UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS

"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE BIOETANOL A PARTIR DEL SORGO DULCE EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. 2020"

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Vallejo Díaz Carlos Antonio

Asesor:
Mg. Paul Linares Ortega

Línea de Investigación:
Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel –Perú
2020

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE BIOETANOL A PARTIR DEL SORGO DULCE EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. 2019

Aprobación del Jurado

Mg. Paul Linares Ortega

Asesor

Mg. Reyes Vásquez, Wilson Dennis

Presidente del Jurado de Tesis

Mg. Vásquez Coronado, Manuel

Secretario del jurado de tesis

Mg. Arrascue Becerra , Manuel

Vocal del jurado de tesis

Dedicatoria

A mi querida familia por su apoyo incondicional y constante.

Agradecimientos

A Dios

A mi familia

A mis profesores de la “UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN”

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE BIOETANOL A PARTIR DEL SORGO DULCE EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. 2020

FEASIBILITY STUDY FOR THE INDUSTRIAL PRODUCTION OF BIOETHANOL FROM SWEET SORGHUM IN THE LAMBAYEQUE DEPARTMENT. 2020

Vallejo Díaz Carlos Antonio [1]

Resumen

El trabajo de investigación presentado en ésta tesis, tiene por objetivo principal la determinación de la factibilidad técnica económica para la Producción Industrial de Bioetanol a partir de Sorgo Dulce en el Departamento de Lambayeque, para ello se investigó sobre el mercado, sobre la ingeniera del proyecto y también se realizó un estudio técnico y económico, aplicando herramientas de la ingeniería industrial. Respecto a la metodología de la investigación, el tipo de investigación según su orientación es aplicada y según su técnica de contrastación es descriptiva, se toma como muestra al total de la población, por ser ésta limitada y pequeña; los instrumentos de recolección de datos son para la técnica de análisis documentario la hoja de análisis, para la entrevista, el cuestionario y para observación la hoja de observación.

La capacidad de la planta se diseña para 300 m3/d de bioetanol, teniendo materia prima al "sorgo dulce"; en cuanto a la ubicación de la planta industrial, ésta se localizará en la ciudad de "Lambayeque" por tener mayor disponibilidad de materia prima y también mayores facilidades en cuanto a servicios comunitarios, y del recurso humano; por su parte la tecnología que fue seleccionada para la producción a nivel industrial de bioetanol fueron los tamices moleculares por ser éstos los que requieren menor consumo energético y además presentar mayor facilidad en la operación; referente al estudio económico, los valores obtenidos en los indicadores económicos fueron de 55446739 y 137.8% para el valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno(TIR) respectivamente, lo cual evidencia una factibilidad económica.

Por todo lo anteriormente descrito líneas arriba, se concluye que la producción de Bioetanol a partir del procesamiento de sorgo dulce en el departamento de Lambayeque es factible pues existe mercado insatisfecho en el extranjero, existe disponibilidad de la ingeniería que nos permite desarrollar el proceso productivo, existe disponibilidad de materia prima, de mano de obra y demás y además el proyecto es económicamente rentable.

Palabras clave**:** *Factibilidad, Sorgo Dulce, Bioetanol*

Adscrita a la Escuela Académico profesional de Ingeniería Industrial, Pregrado Universidad Señor de Sipan . Pimentel, Perú, Email vdiazcarlosanto@crece.uss.edu.pe Código ORCID https://orcid.org/0000-0002-2365-2023

FEASIBILITY STUDY FOR THE INDUSTRIAL PRODUCTION OF BIOETHANOL FROM SWEET SORGHUM IN THE LAMBAYEQUE DEPARTMENT. 2019

Abstract

The research work presented in this thesis, has as its main objective the determination of the economic technical feasibility for the Industrial Production of Bioethanol from Sorghum Dolce in the Department of Lambayeque, for this purpose it was investigated on the market, on the engineering of the project and a technical and economic study was also carried out, applying industrial engineering tools. Regarding the research methodology, the type of research according to its orientation is applied and according to its contrast technique is descriptive, the total population is taken as a sample, as it is limited and small; The data collection instruments are for the documentary analysis technique the analysis sheet, for the interview, the questionnaire and for the observation the observation sheet.

The capacity of the plant is designed for 300 m3 / d of bioethanol, having raw material for "sweet sorghum"; As for the location of the industrial plant, it is located in the city of "Lambayeque" for having greater availability of raw material and also greater facilities in terms of community services, and human resources; on the other hand, the technology that was selected for the production of bioethanol at an industrial level was the molecular sieves because they were determined to have the lowest energy consumption and also to present greater ease in the operation; Regarding the economic study, the values obtained in the economic indicators were 55446739 and 137.8% for the net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR) respectively, which evidences an economic feasibility.

Based on the above-described lines above, it is concluded that the production of bioethanol from the processing of sweet sorghum in the department of Lambayeque is feasible because there is an unsatisfied market abroad, there is availability of engineering that allows us to develop the production process, There is availability of raw material, labor and others and the project is also economically profitable.

Key words: *Feasibility, Sweet Sorghum, Bioethanol.*

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria 3
Agradecimientos 4
Resumen 5
ÍNDICE GENERAL 7
INDICE DE FIGURAS 9
I. INTRODUCCIÓN 11
1.1. Realidad Problemática. 12
1.1.1. A nivel Internacional 12
1.1.2 A nivel Local 13
1.2. Trabajos previos. 14
1.3. Teorías relacionadas al tema. 16
1.3.1. Teorías relacionadas al Bioetanol 16
1.3.2 Teorías referidas al Estudio de Factibilidad 17
1.4. Formulación del Problema. 21
1.5. Justificación e importancia del estudio. 21
1.6. Hipótesis. 22
1.7. Objetivos 22
1.7.1. Objetivos General 22
1.7.2. Objetivos Específicos 23
II. MATERIAL Y MÉTODO 24
2.1. Tipo y Diseño de Investigación. 25
2.2. Población y muestra. 25
2.2.1 Población 25
2.2.2 Muestra 26
2.3. Variables, Operacionalización. 26
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad. 28
2.5. Procedimientos de análisis de datos 28
2.6 Aspectos éticos 28
2.7 Criterios de Rigor científico. 29
III. RESULTADOS 30
3.1. Estudio de Mercado de Bioetanol 31
3.1.1 Estudio de Oferta y Demanda 31
3.1.2 Estudio de Precios 34

3.1.3 Estudio de comercialización.....35
3.2 Estudio Técnico.....37
3.3 Estudio Económico.....63
3.3.1 Inversión Total.....67
Flujo de Caja económico.....75
1.2 Discusión de Resultados.....80
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....81
4.1 Conclusiones.....81
4.2 Recomendaciones.....82
REFERENCIAS.....83
ANEXO-1.....85
ANEXO-2.....91
ANEXO-3.....96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1Proyección de producción mundial de etanol 13
Figura 2 Principales variables en el estudio de mercado.....18
Figura 3 Símbolos empelados para representar procesos industriales 20
Figura 4 Producción mundial de etanol.....34
Figura 5 Precio del bioetanol en el mundo.....35
Figura 6 Sistema de distribución del producto 36
Figura 7 Producción de bioetanol (diagrama bloques).....40
Figura 8 producción de bioetanol (diagrama de equipos) 40
Figura 9 Diagrama de operación de procesos.....41
Figura 10 Diagrama de análisis de Procesos (DAP) 42
Figura 11 Balance masa general para Bioetanol a partir de sorgo.....45
Figura 12 Vista en planta para la instalación industrial 49
Figura 13 Temperatura, presión y flujo de entrada a Mostera.....52
Figura 14 Composición de ingreso a mostera.....53
Figura 15 Conexiones para torre mostera.....54
Figura 16 Diámetro y espaciado entre niveles.....55
Figura 17 Simulación para la batería de columnas de destilación 56
Figura 18 Balance másico en las columnas de destilación.....57
Figura 19 Organigrama propuesto para la instalación industrial 61
Figura 20 Estructuración para determinar el costo del producto 64
Figura 21Caluclo de Indicadores financieros.....**¡Error! Marcador no definido.**
Figura 22 Balance de materiales global para la planta de bioetanol. 85
Figura 23 Balance en el difusor de sorgo 86
Figura 24 Balance de materiales para la columna mostera 87
Figura 25 Balance de materiales para la columna Hidroselectora 88
Figura 26 Balance de materiales para la columna demetiladora.....89
Figura 27 Balance de materiales para la columna rectificadora 90
Figura 28 Modelo para la Grúa Hilo y para la mesa de recepción.....91
Figura 29 Modelo para el intercambiador de placas 92
Figura 30 Modelo para la centrifuga.....93
Figura 31 Modelo para los fermentadores.....94
Figura 32 Columnas destilación 95
Figura 34 Ingreso de variables de operación para la columna depuradora.....97
Figura 35 Ingreso de la composición para la corriente de entrada en la Depuradora 98
Figura 36 Ingreso de datos para la columna depuradora.....99
Figura 37 Ingreso de variables de diseño para la Depuradora.....99
Figura 38 Ingreso variables de operación para la rectificadora.....101
Figura 39 Ingreso de concentración para la columna rectificadora 102
Figura 40 Ingreso de variables de diseño para la columna rectificadora.....102

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Gastos energéticos para la producción de bioetanol 17
Tabla 2 Plantas Industriales de Bioetanol en Perú 26
Tabla 3.- Tabla de operacionalización de variables 27
Tabla 4.- Datos extrapolados de la fuente Agrdata Perú. 31
Tabla 5 Tamaño de las plantas industriales de bioetanol en el Perú 31
Tabla 6.- Proyección del consumo de gasolinas 32
Tabla 7 Proyecciones de la demanda bioetanol a nivel internacional 33
Tabla 8.-Consumo de energía según tipo de tecnología 37
Tabla 9 Azucares reductores totales para la etapa de pruebas de sorgo 43
Tabla 10 Eficiencias operativas industriales 43
Tabla 11.- Selección de la ubicación de la planta industrial 48
Tabla 12 Listado de equipos 49
Tabla 13 Variables de ingreso para la torre mostera 51
Tabla 14 Parámetros de operación para la columna mostera 51
Tabla 15.-Plan de producción anual 59
Tabla 16 Tasa según el riesgo del negocio 62
Tabla 17 Depreciación para las unidades de proceso 67
Tabla 18 Costo por unidad operativa 69
Tabla 19 Costo de terrenos y edificaciones 70
Tabla 20 Costo de materia prima al año 71
Tabla 21 Costo mano de obra directo 71
Tabla 22 Costo mano obra indirecta 72
Tabla 23 Costo de la materia prima indirecta 73
Tabla 24 Gastos administrativos 74
Tabla 25 Flujo de caja para el proyecto 76
Tabla 26 Cuota y amortización de la deuda 78
Tabla 27 Flujo de caja financiero 79
Tabla 28 Variables de diseño para Columna Depuradora 96
Tabla 29 Variables de operación para Columna Depuradora 96
Tabla 30 Variables de diseño para columna Rectificadora 100
Tabla 31 Variables de operación para Rectificadora 100

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

1.1.1. A nivel Internacional

Abril y Navarro (2012), señalan que a principios del año dos mil, no existía una opinión firme acerca del efecto invernadero, sin embargo, actualmente, ya es una realidad latente, en la que las actividades realizadas por el hombre son las causantes de la quema de hidrocarburos de origen fósil, además de ello está la depredación de bosques, la polución, contaminación ambiental entre otros.

Marulanda, et al., (2017) señalan que se evidencia una notable crisis en la industria petrolera que obliga a todos los países a buscar nuevas opciones energéticas.

Existen diversas tecnologías que pueden suplir a los hidrocarburos, entre las que resaltan la energía nuclear, hidráulica, la energía del viento, del sol; la producción de combustibles a partir de la biomasa y otras en proceso como el empleo de la fuerza del mar (Abril y Navarro, 2012).

El bioetanol mundialmente se produce por lo general mediante materias primas azucaradas, aquellas que contienen almidón y celulosa (Quintero, Montoya, Sánchez y Cardona, 2007) y los principales procesos que se dan a lo largo del proceso son la extracción del jugo, la evaporación, fermentación, destilación y la deshidratación.

También López (2014), indica que los combustibles fósiles, liberan a la atmosfera gases nocivos como monóxido y dióxido de carbono, que tienen un impacto no positivo al medio ambiente.

Abril y Navarro (2012), señalan que la utilización de granos comestibles para la fabricación de etanol, es inadmisible éticamente hablando, ya que tanto a nivel nacional como internacional mucha gente pasa hambre.

Finalmente, según la organización americana para la alimentación (FAO), la oferta de etanol en el mundo crecerá en 14%, es decir de 120 Mml en el año 2016 a 137 Mml para 2026; tal cual lo muestra la Figura 1. La razón de este incremento es debido a la producción de Brasil, EE. UU, la Republica China y Tailandia, con porcentajes de 14%, 11% y 8%, respectivamente para cada uno de ellos.

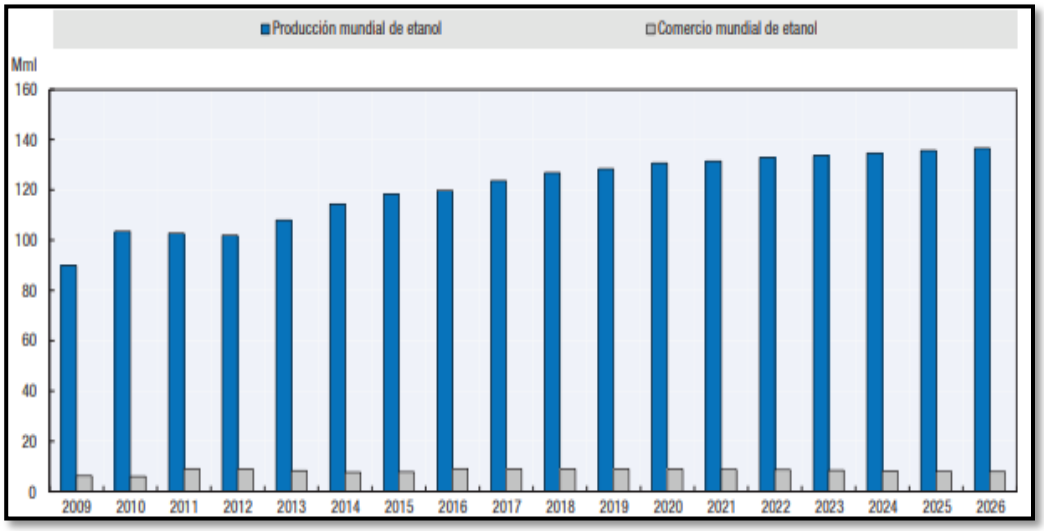


Figura 1Proyección de producción mundial de etanol

Fuente: OCDE/FAO (2017), “Perspectivas Agrícolas”

La figura n°1, muestra el incremento de la producción de bioetanol a nivel mundial y también se puede apreciar la tendencia hacia el alta.

1.1.2. A nivel Nacional

En nuestro país, la elaboración industrial de bioetanol se realiza empleando la reacción química de fermentación a partir de los azucares contenidos en el jugo de caña, empleando solo la caña de azúcar como materia prima; evitando otras alternativas no convencionales y renovables de costo bajo como lo es el sorgo dulce, el cual es ventajoso a comparación de la caña de azúcar, destacando su mayor adaptabilidad a casi cualquier tipo de suelo, menor requerimiento de agua en la fase se siembra y su menor costo.

En el departamento de Chiclayo, en el pueblo de Vista Florida y Culpon, se sembraron 1 hectárea y 10 hectáreas respectivamente, obteniéndose un rendimiento promedio de 70 Tn/ha y un periodo vegetativo de 90 días; con un costo de implementación de $ 611/hectareas (Gianella, 2007).

1.1.3. A nivel Local

Actualmente en el norte del país, en la región Lambayeque, se tiene a la empresa Agrolmos S.A. que es la única que produce bioetanol, pero siempre a partir del jugo de caña; además el proyecto contempla la fabricación y comercialización de azúcar a través de la caña de azúcar, con capacidad para moler 5,600 toneladas diarias, las cuales producirán 700 toneladas de azúcar rubia, orientadas al consumo nacional; sin embargo, al día de hoy esta instalación viene realizando pruebas y es posible producir bioetanol, pero siempre empleando la caña de azúcar.

1.2. Trabajos previos.

López, (2014), según su investigación "Evaluación con Opciones Reales para la Instalación de una Planta de Bioetanol". En dicha investigación el objetivo principal fue determinar la viabilidad técnica empleando opciones reales como la expansion de los tipos de materia prima y el cambio de tecnologia con las que se disponia, los resultados indican que expandiendo la materia prima se incrementó el valor del proyecto; con la presente investigación, se demuestra que en Mexico, la materia prima más conveniente es la caña de azucar.

Chuck, Pérez, Heredia y Serna (2011) investigo sobre "Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad", explica que la consigna es realizar la sustitución de 890 millones de litros de gasolina por el bioetanol. Evidenció en sus resultados que la conversión del almidon producen entre 350 a 400 L de bioetanol por tonelada de granos procesados; de modo tal que de la coversión del sogro dulce se obtiene jugo y material lignoceluloso con muy buenos rendiminetos de 8,000 Litros de etanol por hectarea, con una producción de 120 toneladas de sorgo por hectarea.

Según la investigación de Spanser, López y Celis, (2010) "Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta de Producción de Alcohol Carburante a partir de la Caña de azúcar en la región Loreto". Tuvieron como finalidad determinar la factibilidad técnica y económica para la producción de bioetanol a partir del procesamiento de la caña de Azúcar, en la localidad de Loreto. Obteniendo los siguientes indicadores económicos VAN: US$ 613; TIR: 79 % y B/C: 1.70. El análisis financiero arrojó valores de VAN: US$ 713.; TIR: 228%; y B/C: 1.9. Concluyeron que el proyecto, será capaz de producir 2 030

670 Litros de alcohol carburante al año, así mismo se localizará en Iquitos, se usará para la deshidratación membranas; así mismo, el proyecto requiere un monto de inversión de $ 838.400 y será financiado en 90% por COFIDE y el Banco Continental y solo el 10% será aporte de inversionistas.

Chiclayo

Muro (2017), desarrollo el Diseño y Evaluación Económica y Financiera para la Instalación de una Planta Industrial de Etanol Anhidro a partir de la Vaina de Algarroba"; tuvo como objetivo diseñar una instalación industrial para la producción de etanol empelando como materia prima la vaina de algarroba; así también evaluó tanto la parte económica como la financiera del proyecto. Sus resultados fueron respecto a la ubicación: Olmos, respecto a la capacidad nominal, ésta fue de 6698 Litros de etanol por día de operación, en cuanto a la productividad de la materia prima y del recurso humano fueron 16.5% y 260 Kg/operario, respectivamente; también obtuvo una eficiencia de 81. %, una inversión total de $ 1 551 376, por otro lado, los indicadores financieros valor fueron $ 1 783 805 y 39%. Sus conclusiones fueron que la máxima eficiencia llegará al 80%, por su parte la productividad del recurso humano fue 312 kg de etanol por cada operario. Finalmente, el estudio económico financiero arroja un VPN de US$ 1 783 803 y una tasa interna de retorno (TIR) de 39%. Recomienda también el uso de biodigestores con el fin de aprovechar la vinaza obtenida como subproducto.

Ríos, (2019), en su tesis estudio realizado en la ciudad de Piura, titulado estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de alcohol carburante a partir del sorgo dulce en la región Piura, tuvo como objetivo determinar la factibilidad para la instalación de una planta de Producción de Alcohol Carburante a partir del sorgo dulce en la región Piura. Sus resultados arrojan una capacidad productiva diaria de 200 m3 de alcohol anhidro, empleando la tecnología de los tamices moleculares, el proyecto fue rentable pues se obtuvieron valores de $ 396651.81 y 17% para el valor actual neto (VAN) y para la tasa interna de retorno (TIR). Concluye que el proyecto de la instalación industrial para la producción de alcohol carburante a partir de sorgo dulce en la región Piura es factible pues existe la tecnología necesaria, también existe una demanda insatisfecha en el extranjero y es rentable su producción.

1.3. Teorías relacionadas al tema.

1.3.1. Teorías relacionadas al Bioetanol

La palabra Bioetanol se refiere a un alcohol que se obtuvo de fuentes alternativas y no convencionales como la energía solar, eólica, biomasa, etc.; así por ejemplo la biomasa a partir de reacciones químicas es convertida en azúcares simples y éstos al ser sometidos a fermentación son convertidos en etanol y energía; este posee elevada concentración de oxígeno, (36 %); generando una combustión limpia y un mejor funcionamiento de los motores, contribuyendo a minimizar las emisiones como Co2, Co, compuestos sulfurados, etc. (Bioetanol de caña de azúcar, 2008)

La levadura empleada en la fermentación del jugo de caña es *saccharomyces cerevisiae*, debido principalmente a su resistencia a la temperatura, grado alcohólico y a la presión.

El gasto energético en cuanto a la parte térmica es considerable, pues el consumo de los kilos de vapor para producir etanol de 96° y de 99° es de 370 a 500 kg de vapor saturado por cada tonelada de caña procesada respectivamente. Por otro lado, el gasto eléctrico, oscila alrededor de 12 kilovatios por cada tonelada de caña de azúcar procesada.

Según la tabla n°1, el mayor gasto energético es del tipo térmico. Por otro lado, otra materia prima empelada comúnmente en algunos países como estados unidos es el maíz, en nuestra propuesta es el sorgo.

Después de un análisis del tipo comparativo entre el grano de maíz y la caña de azúcar, se determina que el maíz requiere mayor cuantía de fertilizantes para su procesamiento que su competencia (Pimentel y Patzek 2005).

Tabla 1 Gastos energéticos para la producción de bioetanol

Energía	Unidad	Azúcar	Bioetanol hidratado	Bioetanol anhidro
Térmica Como vapor saturado a 1,5 bar manométrico, para calentadores, evaporadores y destilería	kg/tc	470-500	370-410	500-580
Mecánica Accionamiento de los sistemas de preparación y molienda de caña y motobombas	kWh/tc	16	16	16
Eléctrica Motores eléctricos diversos, alumbramiento y otras cargas	kWh/tc	12	12	12
Fuente: Pizaia (1998).				

Fuente: Pizaia (1998).

También se pueden empelar residuos agrícolas, ya que la principal ventaja de esta materia prima es su abundancia puesto que es el más abundante en la tierra; además se tiene la gran ventaja de que como es desechado al medio ambiente tiene un costo bajo; lo cual permite reducir los costos de producción y por ende ser más competitivos (Sun y Cheng 2002).

Respecto al empleo del bioetanol, es diverso, pero destaca su empleo como combustible. El 67% del etanol es empleado como combustibles; también se usa en la fabricación de bebidas alcohólicas; sin embargo, en el Perú el bioetanol anhidro se utiliza como carburante y también es exportado a Europa.

1.3.2 Teorías referidas al Estudio de Factibilidad

1.3.2.1 Estudio de Mercado

Este estudio tiene como principal objetivo determinar la existencia de un mercado insatisfecho, estimar la cantidad de servicios y bienes que se pueden comprar y también estimar el posible riesgo que tiene el producto (Baca, 2013).

Por su parte, Sapag, 2008, indica que un objetivo importante de éste estudio es determinar los diversos canales empleados para comercializar el producto; así mismo conocer a los principales consumidores, entre otros. (Sapag, 2008).

Las principales variables del estudio de mercado son cuatro: demanda, oferta, precio y comercialización, tal cual se sintetiza en la imagen mostrada en la figura n°2.

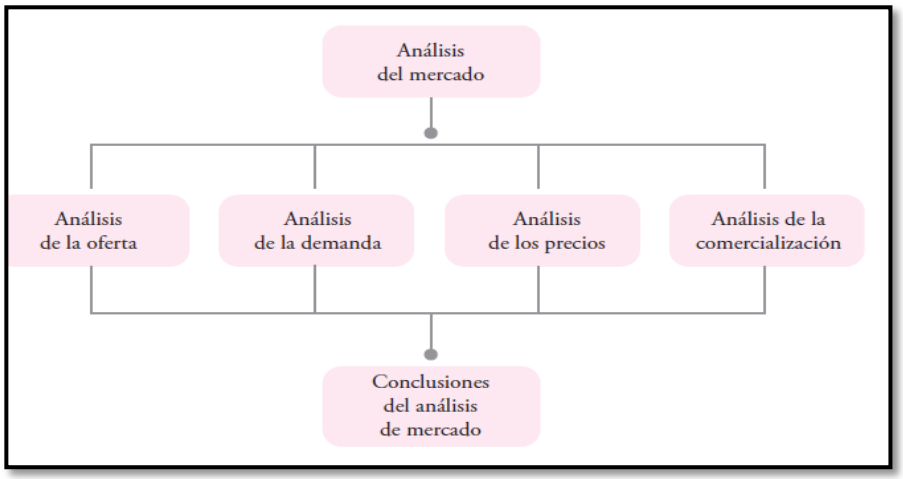


Figura 2 Principales variables en el estudio de mercado

Fuente: Sapag (2011).

