



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“PROYECTO DE PRE-FACTIBILIDAD DE
INSTALACION DE UNA PLANTA DE
PRODUCCION DIESEL SINTETICO A PARTIR DE
RESIDUOS MUNICIPALES ORGANICOS”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTADO POR:
Bachiller: CABREJOS BARRIOS SERGIO ORLANDO**

**ASESOR
Ing. MSc. CARLOS REINERIO ARCE CRUZADO**

**Lambayeque – Perú
2018**

TESIS

**“PROYECTO DE PRE-FACTIBILIDAD DE INSTALACION
DE UNA PLANTA DE PRODUCCION DE DIESEL
SINTETICO A PARTIR DE RESIDUOS MUNICIPALES
ORGANICOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTADO POR:
Bachiller: CABREJOS BARRIOS SERGIO ORLANDO**

Aprobado por:

**Ing. M. Sc. Rubén Dario Sachún García
PRESIDENTE**

**Ing. M. Sc. Juan Carlos Díaz Visitación
SECRETARIO**

**Ing. Dr. César Alberto García Espinoza
VOCAL**

**Ing. M. Sc. Arce Cruzado, Carlos Reinerio
ASEDOR**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis queridos padres por brindarme apoyo espiritual, moral, físico; así como la sabiduría y la paciencia que son necesarios para lograr mis metas.

Al asesor Ing. Carlos Reinerio Arce Cruzado, por haberme orientado en el tema de inversión y hacer que esté presente trabajo de inversión se desarrolle de manera factible. Asimismo a aquellos ingenieros que me permitieron compartir nuevas ideas para que este proyecto de inversión se realice.

Bach. Cabrejos Barrios, Sergio Orlando

DEDICATORIA

Dedico esta proyecto de inversión a mi familia, en especial a mis padres pues ellos confiaron en mí y me apoyaron desinteresadamente, dándome las fuerzas y sobre todo el apoyo moral y económico para seguir adelante, enseñándome a no rendirme y a mirar el futuro siempre positivamente para así seguir alcanzando las grandes metas trazadas .

Bach. Cabrejos Barrios, Sergio Orlando

ÍNDICE

RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCION	xiii
I. ESTUDIO DE MERCADO	1
1.1. Definición del producto: diésel sintético.....	1
1.1.1. Propiedades físicas del diésel sintético	2
1.2. Materia prima – RSM	3
1.2.1. Residuos sólidos.....	3
1.2.2. Clasificación de los Residuos Sólidos	3
1.2.3. Disposición a nivel nacional	5
1.2.4. Caracterización de los Residuos Sólidos en el Perú.....	7
1.2.5. Residuos sólidos en provincia de Chiclayo.....	8
1.2.6. Disposición de materia prima para el proyecto.....	12
1.3. Estudio de mercado.....	12
1.3.1. Evolución de oferta y demanda de diésel a nivel nacional	12
1.3.2. Demanda insatisfecha histórica y proyectada	13
1.3.3. Comercialización	15
1.3.4. Evolución de precio del diésel	16
1.4. Tamaño de la planta	17
1.5. Ubicación de la planta.....	19
II. INGENIERIA DEL PROYECTO.....	21
2.1. Procesos que producen combustibles a partir de biomasa	21
2.2. Características del proceso CPD	23
2.3. Descripción detallada del proceso KDV o CDP	25
2.4. Diagrama de flujo en el proceso KDV.....	26
2.5. Diagrama de bloques en el proceso KDV	27
2.5.1. Pre proceso CDP	28
2.5.2. La etapa principal del proceso CDP – la reacción	28
2.5.3. Post proceso CDP.....	30
2.6. Balance de masa y energía.....	31
2.6.1. Balance de masa.....	31
2.6.2. Balance de energía	31
2.7. Equipos principales de proceso.....	34

2.7.1.	Transportador de residuos solidos.....	34
2.7.2.	Secador de residuos solidos	35
2.7.3.	Transportador de solidos secos al molino	35
2.7.4.	Molienda:	36
2.7.5.	Mezclador principal	37
2.7.6.	Columna de destilación para agua	37
2.7.7.	Tanque de almacenamiento de agua condensada.....	38
2.7.8.	Bomba de lodos.....	38
2.7.9.	Tanque pulmón	39
2.7.10.	Reactor	39
2.7.11.	Columna de destilación diésel.....	40
2.7.12.	Columna de destilación recuperación	41
2.7.13.	Separador de cenizas.....	41
2.7.14.	Tanque de almacenamiento de diésel.....	41
2.8.	Distribución de la planta	42
III.	CONSIDERACIONES AMBIENTALES	43
IV.	ESTUDIO ECONOMICO	47
4.1.	Estimación de inversión total.....	47
4.1.1.	Capital fijo total	47
4.1.2.	Capital de puesta en marcha o capital de trabajo	51
4.1.3.	Estimación del costo total de producción.....	53
4.1.4.	Balance económico y rentabilidad.....	57
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1.	Conclusiones.....	61
5.2.	Recomendaciones	62
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63
VII.	APENDICE.....	66
7.1.	Requerimiento de residuos sólidos orgánicos	66
7.2.	Balance de masa.....	67
7.3.	Balance de energía	72
7.4.	Balance de energía equipos principales de proceso	73
7.5.	Evaluación económica	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Característica del residuo sólido.....	07
Figura 1.2.	Generación diaria de residuos sólidos municipales para el año 2012 (ton/día).....	10
Figura 1.3.	Composición Física Promedio de los Residuos de la provincia de Chiclayo.....	10
Figura 1.4.	Evolución de la oferta y demanda de diésel en el Perú en MBPD.....	13
Figura 1.5.	Proyección de la Demanda insatisfecha de diésel en el Perú, en MBPD.....	14
Figura 1.6.	Flujograma de la cadena de comercialización de combustibles líquidos.....	15
Figura 1.7.	Estructura del precio del diésel en el Perú.....	16
Figura 1.8.	Evolución del precio mayorista del diésel y precios de referencia.....	17
Figura 1.9.	Acuerdo Municipal N° 017-2010-MPCH.....	20
Figura 2.1.	Producción de diésel sintético a partir de biomasa.....	23
Figura 2.2.	Diagrama de flujo de proceso CDP para producir diésel sintético.....	26
Figura 2.3.	Diagrama de bloque de proceso CDP para producir diésel sintético.....	27
Figura 2.4.	Turbina de fricción del proceso CDP.....	28
Figura 2.5.	Diagrama de bloque del proceso KDV.....	32
Figura 2.6.	Plantas modulares KDV.....	34
Figura 2.7.	Transportador de residuos sólidos al secador.....	35
Figura 2.8.	Modelo conductor de sólidos secos.....	36
Figura 2.9.	Modelo triturador de martillos.....	36
Figura 2.10.	Modelo conductor de sólidos secos.....	37
Figura 2.11.	Modelo bomba de lodo.....	39
Figura 2.12.	Columna de destilación diésel.....	40
Figura 2.13.	Separador de cenizas.....	41
Figura 2.13.	Distribución de planta en 3D.....	42
Figura 7.1.	Balance de masa.....	67
Figura 7.2.	Turbina de fricción del proceso CDP.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Especificaciones de calidad para Aceite Combustible Diésel.....	02
Tabla 1.2.	Generación Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales, 2008- 2013.....	06
Tabla 1.3.	Generación total de residuos sólidos municipales (ton/día).....	09
Tabla 1.4.	Composición Física Promedio de los Residuos Sólidos Domiciliarios.....	11
Tabla 1.5.	Demanda insatisfecha de diésel en el Perú, en MBPD.....	14
Tabla 2.1.	Comparación de las tecnologías de producción de biocombustibles a partir de diferentes biomasas.....	23
Tabla 2.2.	Balance de materia en Kg/h.....	33
Tabla 4.1.	Plan Global de Inversiones.....	52
Tabla 4.2.	Costo de Manufactura y Costo Unitario.....	58
Tabla 4.3.	Estado de pérdidas y ganancias.....	59
Tabla 4.4.	Análisis Económico.....	60
Tabla 7.1.	Requeridas entradas de biomasa de MSW ordenadas de la siguiente manera.....	73

RESUMEN

La disposición de residuos sólidos municipales (RSM) es un problema que agobia la humanidad a nivel mundial, nacional y regional. La despolimerización catalítica a baja presión de residuos orgánicos (Tecnología KDV) desde el 2010 se ha convertido en una alternativa para la producción de diésel sintético. Por tales razones se ha desarrollado el proyecto de pre-factibilidad de instalación de una planta de producción de diésel sintético a partir de residuos municipales orgánicos.

En el Capítulo I se ha desarrollado el Estudio de Mercado en el que se evaluó el mercado a nivel nacional. Por ser un producto sustituto del diésel mineral la demanda está asegurada debido a que nuestro país cubre su demanda interna con importación de diésel. La demanda insatisfecha para el 2026 llegaría a 32 mil barriles por día de diésel, lo cual requeriría a nivel nacional un abastecimiento de 15000 toneladas de residuos orgánicos por día. A nivel local, con los residuos de la ciudad de Chiclayo y alrededores se determinó que se puede abastecer a una planta de producción de diésel sintético de 5000 litros por hora. Se determinó que la planta deberá estar ubicada en las cercanías de la futura planta de tratamiento de residuos sólidos en las pampas de Reque.

En el Capítulo II se desarrolló la Ingeniería del Proyecto en donde se menciona las ventajas del proceso de despolimerización catalítica a baja presión de materia orgánica por la tecnología KDV. Se presenta el balance de masa y de energía para la operación de la planta, así como la descripción de los principales equipos de proceso como su distribución.

En el Capítulo III se toma en cuenta algunas consideraciones ambientales que nos hace concluir que el impacto será favorable al medio ambiente.

Finalmente en el Capítulo IV se realizó el Estudio Económico-Financiero. Se estableció que la inversión total del proyecto será de 47'300,994 dólares. El costo de producción será de 0.5262 dólares el litro de diésel sintético. A precio de 0.98 dólares por litro (puesto en fábrica) se obtuvo una tasa de retorno sobre la inversión de 35,59% y 26,03%, antes y después de impuestos respectivamente; un periodo de recuperación del dinero de 2,61 años después de impuestos y con un punto de equilibrio de 25,30%. Se concluye finalmente que el proyecto es factible desde el punto de vista de mercado, técnico y económicamente, por lo que se recomienda su instalación.

ABSTRACT

The disposal of municipal solid waste (MSW) is a problem that overwhelms humanity at the global, national and regional levels. The catalytic depolymerization at low pressure of organic waste (KDV Technology) since 2010 has become an alternative for the production of synthetic diesel. For these reasons, the pre-feasibility project for the installation of a synthetic diesel production plant from organic municipal waste has been developed.

In Chapter I the Market Study has been developed in which the market was evaluated at the national level. As a substitute product of diesel, the demand is assured because our country covers its internal demand with diesel imports. The unsatisfied demand for 2026 would reach 32 thousand barrels per day of diesel, which would require a national supply of 15,000 tons of organic waste per day. At the local level, with the waste from the city of Chiclayo and surrounding areas, it was determined that a synthetic diesel production plant of 5000 liters per hour could be supplied. It was determined that the plant should be located in the vicinity of the future solid waste treatment plant in the pampas of Reque.

In Chapter II, Project Engineering was developed in which the advantages of the catalytic depolymerization process at low pressure of organic matter by KDV technology are mentioned. The balance of mass and energy for the operation of the plant is presented, as well as the description of the main process equipment as its distribution.

Chapter III takes into account some environmental considerations that leads us to conclude that the impact will be favorable to the environment.

Finally, in Chapter IV the Economic-Financial Study was carried out. It was established that the total investment of the project will be of 47'300,994 dollars. The cost of production will be \$ 0.5262 per liter of synthetic diesel. At the price of 0.98 dollars per liter (factory-made), a

return on investment rate of 35.59% and 26.03% was obtained, before and after taxes respectively; a recovery period of 2.61 years after taxes and with an equilibrium point of 25.30%. Finally, it is concluded that the project is feasible from the market point of view, technically and economically, so its installation is recommended.

INTRODUCCION

Hay una escasez inminente de combustibles fósiles. El techo de los descubrimientos lleva inexorablemente al desfase entre petróleo descubierto y consumido, el cual empezó en 1981. Los expertos estiman que en la actualidad sólo uno de cada cinco barriles consumidos procede de nuevos yacimientos. Esta dinámica desemboca en el techo de extracciones, que se produce aproximadamente cuando se ha consumido la mitad del recurso. La mayor parte de los países petroleros han sobrepasado este techo y esto ha ocurrido entre 30 y 40 años después del techo de los descubrimientos. Excluyendo el petróleo de aguas profundas, de los 65 países petroleros más importantes, 54 ya han pasado el techo (Alekklett, 2005). A partir del 2017 se prevé un alza continua de los combustibles fósiles por aumento del crudo (PrecioPetroleo.net, 2016).

Existe una tecnología ampliamente conocida para la obtención biodiesel a partir de aceites de distinta origen. Los aceites que se usan en la actualidad son de origen vegetal como colza, maíz, soya y otros que compiten con el uso alimentario, lo cual representa una desventaja ante la problemática mundial de alimentos. También existe un problema técnico que impide utilizar el biodiesel puro, teniendo que utilizarse con mezclas con el diésel proveniente del petróleo. Esta problemática inclina a buscar otras alternativas de combustibles renovables como es el caso del diésel sintético que se obtiene por despolimerización catalítica de residuos orgánicos.

La demanda de diésel en el mercado peruano es cubierta en su mayoría por diésel importado, lo cual obliga a una salida de divisas de nuestra economía (Gestión, 15 junio del 2014).

Actualmente, existe una tendencia mundial para la utilización en mayor porcentaje de combustibles renovables, es decir, que puedan ser obtenidos por fuentes distintas a los minerales.

Gracias al catalizador descubierto por el científico alemán, Dr. Christina Koch, desde hace varios años se comenzó a hacer las pruebas para llegar a un catalizador que logre convertir la masa orgánica en diesel. La materia prima que se utiliza es todo lo que se considera basura: alimentos, plásticos, plantas, desechos orgánicos, madera, telas, cauchos, cartón, papel, desechos de hospitales, aceite de todo tipo, es decir todo residuo orgánico municipal (Ordoñez, 2015).

A la fecha existen varios procesos a nivel comercial sobre la tecnología de convertir residuos orgánicos municipales a diésel sintético. La tecnología se conoce como despolimerización catalítica a baja presión – CDP (Catalytic Pressure-Less Depolymerization). Las tecnologías más conocidas son: CTL, GTL, BTL y KDV, por sus marcas comerciales (W 4 Oil, 2012).

