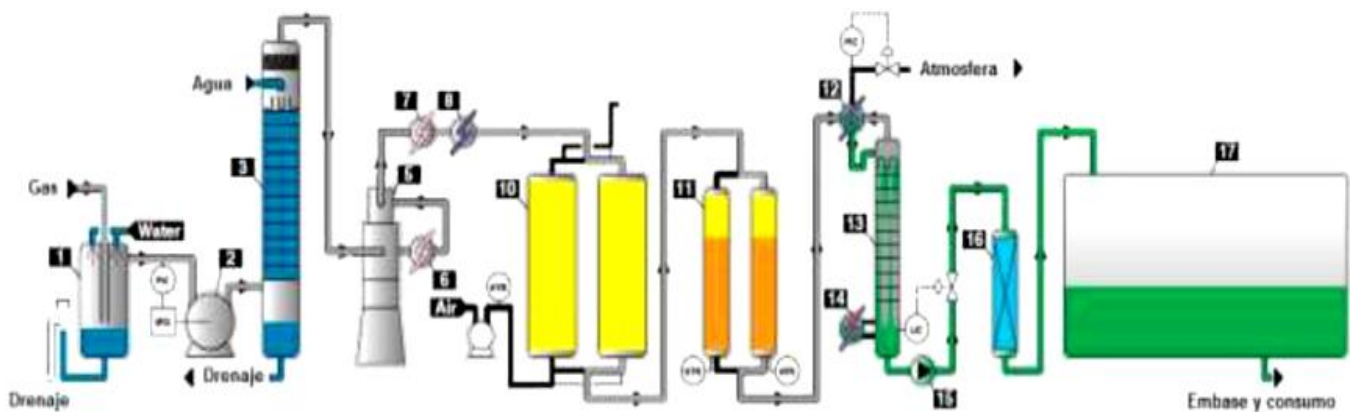


Ilustración 3 Diagrama de flujo para la producción de CO₂. Fuente: SAGARPA.

1. Trampa de espuma
2. Compresor
3. Torre de lavado o Scrubber
4. Enfriador de agua
5. Compresor de CO₂
- 6-9 Intercambiadores de calor
10. Torre de desodorización
11. Torre de desodorización y secado.
12. Condensador de CO₂
13. Columna de despojamiento
14. Reherbido
15. Bomba
16. Torre de remoción de NO₂
17. Tanque de almacenamiento de CO₂

El CO₂ proveniente de los fermentadores es enviado a un tanque trampa para la eliminación de la espuma y después comprimido para recuperar su pérdida de presión y ser lavado en un scrubber con el objetivo de eliminar componentes solubles en agua tales como alcoholes, aldehídos, etc. La reducción de los consumos de agua puede ser lograda mediante la reducción de la temperatura del agua de lavado, aunque esto conllevaría a la consideración de un chiller.

Posteriormente el CO₂ es comprimido en un compresor de doble etapa, libre de aceite, hasta la presión de 16-18 bar (g) de aquí pasa a los enfriadores donde es condensado y se remueve el agua que lo acompaña. En la torre de desodorización primaria son removidas la mayoría de las impurezas orgánicas y sulfurosas, mientras que en la segunda se remueven la que aun logren permanecer acompañando al CO₂, así como la humedad remanente.

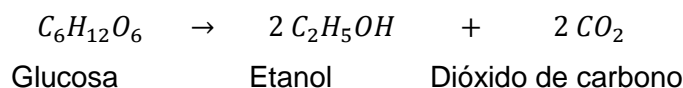
En el sistema de despojamiento/licuefacción el CO₂ es despojado de gases no condensables, tales como oxígeno y nitrógeno, para después ser embasado.

MÉTODOS

En este apartado se presentan el procedimiento de todas las actividades realizadas para llevar a cabo el presente proyecto.

Cálculo del CO₂ teórico emitido por las tinajas de fermentación.