1.3.2.2 Ingeniería del Proyecto

El estudio de ingeniería del proyecto tiene un gran impacto sobre la inversión; puesto que las dimensiones, tipos y marcas seleccionadas; tienen un impacto directo sobre los costos del proyecto. (Sapag, 2008).

El estudio técnico determina la producción, cuantificando y proyectando la inversión total de capital, los costos de producción, mantenimiento, puesta en marcha, así también el flujo de ingresos que lo constituyen las ventas del bioetanol, de los intermedios y finales (Sapag, 2008); además se selecciona y detalla el proceso productivo, se cuantifican las cantidades de materia y energía necesarias a través de los correspondientes balances de materia y energía, se diseña base de las unidades de operación y equipos de proceso, tal como bombas, tanques, columnas de destilación, etc. se calcula la capacidad productiva , el requerimiento del recurso humano, se selecciona la mejor ubicación, se proyecta el plan de producción, entre otros más. (Baca,2013).

El principal objetivo del estudio técnico es resolver la problemática relacionada al diseño, instalación y arranque de la planta industrial (Baca,2013).

Según Baca (2013), el tamaño de planta de una instalación industrial, es óptima cunado se obtiene un correcto funcionamiento con la menor cantidad de recursos y es a partir de la capacidad productiva que se pueden diseñar las unidades y equipos de operación tales como bombas, tanques, columnas, etc. y a la vez depende del tamaño de estos equipos la cantidad de inversión a realizar.

Sapag (2011); hace mención a diferencias relevantes entre el tipo de capacidades productivas de modo tal que la *capacidad de diseño* es la mayor capacidad productiva que se lograría tener en la instalación industrial; a diferencia de la *capacidad Instalada* que es la producción usual o más frecuente que se alcanza etc. (Sapag, 2011).

Así también, la *capacidad real* es una fracción de la capacidad instalada que se emplea, considerando los improvistos en la producción, tales como tiempo perdido, mantenimiento, reparaciones, etc. Es importante señalar que evaluar un proyecto de éste tipo, se debe considerar para efectos de cálculo la capacidad real para la determinación de los costos de operación, equipamiento y mantenimiento; pues ésta es un mejor reflejo de la realidad (Sapag, 2011).

El método Lange es teórico y se emplea para calcular la óptima capacidad productiva de una planta industrial nueva y se sustenta en la dependencia funcional de la cantidad de inversión y la capacidad productiva (Baca, 2013).

Según este fundamento se plantea la siguiente expresión:

$$\text{Costo total} = I_0(\text{C}) + \sum_{t=0}^{n-1} \frac{C}{(1+t)^t} = \text{mínimo}$$

Donde:

C: Costos de producción

Io: Inversión inicial

T: periodos considerados

Por otro lado, Montoyo (2012), afirma que el proceso productivo es una secuencia de transformación que sigue una ruta prestablecida y ordenada en donde las entradas de los factores de producción, como insumos, materias primas, materiales, habilidades, inversión, etc.; se combinan adecuadamente, para obtener productos con un valor agregado superior aplicando tecnología, mano de obra, y capital básicamente.

Por otro lado, el diagrama de flujo de procesos representa resumidamente el proceso productivo utilizando símbolos; usualmente se usa símbolos estandarizados para representar las distintas las operaciones productivas efectuadas. (Ludeña, 2018).

Significado	Símbolo
Operación	
Inspección	
Actividad combinada	
Transporte	
Almacenamiento	
Demora	

Figura 3 Símbolos empelados para representar procesos industriales

Fuente: (Díaz, Jarufe y Noriega, 2003).

1.3.2.3 Evaluación económica

La evaluación más importante y determinante es la económica; puesto que sirve para saber si el proyecto genera ventajas económicas, es decir si resulta rentable

o no; para ello se elabora el flujo de caja y se utilizan indicadores tales como el valor actual neto, (VAN) la tasa interna de retorno, (TIR) el beneficio costo (B/C) y el tiempo de recuperación de la inversión (TR); éste estudio es determinante para decisión de llevar a cabo el proyecto, pues si no es rentable económicamente entonces no se ejecuta a pesar que puede ser viable en otros aspectos como técnico, ambiental, social,etc. (Baca, 2013).

1.3.2.4 Estudio Financiero

Es similar al estudio económico, solo que contempla la deuda y los intereses de la misma; así por ejemplo cuando se pide un préstamo, se paga un interés, teniendo un efecto reductivo sobre la utilidad, pero favorable para la rentabilidad (Sapag, 2011).

1.4. Formulación del Problema.

¿Es factible producir industrialmente bioetanol a partir del procesamiento de sorgo dulce en el Departamento de Lambayeque?

1.5. Justificación e importancia del estudio.

Actualmente el uso de combustibles fósiles genera contaminación ambiental, problema álgido en nuestro planeta, al sustituir como se viene haciendo de forma paulatina a los hidrocarburos por los biocombustibles como el bioetanol, se reduce dicha contaminación ambiental; pues la combustión del bioetanol es más limpia y genera menos gases contaminantes que la combustión de los combustibles fósiles.

Según la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, (Ley 28054, 2006) desde el mes de junio del año 2006 todas las gasolinas en nuestro país, deben contener un 7,8 % de etanol, en las gasolinas regulares; convirtiéndose así en una mezcla denominada biol; de modo tal que es un requisito amparado en la ley lo cual promueve la producción y comercialización del bioetanol.

A nivel técnico, la producción de bioetanol empleando como materia prima sorgo dulce, es completamente viable, pues existe la tecnología para poder convertir los azucares en etanol, materia prima disponible, también mano de obra capacitada, así como disponibilidad de energía eléctrica y térmica, lo cual hace posible la producción a nivel industrial.

A nivel social también se obtienen beneficios, en especial para las comunidades aledañas, pues éstas se benefician indirectamente con el pago de regalías, y con el desarrollo de obras sociales.

Respecto a la importancia que tiene nuestra investigación, se puede decir el simple hecho de ampliar el tipo de materia prima empleada en la producción de etanol anhidro en nuestro país ya contribuye de forma significativa y en especial por sorgo dulce que es un material más barato que la caña de azúcar, y adicionalmente a ello consume menor cantidad de agua para su manejo en campo, y también existe disponibilidad de éste cultivo en la región Lambayeque; todas estas ventajas redundan en un menor costo del producción y por ende se tendría un menor precio de venta.

1.6. Hipótesis

La producción industrial de Bioetanol a partir del procesamiento de Sorgo Dulce en el departamento de Lambayeque, es factible, pues existe la tecnología, la materia prima, la mano de obra y demás recursos que permiten su producción a escala industrial.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivos General

Determinar en qué forma es factible para la producción industrial de Bioetanol a partir del sorgo dulce en el departamento de Lambayeque.

1.7.2. Objetivos Específicos

Realizar un estudio de oferta demanda y precio del producto

Realizar el estudio de ingeniería para el proyecto

Realizar un estudio de comercialización del producto

Realizar una evaluación económica y financiera del proyecto.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación.

La presente tesis de ingeniería desde la arista de la orientación de la investigación, calzaría como una investigación “aplicada” ya que emplea herramientas de ingeniería para determinar la factibilidad del proyecto. Por otro lado, desde la arista de su contrastación es una investigación “descriptiva”; pues no se manipulan variables (Sampieri, Fernández y baptista, 2014); sino más bien describe las variables sin manipular ninguna de ellas. Por otro lado, también es cuantitativa, ya que emplea números en su realización, tal como porcentajes, rendimientos, indicadores, etc.

En cuanto al diseño de investigación, es no experimental- transversal; pues solo se observan las dos variables y se limita a describir los fenómenos observados, sin manipular variables; se puede representar con el modelo siguiente:

	t1
y1	o1
	x1
	z1

Donde:

y1: muestra (total de instalaciones donde se produce etanol)

o1: Representa la observación

x1: es la técnica de análisis documentario

z1: Representa la entrevista

2.2. Población y muestra.

2.2.1 Población

Para nuestro caso, nuestra unidad de análisis es la planta industrial; debido a ello nuestra población, serian todas las instalaciones industriales que producen bioetanol. En nuestro país, se cuenta actualmente con tres instalaciones industriales donde se produce el bioetanol, tal como puntualiza en la tabla líneas abajo.

Tabla 2 Plantas Industriales de Bioetanol en Perú

Ítem	Instalaciones Industriales	Tamaño planta (m3/d)
1	Caña Agro Aurora (grupo Gloria)	300
2	Sucroalcolera del Chira S.A.C (grupo Romero)	420
3	Casagrande S.A.A	150

Fuente: Propia

2.2.2 Muestra

Para el caso en que la población tenga un número limitado de unidades y además resulte, accesible en su totalidad, no es necesario extraer una muestra. (Arias, 2006, pag.82).

Para nuestro caso, la población es bastante limitada y además no muy grande; pues solo son tres instalaciones industriales; por lo tanto, resulta conveniente, aplicar muestreo no probabilístico eligiendo una muestra por conveniencia de modo tal que nuestra muestra es igual a nuestra población.

2.3. Variables, Operacionalización.

Se considera como variable independiente el estudio de factibilidad propiamente dicho y como variable dependiente la Producción de Bioetanol .

Tabla 3.- Tabla de operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Sub-Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Dependiente: Viabilidad de la Producción de bioetanol	Económica	% Rentabilidad Económica	VPN	Análisis documentario	Hoja de análisis/Cuestionario
			TIR		
			TR		
	Financiera	% de Rentabilidad Financiera	VPN		
			TIR		
			TR		
	Ambiental	Efluentes vertidos	m3/h	Observación /Entrevista	Hoja de observación/Cuestionario
Independiente: Estudio de Factibilidad	Mercado	Oferta de bioetanol	m3 bioetanol producidos/año	Análisis Docum. /Entrevista	Hoja de análisis/ cuestionario
		Demanda de bioetanol	m3 bioetanol demandados/año	Análisis Docum. /Entrevista	Hoja de análisis/ cuestionario
	Ingeniería	Tamaño planta	m3 bioetanol/día	Análisis Documentario	Hoja de análisis
		Distribución de Planta.	N° equipos/m2		
		Diseño equipos	Potencia, área, dimensiones		
		Balance Materiales	Consumo sorgo/día		
	Costos y Presupuestos	Costo de Produccion	Costo directo	Análisis Docum./Cálculos	Hoja de análisis
			Costo Indirecto		
		Gastos	Administración y Ventas		
	Estados Financieros	Estado de Resultados	Ganancia		
		Flujo de Caja	Efectivo resultante		

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

Las técnicas empleadas para recopilar información referida al estudio de investigación realizado son diversas, entre las que destacan la observación, la entrevista y el análisis documentario, la observación se emplea en la visita realizada a la planta de Bioetanol Agroaurora; la entrevista, ésta se aplica a profesionales técnicos con experiencia en el rubro de biocombustibles para recopilar información relevante como condiciones de operación, rendimientos, problemática entre otros relacionados con la producción de Bioetanol.

Por otro lado, para el análisis documentario, se realiza la investigación bibliográfica de fuentes relacionadas con el estudio de factibilidad y con la producción de bioetanol.

En cuanto a los instrumentos empleados, se tiene que para el caso del análisis documentario el instrumento empleado fue la hoja de análisis, para el caso de la de la entrevista se aplicó el cuestionario y para la observación se aplica la hoja de observación.

2.5. Procedimientos de análisis de datos

Al ser nuestra investigación, no probabilística no se realiza un análisis de datos estadísticos. Los datos obtenidos han sido procesados con el apoyo del Word 2015 y del Excel 2015.

2.6. Aspectos éticos

En nuestra investigación se consideran los siguientes aspectos éticos.

En lo referido a la **originalidad**, se respetó el derecho del autor, consignando las citas bibliográficas a lo largo de toda la investigación; por otro lado, la **veracidad** de la información presentada en la presente investigación se sustenta en el empleo de literatura especializada referida al tema de estudio de factibilidad y producción industrial de bioetanol; la cual se detalla en las referencias bibliográficas. Finalmente, en lo relacionado

con la **confidencialidad,** no se menciona ningún tipo de información personal de las personas que aportaron opiniones y data relevante para la investigación.

2.7 Criterios de Rigor científico.

Para determinar la confiabilidad empleamos el coeficiente de “Alfa de combach”. Para la validez, de los instrumentos empleados en el presente trabajo de investigación se recurre al juicio de expertos en la materia, para nuestro caso serán profesionales con experiencia en el sector de los biocombustibles.

La **confiabilidad** se da porque Tenemos una certeza que los instrumentos de investigación y las técnicas han contribuido durante la investigación y la **Validez Interna y Externa** se logra debido a que el cronograma de investigación científica se ha corroborado el material de información al detalle con la empresa.

III. RESULTADOS

3.1. Estudio de Mercado de Bioetanol

3.1.1 Estudio de Oferta y Demanda

3.1.1.1 Consumo de Etanol en el Perú

A partir de los datos de consumo que se tiene en el parque automotor, se estima la cantidad de bioetanol demandada a nivel nacional; la data es recogida de las estadísticas del portal agrodataperu, 2019.

Tabla 4.- Demanda de Etanol en millones de barriles/día

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MBD	1.61	1.63	1.58	1.48	1.49	1.46	1.44	1.41	1.4	1.38	1.36	1.31	1.21	1.30

Fuente: AGRODATA PERU, 2019

Según la tabla n°4, el requerimiento de bioetanol en el Perú para el 2020 es de 1.30 millones de barriles al día, equivalentes 204 metros cúbicos por día.

3.1.1.2 Oferta actual en el mercado Interno

En la actualidad la producción de bioetanol, proviene de tres plantas productoras, dos de ellas localizadas en el norte del país, dos de ellas ubicadas en el departamento de Piura y la otra en el departamento de la libertad.

Tabla 5 Tamaño de las plantas industriales de bioetanol en el Perú

N°	Instalaciones Industriales de Bioetanol	Tamaño de Planta (m3/d)
1	Sucroalcolera del Chira S.A	350
2	Agrourora S.A.C	400
3	Casagrande S.A.A	200

Según de la tabla n° 5 se tiene que la oferta total a nivel nacional es de 950 m3/d.

En suma, el estudio de mercado nos evidencia que a nivel nacional existe un superávit mientras que a nivel internacional existe un déficit, el cual es un mercado atractivo para ser cubierto, de los 950 m3/d obtenidos en nuestro país, solo 204 m3/d, se consumen en nuestro país y el resto alrededor de 746 m3/d, se exportan a Europa.

3.1.1.3 Consumo de Bioetanol a nivel internacional

El consumo de bioetanol se relaciona con el consumo de gasolinas en el parque automotor; de modo tal que, si las gasolinas tienden al alza, entonces, el bioetanol también lo hará; tal como lo evidencia la tabla n°6.

Tabla 6.- Proyección del consumo de gasolinas

Pais/región	Consumo (Gl)en 2005	Consumo (Gl) en 2030
USA	528 (43.5%)	746 (38.8%)
EU-25	164 (13.5%)	126 (6.6%)
Japan	61 (5.0%)	71 (3.7%)
China	53 (5.2%)	166 (8.7%)
ROW-BR	378 (31.2%)	771 (40.0%)
Brazil	18 (1.5%)	43 (2.2%)
World	1,213	1,924

Fuente: Walter y Colaboradores (2007).

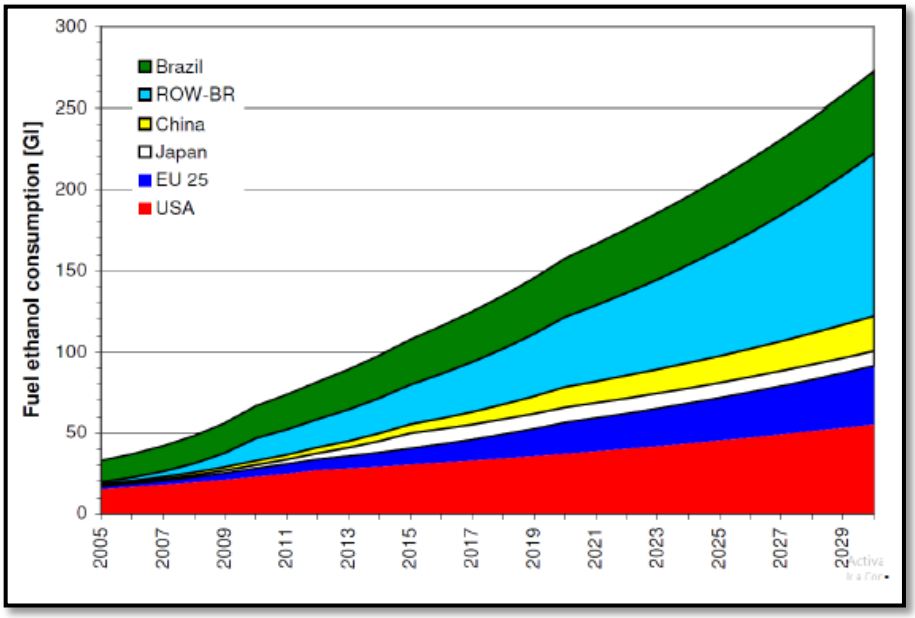
Teniendo como punto de partida los datos de la tabla n°6, se proyecta la demanda de bioetanol, asumiendo un porcentaje del 10% en la mezcla con la gasolina regular; obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7 Proyecciones de la demanda bioetanol a nivel internacional

País	Consumo (GL)	Consumo (GL)
	2005	2031
EE:EE	15	55
Europa	1.7	38
Japón	0.6	9.5
Republica China	1	27
Row -Br	1.4	102
Brasil	13.4	60
Mundo	33	273

Fuente: Walter y Colaboradores (2007).

Según la información de la tabla °7, en el año 2031el bioetanol demandado mundialmente será 270 000 millones de litros y para el año 2020 será 150 000 millones de litros; cifras bastante significativas.



3.1.1.4 Oferta en el mercado Externo

La organización americana para la alimentación (FAO-2017), realizó estudios, en los cuales se concluye que la oferta mundial de bioetanol, subirá de 120 millones de litros en el año 2016 a 138 millones de litros para el año 2026; además precisa que el 60% de este incremento se deba a Brasil.

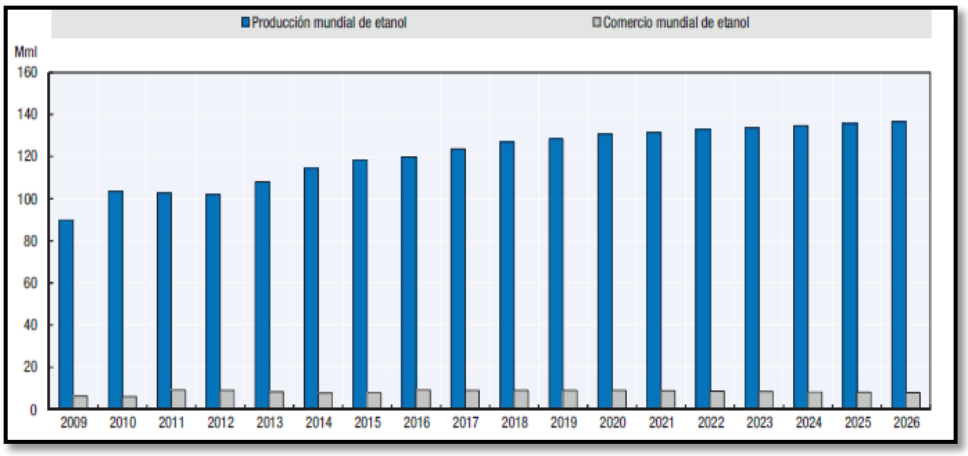


Figura 4 Producción mundial de etanol

Fuente: OCDE/FAO (2017).

La figura n°4, evidencia que para el año 2020 la oferta a nivel mundial será de 130 000 millones de litros de Bioetanol.

3.1.1.5 Demanda Insatisfecha

La demanda no cubierta nivel internacional, se determina restando la oferta obtenida y la demanda requerida mundial; de modo tal que, en el año 2020, la producción bordeará los 130 000 millones de litros, mientras que el consumo será aproximadamente 150 000 millones de litros de etanol; lo que genera un déficit de alrededor de 20 mil millones de litros de etanol a cubrir a nivel internacional.

3.1.2 Estudio de Precios

El precio del etanol generalmente se incrementa con el pasar de los años, tal como lo muestra la gráfica mostrada en la figura n° 5.

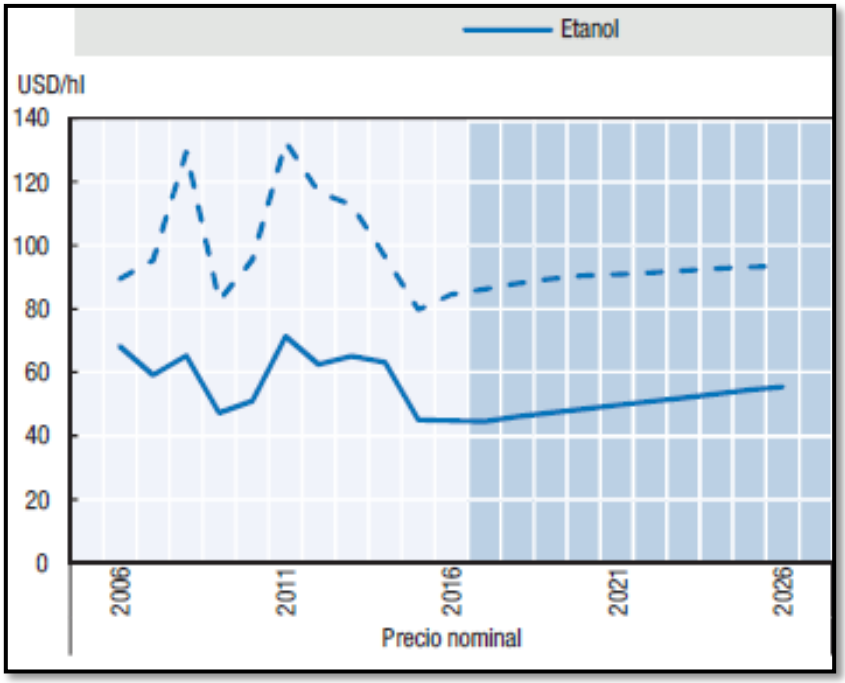


Figura 5 Precio del bioetanol en el mundo

Fuente: OCDE/FAO (2017).

Según la figura anterior, el precio estimado para el bioetanol en año 2020, será aproximadamente 600 dólares por metro cubico.

3.1.3 Estudio de comercialización

Sistema de Distribución del Bioetanol

Puesto que la producción estará destinada a la exportación el sistema de distribución empieza en el despacho de planta luego se transporta en cisternas vía terrestre hasta el puerto de embarque para finalmente ser cargados en los buques alcoholeros para salir del país vía marítima hacia su lugar de destino final.

Figura 6 Sistema de distribución del producto

Fuente: Muro, (2017).

Estrategias de comercialización y distribución

-No se comercializará el producto a través de vendedores minoristas.

-Se darán descuentos en el precio de venta siempre y cuando las cantidades transables sean mayores a 600 m3 de bioetanol.

- El pagó se realizará contra entrega.

- Se comercializarán todos los subproductos y productos intermedios tales como la vinaza, flegmasa, levadura de desecho, etc.

3.2 Estudio Técnico

3.2.1. Capacidad productiva

Desde el punto de vista de la cantidad demandada; en el estudio de mercado realizado anteriormente se evidencio un nicho de mercado atractivo para el bioetanol en el mercado exterior; desde éste punto de vista la cantidad demandada no es un factor restrictivo para calcular la capacidad productiva de la instalación industrial de bioetanol.

Analizando la disponibilidad de materia prima; en el departamento de Lambayeque se realizaron sembríos de sorgo dulce y se obtuvieron buenos resultados además de ello se cuenta con una gran área cultivable; por ende, esta variable tampoco es una limitante; de modo tal que se fija el tamaño de planta industrial en 300 m3/d, capacidad que resulta ser la capacidad promedio de las tres capacidades de planta alcoholeras de nuestro país.