Según el Ministerio del Ambiente, el total de residuos sólidos municipales estimados para el año 2012 fue de 7 millones 47 mil toneladas los cuales tuvieron la siguiente composición: 50,9% materia orgánica, 10,1% plástico, 8,5% de residuos peligrosos, 7,1% de material inerte, 4,8% de papel, 3,4% de madera y restos de jardín, 3,3% de cartón, 3,2% de vidrio, 2,8% de metales, 1,8% de telas y textiles, 1,6% de caucho y cuero, 0,8% de huesos, 0,6% de tetra pack y 0,45% de residuos de aparatos electrónicos (Ministerio del Ambiente, 2012). Por lo tanto según la tecnología CDP, en nuestro país se dispondría más del 65% de materia para el proceso de obtención de diésel sintético. Desde el punto de vista social, la parte orgánica de la basura servirá para producir un combustible de uso masivo y fácilmente renovable y consecuentemente se disminuye el impacto ambiental negativo de la presencia de residuos sólidos.

I. ESTUDIO DE MERCADO

1.1. Definición del producto: diésel sintético

Es un combustible alternativo renovable que más se asemeja al diésel obtenido del petróleo, y que por lo tanto se puede usar en su reemplazo o en mezclas sin límite, y también se puede transportar con el uso de bombas, tuberías y otros equipos existentes de la industria petrolera. La calidad del diésel sintético por lo tanto cumple con el estándar V de la Unión Europea y también cumple con las últimas especificaciones ASTM y no requiere mezclas como lo hace la mayoría de tipos de biodiesel (ARDC –W4Oil, 2012).

En comparación el biodiesel se produce por medio de un proceso simple, cuando un alcohol reacciona con un triglicérido en la presencia de un catalizador y se produce éster metílico (biodiesel) y glicerina. En el caso del diésel sintético el proceso es similar al utilizado por una refinería de petróleo, en el que un triglicérido reacciona con hidrógeno en la presencia de un catalizador metálico y se produce diésel sintético y gas propano. En la producción de biodiesel el átomo de oxígeno no es removido del producto final, lo contrario sucede en el proceso del diésel sintético, la ausencia de oxígeno es uno de los factores que le dan al diésel sintético su alta calidad en comparación al biodiesel.

Una de las dificultades de los combustibles producidos con fuentes renovables ha sido la practicidad en el uso del mismo, en el caso del diésel sintético este puede ser transportado y distribuido con los mismos sistemas utilizados para el petróleo y puede ser utilizado en motores que actualmente funcionan con diésel convencional, sin ninguna modificación al mismo.

1.1.1. Propiedades físicas del diésel sintético

El diésel sintético cumple la última norma ASTM para el diésel grado 2 proveniente del petróleo, y se conoce como ASTM D975-08.

Tabla 1.1. Especificaciones de calidad para Aceite Combustible Diésel

Parámetro	Valor	Unidades	Metodología
Densidad a 15°C	44.60	°API	ASTM D 1298-99
Punto de inflamación	55.2	°C	ASTM D 93-IP 34
<u>Destilación</u>			ASTM D 88-02
Punto inicial de ebullición	60	°C	
10% recuperados	130	°C	
50% recuperados	238	°C	
90% recuperados	298	°C	
Punto final de ebullición	315	°C	
Color	L 4.5	Color ASTM	ASTM 1524-94
Viscosidad cinemática a 25°C	4.4	cSt	ASTM D 445-03
Contenido de azufre total	0.037	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 129-00
Índice de cetano calculado	57	-----	ASTM D 976-91
Contenido de cenizas	0.0013	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 482-03
Residuo de carbón	0.150	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 524-00
Agua y sedimentos	0.025	Fracción de volumen (% volumen)	ASTM D 1796-97
Punto de nube	N.D	°C	ASTM D 2500-02

Fuente. Reglamento Técnico Americano, 2006

1.2. Materia prima – RSM

1.2.1. Residuos sólidos

Los residuos sólidos son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido, desechados por su generador. Se entiende por generador a aquella persona que en razón de sus actividades produce residuos sólidos. . Suele considerarse que carecen de valor económico, y se les conoce coloquialmente como “basura”. Es importante señalar que la ley también considera dentro de esta categoría a los materiales semisólidos (como el lodo, el barro, la sanguaza, entre otros) y los generados por eventos naturales tales como precipitaciones, derrumbes, entre otros.

1.2.2. Clasificación de los Residuos Sólidos

a. Por su origen

Los residuos sólidos se pueden clasificar por su origen en:

- Residuos domiciliarios: material orgánico, papel, cartón, plásticos, envolturas, vidrio, metal, textil, cueros, tetra pack, inertes (tierra, piedras, restos de construcción), residuos de baño, pilas y baterías.
- Residuos comerciales: papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.
- Residuos de limpieza de espacios públicos
- Residuos de los establecimientos de atención de salud y centros médicos de apoyo: agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos y material de laboratorio)
- Residuos industriales: lodo, ceniza, escoria metálica, vidrio, plástico, papel, cartón, madera, fibra, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias

alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.

- Residuos de las actividades de construcción
- Residuos agropecuarios: envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros
- Residuos de instalaciones o actividades especiales

b. Por su peligrosidad

- Residuos peligrosos y no peligrosos

c. En función a su gestión

- Residuos de gestión municipal: Son aquellos generados en domicilios, comercios y por actividades que generan residuos similares a estos, cuya gestión ha sido encomendada a las municipalidades. Los **residuos sólidos municipales** (RSM) conocidos comúnmente como basura, están compuestos por residuos orgánicos (producto de la comercialización, el transporte, la elaboración de los alimentos y excedentes de comida y restos de materia vegetal), papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables e inorgánicos como, vidrio, plástico, metales y material inerte.
- Residuos de gestión no municipal: Son aquellos residuos generados en los procesos o actividades no comprendidos en el ámbito de gestión municipal. Su disposición final se realiza en rellenos de seguridad, los que pueden ser de dos tipos: relleno de seguridad: relleno de seguridad para residuos peligrosos y no peligrosos.

d. Por su naturaleza

- Orgánicos: Residuos de origen biológico (vegetal o animal), que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados en los lugares de tratamiento y disposición final. Mediante un tratamiento adecuado, pueden reaprovecharse como mejoradores de suelo y fertilizantes (compost, humus, abono, entre otros).
- Inorgánicos: Residuos de origen mineral o producidos industrialmente que no se degradan con facilidad. Pueden ser reaprovechados mediante procesos de reciclaje (OEFA, 2014).

1.2.3. Disposición a nivel nacional

Según el Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y no-Municipales, gestión 2010-2011, el promedio nacional de GPC llegó a 0.61 kg/hab/día, lo cual significó 19734.75 ton/día del cual 80% es reaprovechable (52% orgánico y 28% inorgánico).

En el Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y no-Municipales 2013 (Ministerio del Ambiente 2014), se resume que la generación de residuos sólidos municipales fue de 18533 t/día considerando exclusivamente el ámbito urbano del país. El mismo informe indica que la generación per cápita (GPC) de residuos sólidos calculada para el año 2013 fue 0,56 kg/hab/día a nivel nacional, los valores representativos para la Costa, Sierra y Selva fueron de 0,588, 0,513 y 0,553 kg/hab./día respectivamente, observándose para todos los casos que la GPC muestra una tendencia de disminución de sus valores. La generación anual de residuos urbanos alcanzó cerca de los 6,8 millones de toneladas, de los cuales el 73 %

corresponden a residuos sólidos domiciliarios y el 27 % restante a los residuos no domiciliarios.

En el Sexto Informe también se concluye que la composición física de los residuos sólidos mostró una predominancia de los residuos orgánicos con el 50,43 % y los materiales con evidente potencial de reciclaje representaron un 23,7 % (plástico, papel, cartón, metales y vidrio). La generación domiciliaria de residuos se ha venido incrementando desde el año 2009 hacia el 2013, pasando de 4,2 a cerca de 5,0 millones de toneladas por año; este incremento guarda relación directa con el incremento del PBI per cápita nacional, que también ha tenido un crecimiento ascendente pasando de 16 200 a 18 900 soles/hab./año.

En la Tabla 1.2 se resume los GPC de residuos sólidos a nivel nacional, indicando el % de materia orgánica biodegradable.

Tabla 1.2. Generación Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales, 2008- 2013

Informe Nacional de RS	GPC (Kg/hab/día)	% de materia orgánica
2008	0.600	55.14
2009	0.798	60.00
2010	0.845	50.19
2011	0.610	48.9
2012	0.597	50.9
2013	0.560	50.43

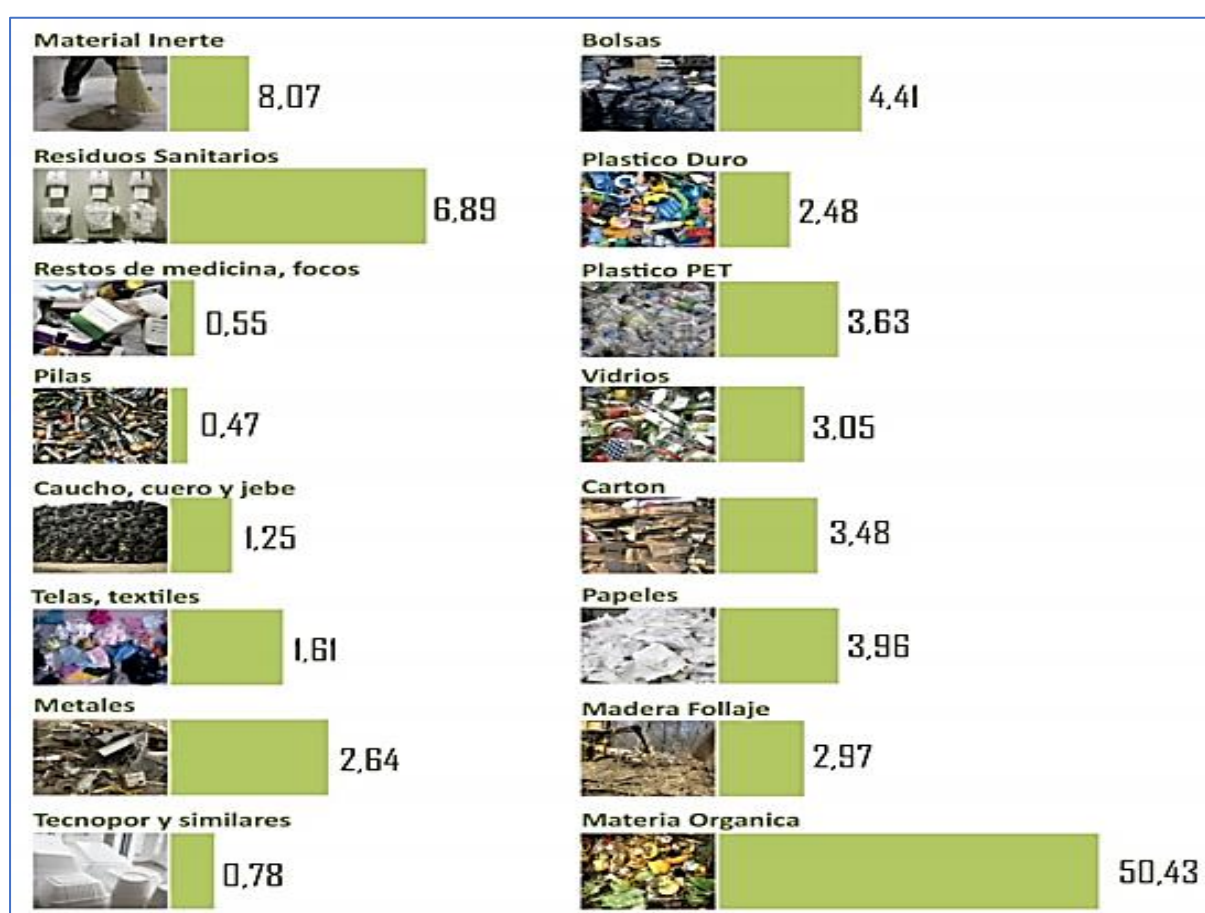
Fuente: Elaboración propia en base a los Informes Nacionales de los Residuos Sólidos de ámbito municipal y no municipal: 2008 – 2013.

Las grandes urbes, como Arequipa, La Libertad, Lambayeque y Piura en el 2013 tuvieron una generación de residuos de 581062, 780558, 490205 y 811542 kg/día, que transformado a GPC fueron 0.487, 0.540, 0.511 y 0.586 kg/hab./día respectivamente. Respecto al contenido

de materia orgánica en los residuos sólidos las ciudades mencionadas anteriormente llegaron a 45.48%, 52.18%, 51.64% y 39.92%.

1.2.4. Caracterización de los Residuos Sólidos en el Perú

Basado en los estudios de caracterización de residuos sólidos reportada al Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos - Sigersol - hasta el mes de octubre de 2014 se hace la representación de la Figura 1.1.



Fuente. Ministerio del Ambiente, 2014

Figura 1.1. Característica del residuo sólido

1.2.5. Residuos sólidos en provincia de Chiclayo

La gestión de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales problemas que enfrentan actualmente los gobiernos locales como Chiclayo; problemática que tiene su origen en diversos factores de índole económico, social, cultural y tecnológico. Entre los factores que más contribuyen y agravan esta problemática tenemos: la cantidad cada vez mayor de residuos que genera la población, la crisis económica que ha obligado en muchos casos a no realizar un cobro por los servicios prestados, el uso político del tema en las campañas electorales, la falta de educación y participación sanitaria de la comunidad, la formación de grandes botaderos de residuos, entre otros.

De acuerdo al Informe 2013-2014 de la Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial, realizada por la OEFA, la municipalidad de Chiclayo no cuenta con planes de cierre y clausura de su botadero situado en las pampas de Reque. Tampoco hay promoción la formalización de los recicladores en el la provincia, ni se promueve el manejo y la segregación de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos – RAEE.

a. Generación y características de los residuos sólidos de Chiclayo

La generación de residuos de una localidad es un parámetro que está directamente ligado al número de habitantes de la misma, así como a sus costumbres y hábitos de consumo que son los que determinan la generación per-cápita (GPC) de residuos sólidos, esta GPC, nos permite conocer la generación de residuos sólidos domiciliarios.

En el PIGARS (Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos) de la provincia de Chiclayo del 2012 se determinó que la ciudad de Chiclayo tuvo un GPC de 0,454 kg/hab/día, valor menor que los distritos de José Leonardo Ortiz y La Victoria que

alcanzaron niveles de 0,557 y 0,644 respectivamente. El promedio ponderado de toda la provincia de Chiclayo llegó en ese año a 0,511 kg/hab/día.