La fermentación alcohólica se lleva a cabo por una bioreacción que degrada azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La ecuación química se presenta a continuación.



El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO₂ por 1 g de glucosa (Vázquez & Dacosta, Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production, 2007).

El área de fermentación cuenta con 5 tinajas de fermentación. Por cada tinaja de fermentación se consumen en promedio 50 toneladas de miel final con un ART (azúcares reductores totales) del 49%. La cantidad de azúcares fermentables se calcula de la siguiente manera:

$$(50,000 \text{ kg de miel final})(0.49) = 24,500 \text{ kg azúcares fermentables}$$

De la cantidad total de los azúcares fermentables, el 51.11 % equivale a la cantidad de alcohol que se produce y el 48.89% al de CO₂. Por lo tanto, del porcentaje anterior se obtienen 12522 kg de etanol. El rendimiento de producción del etanol en la Destilería La Fe es alrededor del 80% y se calcula como sigue:

$$(12522.22 \text{ kg de etanol}) (0.80) = 10,017.776 \text{ kg de etanol}$$

Conociendo la densidad del etanol al 96° G. L.:

$$\rho = 0.8125 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Se calcula su volumen

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10,017.776 \text{ kg}}{0.8125 \text{ kg/L}} = 12,330 \text{ L de etanol al } 96^\circ \text{ G.L. / Tina de fermentación}$$

Se dice que por cada 51.11 kg de alcohol producido se producen 48.89 kg de dióxido de carbono a razón de 0.7772 kg de CO₂/L de etanol.

Por lo tanto, por cada tina de fermentación se producen 9,582.5421 kg de CO₂ / Tina de fermentación.

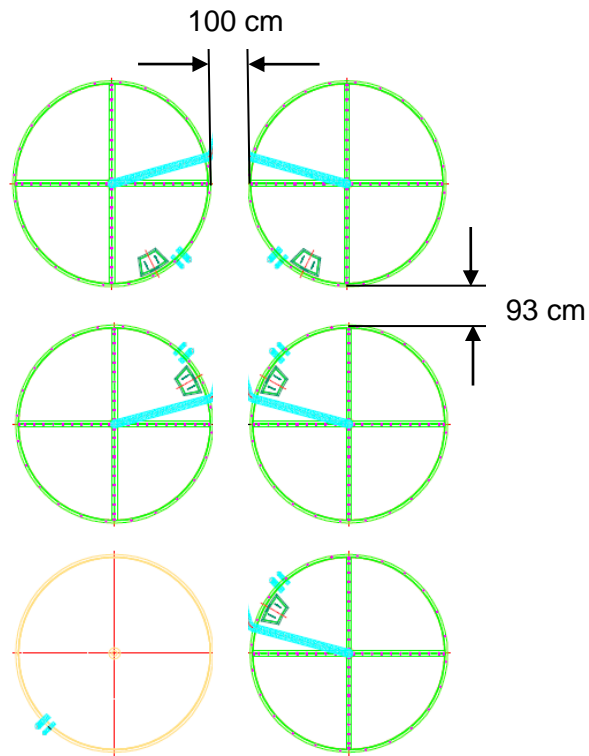
Al día se producen 60,000 L de etanol lo que equivale a 46,632 kg CO₂ / Día.

El tiempo de Zafra es de 120 días en promedio, para lo cual se producen alrededor de 7,200,000 L de etanol. La cantidad de CO₂ anual es de 5,595,840 kg CO₂.

Investigación de campo

Mediciones en el área de trabajo.

En este apartado se realizaron las mediciones necesarias en el área de fermentación, tales como la altura que existe entre las tinas y el techo, la distancia entre cada una de las tinas, y otros detalles que pueden interferir en el diseño del sistema de recuperación del gas. El dimensionamiento del área se realiza para poder definir las medidas de las tapas, las tuberías y su distribución ya que no se cuenta con mucho espacio en el área donde se está llevando a cabo el presente proyecto. A continuación se presenta el bosquejo del área de trabajo.