3.2.2. Tecnología Productiva a emplear

Las tecnologías usualmente usadas para lograr la deshidratación del etanol son la destilación a vacío, la azeotrópica, la extractiva y el empleo de los tamices moleculares, haciendo un análisis comparativo solo del consumo energético se obtiene que los tamices moleculares tienen menor consumo de energía; debido a ello son los más empleados actualmente para tal fin.

Tabla 8.-Consumo de energía según tipo de tecnología

Tecnología	*kcal/kg de etanol*
Destilación a vacío	3.682,7
Destilación azeotrópica	2.958,6
Destilación extractiva	2.555,3
Tamices moleculares	2.325,5

Fuente: (Marulanda, 2010).

3.2.3. Ingeniería de Proceso

La etapa de acondicionamiento tiene por objetivo reducir el tamaño y desfibrar el sorgo para hacer más fácil el aprovechamiento de los jugos; seguido de ello se

aplica una molienda húmeda realizada en el difusor; previo desfibrado, para exponer las fibras del sorgo para hacer más fácil la extracción en la siguiente etapa.

El sorgo ya desfibrado en el difusor, es sometido a baños continuos con agua una temperatura promedio de 92° Celsius, para así extraer los azucares contenidos en el sorgo desfibrado, en el difusor se separa el líquido que contiene el material azucarado de las fibras de sorgo; el liquida es bombeado a la unidad de evaporación, mientras que las fibras de sorgo son conducidas a la unidad de secado para posteriormente ser empleadas como combustible en la caldera.

La evaporación se realiza con el objetivo de incrementar la concentración del jugo y en esta etapa se emplean evaporadores de doble efecto, éstos son equipos de transferencia de calor los cuales constan de dos partes principales, un haz de tubos o calandria y el cuerpo superior; por la calandria se recibe el flujo de vapor y en la parte superior se realiza la ebullición del jugo; seguido de lo cual se elimina por la parte de arriba agua en forma de vapor y por debajo del equipo se recoge el vapor condensado que retorna a caldera.

El jugo de entrada proveniente del difusor, ingresa a los evaporadores a una temperatura de 100° C y con una concentración inicial de azucares de 10 ° Brix, saliendo a una concentración de 20°y a una temperatura de 110°C; para posteriormente ser enfriado en unos intercambiadores de placas hasta una temperatura de 34 ° Celsius, adecuados para la siguiente etapa de fermentación.

La fermentación es un proceso crítico, pues en ésta etapa se genera el etanol a partir del consumo de los azucares por parte de la levadura (saccharomyces cerevisiae), la cual metaboliza al etanol y al dióxido de carbono; acompañados del desprendimiento de energía en forma de calor, puesto que dicha reacción es exotérmica.

El jugo concentrado y enfriado proveniente del evaporador ingresa a los fermentadores, a una temperatura promedio de 34 °C en el cual se lleva a cabo la reacción de fermentación obteniéndose como producto principal mosto fermentado con una concentración de 10% de etanol, posteriormente éste mosto fermentado es bombeado a la unidad de centrifugación. En esta etapa del proceso se realiza la separación de la levadura presente en el mosto fermentado proveniente de la etapa de fermentación; para tal fin se emplean las centrifugas, equipos rotatorios provistos de toberas los cuales, mediante la

fuerza centrífuga, hacen posible la separación de la levadura del mosto fermentado para posteriormente ser acondicionada y retornada al proceso productivo.

Seguido de la centrifugación el mosto sin levadura o también denominado "vino" es bombeado a la unidad de destilación en donde se incrementa la concentración de etanol de 10% a 95 % a través de una batería de columnas de destilación, las cuales son equipos de transferencia de calor que tienen como fuerza motriz el empleo de vapor de baja presión (20 libras por centímetro cuadrado); este vapor ingresa por la parte baja de las columnas y permite separar los componentes según la diferencia en sus puntos de ebullición, de tal manera que los componentes más livianos se acumulan en la parte superior de la columna mientras que los más pesados se acumulan en la parte baja de la columna; en eta etapa se generan efluentes tales como las flegmasas que son corrientes líquidas de baja grado alcohólico y las vinazas que se eliminan por el fondo de la columna mostera y que se suele utilizar en los campos de cultivo como nutriente previa dilución.

Posteriormente de la etapa de destilación, sigue la última etapa del proceso productivo conocida como deshidratación, la cual tiene por finalidad incrementar la concentración alcohólica de 95 % hasta 99.9 % para que el etanol sea considerado como bioetanol anhidro; la deshidratación se realiza en la unidad conocida con el nombre de tamices moleculares, los cuales son equipos tipo lecho empacado, provistos de un material desecante (zeolita), el cual permite la separación a nivel molecular del etanol y del agua, permitiendo incrementar la concentración alcohólica del etanol hasta niveles máximos cercanos al 100%.

Finalmente, se realiza el almacenamiento del producto previo enfriamiento; para este almacenamiento se emplea tanques de proceso empleando para su constitución el acero inoxidable y bajo medidas controladas, pues el bioetanol anhidro es un líquido higroscópico, es decir absorbe con facilidad el agua del medio ambiente, pudiendo generarse un decremento considerable en la calidad del producto.

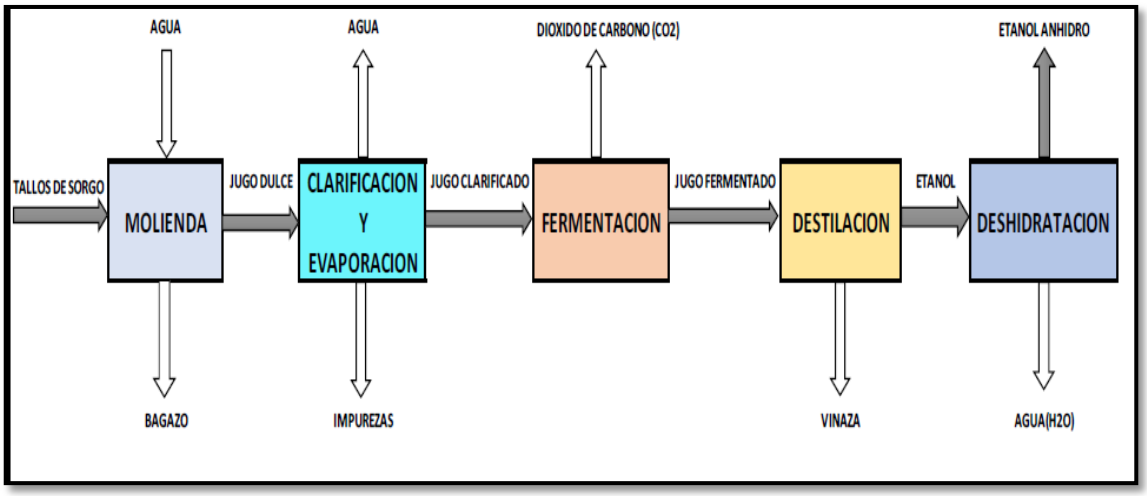


Figura 7 Producción de bioetanol (diagrama bloques)

Fuente: propia

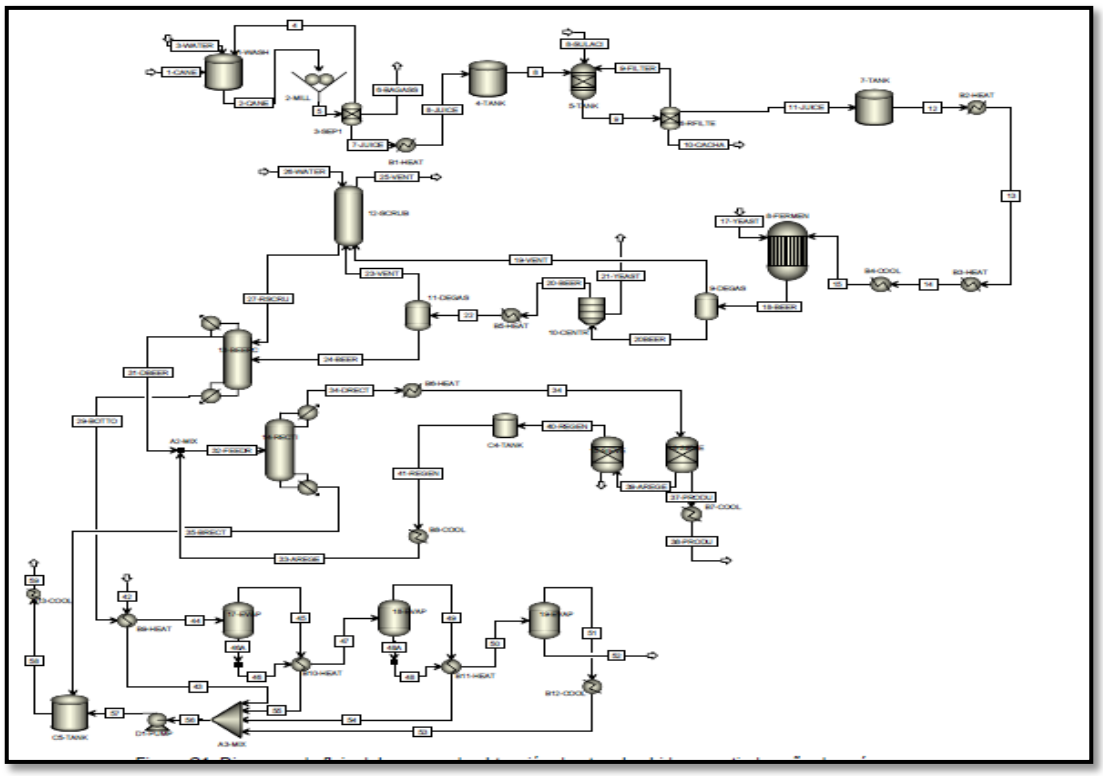


Figura 8 producción de bioetanol (diagrama de equipos)

Fuente: propia

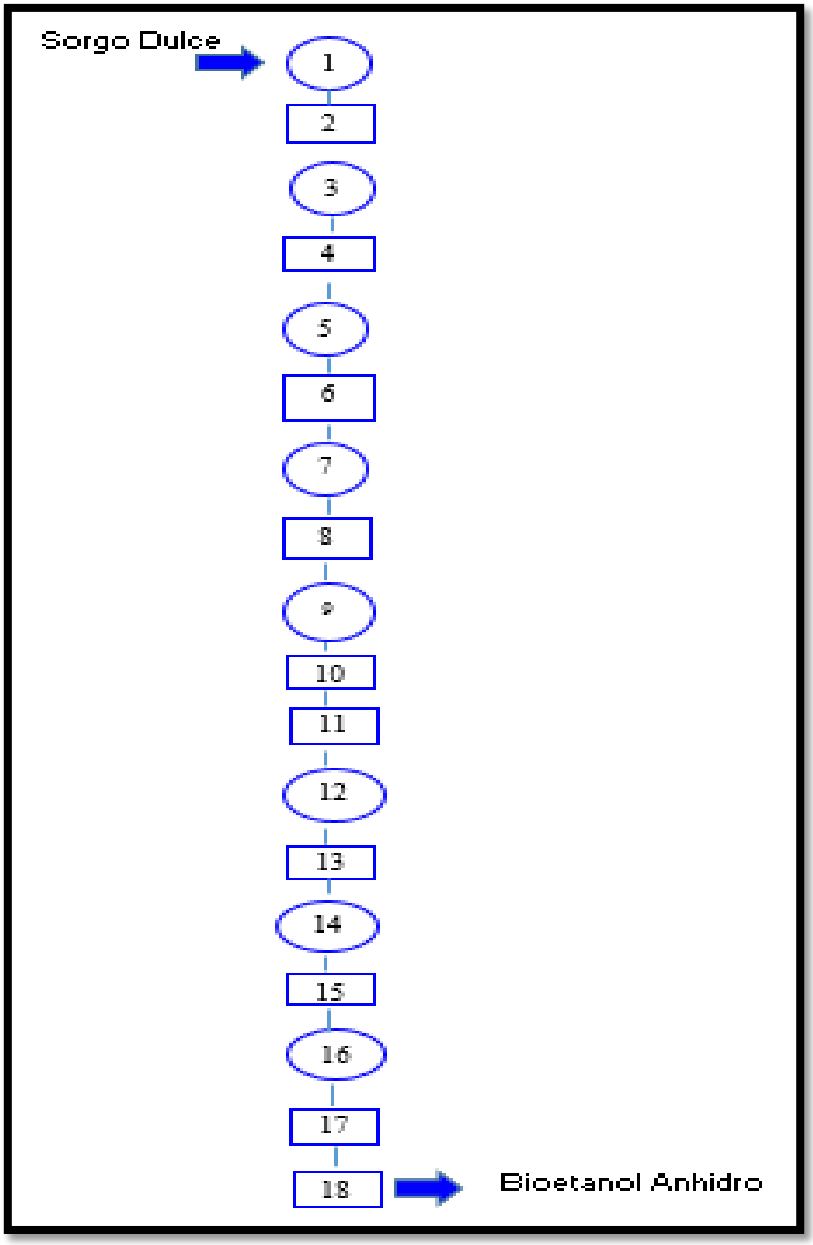


Figura 9 Diagrama de operación de procesos

Fuente. propia

DIAGRAMA DE ANLAISIS DE PROCESO PARA LA PRODUCCION DE BIOETANOL A PARTIR DEL SORGO DULCE						
Autor		Carlos Vallejo D.	**Actividades**	**Simbolo**		**Cantidad**
Alcance		Todo el proceso productivo	Operación	○		8
Tipo de proceso		Industrial	Transporte	⇨		0
Area		Operaciones	Inspección	□		10
Producción diaria		300 m3/d	Espera	D		0
Fecha		10/11/2019	Almacenamiento	▽		0
Item	**Descripción del tren de actividades**	○	⇨	D	□	▽
1	Recepción del sorgo dulce trozado					
2	Muestreo de sorgo trozado					
3	Desfibrado del sorgo dulce					
4	Muestreo del sorgo desfibrado					
5	Extracción del jugo de sorgo					
6	Muestreo de jugo de sorgo					
7	Evaporación del jugo					
8	Muestreo de jugo evaporado de sorgo					
9	Fermentación del jugo de sorgo					
10	Muestreo durante el proceso de fermentación					
11	Muestreo del mosto de sorgo fermentado					
12	Pre-Fermentación					
13	Muestreo del pie de levadura					
14	Destilación del mosto fermentado					
15	Muestreo del alcohol obtenido en destilación					
16	Deshidratación del alcohol					
17	Muestreo del alcohol anhidro					
18	Muestreo del bioetanol despachado					

Figura 10 Diagrama de análisis de Procesos (DAP)

Fuente: propia

3.2.4. Balance de Materia para el proceso productivo

Se realiza siguiendo el mismo orden del diagrama de bloques; y tiene como base de cálculo una producción diaria de 300 metros cúbicos de bioetanol. Para la concentración de los azucares reductores totales (ART) en el jugo, se adopta un valor de 8.5%, según datos de control de calidad de Sucroalcolera del Chira, resultado de las pruebas realizadas en los meses de julio y agosto del 2013; obteniéndose:

Tabla 9 Azucares reductores totales para la etapa de pruebas de sorgo

N°	Fecha	% ART
1	04/07/2013	8.1
2	05/07/2013	9.3
3	08/07/2013	9
4	10/07/2013	8.8
5	12/07/2013	8.5
6	19/07/2013	8.9
7	22/07/2013	9.1
8	25/07/2013	9.5
9	03/08/2013	8.4
10	04/08/2013	8.3
11	05/08/2013	7.9
12	07/08/2013	7.6
13	12/08/2013	7.3
14	15/08/2013	7.5
15	16/08/2013	8.4
%ART (promedio)		8.4

Fuente: Control calidad Sucroalcolera del Chira S.A

Según el reporte de control de calidad de Sucroalcolera del Chira S.A mostrados en la tabla n°9, se tiene un % de azucares reductores totales de 8.4%; este dato es usado para cuantificar la cantidad de azúcar promedio en el sorgo dulce a moler y a partir de éste dato se obtienen las demás corrientes del balance.

Tabla 10 Eficiencias operativas industriales

N°	Etapa	Eficiencia Operativa
1	Extracción con difusor	97.00%
2	Evaporación- doble	98.00%
3	Fermentación-batch	92.00%
4	Destilación múltiple	99.00%
5	Deshidratación con tamices moleculares	99.00%

Fuente: Área de Producción Sucroalcolera del Chira S.A

Las eficiencias industriales típicas para el caso de la producción del bioetanol anhidro a nivel industrial son relativamente altas, de modo tal que se tiene en promedio una eficiencia global también alta; esto es crucial pues permite ahorrar recursos como vapor, electricidad, mano de obra, tiempo, entre otros; cabe resaltar también que la eficiencia más alta se obtiene en la etapa de deshidratación en la cual se emplean los tamices moleculares; pues se obtienen valores del 99%; y la eficiencia más baja se obtiene en la etapa de fermentación pues debido a una serie de limitantes tales como la infección, altas temperaturas, arrastre de etanol debido a la expulsión de CO2, es que se obtiene una eficiencia menor (92%), en relación a las demás eficiencias operativas.

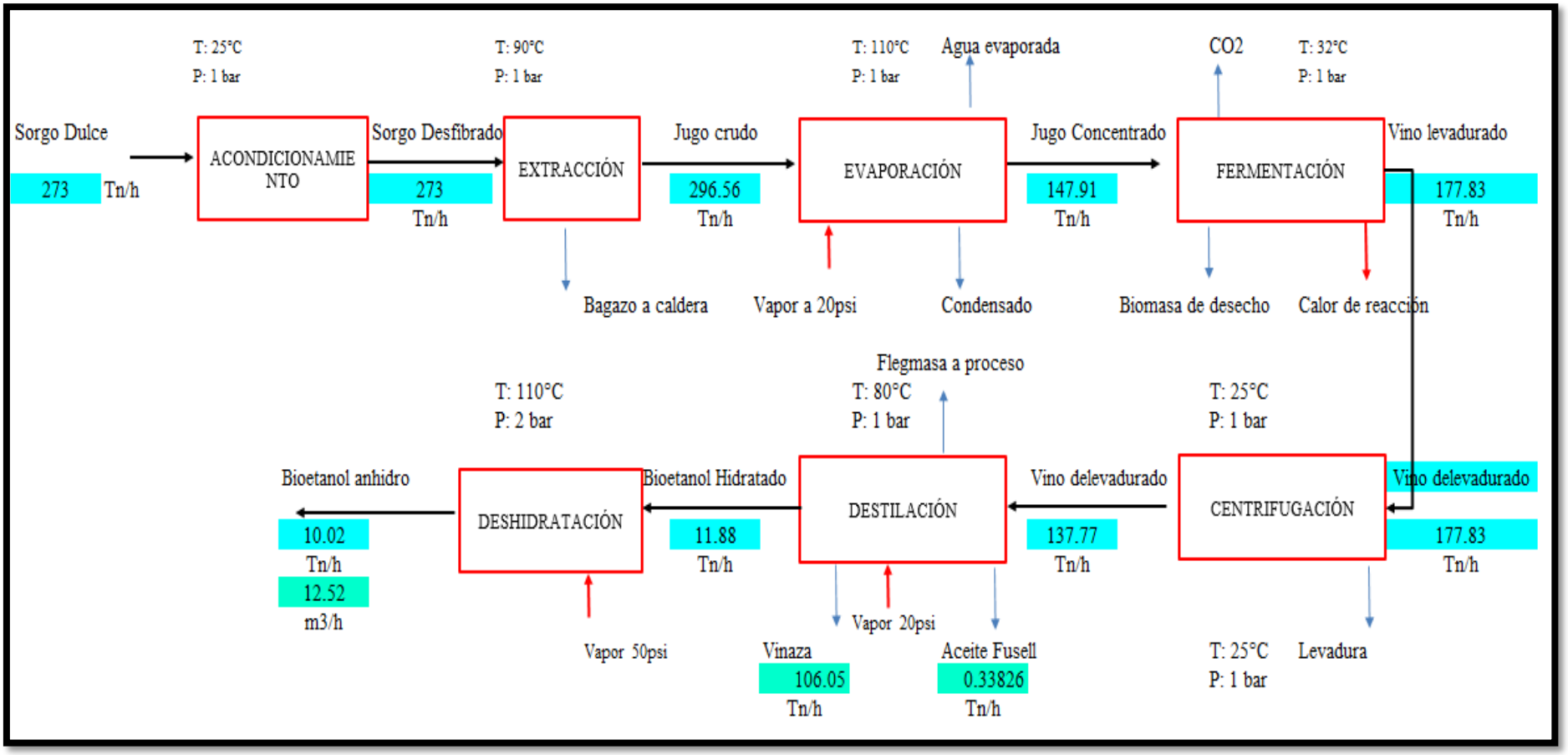


Figura 11 Balance masa general para Bioetanol a partir de sorgo

Fuente: Propia

3.2.5. Determinación de la localización de la Planta Industrial

En este apartado se utilizan los factores ponderados, como herramienta de cálculo, asignándole un porcentaje a cada factor según su importancia y disponibilidad.

Para la selección de la localización de la de la planta industrial, se evalúan dos distritos, el distrito de *Lambayeque y el de Ferreñafe*; debido a su cercanía de la capital lambayecana.

Factores Prioritarios:

- Materia Prima.

Según el instituto nacional de estadística del año 2018 (INEI), Lambayeque, cuenta con mayor cantidad de área cultivable; siendo así en éste factor la provincia de Lambayeque es la mejor alternativa.

-Mercado.

La localidad de Ferreñafe se ubica más cerca del puerto de Pimentel; por ello desde el punto de vista del mercado Ferreñafe es más conveniente.

-Energía Eléctrica.

Ambas localidades cuenten en el suministro nacional de energía eléctrico de modo que en éste factor no hay preferencias.

-Suministro de Agua.

Al estar Ferreñafe más cerca del mar supone una ventaja, toda vez que se puede emplear agua de mar para ser tratada física y químicamente para luego ser empleada como agua de enfriamiento o como agua de proceso, según sea la necesidad.

-Mano de Obra.

Lambayeque posee mayor disponibilidad de mano de obra tanto profesional como técnica en comparación a Ferreñafe, por eso en este factor la mejor opción es la localidad de Lambayeque.

-Leyes Regulatorias.

La base legal respecto a la producción y comercialización de biocombustibles, así como demás leyes relacionadas, aplican a nivel nacional; así también toda normativa legal en materia de ambiente, social, etc. por lo tanto, no existe alguna distinción.

Factores Secundarios:

Transporte.

Ambas ciudades cuentan con carreteras bien pavimentadas y en buen estado; sin embargo, Lambayeque tiene más ventaja ya que también tiene una conexión con el panamericano norte en su extensión.

Clima.

De acuerdo con su ubicación geográfica las dos localidades tienen un clima muy similar por lo tanto es irrelevante esta comparación.

Factores Comunitarios.

Lambayeque posee mayor número de hospitales, colegios, institutos, etc. siendo así desde el punto de vista de factores comunitarios es más conveniente localizar la producción en Lambayeque

Se procede a cuantificar las ventajas y desventajas que ofrecen ambas localidades, obteniéndose así los resultados, resumidos líneas abajo en la tabla correspondiente.

Tabla 11.- Selección de la ubicación de la planta industrial

Variable	%	Puntaje asignado		Cuenta final	
		Lambayeque	Ferreñafe	Lambayeque	Ferreñafe
Materia Prima	30%	9	6	2.7	1.8
Mercado	25%	7	9	1.75	2.25
Energía	20%	5	5	1	1
Agua	15%	3	4	0.45	0.6
Mano de obra	5%	7	5	0.35	0.25
Regulaciones	2%	3	3	0.06	0.06
Transporte	1%	4	3	0.04	0.03
Clima	1%	3	3	0.03	0.03
Comunitarios	1%	3	2	0.03	0.02
Total	100%			6.41	6.04

Fuente: Propia

Analizando la información mostrada en la tabla n°11, se tiene que en la cuenta final, Lambayeque, resulta ser la más ventajosa, pues obtiene un puntaje de 6.41, frente a un 6.04 obtenido por Ferreñafe; siendo así se escoge a la ciudad de Lambayeque como el lugar más apropiado para la producción del bioetanol.