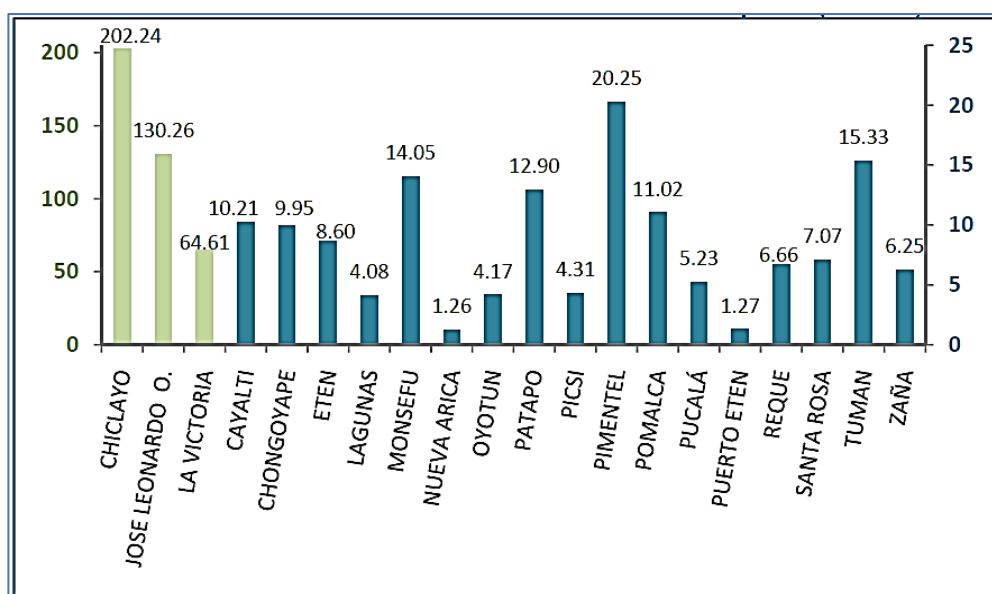
La cantidad de residuos sólidos municipales de la Provincia de Chiclayo se muestra en la Tabla 1.3, variando desde 539,72 a 657,62 toneladas para el periodo de 2012 hasta la proyección para el año 2022.

Tabla 1.3. Generación total de residuos sólidos municipales (ton/día)

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ton/día	539.72	548.40	561.39	574.63	588.17	601.99	616.10	630.51	645.23	660.27	675.62

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2012

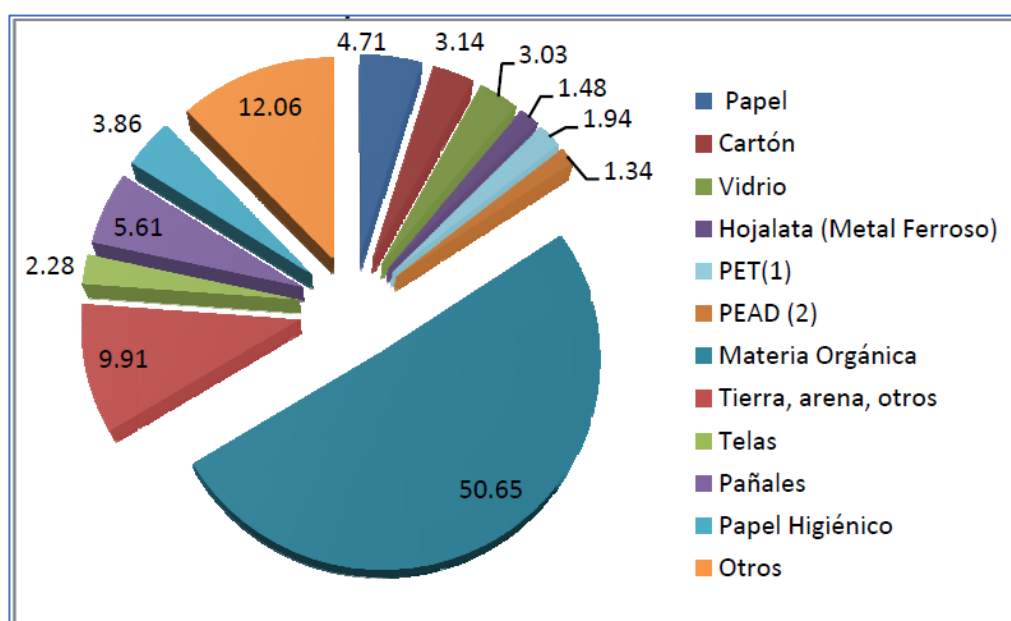
En la Figura 1.2. Representa la generación diaria de residuos municipales para el año 2012. En el grafica se puede apreciar que existen dos grupos bien marcados; el primero integrado por los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortíz y La victoria, que tienen una generación entre 202 a 64 toneladas al día. El segundo grupo lo conforman los otros 17 distritos, donde destacan Pimentel con 20.25 toneladas, seguido de Tumán, Monsefú, Pátapo y Pomalca con un promedio de 13 toneladas.



Fuente. Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2012

Figura 1.2. Generación diaria de residuos sólidos municipales para el año 2012 (ton/día)

En la Figura 1.3. y Tabla 1.4 se tienen los datos de la composición física promedio de los residuos de la Provincia de Chiclayo. Como se observa, el material predominante en los residuos generados es el material orgánico con 50.65%, mientras que el material reciclable (plásticos, papel, cartón, vidrio y metales) se encuentra en 18.28%.



Fuente. Municipalidad Provincial de Chiclayo, PIGARS, 2012.

Figura 1.3. Composición Física Promedio de los Residuos de la provincia de Chiclayo

Tabla 1.4. Composición Física Promedio de los Residuos Sólidos Domiciliarios

Tipo de residuo	Chiclayo	Éten	José L. Ortíz	La Victoria	Monsefú	Pátapo	Pimentel	Puerto Éten	Reque	Tumán	Promedio
Papel	4.635	4.970	1.661	2.074	3.919	10.140	4.333	4.134	4.760	6.500	4.71
Cartón	1.797	10.419	1.548	1.664	1.931	4.340	2.445	2.140	2.715	2.400	3.14
Vidrio	2.095	3.440	0.424	3.684	2.064	10.430	2.450	2.805	1.177	1.700	3.03
Hojalata (Metal ferroso)	1.294	1.780	0.647	0.339	0.150	3.380	1.500	1.883	0.906	2.900	1.48
Aluminio (Metal no ferroso)	0.108	1.040	0.028	0.354	0.772	0.560	0.317	0.012	0.039		0.36
PET (1)	1.441	2.870	0.447	0.123	1.054	7.050	2.865	1.140	0.931	1.500	1.94
PEAD (2)	0.510	0.610	1.738	2.260	1.917	0.950	0.582	0.640	1.806	2.400	1.34
PVC (3)	0.299		0.076	0.622	0.184		0.650	0.624	0.114		0.37
PEBD (4)	1.335		0.263	0.380	0.495		0.487	1.497	2.367		0.97
PP (5)	1.063		0.367	0.566	0.459	2.550	0.570	0.765	1.164		0.94
PS (6)	0.210		0.323	0.579	0.170		0.097	0.480	0.841		0.39
Otros (7)	0.544	2.380	0.941	0.436	0.664	5.480	0.375	0.103	0.454	6.300	1.77
Materia orgánica	63.237	59.790	77.279	38.204	62.401	24.080	40.716	43.439	65.280	32.100	50.65
Tierra, arena, otros	2.358		4.205	21.011	5.302	18.160	5.981	8.073	0.266	23.800	9.91
Telas	1.981		1.650	1.169	3.641	2.140	2.105	2.081	2.325	3.400	2.28
Pañales	5.076		3.494	2.897	5.708		7.714	9.575	4.811		5.61
Papel higiénico	4.081		1.020	2.094	2.312	6.450	4.690	4.273	2.095	7.700	3.86
Toallas higiénicas	0.680		0.084	0.328	0.087		0.034	0.446	0.151		0.26
Productos farmacéuticos	0.096		0.063	0.291	0.072		0.980	0.415	0.131		0.29
Pilas y baterías	0.031	0.130		0.003	0.015		0.020	0.015	0.033	0.400	0.08
Fluorescentes y focos	0.059			0.026	0.034		0.522	0.060	0.107		0.13
Otros (cueros, cenizas, porcelana)	7.071	12.580	3.742	20.896	6.649	4.290	20.565	15.400	7.527	8.900	6.50

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, PIGARS, 2012.

1.2.6. Disposición de materia prima para el proyecto

Según las proyecciones para el presente estudio para el 2026 se tendrá aproximadamente 700 ton/día de residuos municipales. Considerado que el porcentaje de materia orgánica se mantendrá en promedio en 50,65% se dispondrá de materia prima para el proyecto la cantidad de 354,55 ton/día.

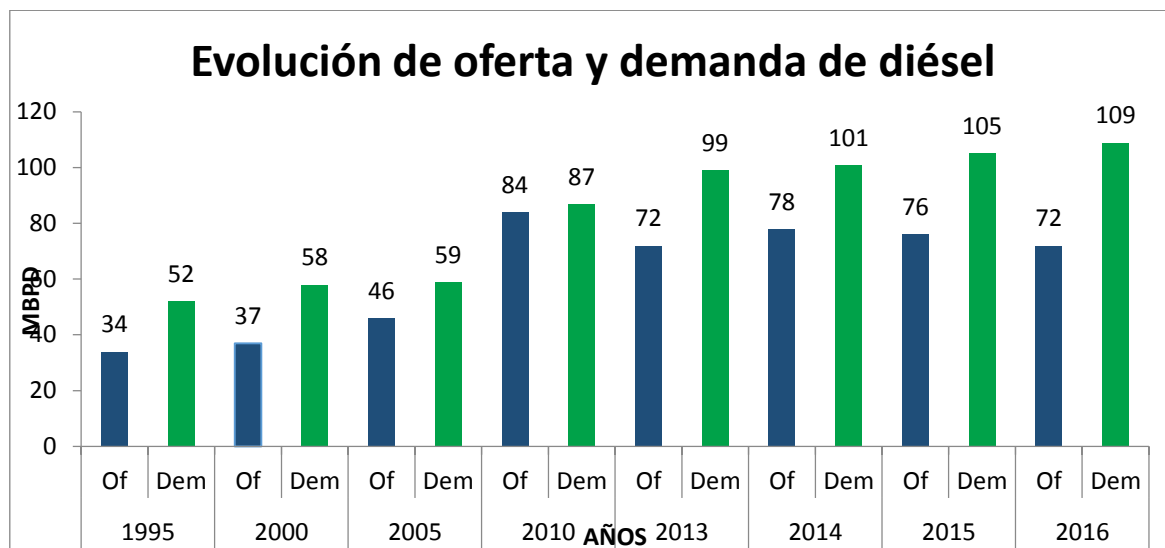
1.3. Estudio de mercado

Teniendo en cuenta que el producto es similar al diésel derivado del petróleo, este se utilizará para cubrir la demanda insatisfecha de este producto en nuestro mercado nacional. Por lo tanto el estudio de mercado se hace en base a los datos de la demanda y oferta de diésel.

1.3.1. Evolución de oferta y demanda de diésel a nivel nacional

Según datos del MEM, en 2014 el diésel fue el combustible de mayor uso a nivel nacional con una participación de alrededor de 46% del consumo total de combustibles. Además según el Balance Nacional de Energía de 2012, es el de mayor importancia en el sector transporte y minero, además el tercero en el sector industrial. El balance del diésel ha sido negativo en el siglo XXI, es decir, somos importadores netos de este combustible. En los últimos tres años, dicho déficit ha totalizado alrededor de 20 MBPD. El crecimiento de la demanda ha sido sostenido con un promedio anual de 4% en los últimos cinco años; sin embargo, la producción ha subido a una tasa promedio anual de 2% en el mismo periodo, lo cual acentúa la necesidad de su importación (Tamayo et alii, 2015).

En el 2015 la oferta decreció a una tasa promedio anual de -2%, mientras que la demanda creció a 4%. En el 2016 el comportamiento es similar, incluso un mayor déficit de la oferta (OSINERGMIN, 2015). Los valores cuantificados se pueden observar en la Figura 1.4.



Fuente. Elaboración propia con datos de MEM y SCOP-Osinergmin.

Figura 1.4. Evolución de la oferta y demanda de diésel en el Perú en MBPD

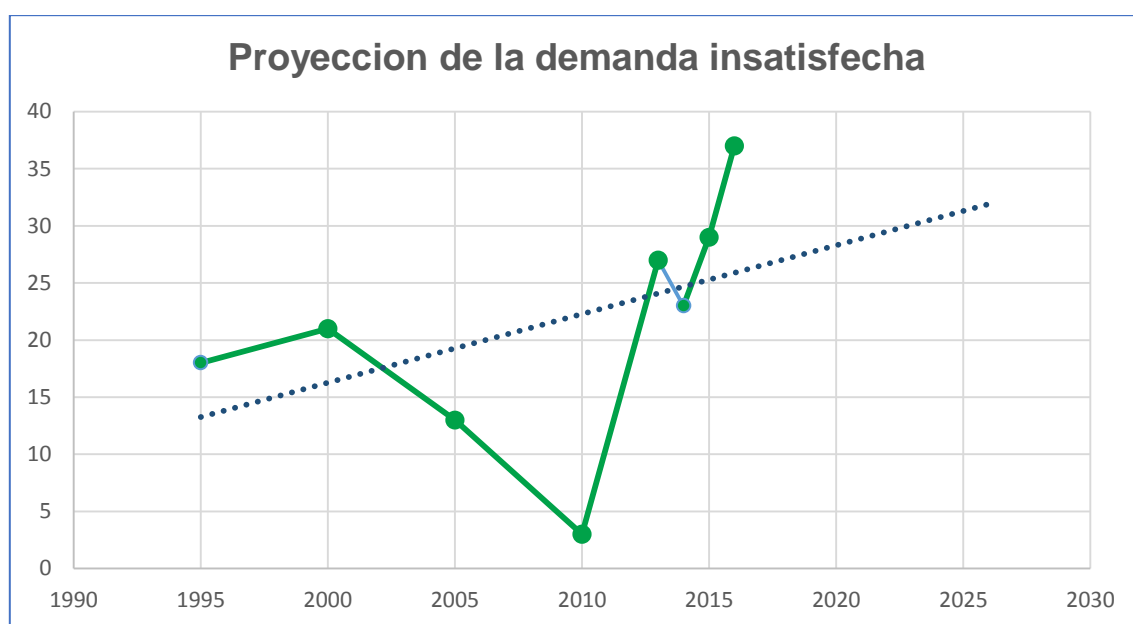
1.3.2. Demanda insatisfecha histórica y proyectada

La demanda insatisfecha, que resulta de la diferencia entre la oferta y la demanda ha venido aumentando año a año. Desde el 1995 que la diferencia fue de 18 MBPD ha evolucionado hasta 37 MPBD en el 2016, con algunas caídas en los el periodo de 2005 al 2010. En la Tabla 1.5. se presenta los demanda insatisfecha histórica, la misma que se representa en la Figura 1.5 con la proyección de la misma para el año 2026.