Tinas de fermentación. Vista planta.

Mediciones de las tinas de fermentación.

Se obtienen las medidas de las tinas de fermentación ya que de acuerdo a su diámetro interior se definirá la abertura de cada una de las tapas.

El diámetro exterior se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = P/\pi$$

Donde

D= Diámetro exterior

P= Perímetro

Y el diámetro interior se obtiene de la siguiente manera:

$$d = D - 2e$$

Donde

d= Diámetro interior

e= espesor

En la siguiente tabla se muestran las mediciones correspondientes.

Medidas de cada tina de fermentación	
Perímetro (circunferencia)	16.1 m
Diámetro exterior (Ø)	5.36828 m
Diámetro interior ()	0.01588 m
Diámetro interior del tanque (d)	5.2 m

Diámetro óptimo para las tuberías.

Tubería unida al cabezal de la tapa.

En este apartado lo que se pretende es encontrar el diámetro óptimo de cada una de las tuberías que recibirán el producido en cada tina de fermentación, es decir, habrá una tubería por cada tina de fermentación.

Con la cantidad de CO₂ producido se obtiene el flujo volumétrico del gas tomando en cuenta que el tiempo máximo de producción del gas es de 18 horas.

La producción de CO₂ que se obtuvo anteriormente está en unidad masa, por lo tanto, es necesario convertirla a unidad de volumen como se muestra a continuación:

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

Donde

V = Volumen, m³

m = Masa, kg

ρ = Densidad, kg/ m³

Densidad del CO₂ a 50 °C

$$\rho = 1.6597 \frac{kg}{m^3}$$

La conversión se hace usando la densidad del gas a 50 °C porque esa temperatura se toma como la máxima que puede llegar a alcanzar el proceso de fermentación cuando no se trabaja en las condiciones óptimas.

El flujo volumétrico se calcula como:

$$\dot{Q} = \frac{\pi v D^2}{4}$$

Donde

\dot{Q} = Flujo volumétrico, m³/h

v = Velocidad, m/s

D = Diámetro interior de la tubería, m

Posteriormente se investiga en la bibliografía la velocidad máxima permitida de los gases que debe existir en una tubería, este valor es de 30 m/s²

Después, el flujo volumétrico del gas obtenido por cada tina de fermentación se multiplica por 2, esto se hace ya que por cada línea de tuberías se recibirá el gas producido de dos tinas de fermentación, puesto que lo que se pretende diseñar una sola línea de recuperación del gas, por lo que el flujo volumétrico disponible será 2 veces la cantidad producida por cada tina.

Una vez hecho lo anterior, se calculan los valores de la velocidad haciendo variar valor del diámetro nominal de la tubería de 1 a 20 pulgadas para obtener distintos valores de la velocidad, ya que ésta es dependiente del diámetro. De esta manera se compara la velocidad obtenida en cada caso con la máxima permitida y se elige el diámetro óptimo.

La velocidad del gas se calcula como sigue:

$$v = \frac{4\dot{Q}}{\pi D^2}$$

² Dato obtenido del libro Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, Christie J. Geankoplis.

Tubería recuperadora del gas producido en el área de fermentación.

Para hacer la selección del diámetro de la tubería que recibirá el flujo del gas de las 5 tinas de fermentación el cálculo es similar al cálculo hecho anteriormente únicamente en lugar de multiplicar el flujo volumétrico por dos, se multiplica por cinco para obtener el de todas las tinas; de esta manera se selecciona el diámetro óptimo procurando no exceder de la velocidad máxima permitida que puede tener un gas.

Diseño de las tapas.

Los criterios para el diseño de las tapas fueron con base a la bibliografía y a las condiciones del área de trabajo.

Tipo de material.