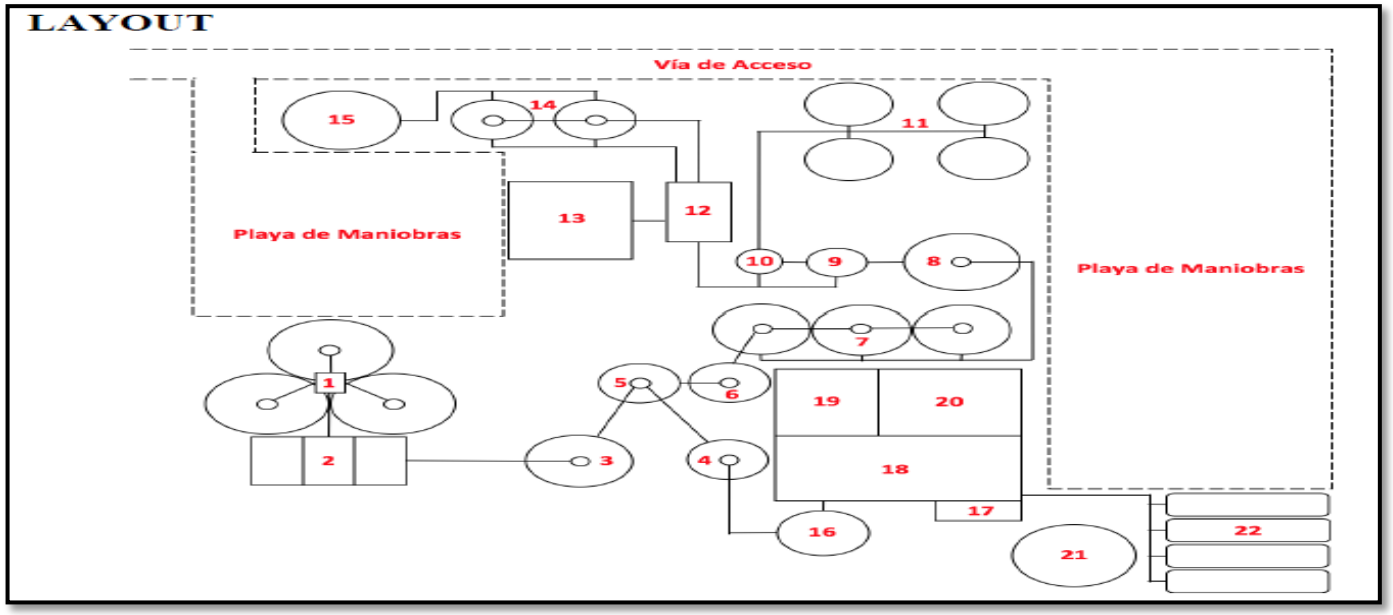


Figura 12 Vista en planta para la instalación industrial

Fuente: propia

Tabla 12 Listado de equipos

Número	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Descripción	Silos de sorgo	Fajas Transportadoras	Picadora 1	Picadora 2	Desfibrador	Regulador	Desaguador 1	Desaguador 2	Molino	Transporte 1	Transporte 2
Número	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**
Descripción	Caldera vapor	Patio bagazo	Turbina	Mantenimiento	Planta agua	Deposito	Almacén	Seguridad	Área Operaciones	Área Gerencia	Campamento

3.2.6. Diseño base de las unidades de proceso

Se realiza el diseño base de las principales unidades de operación tales como los tanques fermentadores, columnas de destilación, tanques de almacenamiento, bombas de proceso, etc.

Para diseñar las torres de destilación se empela el software Hysys 3.1, y para el diseño de bombas y tanques de procesos se utiliza el Microsoft Excel.

Sistema de Destilación

El sistema de destilación a utilizar comprende la utilización de tres torres destiladoras, las cuales operan a presión atmosférica; la primera columna es la llamada columna mostera y es en la que ingresa el vino, proveniente de los tanques de fermentación; la segunda columna se denomina depuradora y sirve para eliminar algunas impurezas volátiles como los aldehídos y cetonas para que finalmente entre en operación la tercera columna llamada columna rectificadora la cual tiene por función enriquecer la composición del etanol hasta llegar a un porcentaje de 95% en volumen.

Para realizar el diseño de la columna mostera mediante la simulación requerimos datos de parámetros de operación, modelo termodinámico, composiciones y concentraciones presentes en los componentes; respecto a los parámetros de operación se emplean los de la destilería Cartavio como referencia, por otro lado, el modelo termodinámico empelado es el “NRTL” por ser el más adecuado para modelar el equilibrio químico del sistema agua: etanol, según Uyazán, 2010; las composiciones empeladas para la corriente de vino se considera a dos componentes al agua y al etanol por ser estos los dos componentes con mayor cantidad de concentración presentes en la mezcla etanol: agua.

Tabla 13 Variables de ingreso para la torre mostera

Número	Variable	Valor numérico
1	Niveles en la torre	30
2	Nivel de ingreso de vino	29
3	Tipo de torre	Torre de Platos
4	Tipo de plato	Perforado
5	Altura de la torre	25 m
6	Diámetro de la torre	1.6 m
7	Distancia entre platos	0.60 m
8	Reflujo en la torre	1.5
9	Tipo condensador en la torre	Total

Fuente: Destilería Cartavio

Tabla 14 Parámetros de operación para la columna mostera

Numero	Parametro	Valor
1	Temperatura de fondo	110 °C
2	Presión en el fondo	25 psi
3	Temperatura de tope	92°C
4	Temperatura de ingreso vino	80°C
5	Diferencial de presión en torre	3 psi
6	Diferencial de presión en condensador	0 psi
7	Diferencial de presión en la base	0 psi

Fuente: Destilería Cartavio

Con la información mostrada en las tablas 13 y 14, se procede hacer el ingreso de datos para poder realizar la simulación, tal como lo muestra la figura n°13, que nos muestra la interfaz de condiciones del software Hysys 3.1

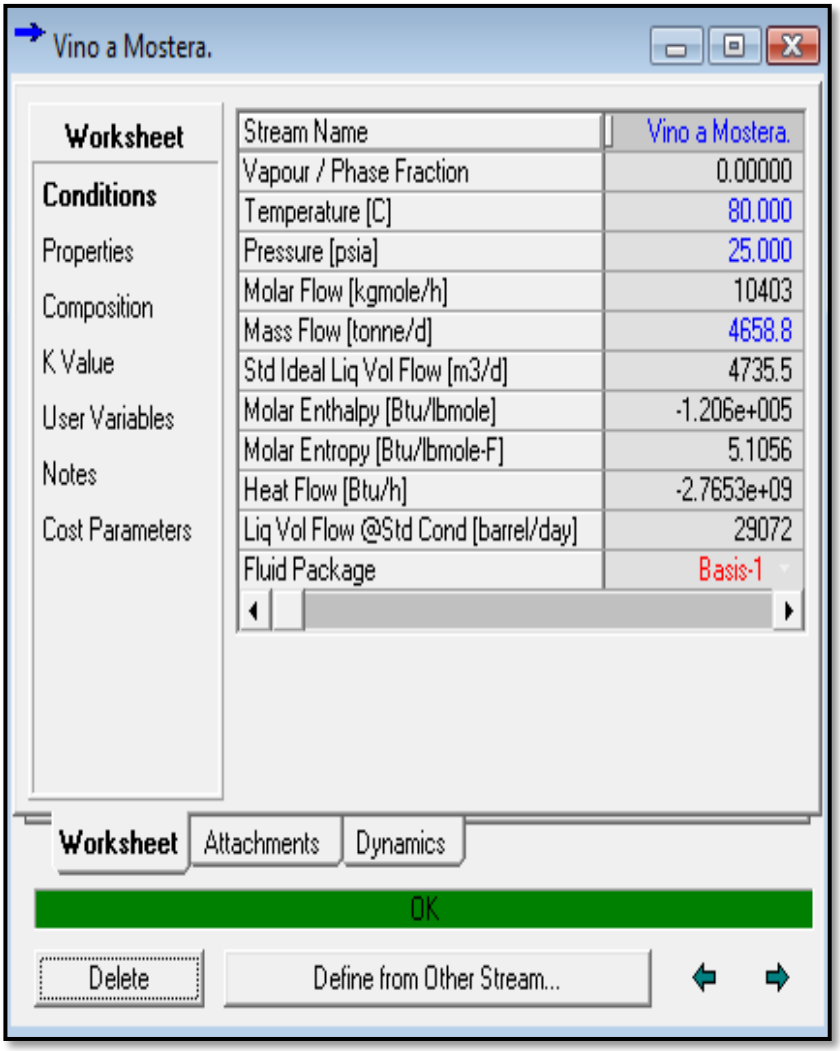


Figura 13 Temperatura, presión y flujo de entrada a Mostera

Fuente: propia.

Los datos de ingreso figuran en color azul (temperatura, presión y flujo) y los datos de salida en color negro (fracción vapor, flujo molar, entalpias, etc.).

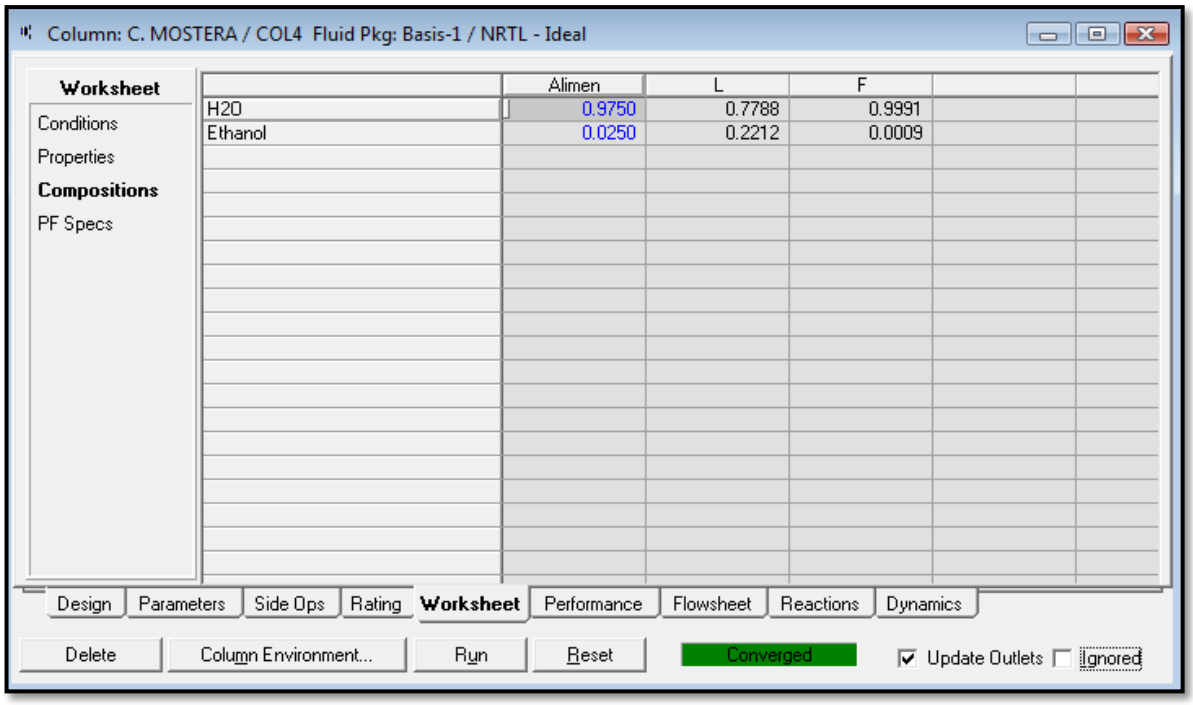


Figura 14 Composición de ingreso a mostera

Fuente: propia.

En la figura n° 14, se visualiza el ingreso de la concentración de los componentes en el sistema binario etanol agua, predefinido anteriormente y en la parte inferior nos muestra una franja verde que nos indica que ha convergido, es decir que el ingreso de datos es coherente.

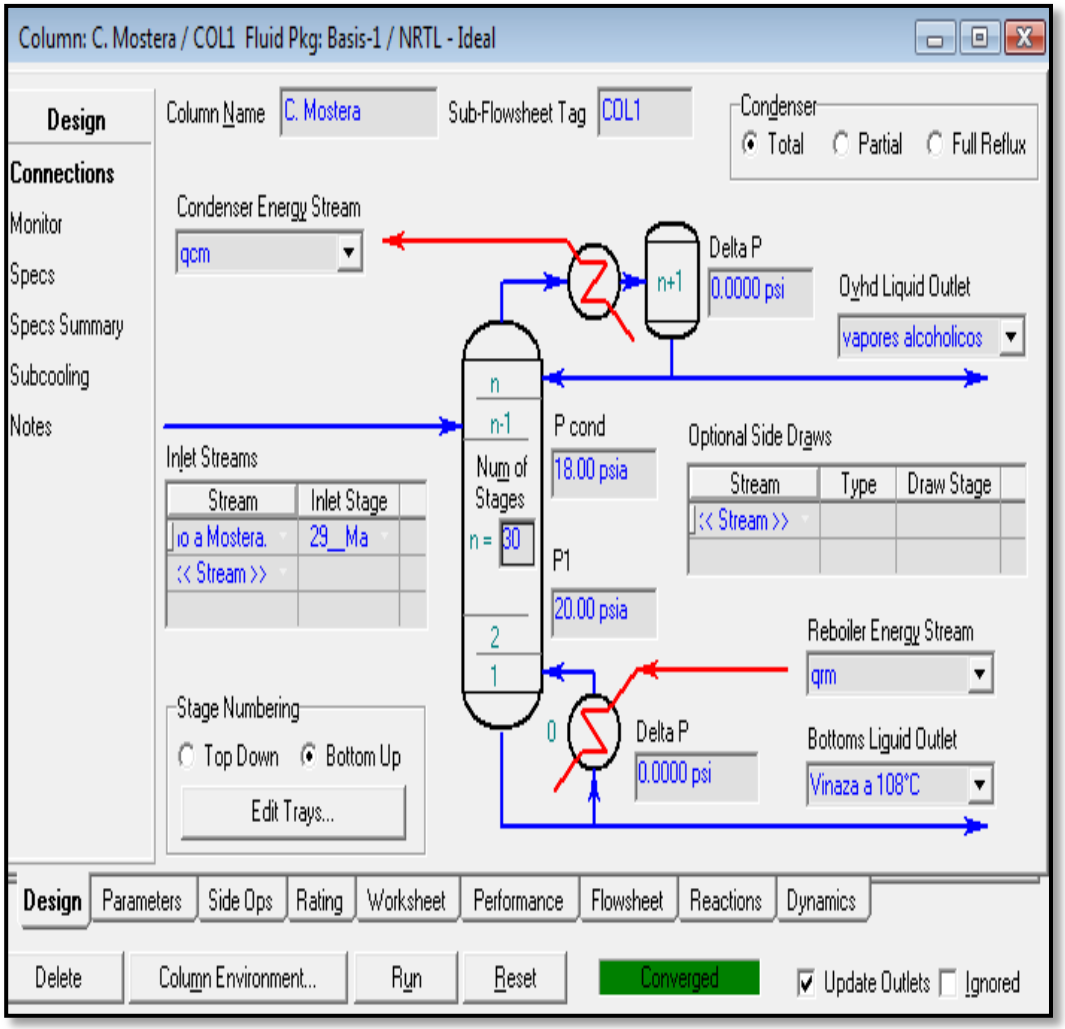


Figura 15 Conexiones para torre mostera

Fuente: propia.

La figura n°15, muestra la designación de las corrientes de proceso, tal como el ingreso de la corriente de vino en el plato n° 29, las caídas de presión en la base y en el tope, la salida del producto por la cabeza y de los fondos por la base; así mismo indica el número de niveles en la torre.

Figura 16 Diámetro y espaciado entre niveles

Fuente: propia.

La figura n° 16, muestra el diámetro y el espaciado de niveles de la torre mostera que es la primera torre del sistema de destilación empleado.

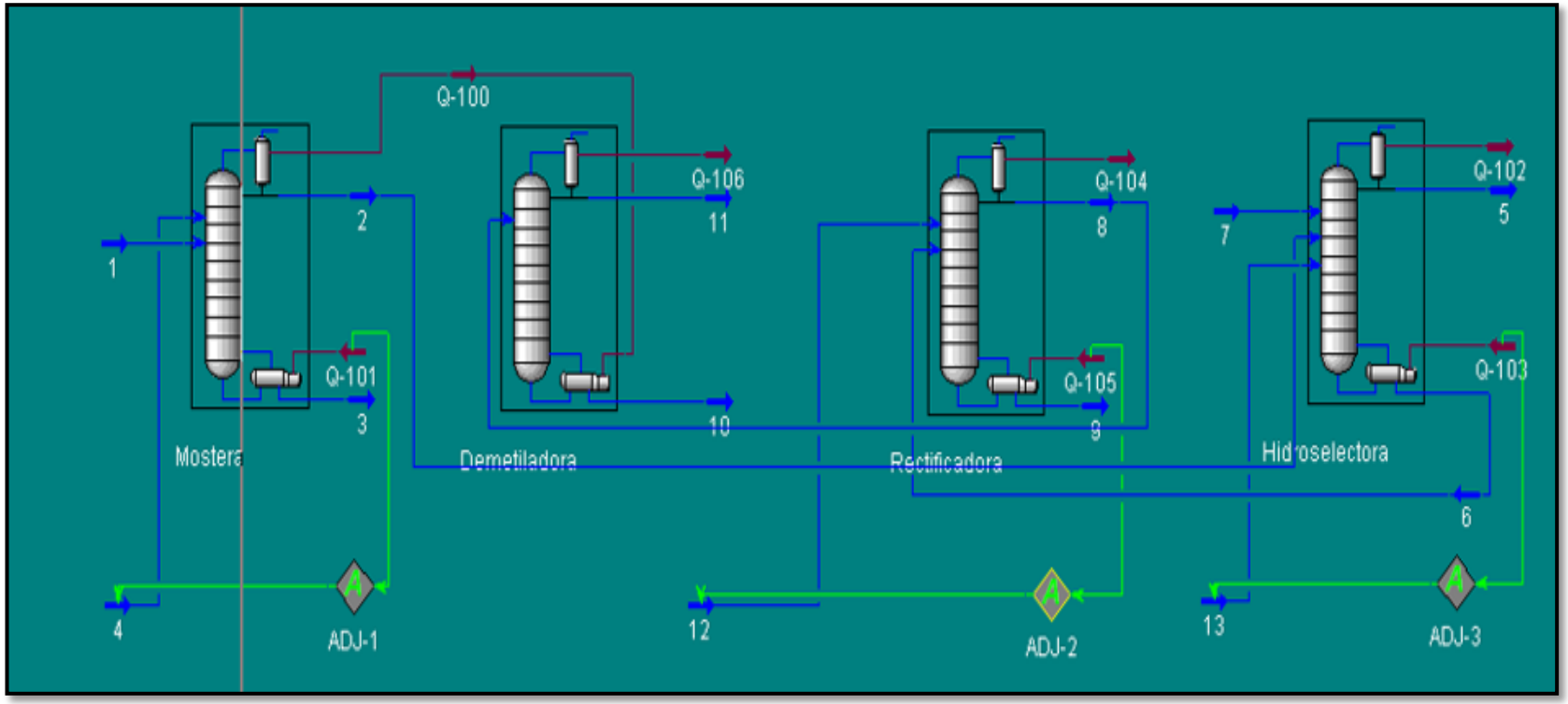


Figura 17 Simulación para la batería de columnas de destilación

Fuente. Propia

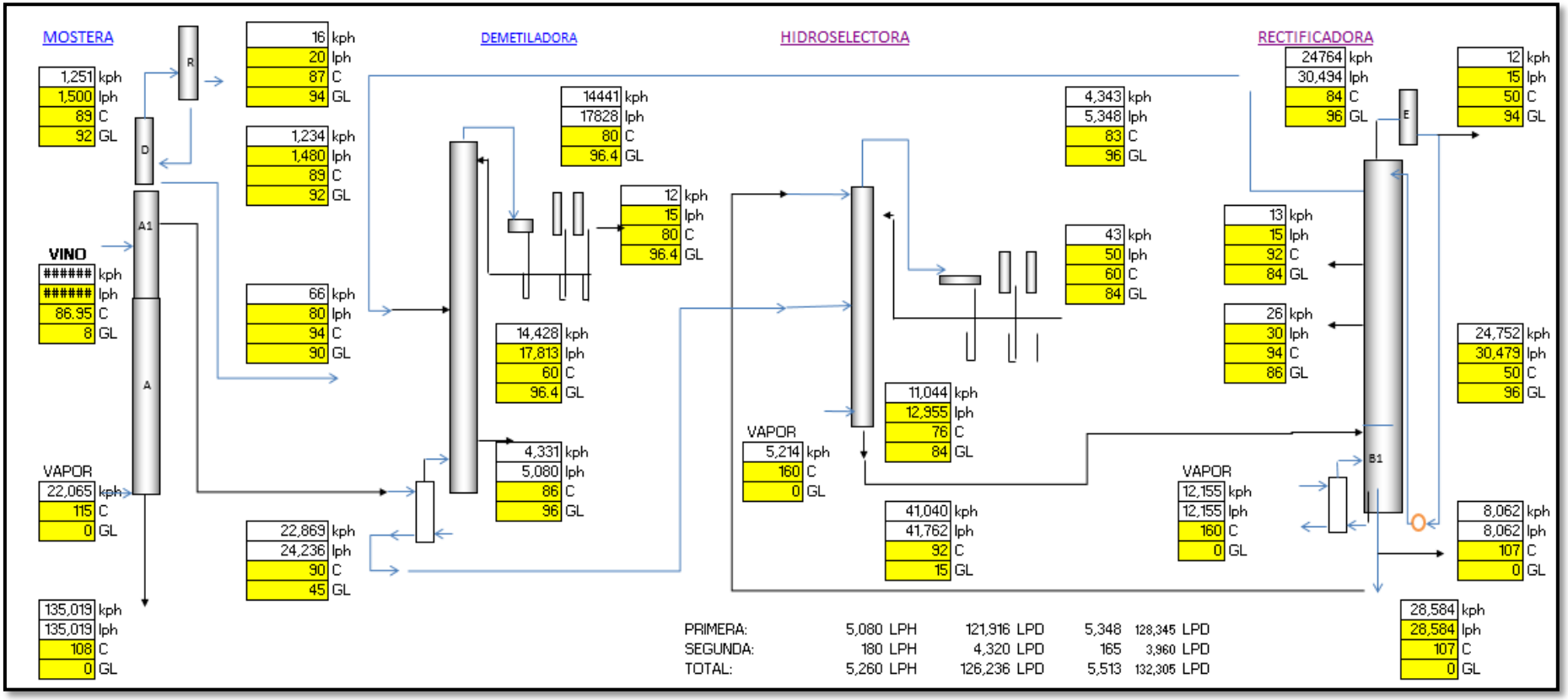


Figura 18 Balance másico en las columnas de destilación

Fuente: Propia

3.2.7. Plan de producción anual

Se realiza teniendo par aun periodo de diez años; para ello se parte del balance de materia realizado previamente, se asume que la capacidad productiva de la planta de etanol durante el primer año de producción, alcanza el 80% del total, en el segundo año el 90% y en el tercer año; el 100%, debido a los problemas que siempre se tienen en las puestas en marcha; por otro lado, se consideran un total de 335 días de operación anual; ya que se asume 12 días al año de parada corta y 18 días de parada larga, en el que se realiza mantenimiento general en la parte mecánica, eléctrica y de instrumentación y control.

En cuanto a los productos secundarios el único con valor comercial es el aceite fusell, pues tiene aplicaciones diversas etc.

Tabla 15.-Plan de producción anual

Variable	U.	Valor	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Tamaño planta	m3/d	300	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Porcentaje de capacidad empleada	%	-	80%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Días de Operación	d.	335	268	301.5	335	335	335	335	335	335	335	335
Bioetanol	m3/h	**12.52**	**80520.9**	**90586**	**100651**	**100651**	**100651**	**100651**	**100651**	**100651**	**100651**	**100651**
Oleo Fusell	Tn/h	**0.338**	**2175.67**	**2447.62**	**2719.58**	**2720.3**	**2721.58**	**2634.18**	**2719.58**	**2720.3**	**2721.58**	**2634.18**
Sorgo procesado	Tn/h	273	1755936	1975428	2194920	2294925	2194930	2194920	1975428	1975428	2294925	2194930
Bagazo Producido	Tn/h	72.27	464817.1	522919.3	581021.5	581111.2	571021.2	581021.5	581021.5	581021.5	581111.2	571021.2
Jugo crudo	Tn/h	296.56	1907452	2145884	2384316	2224316	2384312	2394320	2284310	2384310	2384326	2384316
Jugo concentrado	Tn/h	147.91	951345.4	1070264	1189182	1089172	1289181	1389181	1191181	1199182	1389181	1191181
Mosto Fermentado	Tn/h	177.83	1143783	1286755	1429729	1419729	1429909	1433729	1427829	1249729	1489729	1429729
Vino	Tn/h	137.77	886139.6	996907.1	1107675	1107235	1156235	1987235	1102435	1107985	1007235	1107235
Bioetanol Hidratado	Tn/h	11.88	76390.03	85938.79	95487.52	95997.52	95417.52	93887.52	84487.52	95687.52	95439.52	95423.52
Flegmasa	Tn/h	21.52	147430.3	155722.7	173025.2	172925.2	173425.2	168025.2	172225.2	173013.2	173025.2	173025.2
Vinazas	Tn/h	106.05	682094.1	767355.9	852617.6	852677.6	852907.6	851117.6	852357.6	867617.6	858917.6	849617.6

Fuente: Elaboración propia.