Tabla 1.5. Demanda insatisfecha de diésel en el Perú, en MBPD

Año	MBPD
1995	18
2000	21
2005	13
2010	3
2013	27
2014	23
2015	29
2016	37

Fuente: Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

Figura 1.5. Proyección de la Demanda insatisfecha de diésel en el Perú, en MBPD

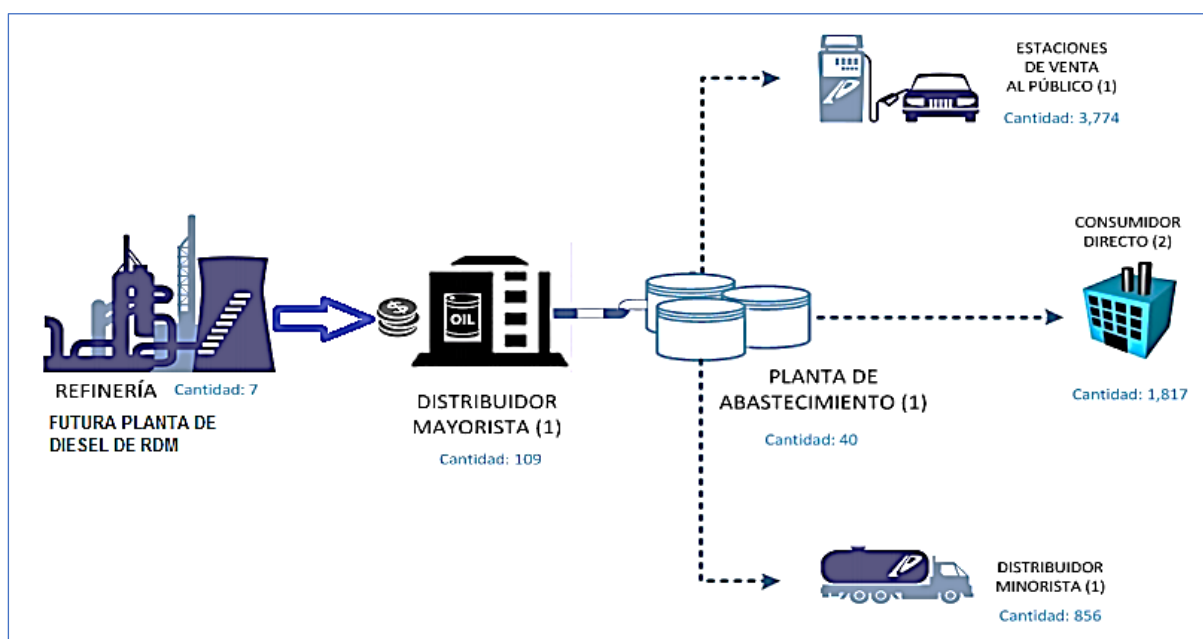
Según la gráfica la demanda insatisfecha proyectada para el año 2026 llegaría a 32 MBPD, que de alguna manera sería el mercado que se podría cubrir con un producto similar, como es el caso del presente proyecto.

1.3.3. Comercialización

De acuerdo a la cadena de comercialización de combustibles líquidos el producto que se va a elaborar, a semejanza que una refinería, corresponde a un solo canal de comercialización, porque se va vender directamente al distribuidor mayorista, que a nivel nacional existen aproximadamente 109 distribuidores.

Los distribuidores mayoristas serán los que se encargan su distribución primero a las planta de abastecimiento, luego a las estaciones de venta al público quienes distribuyen al usuario final.

El esquema se muestra en la Figura 1.6.

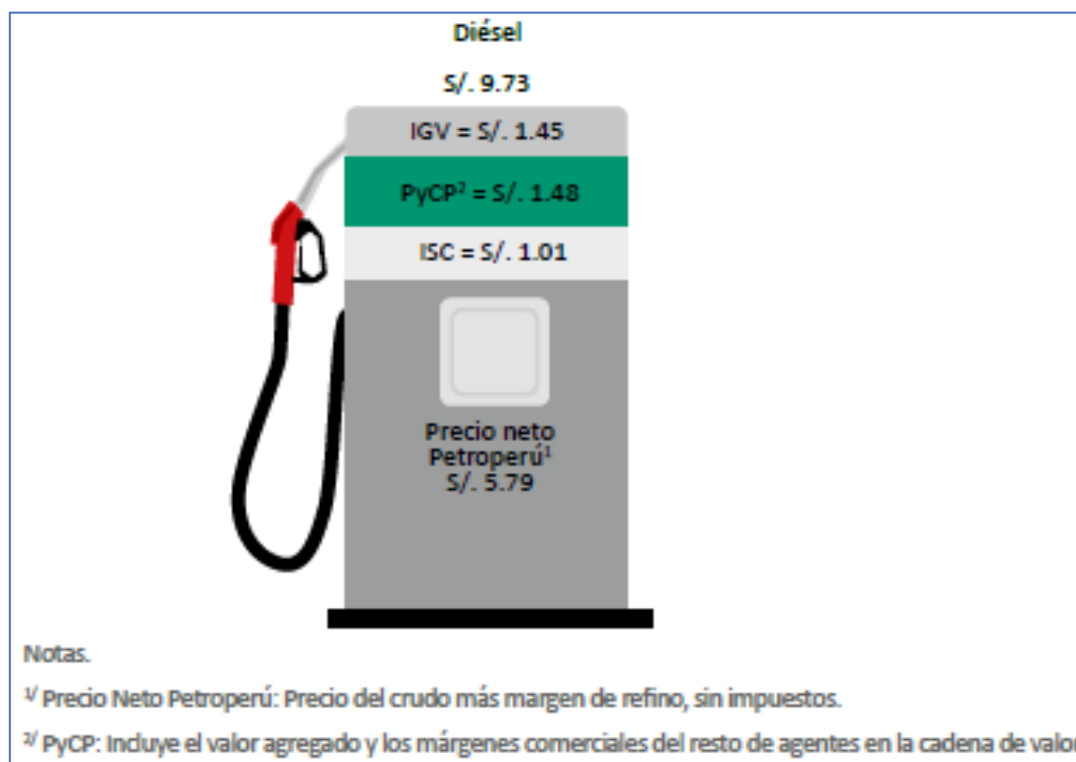


Fuente. Olver, 2013.

Figura 1.6. Flujograma de la cadena de comercialización de combustibles líquidos

1.3.4. Evolución de precio del diésel

La estructura del precio del diésel en nuestro país a junio del 2015, situación que se mantiene a la fecha similar, se muestra en la Figura 1.7.

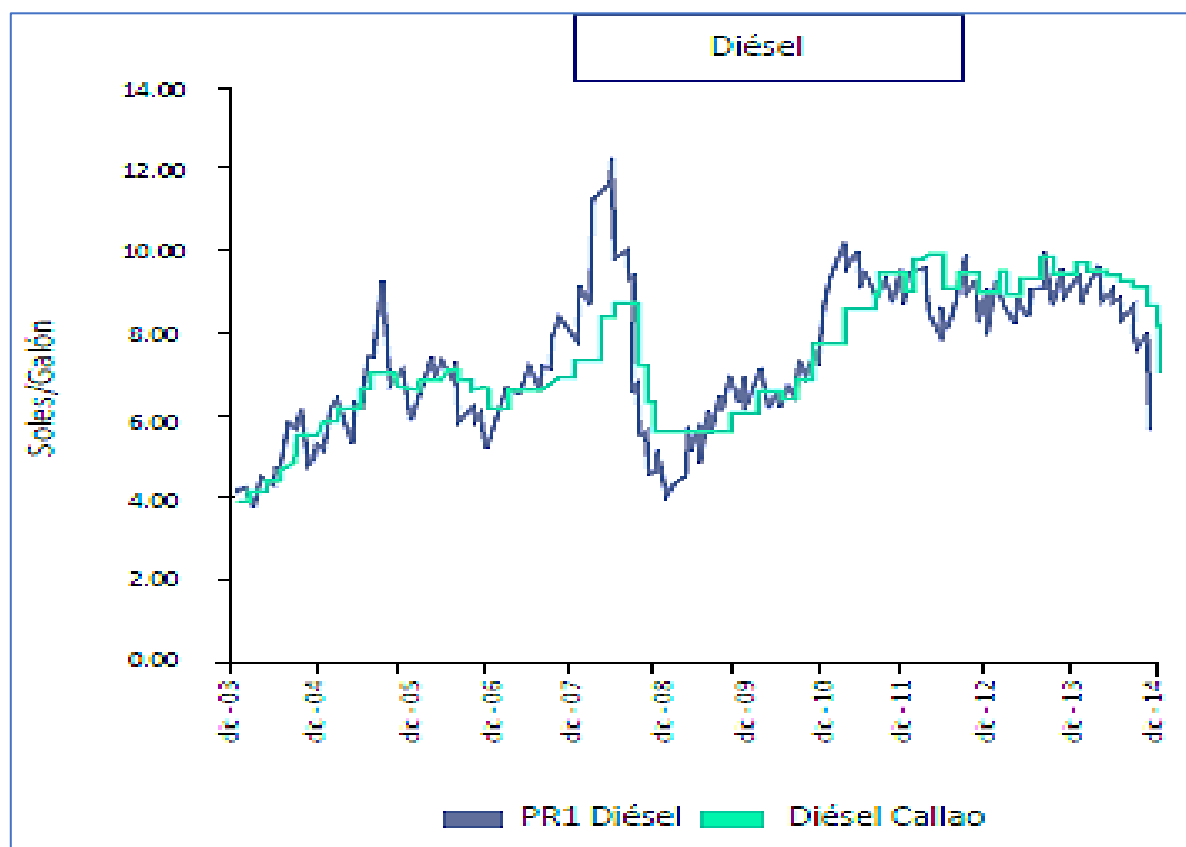


Fuente. OSINERGMIN, 2015.

Figura 1.7. Estructura del precio del diésel en el Perú.

Sin embargo, el producto del presente proyecto se venderá directamente a los mayoristas, según se detalla en el ítem anterior. Según la Figura 1.7., el precio del diésel ha evolucionado de forma similar al de las gasolinas. La tasa de crecimiento promedio anual de 7% en los años 1995-2000 y de 11% en los años 2000-2005, disminuyó a un promedio anual de -1% en el periodo 2006-2010. Posteriormente, presentó una tasa de crecimiento promedio anual de 3% en los últimos cuatro años. Para 2014, los precios de los derivados del petróleo mostraron una tendencia a la baja generada, básicamente, por la caída del precio internacional del petróleo crudo. Esta fue consecuencia de la sobreoferta de petróleo en el mercado

internacional, la desaceleración en el consumo mundial por parte de los países desarrollados y las economías emergentes de rápido crecimiento y aspectos geopolíticos (la decisión de la OPEP, en línea con Arabia Saudita, de mantener sus niveles de producción).



Fuente. OSINERGMIN, 2015.

Figura 1.8. Evolución del precio mayorista del diésel y precios de referencia

Teniendo en cuenta que la situación de la baja del precio del crudo es temporal, se considera que para el proyecto que el precio mayorista futuro estará en el orden de los 8.5 soles/galón, lo que equivale a 2,59 dólares americanos el galón.

1.4. Tamaño de la planta

Tamaño de planta y demanda: la demanda insatisfecha proyectada para el 2026 llega a 32 MBPD. La demanda es cuantiosa y no es un factor limitante.

Tamaño de planta y materia prima: según Koch (2015) se requiere 3 kg de residuos sólidos orgánicos por litros de diésel sintético. Este es un factor limitante debido que las grandes metrópolis disponen de cantidades limitadas de residuos orgánicos sólidos que pueden cubrir la demanda. Por ejemplo, Chiclayo dispondría para el 2026 de cerca de 350 toneladas de residuos sólidos orgánicos para su conversión a un equivalente de 0,733 MBPD (4862 litros/h). A nivel nacional se requeriría para cubrir la demanda insatisfecha de diésel para el 2026 cerca de 15000 toneladas de residuos orgánicos por día y sólo se dispone de aproximadamente 9500 ton/día. Este sería el factor limitante para determinar el tamaño de planta.

Tamaño de planta y tecnología: existen plantas modulares desde 500 litros por hora (Alphakat GmbH) hasta 2000 litros/hora (KDV), lo que equivale a 0,7548 y 3,02 MPBD respectivamente. Incluso existen instalaciones de mayor tamaño. Por lo tanto no es factor limitante.

Tamaño de planta y financiamiento: Para el presente proyecto consideramos que no existe límite en el financiamiento dada la importancia de dar un mayor valor agregado a los residuos municipales orgánicos, produciendo un combustible similar

Tamaño de planta y organización: Sobre el personal de distintos niveles en la producción de diésel sintético se puede asegurar que hay disponibilidad dada la gran experiencia en el manejo de grandes industrias petroquímicas en nuestro país. No es un factor limitante.

Elección del tamaño de la planta: debido a que la materia prima es el factor limitante se considera consumir todos los residuos orgánicos que se dispondría en la futura planta de tratamiento de residuos sólidos municipales. De acuerdo a las proyecciones para el

2026 se dispondría en la provincia de Chiclayo cerca de 350 toneladas de residuos sólidos orgánicos para su conversión a un equivalente de 0,733 MBPD (4862 litros/h) de diésel sintético. Por motivos de escoger un tamaño estándar se decide por una planta de 5000 litros por hora o de 0,75 MBPD, equivalente a un sobrediseño de 2.32%.

1.5. Ubicación de la planta

Es ampliamente conocido que los factores para ubicar correctamente una planta industrial son: disponibilidad de materia prima, ubicación del mercado, medios de transporte, mano de obra, suministros básicos, calidad de vida, condiciones climatológicas de la zona, marco jurídico, impuestos y cercanía a terrenos y futuras construcciones.

La futura planta de diésel sintético deberá estar ubicada en las cercanías de la ciudad de Chiclayo, de la que se dispondrá de la materia prima necesaria para el proceso.

Para el presente proyecto se considera sólo dos factores: la disponibilidad de materia prima y la ubicación del mercado.