El material de las tapas será de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio ya éste tiene una excelente compatibilidad con el CO₂, es decir, no reaccionan. De igual manera, su costo es bajo y posee varias características importantes tales como resistencia a la corrosión y a la tensión, es incombustible tiene baja conductividad térmica, entre otras.

Tipo de tapa.

Se eligieron tapas de tipo cónica ya que el gas se acumulará en la parte superior de la tapa y facilitará su succión hacia la tubería a la cual irá conectada. Lo anterior se definió porque que las moléculas de un gas se encuentran separadas entre sí y a consecuencia de esto, son capaces de distribirse por todo el espacio del recipiente que lo contiene.

El código ASME de la sección VIII Materiales y Recipientes Sujetos a Presión para la selección del tipo de tapa no aplica para el proceso en cuestión ya que la presión de operación que se maneja en el proceso de fermentación es alrededor de 1 atm.

Espesor de la tapa.

El espesor de la tapa cónica se calcula con base al código ASME Sec. VIII Materiales y Recipientes Sujetos a Presión. La formula es la siguiente:

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$$

$$\alpha = \frac{\text{Ángulo en el vértice}}{2} \leq 30^\circ$$

Donde:

D= Diámetro interior de la tapa del cono.

E= Eficiencia de la soldadura.

P= Presión interna de diseño.

S= Esfuerzo máximo permisible del material de la tapa a la tensión y temperatura de diseño.

t= Espesor mínimo requerido en la tapa, sin corrosión.

Tipo de unión

La tapa se unirá a la tina de fermentación con bridas (unión bridada) ya que en la destilería está prohibido soldar porque el alcohol es altamente inflamable y realizar la acción mencionada provocaría una explosión en la planta. Otra razón es porque esta unión es más económica con respecto a costos de instalación ya que es fácil de colocar.

Los detalles de las uniones bridadas para las tapas y las tuberías se basan en catálogos de compra, los cuales están basados en la norma ASME B-16.5.

Diseño de las tuberías.

Tipo de material.

El material de las tuberías también será de fibra de vidrio por las razones que se nombraron en el apartado de diseño de las tapas.

Tipo de uniones.

El tipo de unión que se usara para todas las tuberías y accesorios será bridada por las mismas razones que se mencionan anteriormente.

El tipo de brida que se usara será la brida con cuello para soldar (welding neck),

Estas bridas se diferencian por su largo cuello cónico, su extremo se suelda a tope con el tubo correspondiente. El diámetro interior del tubo es igual que el de la brida, esta característica proporciona un conducto de sección prácticamente constante, sin posibilidades de producir turbulencias en los gases o líquidos que por el circulan.

Cantidad a usar.

La cantidad de tubería que se utilizara se determina con las medidas anteriormente hechas sobre el área de trabajo y a los requerimientos.

Para la tubería de 8 pulgadas se usara un total de 11 metros y para la tubería de 14 pulgadas 15 metros.

Accesorios

Los accesorios a utilizar para el sistema de recuperación del CO₂ fueron establecidos con base en el diseño de éste.

RESULTADOS

A continuación se presentan todos los resultados correspondientes a los métodos anteriormente realizados.

Tabla 2 Diámetro óptimo de la tubería unida al cabezal de la tapa

Flujo volumétrico, m ³ /h	Diámetro, m	Velocidad, m/h	Diámetro nominal, in
3121.84933	0.0254	6,161,048.45	1
3121.84933	0.0508	1,540,262.11	2
3121.84933	0.0762	684,560.94	3
3121.84933	0.1016	385,065.53	4
3121.84933	0.127	246,441.94	5
3121.84933	0.1524	171,140.23	6
3121.84933	0.1778	125,735.68	7
3121.84933	0.2032	96,266.38	8
3121.84933	0.2286	76,062.33	9
3121.84933	0.254	61,610.48	10
3121.84933	0.2794	50,917.76	11
3121.84933	0.3048	42,785.06	12
3121.84933	0.3302	36,455.91	13
3121.84933	0.3556	31,433.92	14
3121.84933	0.381	27,382.44	15
3121.84933	0.4064	24,066.60	16
3121.84933	0.4318	21,318.51	17
3121.84933	0.4572	19,015.58	18
3121.84933	0.4826	17,066.62	19
3121.84933	0.508	15,402.62	20

Tabla 3 Diámetro óptimo de la tubería recuperadora del gas producido en el área de fermentación.