El plan de producción anual, detallado en la tabla n° 15, la producción planeada para el primer año de producción trabajando con un porcentaje de capacidad del 80% del total, sería 80521 m3, para ello sería necesario procesar 1755936 toneladas de sorgo dulce.

3.2.7.1.Requerimiento del recurso humano para la planta industrial

La industria del etanol al igual que el resto de las industrias es operada por personal con distintos perfiles, para nuestro caso se requiere personal técnico como ingenieros de proceso, eléctricos, mecánicos e ingenieros electrónicos; así también se requiere de personal técnico como electricistas, mecánicos, instrumentistas, operadores de planta, personal de apoyo entre otros; todos ellos en conjunto conforman el recurso humano requerido por la planta industrial por ello se cree conveniente estructurar la forma administrativa empleando un organigrama funcional del tipo vertical compuesto por un responsable general, que sería el gerente general y dos gerentes específicos; la gerencia de operaciones en planta y la gerencia administrativa; la primera es responsable de la gerencia de producción, del área de mantenimiento y planta de fuerza ; y la gerencia administrativa supervisa al área de logística, contabilidad y Seguridad.

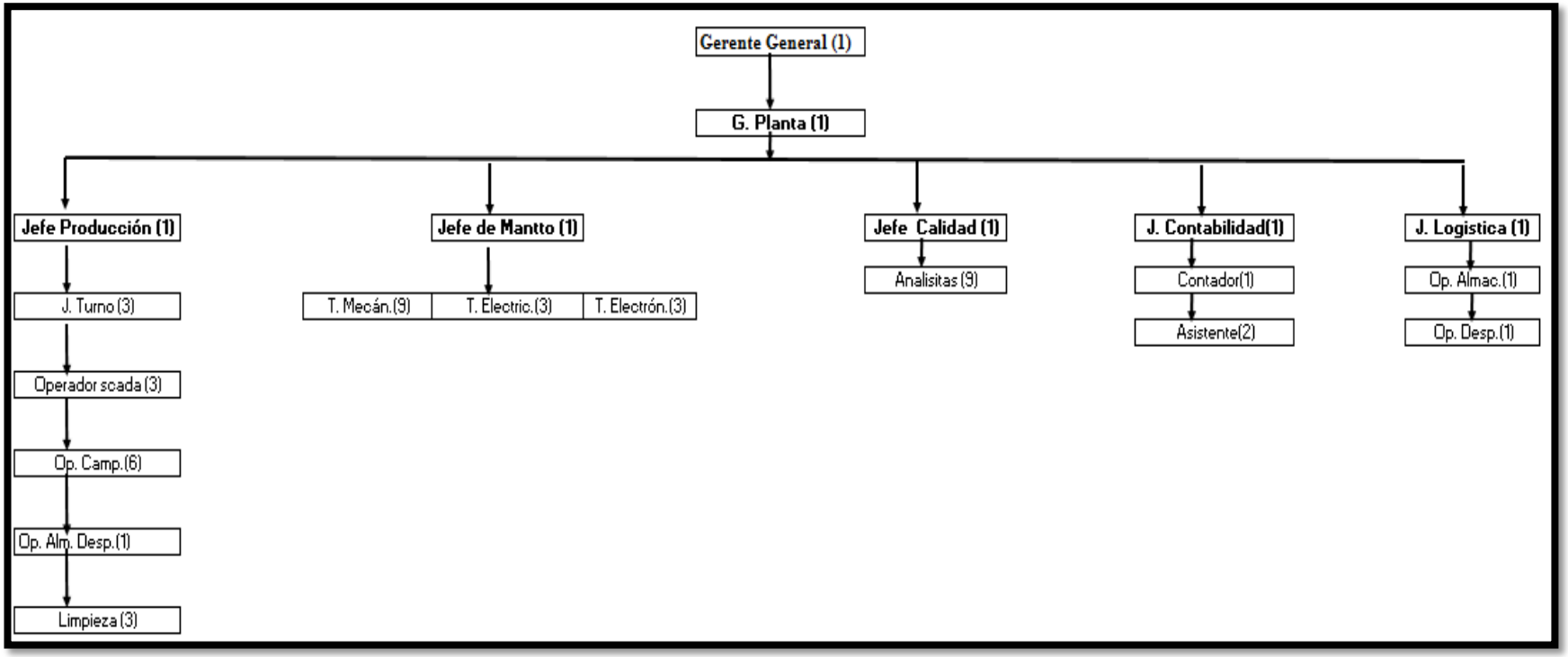


Figura 19 Organigrama propuesto para la instalación industrial

Fuente: propia.

La figura n° 19, muestra que en el área de producción se requieren 17 personas, en el área de mantenimiento a 16 personas, en el área de calidad a 10 personas, contabilidad cuenta con 4 recursos y logística con 3 personas, haciendo un total de 52 personas.

Cuantificación de los costos de personal

Tabla 16: Costo del Personal

Número	Personal	Cantidad	Costo mensual ($)	Gratificación ($)	As. Familiar ($)	ESALUD (9%)	CTS ($)	Vacaciones ($)	Costo Unitario ($)	C. Parcial $ /mes
1	Gerente General	1	$ 3,300.00	$ 550.00	$ 585.75	$ 24.75	$ 550.00	$ 275.00	$ 5,286.50	$ 5,286.50
2	G. Planta	1	$ 2,200.00	$ 366.67	$ 390.50	$ 16.50	$ 366.67	$ 183.33	$ 3,524.67	$ 3,524.67
3	Jefe Producción	1	$ 1,800.00	$ 300.00	$ 319.50	$ 13.50	$ 300.00	$ 150.00	$ 2,884.00	$ 2,884.00
4	Jefe Mantenimiento	1	$ 1,700.00	$ 283.33	$ 301.75	$ 12.75	$ 283.33	$ 141.67	$ 2,723.83	$ 2,723.83
5	Jefe Calidad	1	$ 1,700.00	$ 283.33	$ 301.75	$ 12.75	$ 283.33	$ 141.67	$ 2,723.83	$ 2,723.83
6	J. Contabilidad	1	$ 1,500.00	$ 250.00	$ 266.25	$ 11.25	$ 250.00	$ 125.00	$ 2,403.50	$ 2,403.50
7	J. Turno	3	$ 1,500.00	$ 250.00	$ 266.25	$ 11.25	$ 250.00	$ 125.00	$ 2,405.50	$ 7,216.50
8	J. Logística	1	$ 1,500.00	$ 250.00	$ 266.25	$ 11.25	$ 250.00	$ 125.00	$ 2,403.50	$ 2,403.50
9	Operador scada	3	$ 900.00	$ 150.00	$ 159.75	$ 6.75	$ 150.00	$ 75.00	$ 1,444.50	$ 4,333.50
10	Op. Campo	6	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,127.17	$ 6,763.00
11	Op. Alm. Despacho	1	$ 400.00	$ 66.67	$ 71.00	$ 3.00	$ 66.67	$ 33.33	$ 641.67	$ 641.67
12	Limpieza	3	$ 350.00	$ 58.33	$ 62.13	$ 2.63	$ 58.33	$ 29.17	$ 563.58	$ 1,690.75
13	T. Mecánico	9	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,130.17	$ 10,171.50
14	T. Electricista	3	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,124.17	$ 3,372.50
15	T. Electrónico	3	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,124.17	$ 3,372.50
16	Analistas	9	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,130.17	$ 10,171.50
17	Contador	1	$ 1,000.00	$ 166.67	$ 177.50	$ 7.50	$ 166.67	$ 83.33	$ 1,602.67	$ 1,602.67
18	Asistente	2	$ 600.00	$ 100.00	$ 106.50	$ 4.50	$ 100.00	$ 50.00	$ 963.00	$ 1,926.00
19	Op. Almacenamiento	11	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,132.17	$ 12,453.83
20	Op. Despacho	1	$ 700.00	$ 116.67	$ 124.25	$ 5.25	$ 116.67	$ 58.33	$ 1,122.17	$ 1,122.17
21	Vigilantes	3	$ 500.00	$ 83.33	$ 88.75	$ 3.75	$ 83.33	$ 41.67	$ 803.83	$ 2,411.50

3.3. Estudio Económico

Se desarrolló el cálculo de la inversión global, también se determina diversos costos en que se incurre como: fijos, variables; además se determina la rentabilidad económica del proyecto y también el financiamiento del mismo. Se cree conveniente considerar las siguientes premisas para el desarrollo del presente capitulo.

El periodo en el que se evalúa la situación de la inversión es de cinco años.

El dólar americano se utiliza como moneda para el desarrollo del flujo de caja.

El cálculo del capital de trabajo se hace bajo la presunción de que toda la producción de bioetanol del año de arranque (año 1) se liquida el año 2 de operación.

Parte de la inversión total se financia por un banco, con una tasa efectiva anual de 10% a 10 años de plazo.

El monto afecto a financiamiento se fija en 60% del total de la inversión requerida.

Se usarán indicadores económicos para determinar de la rentabilidad tales como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación (TR) en años.

En cuanto a la depreciación se elige la depreciación lineal y solo son aplicables para los equipos de proceso tales como columnas de destilación, evaporadores, bombas, tanques, etc.

El precio del bioetanol se considera en 350 dólares por metro cúbico y del óleo fusel en 100 dólares por metro cúbico, valores prudentes y relativamente menores al precio real.

Para estimar el precio de venta, se aplica la estructura de costos mostrada líneas abajo.

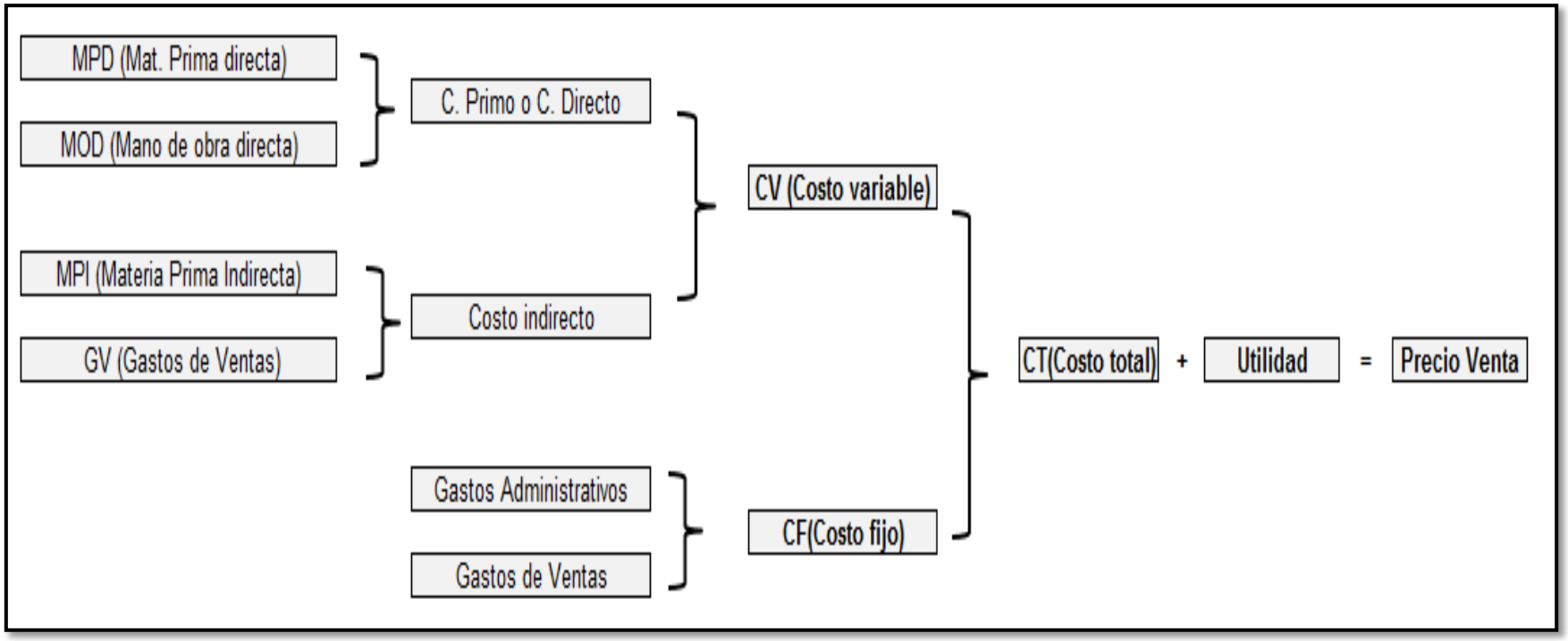


Figura 20 Estructuración para determinar el costo del producto

Fuente: Propia

Calculo de tasa mínima de retorno

Para realizar el cálculo, se consideran, la tasa de inflación anual y el riesgo del negocio; empleando la siguiente relación:

TMR = Tasa de inflación + Tasa de riesgo

Número	Riesgo	Rango de Tasa
1	Bajo	3-6%
2	Medio	6-10%
3	Alto	> 10%

Fuente: (Sapag, 2011)

Teniendo como precedente el rango de tasa en función al riesgo del negocio, se cree conveniente fijar la tasa en 25%; es decir elegimos un riesgo alto, pues la instalación de una planta industrial implica movimientos considerables de dinero; es por esta razón que fijamos la tasa según el riesgo del negocio en 25%; por otro lado, según el BCR, la inflación promedio para el año 2019 fue de 3%; y finalmente consideramos por concepto de imprevistos dos puntos porcentuales más de modo tal que la tasa mínima de retorno calculada asciende a 30% y se obtiene de la siguiente manera:

TMR = tasa según riesgo + tasa inflación + tasa improvistos

TMR = 25% + 3% + 2%

TMR = 30%

Calculo de depreciación contable

Para los equipos de proceso se considera como periodo de depreciación10 años a depreciar y como vida útil 20 años; por lo tanto, el valor de reventa se obtiene dividiendo el costo del equipo entre el total de años a depreciar, y la depreciación se obtiene restando el valor de reventa del valor del activo y a este resultado dividiéndolo entre la vida útil del equipo.

Para el caso de "Balanza de Plataforma" se tiene los siguientes datos:

Precio de balanza de plataforma: $ 175,500.00
Tiempo de depreciación: 10 años.
Vida útil: 20 años.
Valor de reventa: $ 175,500.00/ 10 = $ 175,50.00
Depreciación: (Valor activo- Valor reventa) /vida útil
($ 175,500.00- $ 175,50.00) /20 = $ 7897.5

Tabla 17 Depreciación para las unidades de proceso

Numero	Equipo	Costo Total	Años	Valor de rescate	Vida útil	Depreciación
1	Balanza de 100 TN	$ 175,500.00	10	17550	20	$ 7,897.50
2	Grúa Hilo	$ 210,600.00	10	21060	20	$ 9,477.00
3	Mesa de recepción	$ 292,500.00	10	29250	20	$ 13,162.50
4	Equipo Electroimán	$ 35,100.00	10	3510	20	$ 1,579.50
5	Cuchillas picadoras	$ 52,650.00	10	5265	20	$ 2,369.25
6	Equipo Desfibrador	$ 117,000.00	10	11700	20	$ 5,265.00
7	Fajas transportadoras	$ 46,800.00	10	4680	20	$ 2,106.00
8	Difusor lineal con recirculación de jugo	$ 5,265,000.00	10	526500	20	$ 236,925.00
9	Tanque de jugo	$ 234,000.00	10	23400	20	$ 10,530.00
10	Tanque de agua de imbibición	$ 93,600.00	10	9360	20	$ 4,212.00
11	Rolo desaguador	$ 35,100.00	10	3510	20	$ 1,579.50
12	Molino de tres masas	$ 140,400.00	10	14040	20	$ 6,318.00
13	Caldera de vapor	$ 3,510,000.00	10	351000	20	$ 157,950.00
14	Planta de tratamiento de aguas	$ 234,000.00	10	23400	20	$ 10,530.00
15	Calentadores de jugo	$ 93,600.00	10	9360	20	$ 4,212.00
16	Evaporador de doble efecto	$ 1,755,000.00	10	175500	20	$ 78,975.00
17	Tanque de jugo clarificado	$ 140,400.00	10	14040	20	$ 6,318.00
18	Fermentadores fondo cónico	$ 351,000.00	10	35100	20	$ 15,795.00
19	Preferementadores	$ 58,500.00	10	5850	20	$ 2,632.50
20	Centrifugas con toberas	$ 140,400.00	10	14040	20	$ 6,318.00
21	Sistema de Destilación	$ 1,404,000.00	10	140400	20	$ 63,180.00
22	Sistema de Deshidratación	$ 1,111,500.00	10	111150	20	$ 50,017.50
23	Tanques de almacenamiento	$ 234,000.00	10	23400	20	$ 10,530.00
		$ 15,730,650.00				**$ 707,879.25**

Fuente: Propia.

3.3.1. Inversión Total

Para el cálculo de la inversión de capital total, se emplean tanto fuentes primarias como secundarias y para el caso que se desconoce el costo se emplea la técnica del factor exponencial, en el cual a partir de costo y una capacidad conocida se estima un costo desconocido para una determinada capacidad; empleando la expresión matemática siguiente:

$$C_2 = (q_2/q_1)^{0.8} \times C_1$$

Donde:

C2: Costo no conocido

C1: Costo que se conoce

Q2: Capacidad del equipo a costear

Q1: Capacidad que tiene un costo conocido (Sapag, 2011).

Los costos de instalación se calculan indirectamente en función al costo total del equipo; considerando un adicional del 20% del precio puesto en puerto (FOB).

3.3.1.1.Costo por unidad operativa

Balanza de Plataforma

Marca: IPC

Dimensiones:

Largo: 3.1 m.

Ancho: 0.76 m

Altura: 0.11 m

Capacidad: 150 TN

Costo puesto en puerto (FOB)
$ 150,000.00

Como gastos indirectos se tiene al transporte, impuestos, y desaduanaje y se fija en 10% del costo total del equipo de proceso; así mismo para el costo de instalación se considera un 7% del costo total del equipo de proceso.

Tabla 18 Costo por unidad operativa

ITEM	Equipos de proceso	Cantidad	Capacidad	Unidad	Costo FOB	Costo Indirecto	Costo Instalación	Costo Total
1	Balanza de Plataforma	1	150	Tn	$ 150,000.00	$ 15,000.00	$ 7,500.00	$ 172,500.00
2	Grúa descargadora	1	100	Tn	$ 180,000.00	$ 18,000.00	$ 9,000.00	$ 207,000.00
3	Mesa de recepción	1	100	Tn	$ 250,000.00	$ 25,000.00	$ 12,500.00	$ 287,500.00
4	Electroimán	1	-	-	$ 30,000.00	$ 3,000.00	$ 1,500.00	$ 34,500.00
5	Cuchillas picadoras	2	300	Tn/h	$ 45,000.00	$ 4,500.00	$ 2,250.00	$ 51,750.00
6	Desfibrador	1	300	Tn/h	$ 100,000.00	$ 10,000.00	$ 5,000.00	$ 115,000.00
7	Fajas transportadoras	12	300	Tn/h	$ 40,000.00	$ 4,000.00	$ 2,000.00	$ 46,000.00
8	Difusor lineal con recirculación de jugo	1	300	Tn/h	$ 4,500,000.00	$ 450,000.00	$ 225,000.00	$ 5,175,000.00
9	Tanque de jugo mixto	1	100	m3	$ 200,000.00	$ 20,000.00	$ 10,000.00	$ 230,000.00
10	Tanque de agua de imbibición	1	50	m3	$ 80,000.00	$ 8,000.00	$ 4,000.00	$ 92,000.00
11	Rolo desaguador	1	300	Tn/h	$ 30,000.00	$ 3,000.00	$ 1,500.00	$ 34,500.00
12	Molino de tres masas	1	300	Tn/h	$ 120,000.00	$ 12,000.00	$ 6,000.00	$ 138,000.00
13	Caldera de vapor	1	50	Tn/h	$ 3,000,000.00	$ 300,000.00	$ 150,000.00	$ 3,450,000.00
14	Planta de tratamiento de aguas	1	100	m3/h	$ 200,000.00	$ 20,000.00	$ 10,000.00	$ 230,000.00
15	Calentadores de jugo	3	100	m3/h	$ 80,000.00	$ 8,000.00	$ 4,000.00	$ 92,000.00
16	Evaporador de doble efecto	1	300	m3/h	$ 1,500,000.00	$ 150,000.00	$ 75,000.00	$ 1,725,000.00
17	Tanque de jugo clarificado	2	100	m3	$ 120,000.00	$ 12,000.00	$ 6,000.00	$ 138,000.00
18	Fermentadores fondo cónico	4	200	m3	$ 300,000.00	$ 30,000.00	$ 15,000.00	$ 345,000.00
19	Preferementadores	2	50	m3	$ 50,000.00	$ 5,000.00	$ 2,500.00	$ 57,500.00
20	Centrifugas	2	60	m3/h	$ 120,000.00	$ 12,000.00	$ 6,000.00	$ 138,000.00
21	Sistema de Destilación	1	20	m3/h	$ 1,200,000.00	$ 120,000.00	$ 60,000.00	$ 1,380,000.00
22	Sistema de Deshidratación	1	12	m3/h	$ 950,000.00	$ 95,000.00	$ 47,500.00	$ 1,092,500.00
23	Tanques de almacenamiento	5	200	m3	$ 200,000.00	$ 20,000.00	$ 10,000.00	$ 230,000.00
							TOTAL	**$ 15,461,750.00**

Fuente: Propia

Según la tabla anterior, el costo total por equipos de proceso asciende a quince millones cuatrocientos sesenta y un mil setecientos cincuenta dólares americanos ($ $15,461,750.00).

Terrenos y construcciones

En este apartado se tiene en cuenta el coste del lote donde se instalará la planta industrial, así mismo se consideran los costos de los cimientos para las estructuras y el costo en sí de las estructuras que bien pudieran ser de concreto armado o de acero estructural.

Tabla 19 Costo de terrenos y edificaciones

Número	Detalle	Costo ($)
1	Costo de Terreno	$ 1,500,000.00
2	Costo de Cimientos	$ 200,000.00
3	Costo de Estructuras	$ 400,000.00
	Total $	$ 2,100,000.00

El costo de venta se considera como el 10% del monto total vendido.

Costos de producción

Se conforma de la suma de los costos primos y de los gastos indirectos; por su parte el costo primo resulta al sumar el costo de la materia prima directa y el costo de mano de obra directa.

Costo de materia prima directa

A partir del balance de materiales realizado anteriormente, se pudo cuantificar la cantidad de sorgo dulce requerido para obtener una producción de 300 metros cúbicos diarios de bioetanol; para ello se asume un costo de $ 15/TN Sorgo; lo cual es bastante razonable pues actualmente el costo de la tonelada de caña de azúcar fluctúa en ese precio.

Tabla 20 Costo de materia prima al año

N°	Mat. Prima	Rendimiento (Tn Sorgo/m3. Bioet)	m3 Bioet./año	Tn Sorgo/año	C.U Tn Sorgo	C. Parcial Sorgo $ /año
1	Sorgo Dulce	21.80	80520.89	1755355.37	$ 15.00	$ 26,330,330.55
					Total	$ 26,330,330.55

Fuente: Propia

Mano de obra directa

Para poder determinar el costo de la mano de obra directa, se tienen que discriminar los costos, es decir clasificar según el tipo de labor que realiza el personal; tal es así que para el costo de mano de obra directa solo se tienen que considerar al personal que está involucrado en forma directa en la producción del bioetanol; es decir personal técnico que labora en el área de operaciones, tal como el operador de sala de control, el operador de campo y el de despacho.