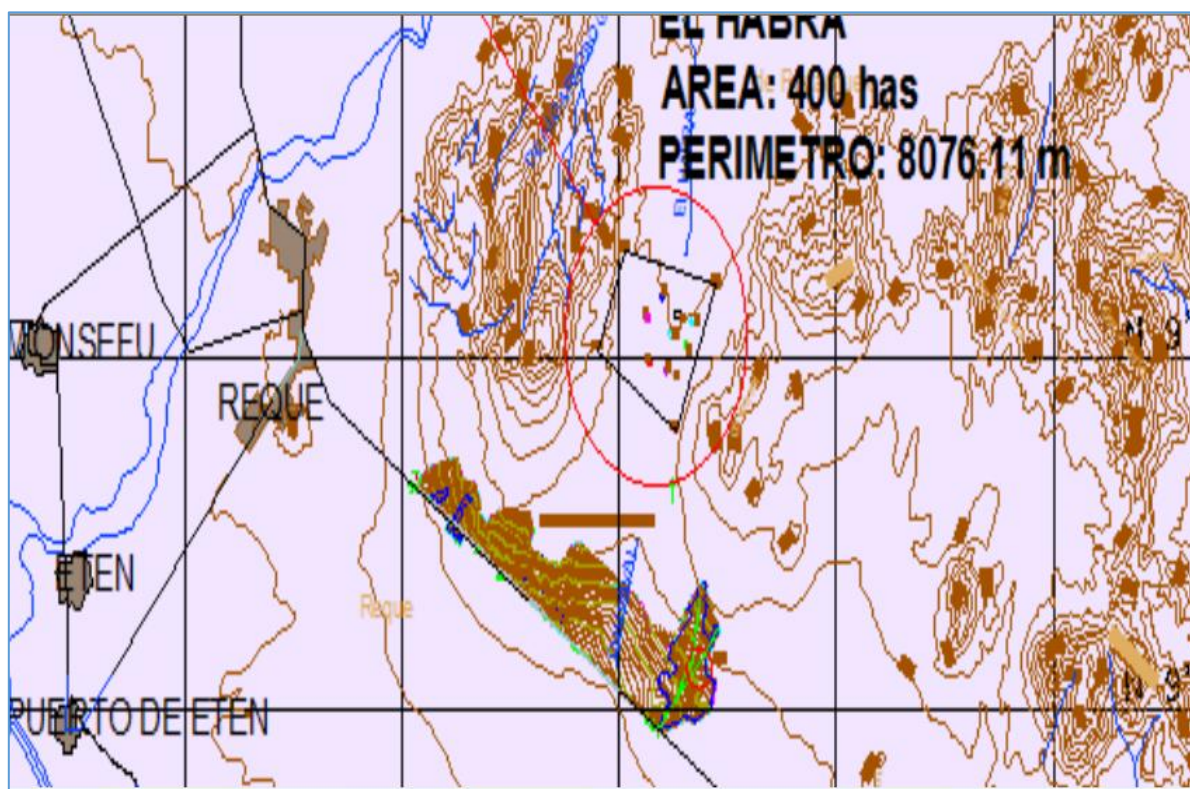
Respecto a la ubicación del mercado, según normatividad sobre comercialización de combustibles, sería recomendable que la planta de diésel sintético se ubique en las cercanías de un distribuidor mayorista. El único distribuidor mayorista de combustibles líquidos registrado en Osinergmin (al 05 de agosto del 2017) es la empresa Coporacion Primax S.A., ubicada en Carretera Playa Lobos Km. 5, en el distrito Etén Puerto.

Respecto a la disponibilidad de materia prima se conoce que el proyecto de la futura planta de Relleno Sanitario de la ciudad de Chiclayo estará ubicado en las Pampas de Reque.

Según Acuerdo Municipal N° 017-2010-MPCH/A. fecha 12.04.2010, Art. 2. Dice: “Autorizar la suscripción del contrato de transferencia de propiedad predial interestatal de un área de

terreno de 400 Has, inscrito en la partida registral N° 022013360 de la Oficina de Registros Públicos de Lambayeque a favor de la Municipalidad”. Según el proyecto en dicha área se dispondrá de una sección de separación de residuos inorgánicos (tierra, arena, piedras, ladrillos) dejando a disposición solo residuos orgánicos que servirían para la futura planta de diésel sintético.

Entonces definitivamente la futura planta debe estar en las cercanías del futuro relleno sanitario de la ciudad de Chiclayo. En la Figura 3.x se muestra la ubicación del relleno sanitario, que como se puede observar también estaría cerca de la planta distribuidora de combustibles líquidos.



Fuente. Acuerdo Municipal N° 017-2010-MPCH.
Figura 1.9. Pampas de Reque

II. INGENIERIA DEL PROYECTO

En la actualidad se tiene distintas licenciadoras del proceso de conversión de la biomasa en diésel sintético, también llamado depolimerización catalítica a baja presión (CPD - Catalytic Pressure less Depolymerisation). Entre ellos se tiene Treasure Legacy Sdn. Bhd. (India), KRMC Technology Systems (USA), Alphakat GmbH (Alemania), CPD 3 Swiss (Suiza), Alliance Ventures Ltd. (Italia), Forans AG (Suiza) y otros. Actualmente se tiene plantas en funcionamiento en Alemania, Italia, USA, Bulgaria, Canadá, España y México.

Todos los licenciadores ofertan plantas modulares para la producción de diésel a partir de residuos orgánicos. Todos se basan en la tecnología desarrollada por el Dr. Cristian Koch desde 1971. A la fecha se han realizado y se sigue realizando mejoras en la eficiencia del proceso, en especial en la recuperación de calor, que hace que la planta sea energéticamente auto sostenible. La tecnología básicamente es un proceso de despolimerización catalítica sin presión (CDP del inglés Catalytic Pressure less Depolymerisation, o KDV del alemán Katalytische Drucklose Verölung), es decir, de transformación química de materiales reciclados, polímeros artificiales o naturales más un catalizador natural en combustible tipo diésel.

2.1. Procesos que producen combustibles a partir de biomasa

Los productos y procesos que son más ampliamente conocidos que producen biocombustibles a partir de biomasa son: diésel por el proceso CDP, biometano, diésel por el proceso de gasificación de biomasa (gas elefante) y síntesis de Fischer-Tropsch, bioetanol a partir de maíz, biodiesel a partir de colza y aceite de colza.

Durante el desarrollo de las tecnologías de producción de biocombustibles la tecnología CDP tiene la mayor eficiencia energética como se puede mostrar en la Tabla 2.1. La eficiencia de

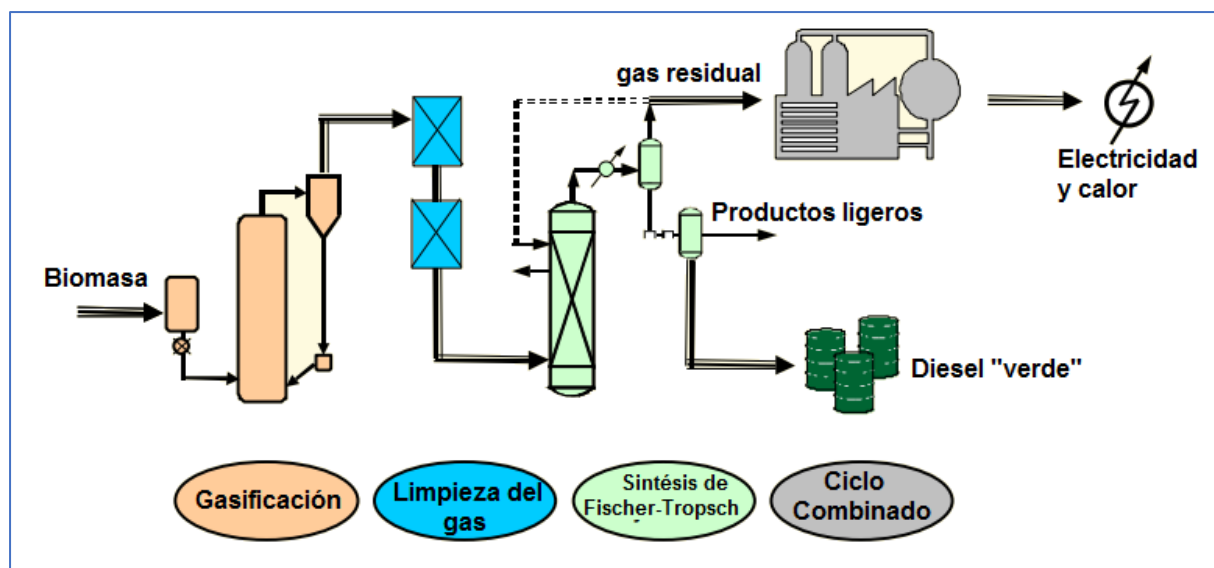
la tecnología CPD es 6.4 veces mayor que la de biodiesel de colza y más del doble que la tecnología de biomasa a combustibles líquidos, o tecnología BTL basada en la reacción Fischer Tropsch, de la cual también se puede producir diésel sintético. Así como la tecnología CPD, la tecnología BTL también tiene la capacidad de utilizar los residuos biológicos como materia prima. En la Tabla 2.1 se ha considerado el trabajo y los costos de la colza y el maíz que son las plantas que dan mayor energía como el pasto elefante (*Miscanthus*). Además las zonas de cultivo de colza y maíz se encuentran en competencia directa con las zonas de cultivo de alimentos y piensos. En cambio, las plantas del tipo CPD pueden ser instaladas en terrenos eriazos no aptos para la agricultura.

Tabla 2.1. Comparación de las tecnologías de producción de biocombustibles a partir de diferentes biomasa

Combustible	Raw Material	Liter per Hectare	Diesel Equivalence (l/ha)	Energy Efficiency
KDV-Diesel	Miscanthus	9 000	8 960	637%
Bio-Metano	Silo Maize	3 460	4 850	344%
Bio-Diesel	Miscanthus	4 400	5 040	292%
Bio-Etanol	Corn	3 540	2 080	148%
Biodiesel RME	Rape	1 550	1 410	100%
Rape-Oil	Rape	1 460	1 410	100%

Fuente: ElabProduktion von Dieselkraftstoff aus organischen Reststoffen mit der KDV-Technologie 2005

Entonces el único que se asemeja en la materia prima y el producto final es la tecnología BTL que produce diésel sintético a partir de biomasa. En este proceso la biomasa primero se gasifica, luego se purifica el gas de síntesis, se realiza la reacción de Fischer Tropsch y se termina con una destilación.



Fuente. Boerrigter, 2004.

Figura 2 1. Producción de diésel sintético a partir de biomasa.

El proceso BTL para producir diésel a través de la reacción de Fischer Tropsch, como se ve en la Tabla 4.1 tiene cerca de la mitad de rendimiento en Litros/hectárea comparado con el proceso CPD, incluso si se mide la eficiencia energética esta es 2.18 veces menor que el proceso CPD.

Por lo tanto es indudable que el proceso CPD es por lejos el proceso más recomendable para producir diésel a partir de biomasa.

2.2. Características del proceso CPD

La tecnología básicamente es un proceso de despolimerización catalítica sin presión (CDP del inglés Catalytic Pressure less Depolymerisation, o KDV del alemán Katalytische Drucklose Verölung)

La depolimerización es un proceso para la reducción de materiales orgánicos complejos en un combustible líquido ligero muy semejante al diésel del petróleo. Este proceso simula el proceso geológico natural que explica la producción de combustibles fósiles. Bajo presión y

calor, polímeros de cadena larga de hidrogeno, oxígeno y carbono se descomponen en hidrocarburos de cadena corta. Para tal fin se utiliza un catalizador selectivo constituido de silicato de aluminio catiónico, que se utiliza en la mezcla que ingresa al reactor en una proporción de 5 a 15%, del cual se pierde el 3% con las cenizas que sale del proceso. La temperatura de la reacción es cercana a 300°C. Por lo tanto la baja presión y baja temperatura hace que el proceso sea amigable con el medioambiente porque a esas condiciones se previene la formación de subproductos peligrosos tales como las dioxinas y furanos mientras que la adición de lechada de cal mantiene el pH a valores mayores que 8,5 protegiendo el catalizador y previniendo la corrosión en la planta.

Esta tecnología que está desarrollada y patentada en todo el mundo por el inventor Dr. Christian Koch es actualmente la tecnología más eficiente y respetuosa del medio ambiente en el mercado. Es una copia técnica del proceso natural de conversión de todo tipo de materia orgánica (¡No alimentos!), como Jatropha, residuos de aceite de palma, paja, pasto elefante, bagazo, madera, etc. en el combustible diesel. La única diferencia es la reducción de tiempo del proceso de transformación natural de 300 millones de años a 3 minutos.

El proceso CDP o KDV tiene las siguientes ventajas comprobadas:

- Producción de diésel que cumple la norma europea EN 590
- Puede utilizar cualquier tipo de materia orgánica
 - ✓ Biomasa: maderas, residuos de origen vegetal como hojas, pajas
 - ✓ Residuos: residuos industriales, residuos sólidos municipales, residuos agrícolas, aceites residuales (también aceite contaminados), residuos de refinería, bitumen, lodos secos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, cauchos y neumáticos

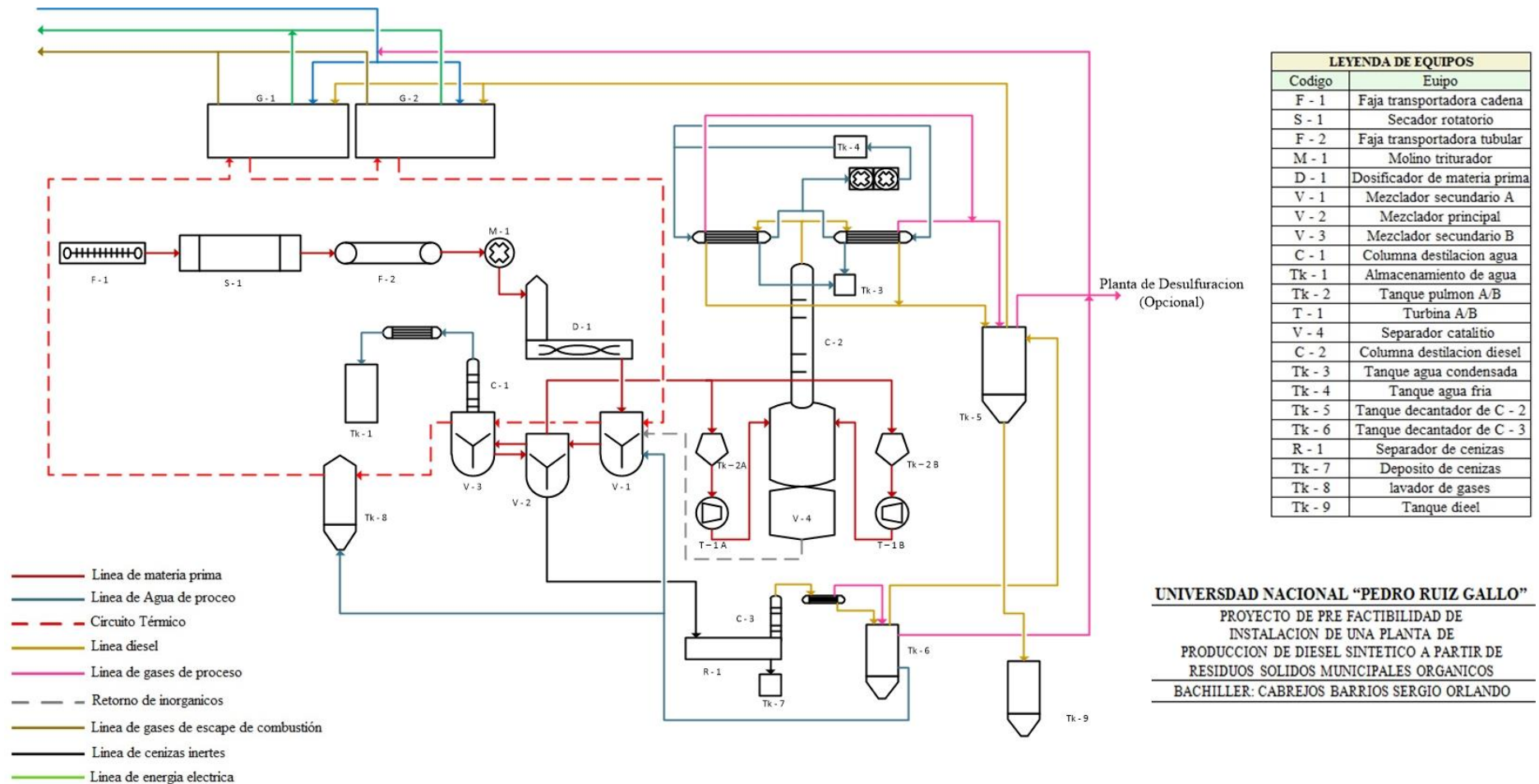
✓ Materiales sintéticos: todo tipo de plástico y material sintético como PVC, PP, PET, etc.