Flujo volumétrico, m ³ /h	Diámetro, m	Velocidad, m/h	Diámetro nominal, in
7804.623326	0.0254	15,402,621.13	1
7804.623326	0.0508	3,850,655.28	2
7804.623326	0.0762	1,711,402.35	3

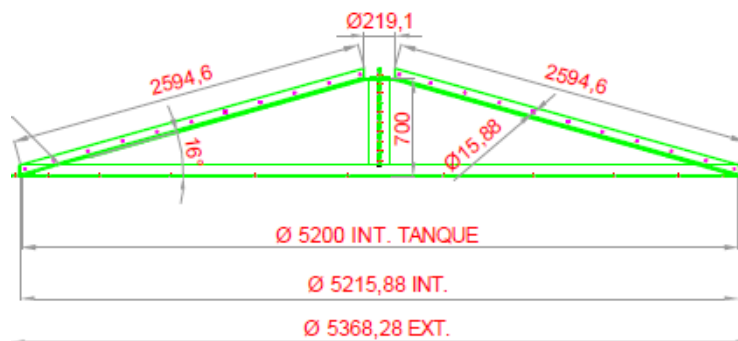
7804.623326	0.1016	962,663.82	4
7804.623326	0.127	616,104.85	5
7804.623326	0.1524	427,850.59	6
7804.623326	0.1778	314,339.21	7
7804.623326	0.2032	240,665.96	8
7804.623326	0.2286	190,155.82	9
7804.623326	0.254	154,026.21	10
7804.623326	0.2794	127,294.39	11
7804.623326	0.3048	106,962.65	12
7804.623326	0.3302	91,139.77	13
7804.623326	0.3556	78,584.80	14
7804.623326	0.381	68,456.09	15
7804.623326	0.4064	60,166.49	16
7804.623326	0.4318	53,296.27	17
7804.623326	0.4572	47,538.95	18
7804.623326	0.4826	42,666.54	19
7804.623326	0.508	38,506.55	20

Esesor de la tapa

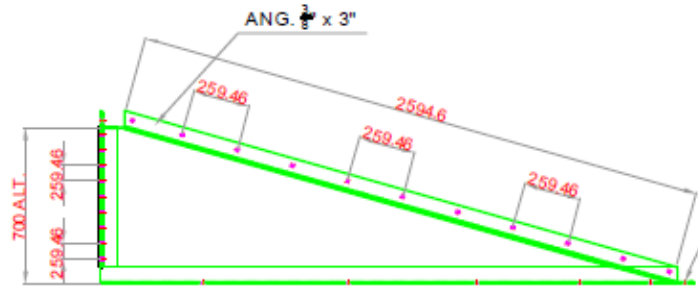
$$t = 0.14112 \text{ in}$$

El esesor anterior es el mínimo requerido para cada tina, sin embargo se propone un esesor de $\frac{1}{4}$ in considerando la instalación de las tapas y así evitar su ruptura.

Dimensionamiento de las tapas.



Vista lateral



Corte A-A'

Accesorios del sistema de recuperación del gas

Cantidad	Accesorio	Ø
5	Codo 90°	8"
3	Te	8" y 14"

Costos

Sistema de recuperación de CO₂

El costo de las tapas se puede obtener realizando directamente una cotización con el fabricante, ya que las dimensiones a las que se requieren son únicas y es importante mencionar que el material con el que deben de estar hechos es de fibra de vidrio, para el cual existen muy pocos fabricantes.