Tabla 21 Costo mano de obra directo

N°	**Cargo**	**Cantidad**	**C. Parcial $ /mes**	**Parcial $/año**
1	Operador sala control	3	$ 4,333.50	52,002.00
2	Op. Campo	6	$ 6,763.00	81,156.00
3	Op. Almacenamiento	11	$ 12,453.83	149,445.96
4	Op. Despacho	1	$ 1,122.17	13,466.04
Total		21		296,070.00

Fuente: Propia

Total, de costos directos (US$) = Materia Prima + Mano de Obra

= 26,330,330.55 + 296,070.00

= 26,626,400.55

Costos indirectos

Se compone de la sumatoria de los costos referidos a mano de obra y materia prima indirecta.

Mano de Obra indirecta:

La mano de obra indirecta se refiere al total del recurso humano que realiza cualquier labor fuera del área de operaciones, aquí se incluyen las jefaturas, el personal del área administrativa, logística, limpieza, entre otros.

Tabla 22 Costo mano obra indirecta

N°	Personal	Cantidad	C. Parcial $ /mes	Parcial $/año
1	Gerente General	1	$ 5,286.50	$ 63,438.00
2	G. Planta	1	$ 3,524.67	$ 42,296.00
3	Jefe Producción	1	$ 2,884.00	$ 34,608.00
4	Jefe de Mantto	1	$ 2,723.83	$ 32,686.00
5	Jefe Calidad	1	$ 2,723.83	$ 32,686.00
6	J. Contabilidad	1	$ 2,403.50	$ 28,842.00
7	Jefe Turno	3	$ 7,216.50	$ 86,598.00
8	Jefe Logística	1	$ 2,403.50	$ 28,842.00
9	Limpieza	3	$ 1,690.75	$ 20,289.00
10	T. Mecánica	9	$ 10,171.50	$ 122,058.00
11	T. Electrica	3	$ 3,372.50	$ 40,470.00
12	T. Electrónico	3	$ 3,372.50	$ 40,470.00
13	Analistas calidad	9	$ 10,171.50	$ 122,058.00
14	Contador	1	$ 1,602.67	$ 19,232.00
15	Asistente	2	$ 1,926.00	$ 23,112.00
16	Vigilantes	3	$ 2,411.50	$ 28,938.00
Total		43		766,623.00

Fuente: Propia

Materia prima indirecta

La materia prima indirecta son aquellos materiales tales como insumos y reactivos químicos que se emplean en pequeñas cantidades en diversas etapas del proceso productivo tal es el caso de por ejemplo el ácido sulfúrico es empleado para la corrección de la acidez en los pre fermentadores, la soda caustica se emplea con fines de limpieza, el hipoclorito de sodio con fines de sanitización, entre otros.

Para poder cuantificar estos materiales se emplean los índices de consumo es decir una relación numérica entre el insumo consumido por cada litro de bioetanol anhidro producido; de esta manera se puede obtener una buena aproximación para fines de cálculos aproximados.

Tabla 23 Costo de la materia prima indirecta

N°	Mat. Prima indirecta	U.	Aplicación	Índice (g/L.)	C. U $/Kg	Base Calc.(m3/año) 100651.11	Costo anual
1	Antiespumante	Kg	Fermentación	0.3	10	$ 301,953.33	$ 214,667.73
2	Antincrustante	Kg	Destilación	0.07	7	$ 26,833.47	$ 268,334.66
3	Antibiótico	Kg	Fermentación	0.01	15	$ 26,833.47	$ 670,836.65
4	Ac. Sulfúrico	Kg	Fermentación	0.2	0.6	$ 26,833.47	$ 21,466.77
5	Ac. Fosfórico	Kg	Fermentación	0.1	0.8	$ 26,833.47	$ 18,783.43
6	Urea	Kg	Fermentación	0.1	1	$ 26,833.47	$ 26,833.47
7	Soda Caustica	Kg	Limpieza general	0.01	1.1	$ 26,833.47	$ 26,833.47
8	Hipoclorito de Sodio	Kg	Desinfección general	0.02	0.5	$ 26,833.47	$ 32,200.16
						Parcial	$ 1,601,957.92

Fuente: Área de producción destilería Casagrande

Total, de costos indirectos

Concepto	US$ al año
Mano obra indirecta	766,623.00
Material Indirecto	1,601,957.92
Depreciación	707,879.25
Total	3,076,460.17

Costo de producción para 80,520.9 m3 es:

Costo Directo = 26,626,400.55

Costo Indirecto = 3,076,460.17

Total (US$) = 29,702,860.72

Gastos de Ventas

Para dar un estimado del costo por concepto de ventas del producto, asumimos un 5% de la utilidad del producto principal, calculando tendríamos:

$70,727,735.63 x (5%) = $ 3 536 386.78; dividiéndolo entre la producción anual de bioetanol (100651.1 m3), se obtiene: $ 35.1/m3.

- *Gastos administrativos*

Aquí tenemos agrupados los costos de escritorio, mobiliario y de diversos servicios como internet y cable.

Tabla 24 Gastos administrativos

N°	Detalle	Costo anual
1	Mobiliario Administrativo	$ 40,000.00
2	Material de escritorio	$ 500.00
3	Papelería	$ 200.00
4	Repuestos	$ 150,000.00
5	Vigilancia	$ 24,000.00
6	Servicios de internet	$ 500.00
7	Servicios de cable	$ 600.00
	Parcial/año	**$ 215,800.00**

Fuente: Propia

Flujo de Caja económico

El flujo de caja económico, es el recuento de ingresos y egresos, los cuales se proyectan a partir del balance de materiales y del plan de producción anual.

Tabla 25 Flujo de caja para el proyecto

Item	Descripción		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			2019	2020	2021	2022	2023	2024	2024	2024	2024	2024	2024
		P. Venta											
1	Prod. Bioetanol (m3)	$ 350.00		80520.89	90586.00	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11
2	Prod. Oleo fusell (m3)	$ 100.00		2175.67	2447.62	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58
3	**Ingreso x Ventas Totales**			**$ 28,399,877.52**	**$ 31,949,862.21**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**
4	**Costos Variables**												
4.1	C.V. Etanol (m3)	$ 230.50		$ - 18,560,064.80	$ - 20,880,072.90	$ - 23,200,081.01	$ -23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$- 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$- 23,200,081.01
4.2	C.V. Oleo fusell (m3)	$ 90.00		$ - 195,809.88	$ - 220,286.12	$ - 244,762.35	$ -244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35
5	**Costos Fijos(G. Ad. y Ven.)**	$ 3,752,186.80		$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ -3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80
6	Intereses	9%		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
8	Deprec, Maquin. Y Equipo	$ 707,879.25		$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ -707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25
9	**Egresos Totales**			**$ - 23,215,940.74**	**$ - 25,560,425.07**	**$ - 27,904,909.41**	**$ -27,904,909.41**	**$ - 27,904,909.41**	**$ - 27,904,909.41**	**$- 27,904,909.41**	**$ - 27,904,909.41**	**$ - 27,904,909.41**	**$- 27,904,909.41**
10	**Utilidad Bruta**			**$ 5,183,936.78**	**$ 6,389,437.14**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**	**$ 7,594,937.49**
11	Impuesto	28%		$ 1,451,502.30	$ 1,789,042.40	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50
12	**Utilidad Neta**			**$ 3,732,434.48**	**$ 4,600,394.74**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**	**$ 5,468,354.99**
14	Deprec, Maquin. Y Equipo	$ 707,879.25		$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25
18	Terreno y Edificios		$ 2,100,000.00	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
19	Equipos y Maquinaria		$ 15,730,650.00	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
22	Préstamo	0%	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
23	Tasa interes Bancaria	0%		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
24	Amortización de la deuda			$ -	$ -	$ -	$ -	$ -					
25	**Flujo económico**		$ - 17,830,650.00	**$ 4,440,313.73**	**$ 5,308,273.99**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**	**$ 6,176,234.24**

Fuente: Propia

Cálculo de la rentabilidad económica del proyecto.

Para calcular la rentabilidad económica no se toma en cuenta el costo de financiamiento, es decir no se toma en cuenta la deuda y sus costos; sino más bien solo ingresos y egresos bajo el supuesto que el proyecto es autofinanciado por los accionistas, para poder determinarla se suelen aplicar los indicadores económicos de valor actual neto (VAN), y tasa interna de retorno (TIR), a una tasa mínima de retorno de 16%.

Al realizar los cálculos pertinentes se obtienen los siguientes resultados:

VAN = $250,635.52

TIR = 29%

En base a éstos resultados se evidencia que el proyecto resulta rentable.

Estudio Financiero del proyecto

A diferencia del caso anterior, en el estudio financiero si se considera la deuda y su costo; para nuestro caso se asume un interés por préstamo bancario de 9% anual; además se considera que el porcentaje a financiar corresponde al 60% del monto total requerido para la realización del producto; cabe resaltar que el estudio financiero es el que debe primar pues es casi imposible imaginar que a la fecha un producto de gran envergadura como lo es la instalación de una planta industrial no sea financiado.

Cuota, interés y amortización

Cuota de interés

Utilizamos la expresión:

C = P(i)(1+i)^n /((1+i)^n -1) (Nassir Sapag 2011)

Donde:

C = Cuota

P = Monto financiado

i = Tasa de interés

n = tiempo

Ingresando los datos en la formula mostrada arriba, se obtiene una cuota de interés anual de $1,641,884.08.

Cálculo de la Amortización de la deuda

Para calcular la amortización, se resta a la cuota el monto correspondiente al interés a pagar, obteniéndose los siguientes resultados para el primer año de pago de la deuda.

$1,641,884.08 - $948,334.50 = $693,549.58

Tabla 26 Cuota y amortización de la deuda

Año	Saldo Adeudado ($)	Cuota ($)	Interés ($)	Amortización deuda ($)
1	$ 10,537,050.00	$ 1,641,884.08	$ 948,334.50	$ 693,549.58
2	$ 9,843,500.42	$ 1,641,884.08	$ 885,915.04	$ 755,969.04
3	$ 9,087,531.38	$ 1,641,884.08	$ 817,877.82	$ 824,006.25
4	$ 8,263,525.13	$ 1,641,884.08	$ 743,717.26	$ 898,166.82
5	$ 7,365,358.31	$ 1,641,884.08	$ 662,882.25	$ 979,001.83
6	$ 6,386,356.48	$ 1,641,884.08	$ 574,772.08	$ 1,067,112.00
7	$ 5,319,244.48	$ 1,641,884.08	$ 478,732.00	$ 1,163,152.07
8	$ 4,156,092.41	$ 1,641,884.08	$ 374,048.32	$ 1,267,835.76
9	$ 2,888,256.65	$ 1,641,884.08	$ 259,943.10	$ 1,381,940.98
10	$ 1,506,315.67	$ 1,641,884.08	$ 135,568.41	$ 1,506,315.67

Fuente: Propia

Flujo de Caja Financiero

El flujo de caja financiero es similar que el económico solo que en el financiero se proyectan la deuda y sus costos.

Tabla 27 Flujo de caja financiero

Ítem	Descripción		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			2019	2020	2021	2022	2023	2024	2024	2024	2024	2024	2024
		P. Venta											
1	Prod. Bioetanol (m3)	$ 350.00		80520.89	90586.00	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11	100651.11
2	Prod. Oleo fusell (m3)	$ 100.00		2175.67	2447.62	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58	2719.58
3	**Ingreso x Ventas Totales**			**$ 28,399,877.52**	**$ 31,949,862.21**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**	**$ 35,499,846.90**
4	**Costos Variables**												
4.1	C.V. Etanol (m3)	$ 230.50		$ - 18,560,064.80	$ -20,880,072.90	$ -23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$- 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$ - 23,200,081.01	$-23,200,081.01
4.2	C.V. Oleo fusell (m3)	$ 90.00		$ - 195,809.88	$ -220,286.12	$ -244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ - 244,762.35	$ -244,762.35
5	**Costos Fijos(G. Ad. y Ven.)**	$ 3,752,186.80		$ - 3,752,186.80	$ -3,752,186.80	$ -3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ - 3,752,186.80	$ -3,752,186.80
6	Intereses	9%		$ - 962,855.10	$ -704,168.99	$ -830,400.91	$ - 755,104.83	$ - 673,032.09	$ - 583,572.81	$ - 486,062.20	$ - 379,775.63	$ - 263,923.27	$ -137,644.19
8	Deprec, Maquin. Y Equipo	$ 707,879.25		$ - 707,879.25	$ -707,879.25	$ -707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ - 707,879.25	$ -707,879.25
9	**Egresos Totales**			**$ - 24,178,795.84**	**$ -26,264,594.06**	**$ -28,735,310.32**	**$ - 28,660,014.23**	**$ - 28,577,941.50**	**$ - 28,488,482.22**	**$- 28,390,971.60**	**$ - 28,284,685.03**	**$ - 28,168,832.67**	**$-28,042,553.60**
10	**Utilidad Bruta**			**$ 4,221,081.68**	**$ 5,685,268.14**	**$ 6,764,536.58**	**$ 6,839,832.66**	**$ 6,921,905.40**	**$ 7,011,364.68**	**$ 7,108,875.29**	**$ 7,215,161.86**	**$ 7,331,014.22**	**$ 7,457,293.30**
11	Impuesto	28%		$ 1,451,502.30	$ 1,789,042.40	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50	$ 2,126,582.50
12	**Utilidad Neta**			**$ 2,769,579.38**	**$ 3,896,225.75**	**$ 4,637,954.08**	**$ 4,713,250.17**	**$ 4,795,322.90**	**$ 4,884,782.18**	**$ 4,982,292.79**	**$ 5,088,579.37**	**$ 5,204,431.73**	**$ 5,330,710.80**
14	Deprec, Maquin. Y Equipo	$ 707,879.25		$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25	$ 707,879.25
18	Terreno y Edificios		$ 2,100,000.00	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
19	Equipos y Maquinaria		$ 15,730,650.00	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
22	Préstamo	50%	$ - 8,915,325.00	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
23	Tasa interés Bancaria	9%											
24	Amortización de la deuda			$ - 693,549.58	$ -755,969.04	$ -824,006.25	$ - 898,166.82	$ - 979,001.83	$ - 1,067,112.00	$ - 1,163,152.07	$ - 1,267,835.76	$ - 1,381,940.98	$ -1,506,315.67
25	**Flujo financiero**		$ - 8,915,325.00	**$ 2,783,909.05**	**$ 3,848,135.96**	**$ 4,521,827.08**	**$ 4,522,962.60**	**$ 4,524,200.32**	**$ 4,525,549.43**	**$ 4,527,019.97**	**$ 4,528,622.85**	**$ 4,530,370.00**	**$ 4,532,274.38**

Fuente: propia

Cálculo de la Rentabilidad del proyecto financiado

Para éste cálculo, se empelan los indicadores valor presente neto, y tasa interna de retorno; de modo tal que se obtienen los siguientes datos

Al realizar los cálculos pertinentes se obtienen los siguientes resultados:

VAN = $363,443.20

TIR = 42%

3.3 Discusión de Resultados

En nuestra investigación realizada se obtuvo que la capacidad productiva más conveniente es de 300 metros cúbicos de etanol diarios, la planta industrial se ubicará en Lambayeque, la tecnología empleada para la deshidratación será los tamices moleculares; éstos resultados son distintos a los de Muro (2017) , quien en su investigación obtiene un tamaño de planta de 6.7 m3 de etanol por día; respecto a nuestra evaluación económica se obtuvieron los siguientes valores para el valor presente neto (VPN), y la tasa interna de retorno (TIR) $363,443.20, 42% respectivamente; estos resultados son similares a los resultados de Álvarez y Pérez (2011), los cuales fueron 14.5% y $ 37 718 377 para la TIR y para el VPN, respectivamente.

Por otro lado, Spancer y Celis (2010), obtuvieron resultados para sus indicadores económicos, de: 613 para el VPN y 79.16% para el TIR.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El estudio de mercado nos indica que a nivel nacional existe un superávit en la producción de bioetanol pues se produce más de lo que se requiere, pues se demandan 205 m3 por día y se producen alrededor de 950 m3 por día; a diferencia del mercado internacional en el que se tiene un déficit de alrededor de 20 mil millones de litros de bioetanol

La ubicación de la planta será en Lambayeque, por presentar mejores prestaciones para tal fin.

La capacidad de la planta se fija en 300 m3 de bioetanol al día y toda la producción será destinada a la exportación ya que el déficit de oferta se tiene a nivel exterior.

La tecnología empleada para la deshidratación del etanol consiste en el empleo de tamices moleculares porque son más eficientes energéticamente hablando, fácil operación, bajo costo de instalación y mantenimiento.

La comercialización del producto empieza con el despacho en planta luego se transporta en cisternas vía terrestre hasta el puerto de embarque para finalmente ser cargados en los buques alcoholeros para salir del país vía marítima hacia su puerto de destino.

Producir Bioetanol a nivel industrial en Lambayeque; empleando sorgo dulce como materia prima es factible ya que los indicadores económicos para el Valor presente neto (VPN) es $363,443.20 y para la tasa interna de retorno (TIR) es 42%

4.2 Recomendaciones

En el estudio de mercado evaluar también productos alternativos que pudieran empelarse como materia prima.

En la parte técnica emplear platos de cobre en las columnas de destilación para reducir los contaminantes sulfurados presentes en el bioetanol.

Adicionar trampas de arrastre para evitar el arrastre entre las columnas.

Realizar estudios de ingeniería para determinar la factibilidad de procesar los efluentes tales como vinazas, flegmasas, y levadura muerta.

REFERENCIAS

Abril A., & Navarro E., (2012). Etanol a partir de Biomasa Lignocelulósica. ISBN:

978-84-15225-50-8. Recuperado de https: //www. Researchgate.net/publication/241216642."

Baca, G. (2013). Evaluation de Proyectos, 7° Ed. Mc. Graw Hill. Mexico D. F

Chuck, C. Pérez, E, Heredia, E. Serna, S. (2011) Sorgo como un cultivo

multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. Revista Mexicana de Ingeniería Química 10: 529-549"

Cardona C, & Sánchez R. (2004) Analysis of integrated flow sheets for biotechnological production of fuel ethanol. En PRES 2004 - 16th Internat. Cong. Chemical and Process Engineering (CHISA 2004). Praga, República Checa. (Formato CD)".

Chávez, C. (2007). Uso del Bioetanol en el Perú, Dirección General de Promoción Agraria – Ministerio de Agricultura."

Congreso del Perú (07 de agosto 2005) Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles Ley 28054, DS- 13_2005_EM, Artículo n° 6."

Gros, H. Diaz S.Brignole, E, (1998), Near-Critical Separation Of Aqueous Azeotropic Mixtures: Process Synthesis And Optimization. Journal of Supercritical Fluids. Volume 12, Number 1. Publisher Elsevier"

Guan, H. (2003) Simulation And Analysis Of Pressure Swing Adsorption: Etanol Drying Process By The Electrical Analogue. Institute of Chemical Engineering, South China University of Technology. Guangzhou. Department of Chemical Engineering, University of Science and Technology, Hong Kong -China"

Gulati M., Kohlman K., Ladish M.R., Hespell R., Bothast R.J. (1996). Assessment of etanol production options for corn products. Bioresource Technology, 5: 253-264."

Marulanda, T. Zapata, L. Jaramillo, M. (2017). Producción de Bioetanol a partir de Elodea sp, Ingenierías USBMed, Vol. 8, No. 1.”

Muro, A. (2017) Diseño y Evaluación Económica – Financiera Para La Instalación De Una Planta Industrial De Etanol Anhidro A Partir De La Vaina De Algarroba (Prosopis pallida) con fines de exportación. (Tesis de Grado). Universidad CAtólica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo. Perú.”

Lopez, G., (2014), Evaluación con Opciones Reales para la Instalación de una planta de Bioetanol-Montecillo, México.”

Ludeña, D. (2018). Estudio De Prefactibilidad Para La Producción Industrial De Bioetanol Anhidro A Partir De Residuos Lignocelulósicos En La Ciudad De Lima-2018(Tesis de Pregrado), Universidad Señor de Sipan, Lambayeque. Perú.

Norma Técnica Peruana (2003). Bebidas Alcohólicas, Alcohol Etílico Definiciones (p1, p2, p3, p4) Lima, Perú.”

Quintero Dallos, V., (2009) Evaluación del Potencial de Producción de Etanol Combustible a partir de la Biomasa Secundaria Disponible en la Agroindustria Azucarera Colombiana. (Tesis de Maestría), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Colombia.”

Rios, P (2019). Estudio De Prefactibilidad Para La Instalación De Una Planta De Producción De Alcohol Carburante A Partir Del Sorgo Dulce En La Región Piura (Tesis de Pregrado), Universidad Señor de Sipan. Lambayeque. Perú.

Spancer, Lopez y Celis, (2010). Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta de Producción de Alcohol Carburante a partir de la Caña de azúcar en la región Loreto. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Loreto. Perú.”

Sapag, N. (2011). Proyectos de Inversión Formulación y Evaluación 2° Ed. Pearson, Chile.”

Uyazán, A., et al. (2003). Simulación De La Deshidratación De Etanol Azeotrópico Por Destilación Extractiva, Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.”

ANEXOS:

ANEXO-1

BALANCE DE MATERIALES

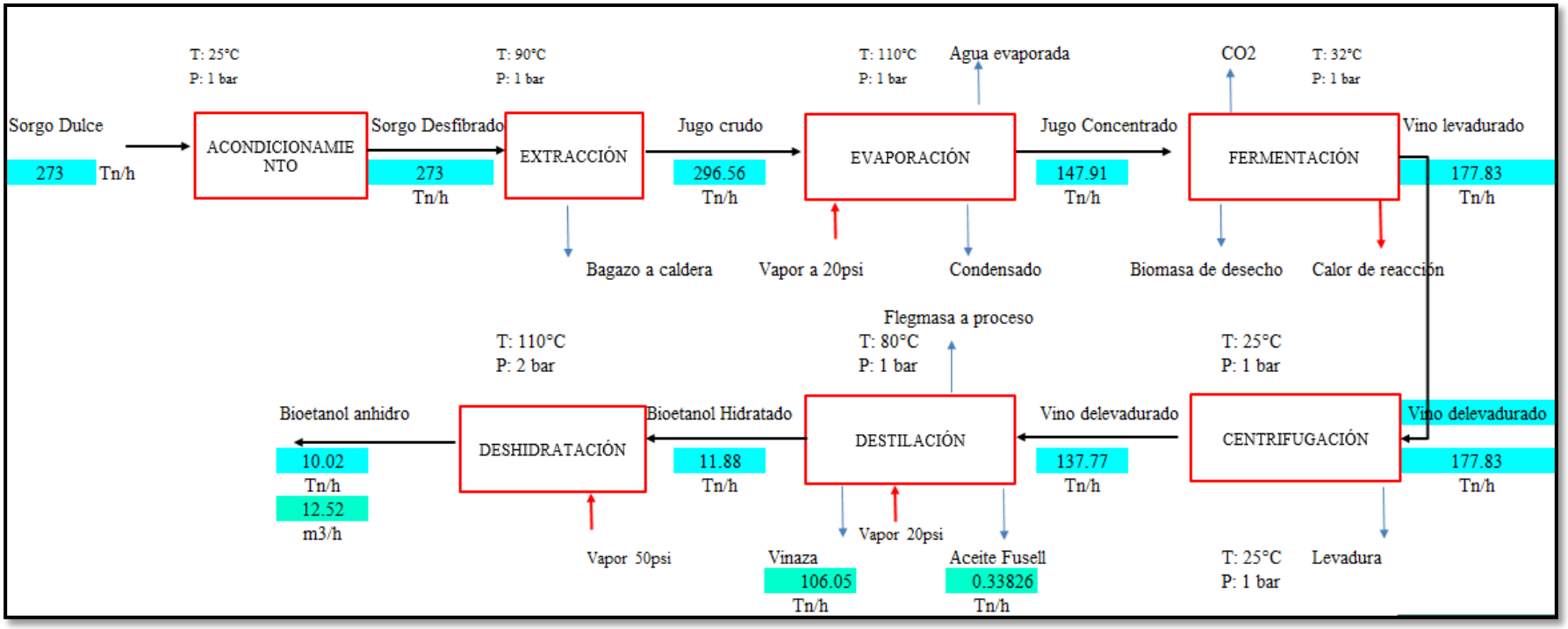


Figura 21 Balance de materiales global para la planta de bioetanol.