- Es un proceso químico catalítico puro (no hay proceso térmico como la pirolisis)
- Alta eficiencia energética comparado con otros procesos conocidos
- Autoabastecimiento energéticamente – no se requiere energía adicional para el proceso
- El proceso se realiza bajo una presión negativa de 0.1 bar, lo cual evita riesgos de explosión o fugas.
- Es un proceso en circuito cerrado, no hay formación de humos, no hay emisiones de partículas sólidas, no hay chimeneas.
- No hay formación de dioxinas, furanos, olefinas, resinas, humos, metano, etc.
- Balance neutral de CO₂
- Una operación limpia, fácil y silenciosa
- Sin malos olores
- Energía almacenable.

2.3. Descripción detallada del proceso KDV o CDP

El proceso se resume en diagrama de bloques de la Figura 2.3. En resumen, es un proceso auto sostenido desde el punto de vista energético, tanto de electricidad como de calor. Siete por ciento del diésel producido se utiliza para mover la turbina que sirve de reactor. Uno por ciento para preparar la pasta con la materia prima, catalizador y cal.

2.4. Diagrama de flujo en el proceso KDV



Fuente. Elaborado por el tesista

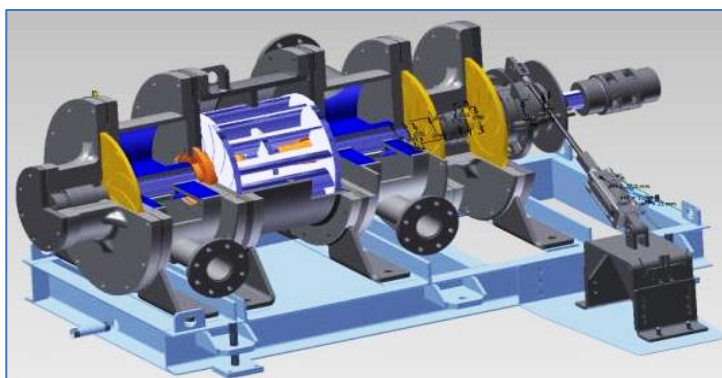
Figura 2 2. Diagrama de flujo de proceso CDP para producir diésel sintético

2.5.1. Pre proceso CDP

Un sistema de mezclado realiza la mezcla de la materia orgánica bien preparada (triturada y seca), el catalizador y el carbonato de calcio (como neutralizador) en un aceite portador (del proceso CPD principal). Al mismo tiempo la mezcla se calentará hasta alrededor de 150 °C con energía térmica de la planta de energía que produce su propio consumo de energía del diésel. El agua de la materia prima se vaporizará y destilará en una primera columna de destilación. A través del catalizador hay una extracción adicional de oxígeno en forma de CO₂ (no H₂O, como ocurre en los procesos térmicos). La materia prima, en este caso los residuos sólidos municipales aprovechables deben estar molidos a un tamaño máximo de 25 mm de diámetro, tener un máximo de 20% en peso de humedad y un contenido máximo de material inorgánico de 5%.

2.5.2. La etapa principal del proceso CDP – la reacción

Los insumos mezclados forman un lodo el cual es bombeado dentro de la etapa principal del proceso. Este lodo será aun más mezclado y calentado entre 270 – 320°C en la turbina de fricción. Figura 2.3.



Fuente. Alphakat GmbH, 2015.

Figura 2 4. Turbina de fricción del proceso CDP

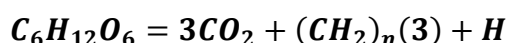
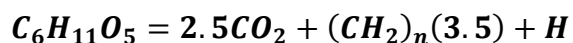
Gracias al catalizador hay acortamiento molecular de hidrocarburos a una longitud que tienen las moléculas de diésel, una estructura como las celulosas se convierten en estructuras como alcanos. Entonces el diésel se vaporiza y se destila en una segunda columna de destilación. El proceso se realiza bajo una presión de 0,9 bares. El vacío se mantiene en el sistema por bombas de vacío especiales. El catalizador es básicamente una bentonita, es decir un silicato de aluminio con potasio, sodio, calcio y magnesio. Se considera un catalizador de intercambio iónico 100% cristalizado.

La producción de diésel sintético se hace esencialmente por una reacción química catalítica y no por división térmica, pirolisis o destrucción térmica. Por lo tanto, el producto obtenido es de alta calidad y, de la columna de destilación se obtiene un producto muy limpio que cumple con la norma europea del diésel mineral, EN 590. El destilador es una columna de fraccionamiento con varias corrientes a distintos niveles, donde la parte más ligera constituye el diésel sintético del proceso y opcionalmente se envía a la plana de desulfuración. El material incondensable se envía a la planta de cenizas. El catalizador y el aceite de transporte son reciclados

Durante el proceso se produce hidrógeno, que puede combinarse con oxígeno de la materia prima para producir agua. Luego, los átomos de oxígeno en las moléculas de la materia prima reaccionan para formar dióxido de carbono, dejando hidrocarburos sin ningún heteroátomo de oxígeno incluido en las moléculas. En el proceso, también se produce CO_2 y gases ligeros. El proceso ocurre en circuito cerrado por lo tanto no hay emisiones de gases al aire a excepción del CO_2 , y todos son reciclados aparte del CO_2 . Los componentes de “bajo punto de ebullición” (equivalente al diésel) formados en el lodo de reacción se evaporan a 350°C , y así ascienden de la suspensión a una destilación fraccionada donde (al menos) se pueden recoger tres fracciones: una con puntos de ebullición entre aproximadamente 50 y 150°C , que es

similar a la gasolina, otro con puntos de ebullición similares al diésel entre 150 y 350°C el cual contiene también gases no condensables como CO, CO₂ y otros.

En las primeras reacciones la descomposición de la biomasa producen hidrogeno naciente y moléculas de combustible según:



El hidrogeno en estado naciente hidrogena los materiales de entrada a presión normal o al vacío de todos los hidrocarburos que contienen olefinas, como plásticos, aceite, caucho y bitumen, a alcanos y substituye al catalizador en la masa reactiva con hidrógeno, para realizar estas reacciones a temperaturas debajo de 300°C. El catalizador, una bentonita, esta finamente molida y se adiciona cal para mantener el pH a 8.5, lo cual le da un tiempo de vida ilimitada al catalizador. Esta reacción no es posible por calentamiento externo. La reacción tiene lugar solo por fricción, por calentamiento en una cámara de mezcla llamada turbina de fricción, lo cual permite realizar la hidrogenación en condiciones suaves (Saadatfar, 2015).

2.5.3. Post proceso CDP

Las partes inorgánicas como minerales, arena, piedra, vidrio, metales, etc. se separarán del proceso CDP con un poco de aceite portador en la "planta de cenizas" donde el resto de los hidrocarburos se vaporizará parcial o totalmente, produciendo ya sea betún para la producción de asfalto o un polvo que incluye todo lo inorgánico de la materia prima

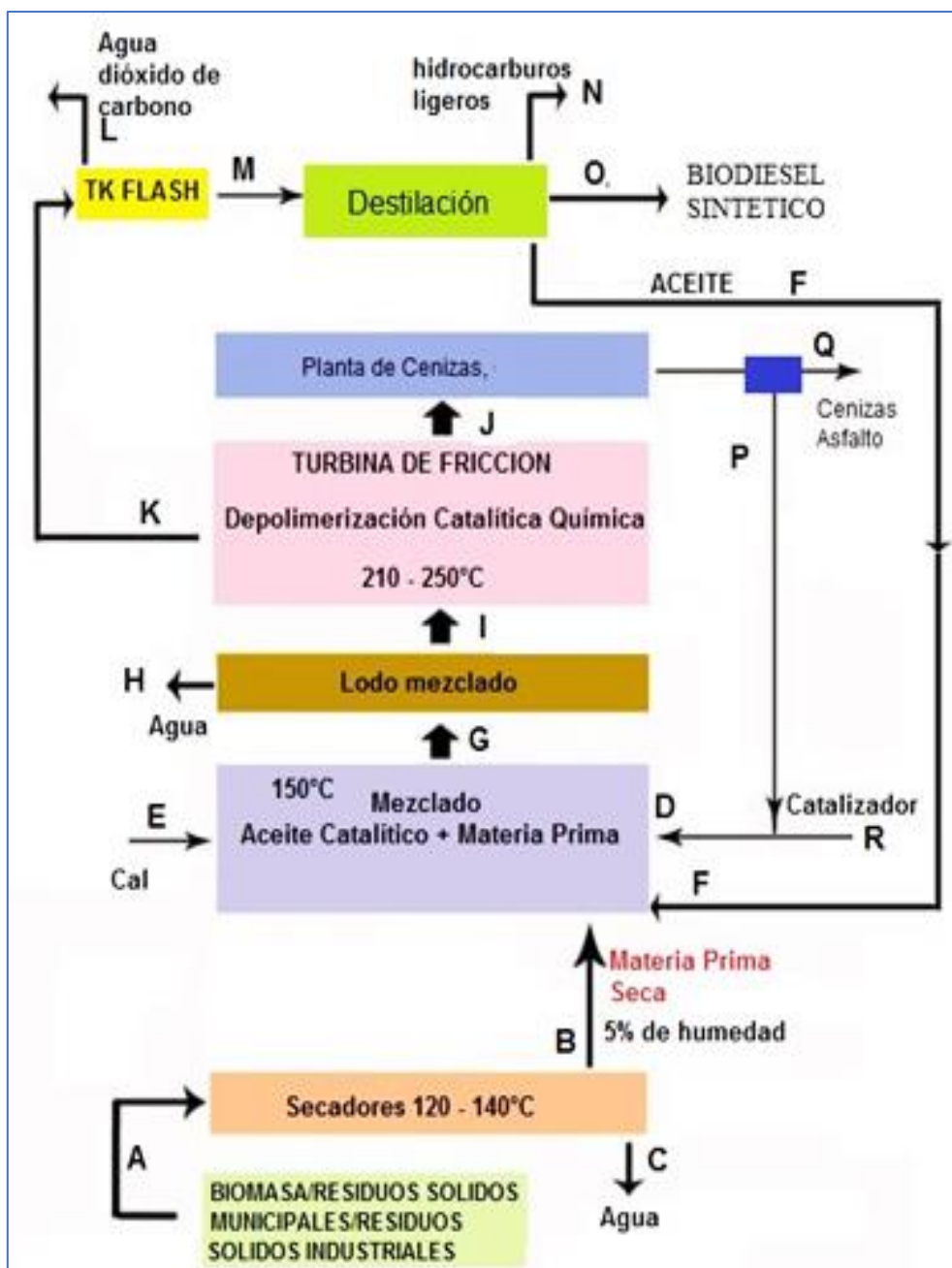
2.6. Balance de masa y energía

2.6.1. Balance de masa

El balance de masa se ha realizado en base a la producción de 5000 litros por hora de diésel sintético. La materia prima considerada se considera que proviene de la futura planta de tratamiento de residuos sólidos municipales de Reque, donde se realiza una previa selección, y por lo tanto a la planta de diésel llegarán residuos orgánicos con 25% de humedad y un contenido máximo de material inorgánico de 2%.

2.6.2. Balance de energía

De acuerdo a la Figura 2.3 el proceso de producción de biodiesel con la tecnología KDV es energéticamente auto sostenible. La energía eléctrica se produce tanto en motor diésel como en turbina de gases. En la turbina se combustiona los hidrocarburos ligeros y en el motor diésel el 8% del diésel sintético producido. Según la Figura 2.3 del 8% de diésel sintético, 7% se utiliza para producir electricidad para el reactor principal (tipo turbo-mezclador) y 1% para los motores de la preparación y transporte de los materiales. Los gases calientes producidos en las turbinas se utilizan para las etapas de secado y calentamiento del lodo reactivo que se prepara a 150°C.



Fuente. Elaborado por el tesista

Figura 2.5. Diagrama de bloque del proceso KDV

BALANCE DE MASA

Producción: 4142.5 kg/hr = 5000 litros/hr

Alimentación 25% humedad: 19000 kg/h

Alimentación 5% humedad: 15000 kg/hr

Tabla 2.2. Balance de materia en Kg/h

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Materia orgánica	13870	13870					13870		13870									
Materia inorgánica	380	380					380		380	380							380	
Agua	4750	750	4000				750	675	75		1606.872	1606.872						
Cal					1350		1350		1350	1350							1350	
Catalizador				300			300		300	300						291	9	9
Aceite mezcla						3225	3225		3225		3225		3225					
Material carbonoso										69.35							69.35	
Dióxido de carbono											7438.55	7438.55						
Diésel sintético										62.45	4142.5		4142.5		4142.5		62.45	
Hidrocarburos ligeros											625.2778		625.2778	625.2778				
TOTAL	19000	15000	4000	300	1350	3225	19875	675	19200	2161.8	17038.2	9045.423	7992.778	625.2778	4142.5	291	1870.8	

Fuente: Elaboración propia

BALANCE DE MASA

Producción: 4142.5 kg/hr = 5000 litros/hr

Alimentación 25% humedad: 19000 kg/h

Alimentación 5% humedad: 15000 kg/hr

UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"

"PROYECTO DE PRE-FACTIBILIDAD DE INSTALACION
DE UNA PLANTA DE PRODUCCION DE DIESEL
SINTETICO A PARTIR DE RESIDUOS MUNICIPALES
ORGANICOS"

Bachiller: Cabrejos Barrios Sergio Orlando

2.7. Equipos principales de proceso

Existe en el mundo empresas que construyen plantas modulares de producción de diésel sintético con la tecnología CDP o KDV. Los hay desde 150 litros por hora (KDV-150) hasta 10000 litros por hora (KDV-10000). En las siguientes figuras se presenta un KDV-150 y un KDV-1000.