Para realizar la cotización se mandaron los planos con las dimensiones previamente establecidas. Por lo tanto, se cotizo con un único fabricante y el costo total por cada tapa es de aproximadamente \$500,000.00 incluyendo instalación y envío. Consecuentemente el costo total de las tapas seria de aproximadamente \$3,000,000.00.

De igual manera se cotizo la tecnología para la compresión del gas porque se proyecta venderlo liquido. De acuerdo a la cotización, esta tecnología cuesta alrededor de \$4,000,000.00

Para evaluar la factibilidad del proyecto se realizó un estudio económico a 10 años. Este estudio está basado en el proceso de producción del etanol a 96°. Para calcular el costo de producción se considera como materia prima la melaza. El volumen de CO₂ que se genera en un ciclo es de 5,6000,000 kg y el costo en el mercado es de aproximadamente \$25.00 el kg. La inversión del proyecto la pondrán los socios y la amortización de financiamiento se pretende realizarla en 3 años.

De acuerdo al estudio económico se obtuvieron los siguientes resultados.

Tasa de compensación o de interés= 8.93%

Índice de rentabilidad:

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	1	1.92	1.92	1.92	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95

Valor actual neto (VAN):

Año	0	1	2	3	4
VAN	-6,537,443	54,979,652	116,496,746	178,013,841	240,773,049

Año	5	6	7	8	9
VAN	303,532,258	366,291,466	429,050,675	491,809,884	554,569,092

Año	10
VAN	617,328,301

Tasa interna de retorno (TIR)= 94%

CONCLUSIONES

En el presente proyecto de residencia, el objetivo principal fue evaluar la factibilidad de la recuperación, purificación, compresión y almacenamiento del CO₂ para así aceptar o rechazar dicho proyecto. La finalidad de este proyecto es disminuir las pérdidas económicas que se generan por multas ya que el gas es un compuesto contaminante. Por ello, se evalúa su factibilidad para su implementación en la destilería La Fe del ingenio Pujilic y concluir en aceptarlo o rechazarlo.

La factibilidad se analizó con el estudio económico y se concluye que el proyecto es factible para su ejecución ya que desde el año 1 se tiene un saldo positivo, es decir, hay más ingresos que egresos, este saldo incrementa gradualmente a medida que pasan los años. De igual manera, si se analiza el estado de resultados, desde el año 1 la utilidad del ejercicio es de 47% y aumenta gradualmente hasta 48% en el año 10.

Por lo anterior, se confirma que el proyecto se puede aceptar siempre y cuando los socios estén dispuestos a invertir dicha cantidad de dinero para el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Arteaga, L., Carvajal, G., & Bolaños, O. (2013). PROCESO DE PRODUCCION DE ETANOL A PARTIR DE MELAZAS. *AUNARTECH REVISTA DE INGENIERIAS* , 41-47.

Castillo Villeda, R. (Noviembre de 2011). *RESTAURACIÓN DE RENDIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN PARA CAPTACIÓN Y PURIFICACIÓN DE GAS CARBÓNICO (CO2) EN UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS* . Guatemala.

Doménech Quesada, J. L., & A. E. D. N, C. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. España: Aenor.

Fabricación de alcohol. (1956). Barcelona: Salvat Editores, S. A.

Green Facts: Facts on Health and the Environment. (2001). Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de sitio Web de Green Facts: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/ghi/gas-efecto-invernadero.htm>

(2004). Los gases regulados por la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. En D. H. Guatecontzi, & J. Gasca, *Cambio climático: una vision desde México* (págs. 90-91). Mexico.

Larrahondo, J. E. (2013). *DEFINICION Y ALCANCES DE LA ALCOQUÍMICA: LA CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y SU IMPACTO EN EN PROCESO ALCOQUÍMICO*. Ecuador.