Fuente. Propia

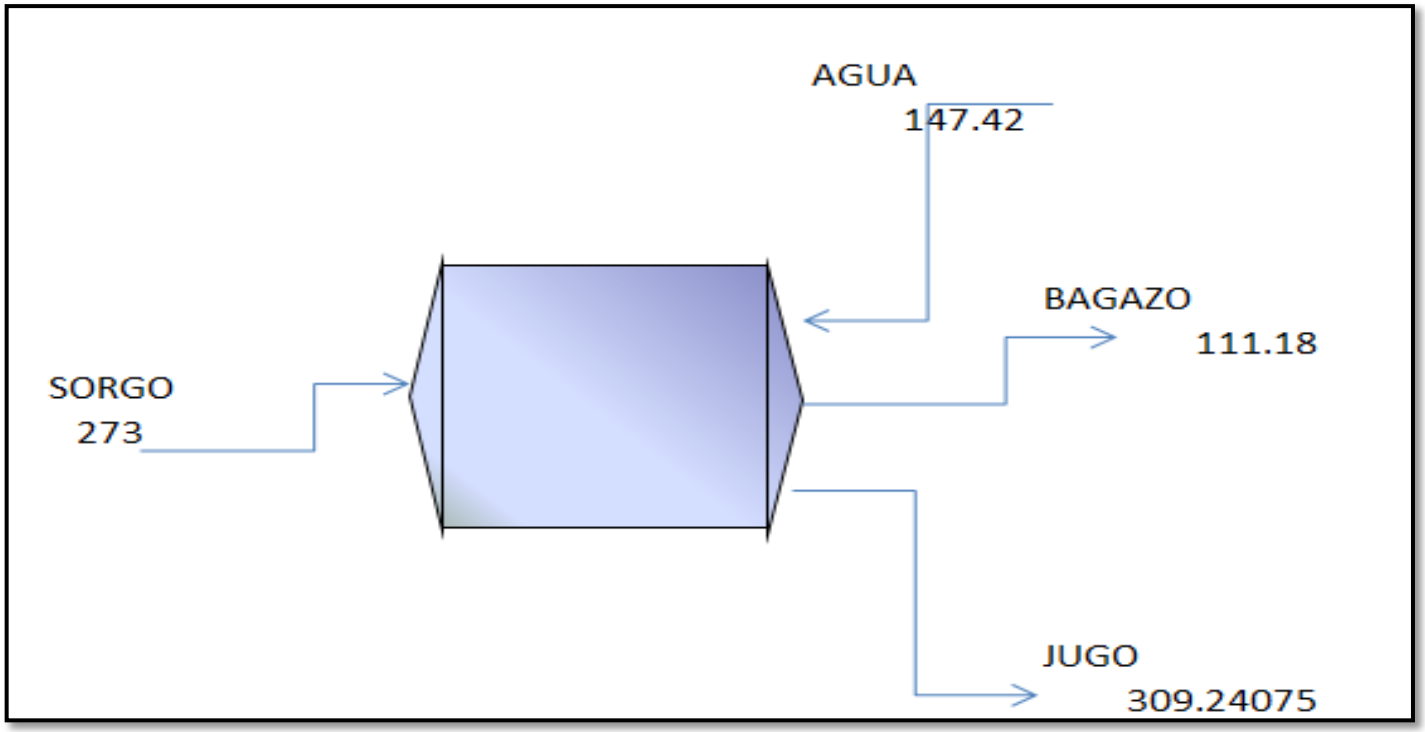
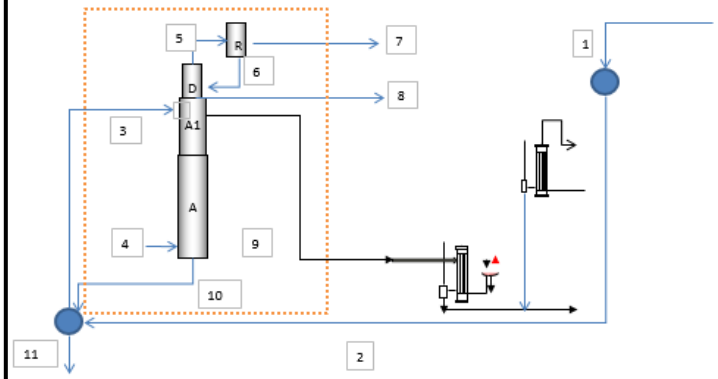


Figura 22 Balance en el difusor de sorgo

Fuente. Propia



PARAMETROS	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura	C	30.00	60.00	86.95	120.00	89.00	89.00	87.00	94.00	90.00	108.00	95.00
Grado Alcóholico	GL	8.00	8.00	8.00	0.00	92.00	92.00	94.00	90.00	49.80	0.00	0.00
Grado Alcóholico	% W	6.42	6.42	6.42	0.00	88.29	88.29	91.00	85.66	42.20	0.00	0.00
Densidad	kg/L	0.99201	0.99201	0.9920	1.0000	0.8339	0.834	0.8199	0.8272	0.9436	1.00	1.00
Flujo Volumétrico	lph	30,000	30,000	30,000	4,932	2,400	2,380	20	80	4,618	30,252	30,252
Flujo Másico	kph	29,760	29,760	29,760	4,932	2,001	1,985	16	66	4,358	30,252	30,252
Flujo Alcohol Puro	kph	1,911	1,911	1,911	0	1,767	1,752	15	57	1,839	0	0
Estado		1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1
xA o yA		0.026	0.026	0.026	0.000	0.747	0.747	0.798	0.700	0.222	0.000	0.000
Entalpía	kJ/kgmol	-3,729.78	-1,403.94	685.44	46,399.30	40,900.44	1,213.24	1,011.93	1,735.50	44,061.72	2,280.70	1,288.80
PM promedio	kg/kgmol	18.75	18.75	18.75	18.02	38.96	38.96	40.40	37.66	24.25	18.02	18.02
Entalpía	kcal/kg	-47.50	-17.88	8.73	615.00	250.73	7.44	5.98	11.01	434.00	30.23	17.08
Energía	kcal/h	-1,413,751.77	-532,155.20	259,812.39	########	501,794.59	14,760.88	98.09	728.42	#######	914,490.89	######

Balance Total Columna Mostera: L3 + L4 = L7 + L8 + L9 + L10

Balance Parcial: L3 x3 = L7 x7 + L8 x8 + L9 x9

Cálculo del Vapor Alcohólico (9):

$$L9 = \frac{L3\,x3 - L7\,x7 - L8\,x8}{x9}$$

$$L9 = \frac{29760 \times 6.42 - 16 \times 91 - 66 \times 85.66}{42.20}$$

L9 = 4357.83 kph

Balance Total de Energía: L3 H3 + L4 H4 = L7 H7 + L8 H8 + L9 H9 + L10 H10 + Ql + Qc

Balance al Condensador: L5 H5 = L6 H6 + L7 H7 + L8 H8 + Qc

Qc = L5 H5 - (L6 H6 + L7 H7 + L8 H8)

Qc = 486,207.20 kcal/h

Cálculo de vapor y vinaza:

L4 - L 10 = L7 + L8 + L9 - L3 = -25,320

L4 H4 - L10 H10 = L7 H7 + L8 H8 + L9 H9 - L3 H3 + Ql + Qc = 2,118,507.07

1	-1		-25,319.90
615.0	-30.2		2,118,507.07
-0.052	0		4,931.71
-1.052	0		30,251.61

Flujo de vapor = 4,931.71 kph

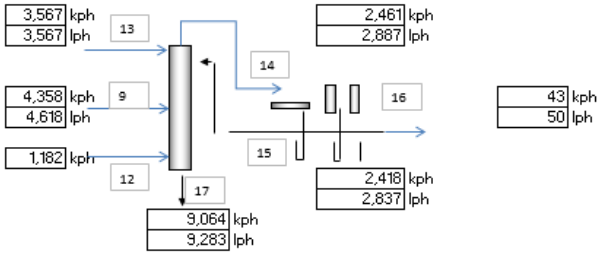
Flujo de vinaza = 30,251.61 kph

COMPROBACION:	INGRESOS:	SALIDAS:
BALANCE TOTAL	34,692	34,692
BALANCE PARCIAL	1,911	1,911

RAZON kg vapor/L alcohol: 1.99

Figura 23 Balance de materiales para la columna mostera

Fuente. Propia



PARAMETROS	Unidad	9	12	13	14	15	16	17
Temperatura	C	90.00	160.00	90.00	84.35	64.70	60.00	90.00
Grado Alcóholico	GL	49.80	0.00	0.00	84.00	84.00	84.00	16.00
Grado Alcóholico	% W	42.20	0.00	0.00	78.18	78.18	78.18	19.92
Densidad	kg/L	0.9436	1	1	0.8525	0.8525	0.853	0.9765
Flujo Volumétrico	lph	4,618	1,182	3,567	2,887	2,837	50	9,283
Flujo Másico	kph	4,358	1,182	3,567	2,461	2,418	43	9,064
Flujo Alcohol Puro	kph	1,839	0	0	1,924	1,891	33	1,806
Estado		1	2	1	2	1	1	1
xA o yA		0.222	0.000	0.000	0.584	0.584	0.584	0.089
Entalpía	kJ/kgmol	1,031.43	47,767.30	907.30	41,606.22	-1,390.84	-1,878.36	956.85
PM promedio	kg/kgmol	24.25	18.02	18.02	34.39	34.39	34.39	20.51
Entalpía	kcal/kg	10.16	633.13	12.03	289.00	-9.66	-13.05	11.14
Energía	kcal/h	44,272.61	748,456.00	42,897.06	711,237.61	-23,363.98	-556.14	101,021.24

Balance Total **L12 + L13 + L9 = L16 + L17**

Balance Parcial **L9 X9 = L16 X16 + L17 X17**

Grado Fondo Cl: **X17** $= \frac{L9\,X9 - L16\,X16}{L17}$

X17 $= \frac{4358 \times 42.2 - 43 \times 78.18}{9{,}064.44}$

X17 = 19.92 %W

Balance de Energía: **L12 H12 + L13 H13 + L9 H9 = L16 H16 + L17 H17 + Qc + Ql**

Balance al Condensador: **L14 H14 = L15 H15 + L16 H16 + Qc**

Qc = L14 H14 – (L15 H15 + L16 H16)

Qc = 735,158 kcal/h

Cálculo del Flujo de Vapor a la Columna Hidroselec L12 = L16 + L17 - (L9 + L13)

L12 = 1,182 KPH

Cálculo del Flujo de Vapor a la Columna Hidroselectora:

L12 – L17 = L16 – L9 – L13 = -7,882

L12 H12 – L17 H17 = L16 H16 – L9 H9 – L13 H13 + Qc = #####

1	-1		-7,882
633.1	-11.1		647,432
-0.018	0.002		1,182
-1.018	0.002		9,064

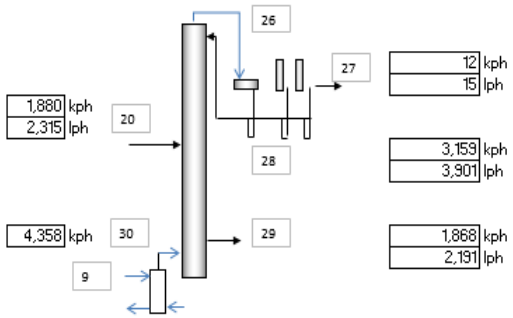
Flujo de vapor = 1,182 kph

Fondo de Cl = 9,064 kph

COMPROBACION:	INGRESOS:	SALIDAS:		RAZON kg vapor/L alcohol
BALANCE TOTAL	9,107	9,107	0	
BALANCE PARCIAL	1,839	1,839	0	0.48

Figura 24 Balance de materiales para la columna Hidroselectora

Fuente. Propia



PARAMETROS	Unidad	9	9	20	30	30	26	27	28	29
Temperatura	C	90.00	90.00	85.07	160.00	160.00	80.00	60.00	60.00	86.00
Grado Alcóholico	GL	49.80	49.80	96.00	0.00	0.00	96.40	96.40	96.40	96.00
Grado Alcóholico	% W	42.20	42.20	93.82	0.00	0.00	94.56	91.00	94.56	93.82
Densidad	kg/L	0.9436	0.9436	0.8121	1	1	0.8100	0.8199	0.8100	0.8525
Flujo Volumétrico	lph	4,618	4,618	2,315	4,618	30,252	3,916	15	3,901	2,191
Flujo Másico	kph	4,358	4,358	1,880	4,358	30,252	3,172	12	3,159	1,868
Flujo Alcohol Puro	kph	1,839	1,839	1,764	0	0	2,999	11	2,988	1,752
Estado		2	1	1	2	1	2	1	1	1
xA o yA		0.222	0.222	0.856	0.000	0.000	0.872	0.798	0.872	0.856
Entalpía	kJ/kgmol	44,061.72	2,280.70	811.15	47,767.30	6,248.30	39,545.13	-2,061.02	-2,123.66	919.52
PM promedio	kg/kgmol	24.25	18.02	42.02	18.02	18.02	42.47	40.40	42.47	42.02
Entalpía	kcal/kg	434.00	30.23	4.61	633.13	82.82	222.41	-12.18	-11.94	5.23
Energía	kcal/h	1,891,286	914,491	8,668	2,759,076	######	705,421	-150	-37,736	9,762

Balance Total **L20 = L27 + L29**

Flujo de Producto **L29 = L20 - L27**

L29 = 1,868 kph

Balance de Energía: **L20 H20 + Qb = L27 H27 + L29 H29 + Qc + QL**

Balance al Condensador: **L26 H26 = L27 H27 + L28 H28 + Qc**

Qc = L26 H26 - (L27 H27 + L28 H28)

Qc = 743,307 kcal/h

Cálculo de la carga térmica a la columna demetiladora

Qb = L27 H27 + L29 H29 - L20 H20 + Qc + QL

Qb = 744,251 Kcal/h

Calor latente de la corriente alcohólica: 403.77 kcal/kg

Flujo de vapor alcohólica necesario: 1,843 kg/h

Flujo de vapor alcohólica disponible: 4,358 kg/h

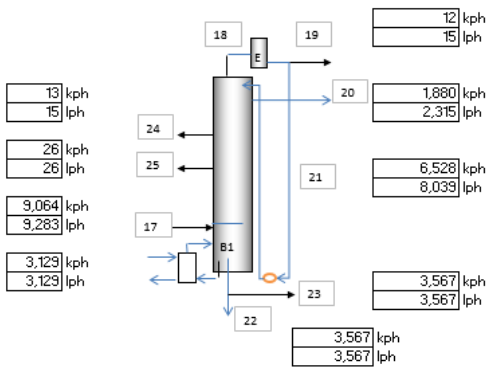
COMPROBACION:	INGRESOS:	SALIDAS:	
BALANCE TOTAL	1,880	1,880	0
BALANCE PARCIAL	1,764	1,764	0

RAZON kg vapor/L alcohol

0.00

Figura 25 Balance de materiales para la columna demetiladora

Fuente. Propia



PARAMETROS	Unidad	Vapor	Cond.	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Temperatura	C	160.00	160.00	90.00	84.00	50.00	85.07	50.00	107.00	107.00	92.00	94.00
Grado Alcóholico	GL	0.00	0.00	16.00	96.00	94.00	96.00	96.00	0.00	0.00	84.00	86.00
Grado Alcóholico	% W	0.00	0.00	19.92	93.82	91.00	93.82	93.82	0.00	0.00	78.18	80.62
Densidad	kg/L	1	1	0.9765	0.8121	0.8199	0.812	0.8121	1	1	0.8525	0.8525
Flujo Volumétrico	lph	3,129	3,129	9,283	8,054	15	2,315	8,039	3,567	3,567	15	30
Flujo Másico	kph	3,129	3,129	9,064	6,541	12	1,880	6,528	3,567	3,567	13	26
Flujo Alcohol Puro	kph	0	0	1,806	6,136	11	1,764	6,125	0	0	10	21
Estado		1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
xA o yA		0.000	0.000	0.089	0.856	0.798	0.856	0.856	0.000	0.000	0.584	0.619
Entalpía	kJ/kgmol	6,248.30	47,767.30	956.85	39,914.90	-3,199.14	811.15	-3,275.37	2,204.40	2,204.40	1,440.88	1,675.05
PM promedio	kg/kgmol	18.02	18.02	20.51	42.02	40.40	42.02	42.02	18.02	18.02	34.39	35.39
Entalpía	kcal/kg	82.82	633.13	11.14	226.87	-18.91	4.61	-18.62	29.22	29.22	10.01	11.31
Energía	kcal/h	259,134.81	1,981,046.47	101,021.24	1,483,877.48	-232.58	8,667.89	-121,536.16	######	104,217.12	127.99	289.13

Balance Total **L17 = L19 + L20 + L22 + L23 + L24 + l25**

Balance Parcial **L17 X17 = L19 X19 + L20 X20 + L24 X24 + L25 X25**

Flujo de Producto **L20 =** $\frac{L17\,X17 - (L19\,X19 + L24\,X24 + L25\,X25)}{X20}$

L20 = $\frac{9064 \times 19.9204858264668 - 12 \times 91 - 13 \times 78.18 - 26 \times 80.62}{93.82}$

L20 = 1,880 kph

Balance de Energía: **L17 H17 + Qb = L19 H19 + L20 H20 + L22 H22 + L23 H23 + L24 H24 + L25 H25 + Qc + Q**

Balance al Condensador: **L18 H18 = L19 H19 + L20 H20 + Qc**

Qc = L18 H18 – (L19 H19 + L20 H20)

Qc = 1,605,646 kcal/h

Cálculo de la Relación de Reflujo Mínimo:

Relación de Reflujo de la Columa Rectifica R = 1.5 x Rm = 3.47

Cálculo del Reflujo de la Columna Rectificadora: L21 = R x L20

L21 = 6528 kph

Cálculo del Flujo de Flegmaza a la acequia: L23 = L17 - (L19 + L20 + L22 + L24 + L25)

L23 = 3,567 KPH

L22 + L23 = 7,134 KPH

Cálculo de la Carga Térmica a la Columna Rectificadora:

Qb = L19 H19 + L20 H20 + L22 H22 + L23 H23 + L24 H24 + L25 H25 +Qc + Ql – L17 H17

Qb = 1,721,912 Kcal/h

7.26E+08

1.32E+06

Características del Vapor:

Presión 20 psi

Temperatura 160 C

Calor Latente 550.31 Kcal/kg

Flujo de vapor: 3,129 kg/h

COMPROBACION: INGRESOS: SALIDAS: RAZON kg vapor/L alcohol

Figura 26 Balance de materiales para la columna rectificadora

Fuente: Propia

ANEXO-2

MODELO DE LOS PRINCIPALES UNIDADES OPERATIVAS

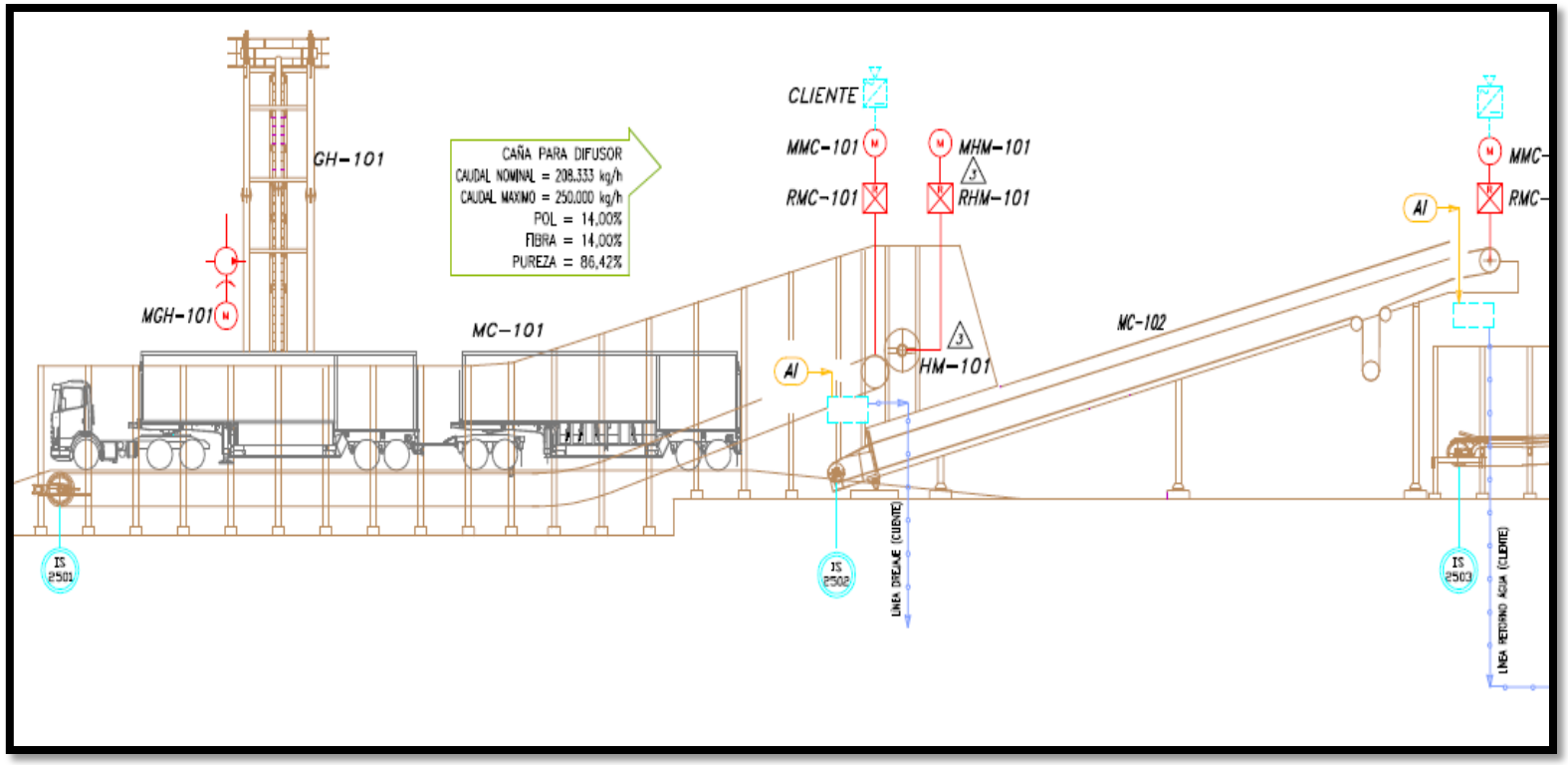
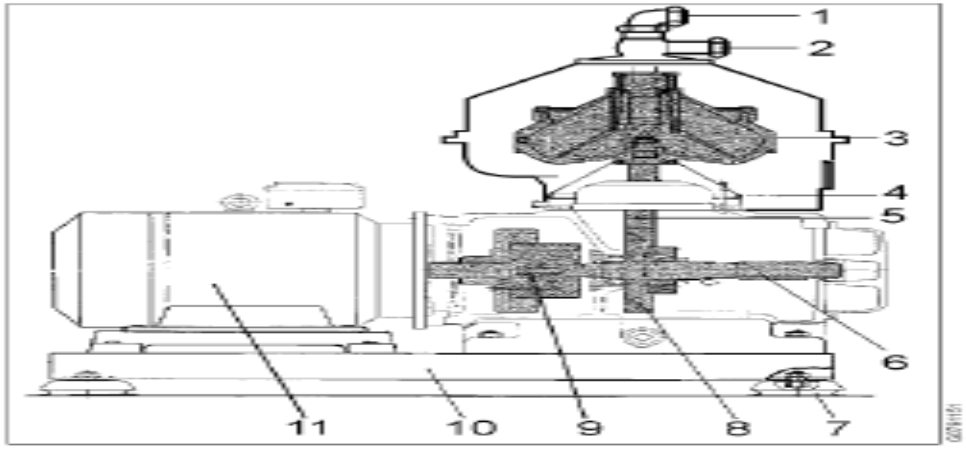


Figura 27 Modelo para la Grúa Hilo y para la mesa de recepción

Fuente: Propia

Figura 28 Modelo para el intercambiador de placas

Fuente: Propia



1. Inlet device
2. Outlet clean liquid
3. Bowl
4. Outlet device
5. Vertical driving device with bowl spindle
6. Horizontal driving device
7. Frame feet
8. Worm gear
9. Rigid coupling
10. Foundation
11. Electric motor