Modelo: KDV-150



Modelo: KDV-1000

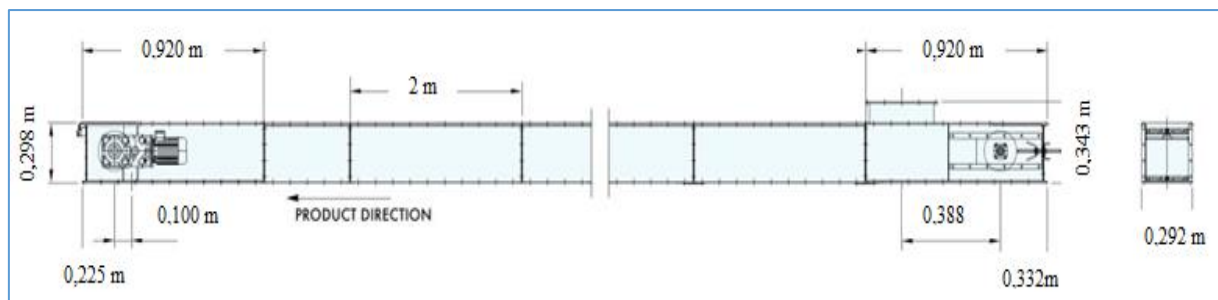
Fuente: Alpha Energy CPD Brochure

Figura 2.6. Plantas modulares KDV

Los equipos principales para el proceso son: transporte de residuos sólidos, secador, transportador de sólidos secos al molino, molino, bomba de lodos, columna de destilación se han seleccionado y diseñado, los detalles se muestran en el Capítulo VII. Apéndice.

2.7.1. Transportador de residuos solidos

- Tipo: Transportador de cadena
- Objetivo: Llevar la materia prima al secador
- Fugo volumétrico : 54.28 m³
- Sección transversal de la carcasa: 200 x 290 mm



Fuente: Elaborado por el tesista en base al Catalogo Wangroup

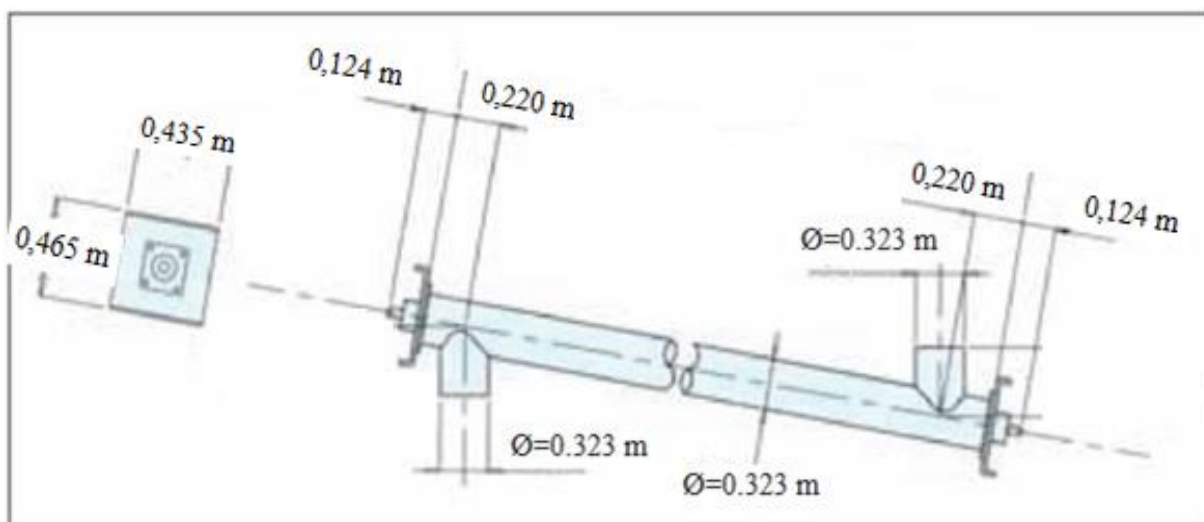
Figura 2.7. Transportador de residuos sólidos al secador.

2.7.2. Secador de residuos solidos

- Tipo de secador: Secador de tambor rotatorio
- Objetivo: llevar la materia prima a una humedad del 05%
- Largo 20 m
- Diámetro: 2.2 m
- Inclinación: 4 %
- Velocidad de rotación: 4 rpm
- Potencia: 30 Kw

2.7.3. Transportador de solidos secos al molino

- Tipo: Conductor de tornillo
- Objetivo: Llevar la materia orgánica seca al molino.
- Capacidad de diseño: 250 kg/min
- Capacidad nominal: 300 kg/min
- Diámetro: 323 mm
- Potencia del motor: 15 kW
- Material de construcción: acero inoxidable AISI 304 L



Fuente: Elaborado por el tesista en base al Catalogo Wangroup

Figura 2.8. Modelo conductor de sólidos secos

2.7.4. Molienda:

- Tamaño de partícula en la salida: 2.5 a 3.0 mm
- Modelo: PC400 x 600
- Capacidad diseño: 15 ton/hr
- Capacidad de nominal: 18,5ton/hr
- Potencia: 1000 kW
- Diámetro del rotor: 600 x 400 mm
- Longitud del rotor: 20 mm
- Cantidad de martillos: < 150

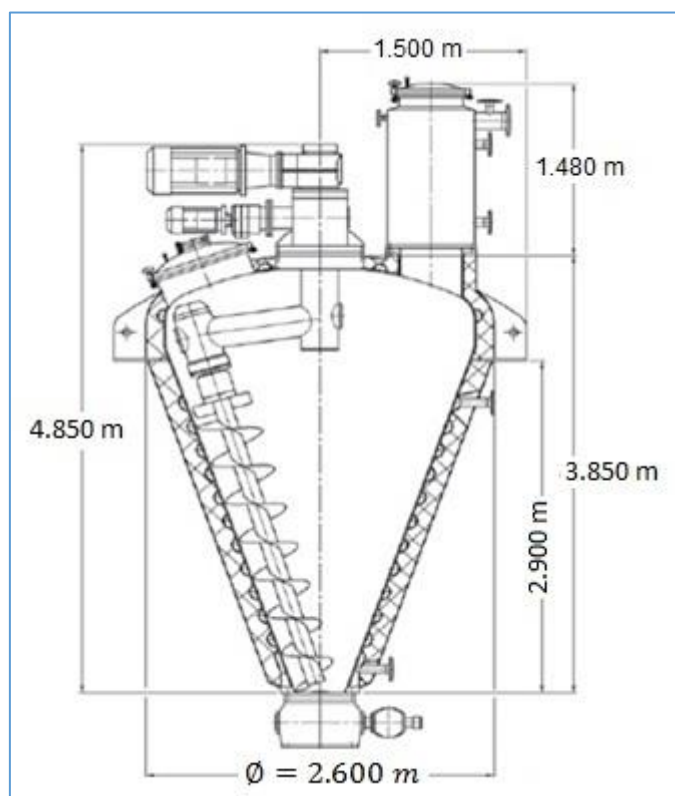


Fuente: Tomado de <http://www.languageplanet.com.mx/products/trituradora-de-martillos.html>.
Ubicado el 28/11/2017

Figura 2.9. Modelo triturador de martillos.

2.7.5. Mezclador principal

- Tipo: Mezclador cónico
- Objetivo: homogenizar la mezcla de materia orgánica, catalizador y cal
- Numero: 3 mezcladores
- Tiempo total por batch = 9 minutos
- Volumen requerido: 2 304 litros
- capacidad de nominal: 3 000 litros



Fuente: Elaborado por el tesista en base al Catalogo Bolz Summix

Figura 2.10. Modelo conductor de sólidos secos

2.7.6. Columna de destilación para agua

- Flujo agua: 675 kg/h
- Diésel sintético: 25 kg/h
- Aceite sin reaccionar: 5 kg/h
- Diámetro: 0.4572 m
- Espacio entre platos: 0.6096 m

- Altura de la columna: 6.7056 m
- Se hizo simulación con seudo componentes: solo agua y diésel

2.7.7. Tanque de almacenamiento de agua condensada

- Flujo: 675 kg/hr
- Densidad del agua: 1 Kg/L
- Tiempo de residencia: 48 hr
- Flujo volumétrico: 675 L/hr
- Volumen del tanque: 38.88 m³
- Diámetro: 3.364 m
- Altura: 4.372 m

2.7.8. Bomba de lodos

- Número: 2 bombas
- Fabricante: EXELNS
- Modelo: EGM-1C
- Capacidad nominal: 16.2 – 34.2 m³/h
- Capacidad de diseño: 20 m³/h
- Máxima columna: 25 – 92 m
- Potencia: 15 kw
- Rotor: 1400 rpm
- NPSH: 2 – 5.5 m



Fuente: Tomado de <http://www.excellencepumps.com/Horizontal-Slurry-Pump/EGM-Slurry-Pump.html>. Ubicado el 30-11-2017.

Figura 2.11. Modelo bomba de lodo

2.7.9. Tanque pulmón

- Flujo: 19 200 kg/hr
- Densidad del agua: 1.25 Kg/L
- Tiempo de residencia: 1 hr
- Tanques: 2 unidades
- Flujo volumétrico: 7 680 L/hr
- Volumen del tanque: 9.216 m³
- Diámetro: 2.08 m
- Altura: 2.7 m

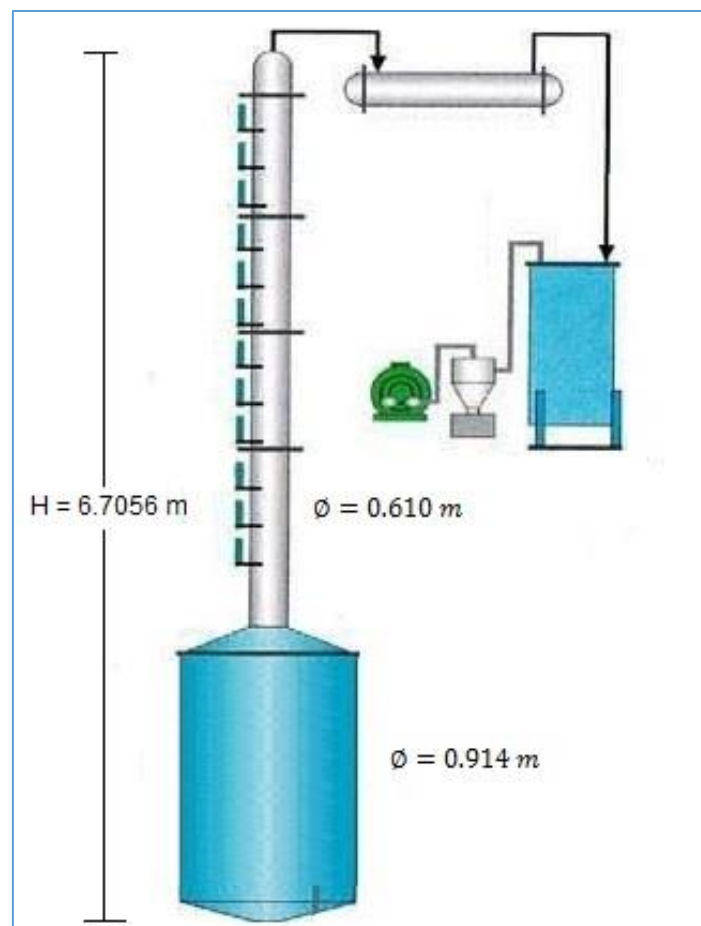
2.7.10. Reactor

- Tipo: Turbina
- Objetivo: Llevar a cabo la reacción entre la materia prima y el catalizar mediante la fricción a una temperatura de 290°C
- Numero de reactores: 2 unidades
- Flujo volumétrico: 256 litros/min
- Flujo volumétrico (C/U): 128 litros/min
- Tiempo de residencia: 3 min
- Volumen de reacción: 384 litros

- Volumen del reactor: 1.28 m^3
- Diámetro: 0.816 m
- Largo: 2.448 m

2.7.11. Columna de destilación diésel

- Tipo: columna de destilación fraccionaria
- Platos: con casquetes de burbujeo
- Número de etapas: 10
- Alimentación: plato 6
- Diámetro hasta el plato 7: 0.610 m
- Diámetro del plato 8 al 10. 0.914 m
- Altura de la columna: 6.7056 m



Fuente: Elaborado por el tesista en base resultados chemcad 6.0

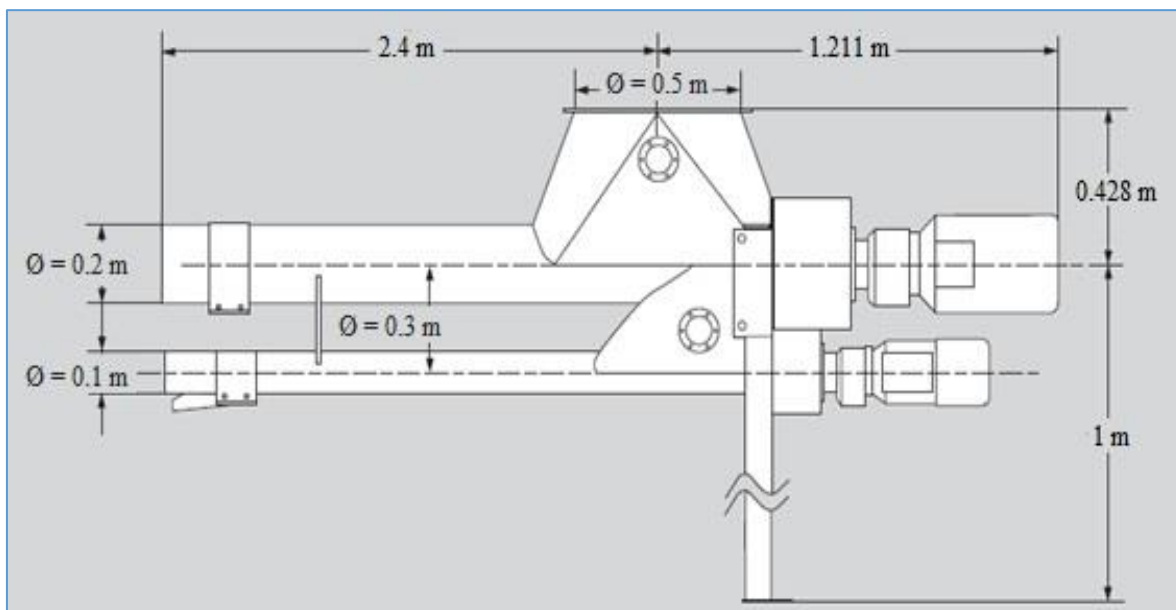
Figura 2.12. Columna de destilación diésel

2.7.12. Columna de destilación recuperación

- Tipo: columna de destilación fraccionaria
- Objetivo: recuperar las pequeñas cantidades de diésel de la corriente de inorgánicos
- Platos: con casquetes de burbujeo
- Número de etapas: 8
- Alimentación: plato 6
- Diámetro columna: 0.1524 m
- Altura de la columna: 5.48 m

2.7.13. Separador de cenizas

- Tipo: Transportador con doble sin fin
- Flujo: 2 161.8 Kg/hr



Fuente: Elaborado por el tesista en base al catálogo Buhler

Figura 2.13. Separador de cenizas

2.7.14. Tanque de almacenamiento de diésel

- Flujo: 5 000 Litros/hr
- Tiempo de residencia: 48 hr

- Volumen del total: 240 m³
- Tanques: 6 unidades
- Volumen total: 48 m³
- Diámetro: 3.6 m
- Altura: 4.7 m

2.8. Distribución de la planta

De acuerdo a los datos de los fabricantes de los módulos de diferente tamaño una planta CDP de 5000 litros por hora ocupa un espacio de 100 m x 100 m x 30 m. En este espacio no considera el espacio para el transporte y almacenamiento de material, así como la logística de separación.