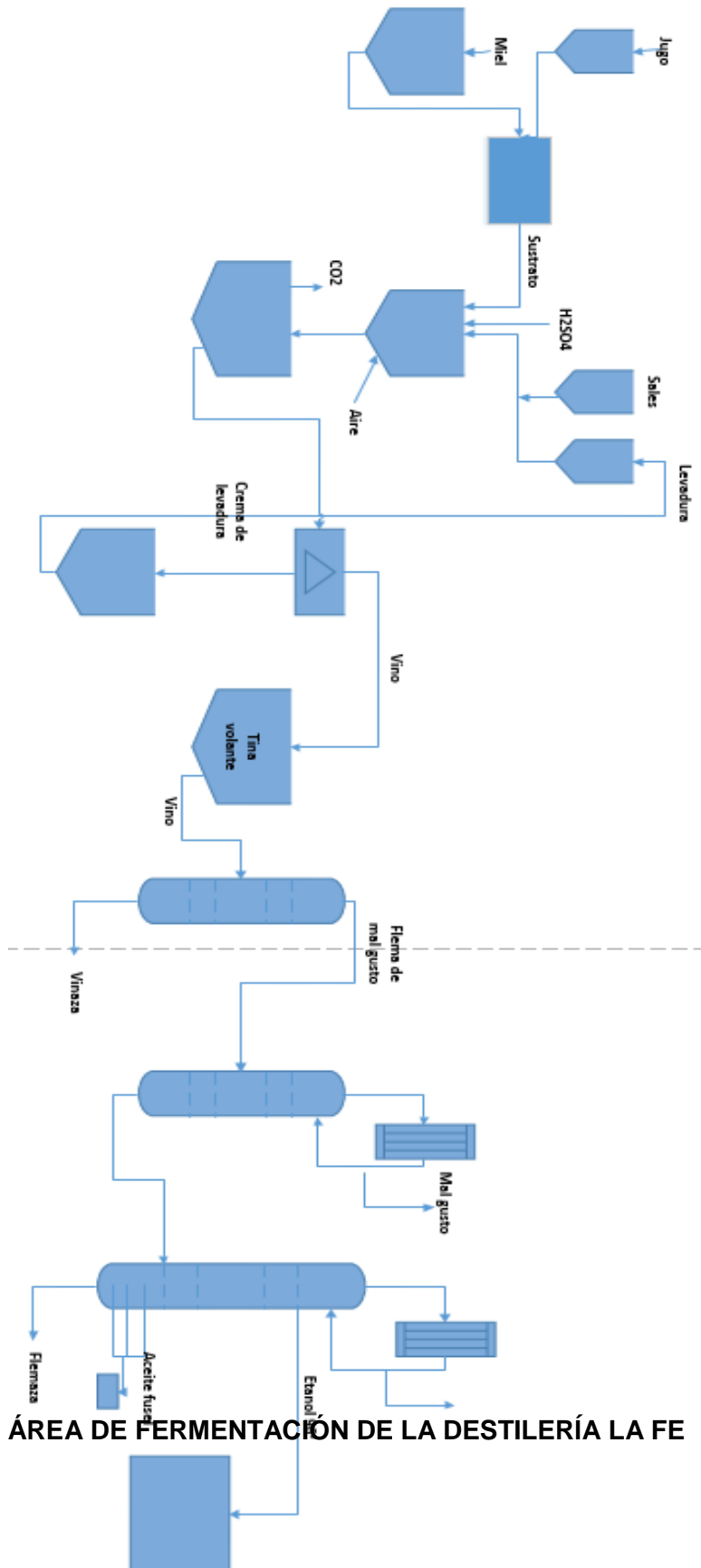
Solomons, T. W. (1981). *Química y Orgánica*. México: Limusa.

Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología* , 249-259.

Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production from agricultural residues. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología* , 249-259.

ANEXOS

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA PRODUCCION DE ETANOL



ÁREA DE FERMENTACION DE LA DESTILERÍA LA FE



Tina de fermentación operando



Producción de CO₂ en tina de fermentación