Figura 29 Modelo para la centrifuga

Fuente: Propia

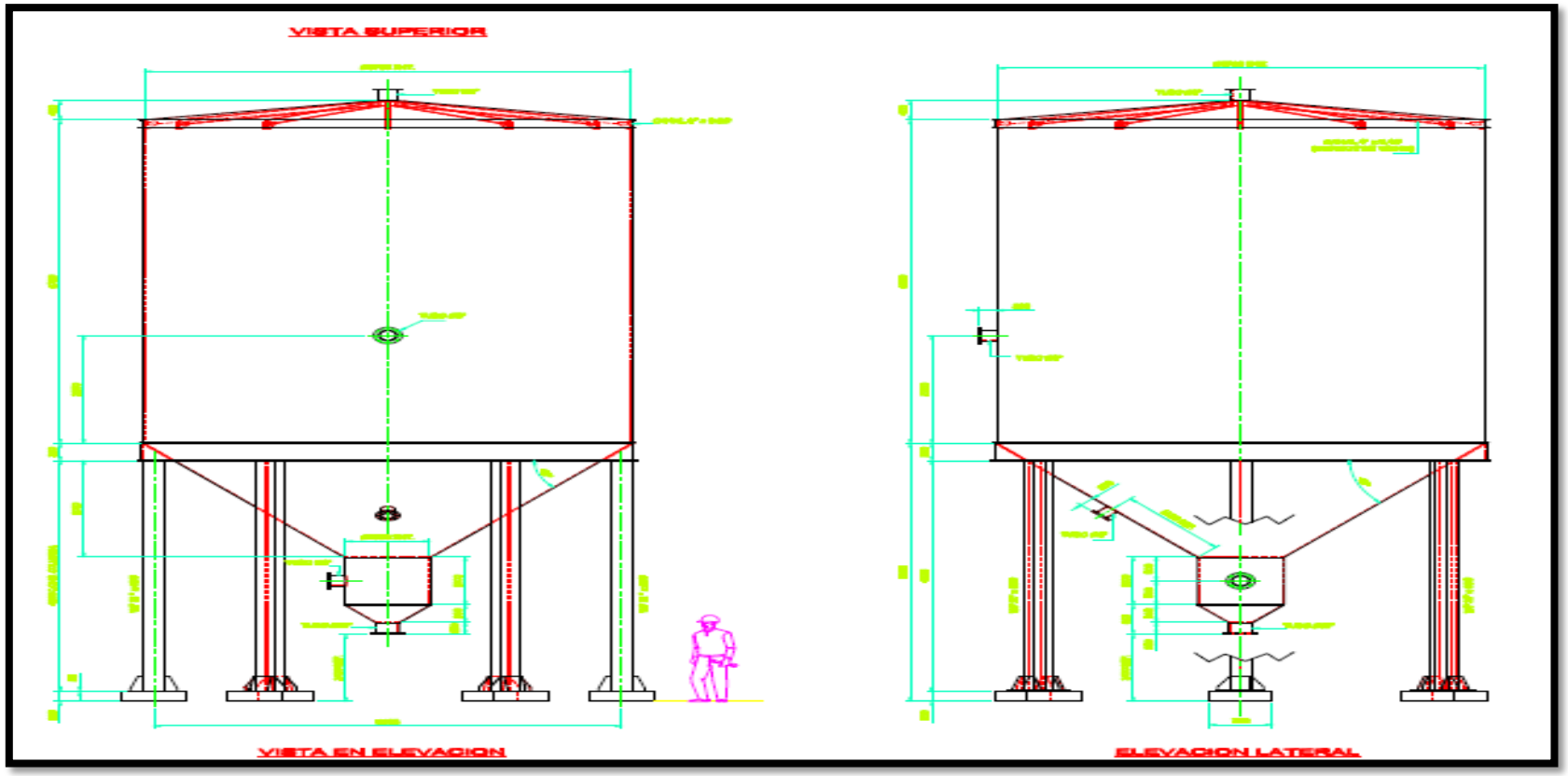


Figura 30 Modelo para los fermentadores

Fuente: Propia

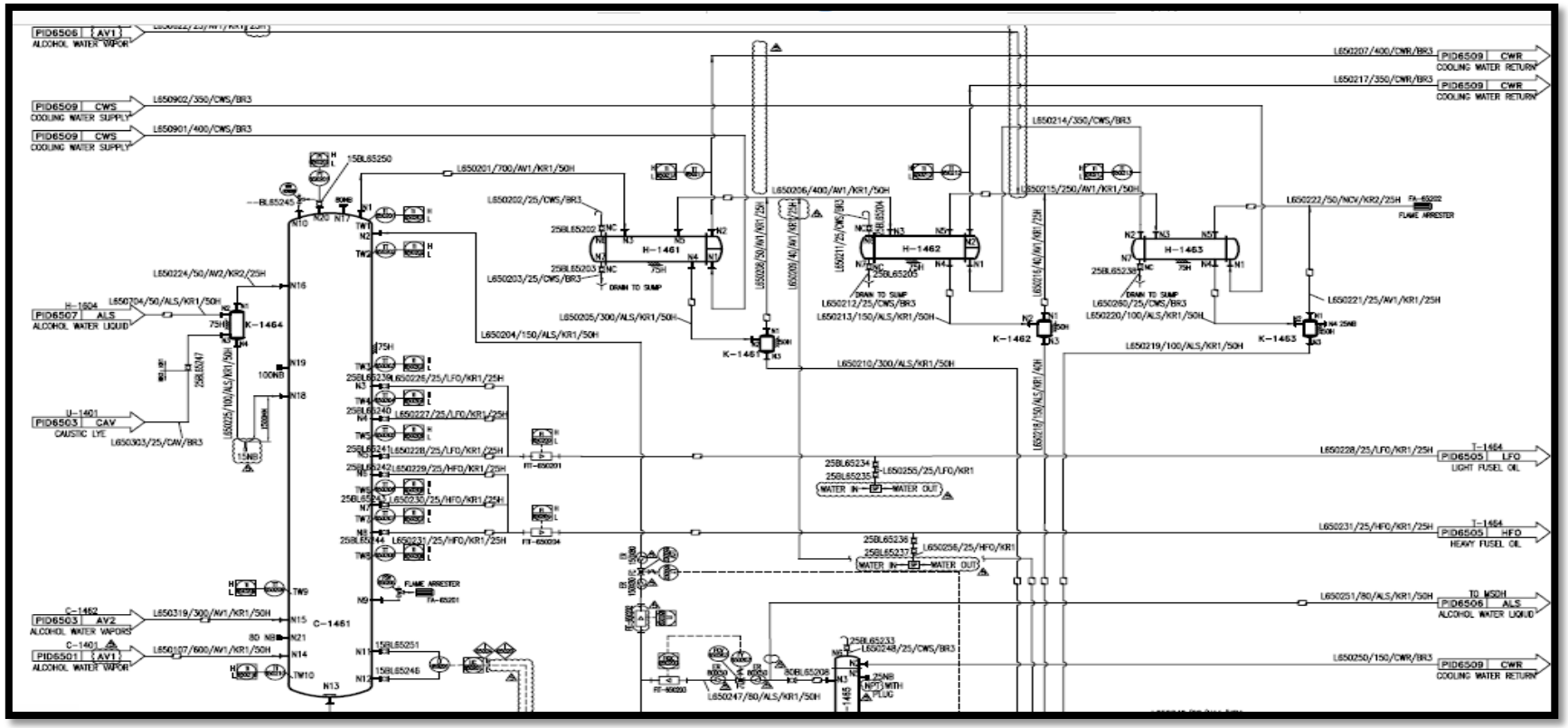


Figura 31 Columnas destilación

Fuente: Propia

ANEXO-3

DISEÑO DE LAS PRINCIPALES UNIDADES OPERATIVAS

Columna depuradora.

Tabla 28 Variables de diseño para Columna Depuradora

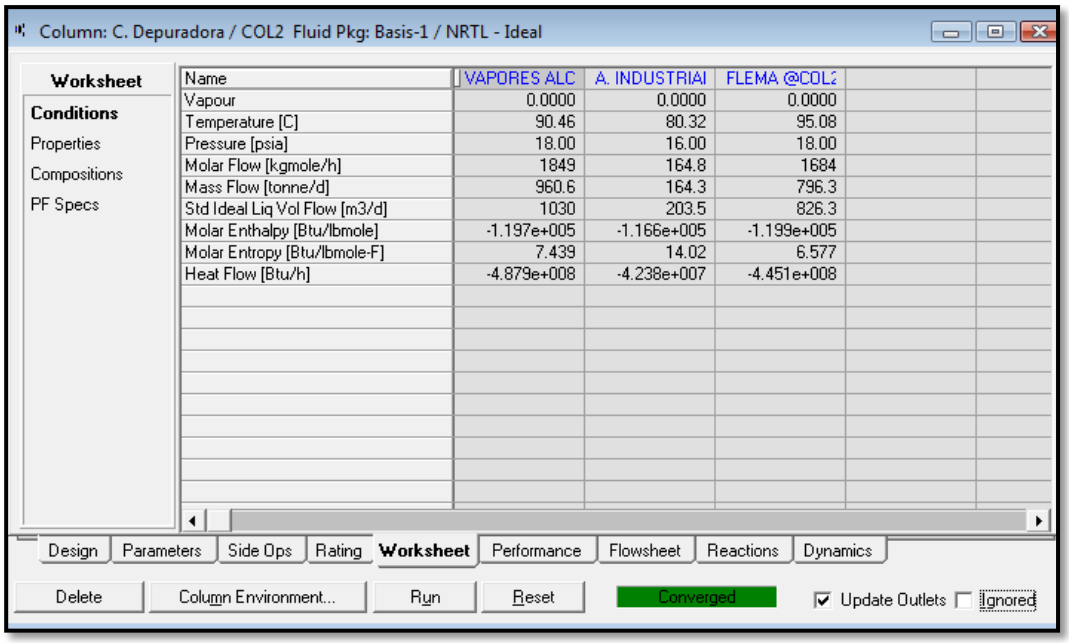
Ítem	Variable de diseño	Valor
1	Número de platos	32
2	Plato de alimentación	20
3	Tipo de columna	Columna de platos
4	Tipo de plato	Perforado
5	Altura	16.0 m
6	Diámetro	1.5 m
7	Espacio entre platos	0.50 m
8	Relación reflujo	1.5
9	Tipo condensador	Total

Fuente: Propia.

Tabla 29 Variables de operación para Columna Depuradora

Ítem	Variables de operación	Valor
1	Caída de presión en columna	2 psi
2	Caída de presión en condensador	0 psi
3	Caída de presión en rehervidor	0 psi

Fuente: Propia.



Name	VAPORES ALC	A. INDUSTRIAI	FLEMA @COL2
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	90.46	80.32	95.08
Pressure [psia]	18.00	16.00	18.00
Molar Flow [kgmole/h]	1849	164.8	1684
Mass Flow [tonne/d]	960.6	164.3	796.3
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/d]	1030	203.5	826.3
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.197e+005	-1.166e+005	-1.199e+005
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	7.439	14.02	6.577
Heat Flow [Btu/h]	-4.879e+008	-4.238e+007	-4.451e+008

Figura 32 Ingreso de variables de operación para la columna depuradora

Fuente: Elaboración propia.

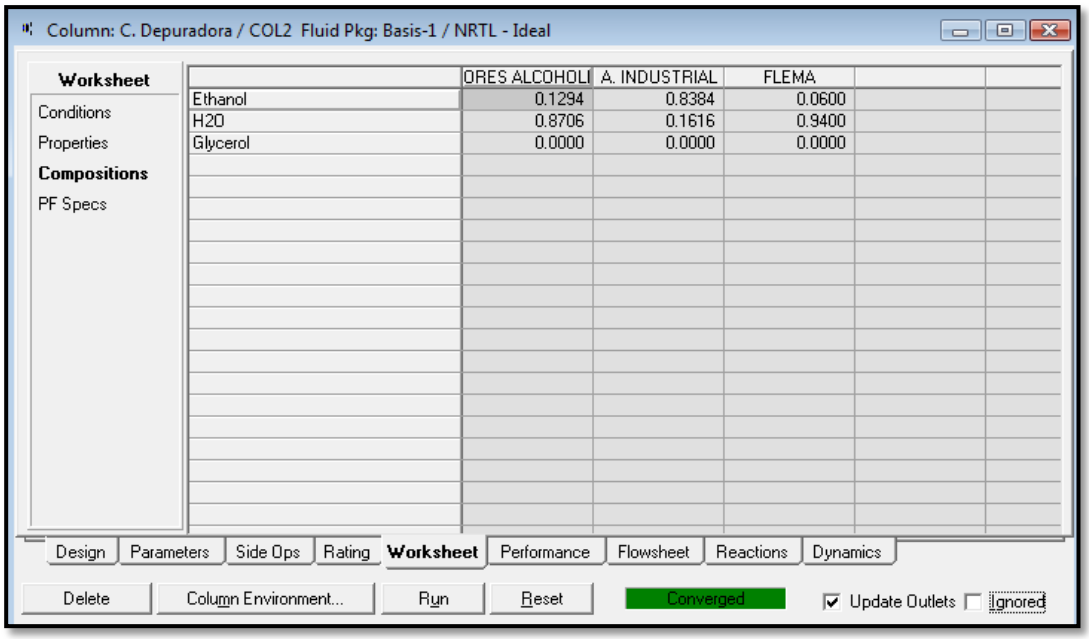


Figura 33 Ingreso de la composición para la corriente de entrada en la Depuradora

Fuente: Elaboración propia.

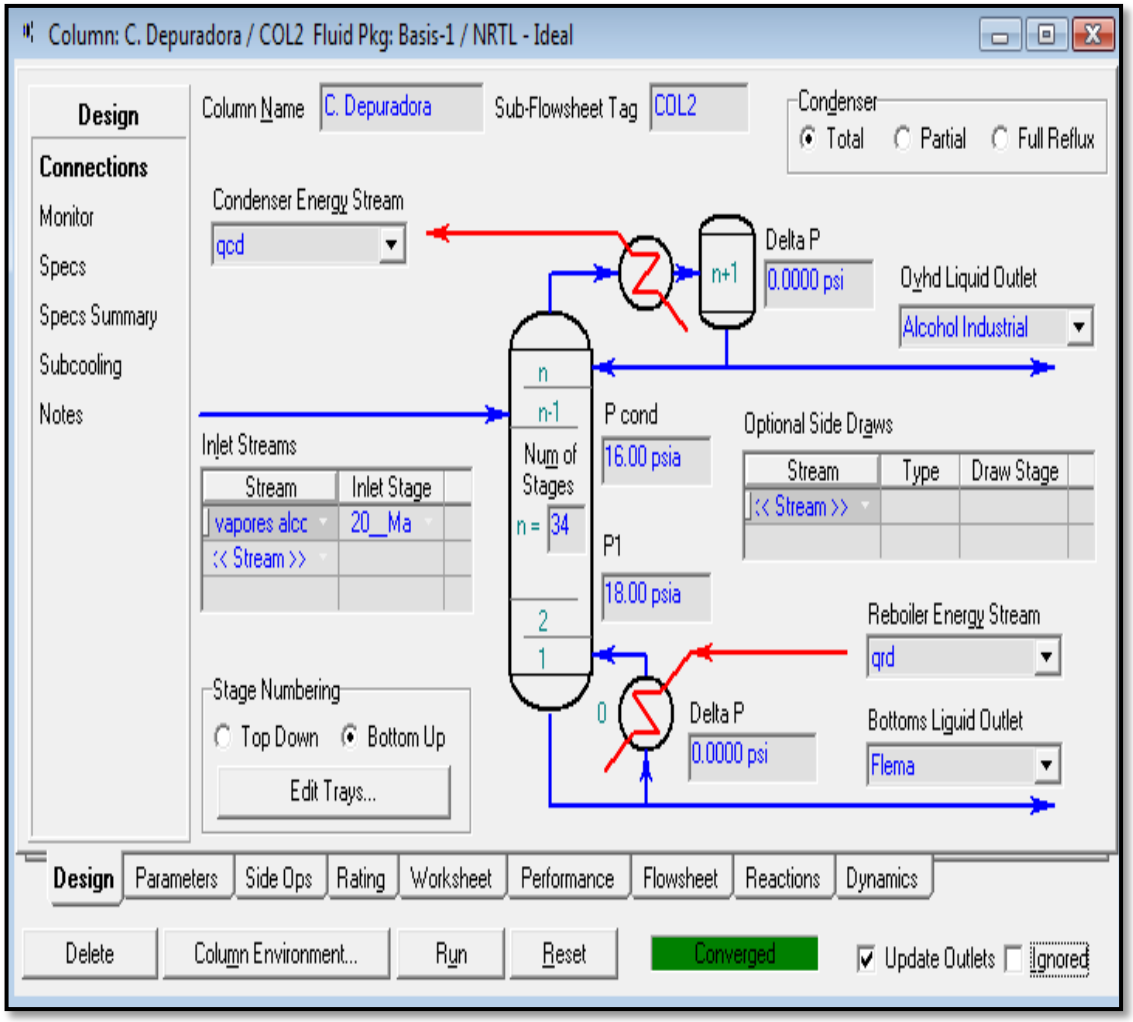


Figura 34 Ingreso de datos para la columna depuradora

Fuente: Elaboración propia.

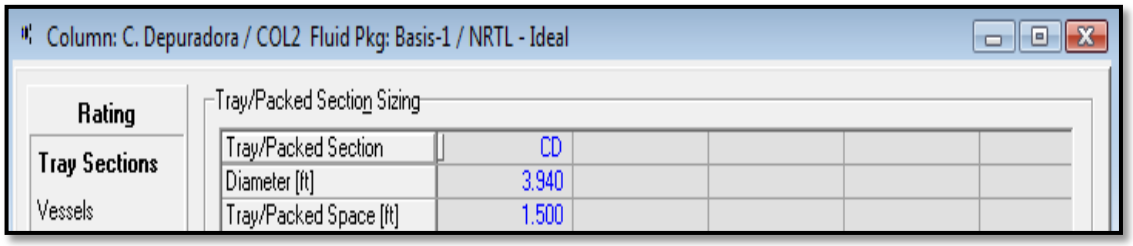


Figura 35 Ingreso de variables de diseño para la Depuradora

Fuente: Elaboración propia.

Columna Rectificadora.

Tabla 30 Variables de diseño para columna Rectificadora

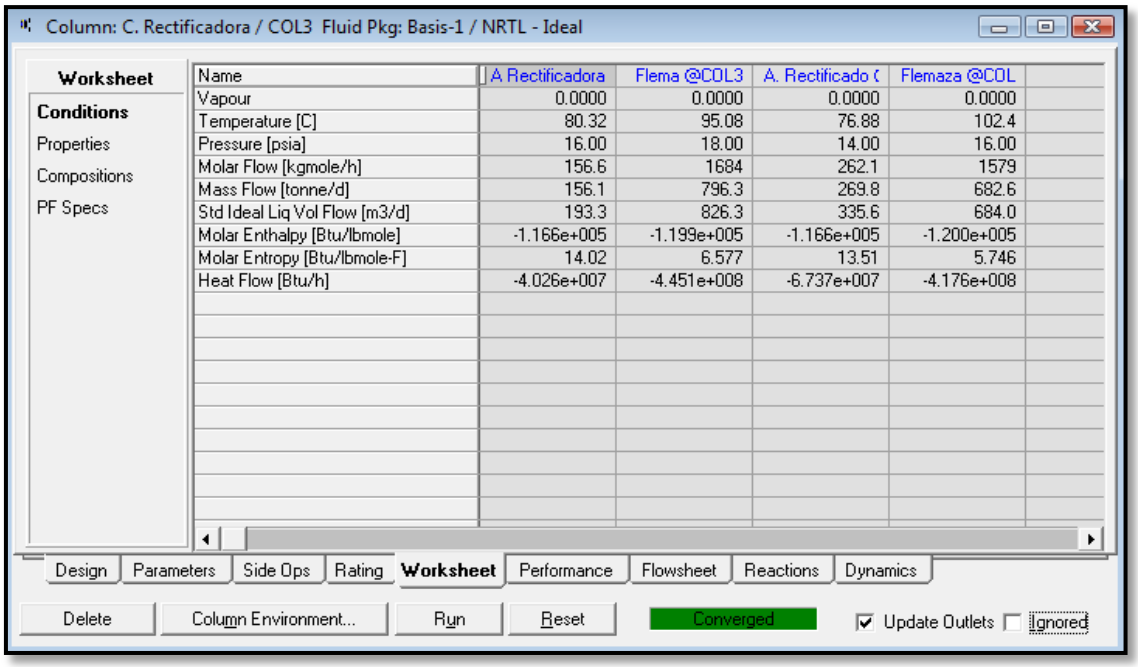
Ítem	Variable de diseño	Valor
1	Número de platos	75
2	Plato de alimentación	37
3	Tipo de columna	Columna de platos
4	Tipo de plato	Perforado
5	Altura	26
6	Diámetro	1.8
7	Espacio entre platos	0.60 m
8	Relación reflujo	1.5
9	Tipo condensador	Total

Fuente: Propia.

Tabla 31 Variables de operación para Rectificadora

Ítem	Variables de operación	Valor
1	Caída de presión en columna	2 psi
2	Caída de presión en condensador	0 psi
3	Caída de presión en rehervidor	0 psi

Fuente: Propia.



Name	A Rectificadora	Flema @COL3	A. Rectificado (	Flemaza @COL
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	80.32	95.08	76.88	102.4
Pressure [psia]	16.00	18.00	14.00	16.00
Molar Flow [kgmole/h]	156.6	1684	262.1	1579
Mass Flow [tonne/d]	156.1	796.3	269.8	682.6
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/d]	193.3	826.3	335.6	684.0
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.166e+005	-1.199e+005	-1.166e+005	-1.200e+005
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	14.02	6.577	13.51	5.746
Heat Flow [Btu/h]	-4.026e+007	-4.451e+008	-6.737e+007	-4.176e+008

Figura 36 Ingreso variables de operación para la rectificadora

Fuente: Elaboración propia.

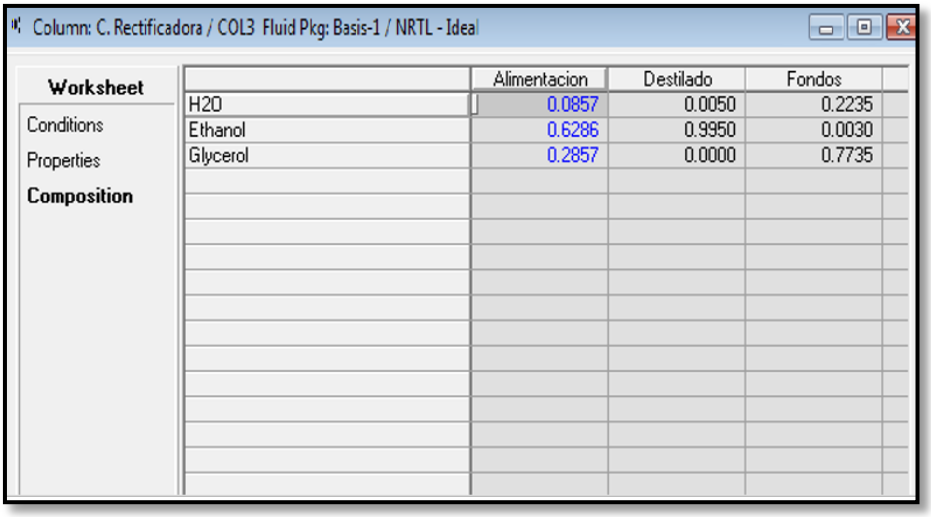


Figura 37 Ingreso de concentración para la columna rectificadora

Fuente: Elaboración propia.

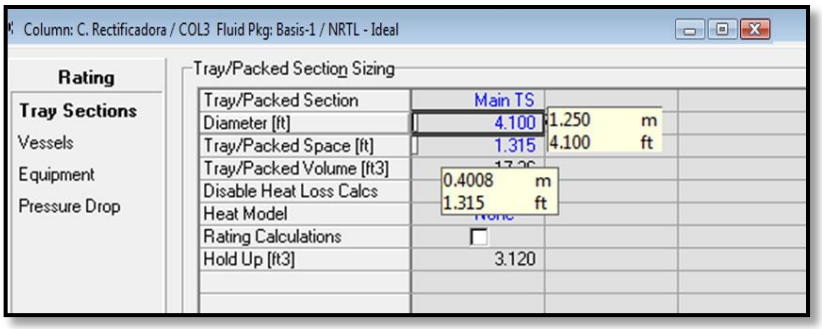


Figura 38 Ingreso de variables de diseño para la columna rectificadora

Fuente: Elaboración propia.