Fuente: <http://www.kroms.net/es/>

Figura 2.14. Distribución de planta en 3D

III. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

De por si el producto del presente proyecto es un combustible biológico limpio proveniente de biomasa residual, con un proceso que es semejante al proceso natural que generó el crudo de petróleo, pero que en lugar de miles de años se realiza en solo minutos.

La producción de diésel sintético por despolimerización de materia orgánica proveniente de residuos sólidos municipales es un claro ejemplo de un proceso que utiliza el desperdicio de varias fuentes para la generación de un combustible, el cual además de ofrecer todas las ventajas de los productos tradicionales, no genera nuevos desechos, aparte de agua, generada cuando se extrae el oxígeno de la molécula de grasa de la materia prima.

La disposición correcta de residuos sólidos en rellenos sanitarios necesita áreas de terreno amplias y adecuadas, lo cual en estos últimos años es escaso. La ventaja de este proyecto es que no requiere excesivo terreno.

Además la tecnología empleada en este proyecto no utiliza absolutamente agua ni electricidad en su operación, siendo autosuficiente e independiente de los servicios municipales. Es un sistema en circuito cerrado que no produce contaminación atmosférica. Todo lo contrario existen residuos como las cenizas que pueden ser utilizadas como abono en la agricultura.

La planta es autosuficiente en términos de combustible y completamente independiente en todos los parámetros relevantes para el proceso. Debido al diseño de circuito cerrado de la planta, las emisiones gaseosas están controladas. A diferencia de otros procedimientos, no hay peligro de descarga de gases tóxicos como dioxinas o furanos. El catalizador de intercambio iónico une los halógenos como sales por debajo de la temperatura gaseosa, de modo que estos materiales no pueden formar dioxinas, ya que no se convierten en un estado

gaseoso. La unidad de proceso es confiable y segura y necesita muy poco mantenimiento (Alpha Energy LLC, 2012).

Tecnológicamente es un proceso que tiene beneficio ambiental, porque además de transformar la basura en un producto valioso como es el diésel sintético, también se puede producir agua destilada, ceniza. En resumen se puede asegurar que es proceso ecológico.

El propósito de la tecnología CDP o KDV es proteger el medio ambiente. Las posibles aplicaciones del proceso KDV en el contexto ambiental se puede resumir como:

- Eliminación de desechos agrícolas que muchas veces se quema en lugar de aprovecharlos para producir diésel sintético
- Reducción de CO₂ mediante la siembra de estepas y desiertos con pastos de alto rendimiento que pueden usarse como biomasa para el proceso KDV.
- Eliminación de desechos industriales
- Utilización de petróleo, arenas petrolíferas, campos petrolíferos de alquitrán, turba, petróleo pesado y lignito para la producción de combustibles.
- Eliminación de los sitios de almacenamiento de desechos, incluidos los lagos de bitumen y los vertederos industriales y comerciales de basura.

Además, la biomasa se considera carbono neutral y un recurso renovable y se puede convertir en electricidad, calor o combustibles líquidos y gaseosos (Demirbas et al., 2009). El uso de biomasa para la energía (bioenergía) es una alternativa renovable atractiva que ha atraído un interés creciente a nivel mundial.

Las emisiones son imposibles durante el proceso como se resume a continuación:

- El catalizador de intercambio iónico se une a los halógenos como sales por debajo de la temperatura de fisuración, por lo que estas sustancias no pueden formar dioxinas o furanos, porque no pueden entrar en forma gaseosa.
- Los metales pesados y los priones de materiales orgánicos se aglomeran de forma segura con el catalizador como residuo insoluble y, por lo tanto, no representan ningún riesgo.
- Una separación completa de materiales inorgánicos (contaminación del metal) ingresada con el material de entrada se lleva a cabo durante el proceso. Esto se debe a una adsorción de cristales a los cristales del catalizador, que se aglomeran y forman un residuo y se extraen del proceso. En este residuo, las partículas de metal están cristalizadas sin elución.
- La construcción de la planta garantiza que los metales y compuestos metálicos que entran con el material de entrada triturado se unan al residuo (catalizador agotado) durante el proceso en fase líquida y se descarguen como desechos. Dado que el producto final "combustible diesel" se forma solo durante la fase de vapor, por lo tanto está libre de estas sustancias.
- Dado que el material de entrada introducido se agita en el aceite del reactor por encima de 200°C sin una posibilidad de derivación hacia el exterior, ninguna molécula de proteína o prión es capaz de alcanzar (sin descomposición) hacia el exterior o en el producto final.
- En consecuencia, los metales introducidos se extraen con otras sustancias inorgánicas. Estos se pueden separar y reciclar fácilmente del residuo con una unidad de electrólisis.

En resumen las únicas emisiones de las plantas de producción de diésel sintético a partir de residuos sólidos municipales son los gases producidos de la combustión en el motor generador

IV. ESTUDIO ECONOMICO

Durante el presente capítulo, se hace una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo.

La evaluación económica se basa en el costo total de los equipos de procesos transportados a la futura planta industrial. Se emplearon índices utilizados por Peters, Timmerhaus y Wet, en su texto “Diseño de Planta y Economía para Ingenieros Químicos”. Los índices fueron modificados con criterio para nuestra realidad. Los cálculos detallados se muestran en el Apéndice.

4.1. Estimación de inversión total

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto y se estima en **47’300,994 dólares.**

La inversión total está constituida por el capital fijo total que asciende **41’843,187 dólares;** y un capital de trabajo u operación estimada en **1’503,255 dólares.**

4.1.1. Capital fijo total

1. Costo fijo

El costo fijo es de **47’300,994 dólares** y está formado por la suma de los costos directos y los costos indirectos de la planta.

i. Costo directo o físico

El costo directo es **41’843,187 dólares** y está constituido por:

- Costo total del equipo de proceso instalado.

- Costo total del equipo auxiliar de proceso instalado.
- Costo total de tuberías y accesorios.
- Costo total de instrumentación.
- Costo de instalaciones eléctricas.
- Costo de edificios.
- Costo de estructuras.
- Costo del equipo analítico de laboratorio.
- Costo de terreno y mejoras.

ii. Costos indirectos

El costo indirecto es **5'457,807 dólares** y está constituido por:

- Costo de ingeniería y supervisión.
- Comisión para contratistas.
- Imprevistos.

A continuación detallamos los costos directos e indirectos:

a.1. Costo de equipo principal y auxiliar de proceso

La estimación del costo de los equipos se realizó sobre la base de datos de literatura especializada detallada en el Apéndice.

a.2. Costo de instalación de todos los equipos

Por ser los equipos modulares se considera el 8% del costo del equipo puesto en la planta, es decir: **3'032,115 dólares**.

a.3. Tuberías y accesorios

La estimación de costos se realiza teniendo en cuenta dimensiones y material de construcción, incluye el costo de compra y de instalación.

Los módulos incluyen sus conexiones. 1.5% del costo del equipo total. Llega a **2'425,692 dólares.**

a.4. Instrumentación y control

Este renglón ha sido estimado según los costos unitarios de los principales equipos a usar en automatización de la planta. La planta es semi-automatizada. El costo es **909, 634 dólares.**

a.5. Instalaciones eléctricas

Se estima de acuerdo a las recomendaciones dadas por P&T., siendo el 1 % del costo de compra total del equipo, se obtuvo un valor de **909, 634 dólares.**

a.6. Estructuras de la planta

El costo de estructuras incluye los costos de cimentación para el área de proceso a precios locales. El costo asciende a **909, 634 dólares.**

a.7. Servicios

Incluye los gastos de instalaciones de agua, vapor, aire comprimido. El costo es de **2'728,903 dólares.**

a.8. Terrenos y mejoras

El costo del terreno se ha estimado teniendo en cuenta el lugar y ubicación de la planta, comprende los costos de: preparación del terreno, asfaltado, veredas, sardineles y cercado de la planta. El costo considerado es de solo **606 423 dólares.**

a.9. Costos directos totales

Es la suma del costo del equipo de la planta, más los costos de instalación, control e instrumentación, tubería y accesorios, sistema eléctrico, edificios, mejora de terrenos, servicios. Alcanza un valor de **41'843,187 dólares**.

a.10. Ingeniería y supervisión

Por ser un sistema modular, se considera el 2% del costo total de la planta puesta en Piura. El valor asciende a **1'212,846 dólares**.

a.11. Costo de la construcción

Se considera 3% del costo total de la planta. Asciende a **2'425,692 dólares**.

a.12. Costo de seguros e impuestos de la construcción

Se considera solo el 2% del costo del todo el equipo. Asciende a **606 423 dólares**.

a.13. Comisión para contratistas

Este renglón considera el 2% del costo físico de la planta, que viene a ser **606 423 dólares**.

a.14. Imprevisto

Se ha considerado **606 423 dólares**, con la finalidad de subsanar cualquier eventualidad que demande el gasto y que no se haya considerado dentro del costo de construcción de la planta. Se estima como el 1% del costo total de la planta.

a.15. Costos indirectos totales

Es la suma de los costos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, seguros e impuestos, honorarios para contratistas y gastos imprevistos. Alcanza la suma de **5'457,807 dólares.**

a.16. Inversión de capital fijo

Es la suma de los costos directos totales y los costos indirectos totales. Llega a **47'300,994 dólares.**

4.1.2. Capital de puesta en marcha o capital de trabajo

Este renglón abarca los gastos efectuados para realizar pruebas y reajustes del equipo del proceso antes de la operación comercial de la planta. Como período de puesta en marcha se considera que no excederá una semana. Se calculó un capital de **1'503,255 dólares.**

Se considera que se va procesar en forma continua, 8000 horas de operación al año.

- a. **Inventario de materia prima:** se considera compra para 5 días de operación. Alcanza la suma de **280 255 dólares.**
- b. **Inventario de materia en proceso:** se considera un día de operación. En promedio es **48 000 dólares.**
- c. **Inventario de producto en almacén:** el producto se embarca inmediatamente. El valor alcanzado es **333 333 dólares.**
- d. **Cuentas por cobrar:** equivale a una semana de ventas. Llega a **508 333 dólares.**
- e. **Disponibilidad en caja:** sirve para pagar salarios, suministros e imprevisto. Se considera 2 días de producción. Ascende a **333 333 dólares.**

∴ **LA INVERSION TOTAL:** es la suma de capital fijo más el capital de trabajo, y alcanza el valor de **47'300,994 dólares.**

Tabla 4.1. Plan Global de Inversiones

1. ACTIVOS FIJOS		
1.1.Costos directos		
Costo de equipos en planta	\$ 30'321,150	
Costos de instalación de todo el equipo	\$ 3'032,115	
Costo de instrumentación y control	\$ 909 634	
Costo de tuberías y accesorios	\$ 2'425,692	\$41'843,187
Costo de sistema eléctrico	\$ 909 634	
Costo de edificios	\$ 909 634	
Costo de mejoras de terrenos	\$ 606 423	
Costo de servicios	\$ 2'728,903	
Total costos directos		
1.2.Costos indirectos		
Costos de ingeniería y supervisión	\$ 1'212,846	\$ 47'300,994
Costo de la construcción	\$ 2'425,692	
Costos de seguros e impuestos a la construcción	\$ 606 423	\$5'457,807
Costo de honorarios para los contratistas	\$ 606 423	
Gastos imprevistos	\$ 606 423	
Total costos indirectos		
2. CAPITAL DE TRABAJO		
Inventario de materia prima	\$ 280 255	
Inventario de materia prima en proceso	\$ 48 000	
Inventario de producto en almacén	\$ 333 333	\$ 1'503,255
Cuentas por cobrar	\$ 508 333	
Disponibilidad de caja	\$ 333 333	
Total capital de trabajo		
INVERSIÓN TOTAL DE PROYECTO		\$47'300,994

Fuente: Elaboración del propia.

4.1.3. Estimación del costo total de producción

El costo total de fabricación está constituido por el costo de manufactura y los gastos generales. El costo total anual es de **21'047,846 dólares**. El resumen de la estima del costo de producción y del costo unitario se muestra en la Tabla 6.2.

a. Costo de manufactura

Este renglón incluye los costos directos de manufactura, los costos indirectos y los costos fijos.

Detallamos a continuación cada costo:

1. Costo directo de manufactura

Constituido por los costos de materia prima, mano de obra, supervisión mantenimiento y reparación de la planta, suministros para las operaciones y servicios auxiliares. El costo asciende a **14'897,847 dólares**.

- **Materia prima**

La materia prima utilizada para la producción de producto incluye los costos del bagazo, etanol, ácido sulfúrico, bacterias y nutrientes. Para la capacidad diseñada el costo total asciende a **13'452,240 dólares**.

- **Mano de obra**

La operación de la planta requiere de 21 operarios por turno de 8 horas. Este número de operarios ha sido estimado por el método Wessel, el cual se basa en el

número de pasos principales del proceso, capacidad de producción y el grado de automatización. El costo de mano de obra por año asciende a **140 400 dólares**.

- **Supervisión e ingeniería**

En este renglón se considera todo el personal comprometido con la supervisión directa de las operaciones de producción de las distintas instalaciones, el costo de supervisión e ingeniería es de **\$28 080 dólares**.

- **Mantenimiento y reparaciones**

Están comprendidos los gastos que se requieren para mantener la planta en óptimas condiciones de operación, y se estima como el 2% del capital fijo que es **946 020 dólares**.

- **Auxiliares y servicios**

Se considera los gastos por conceptos de lubricantes, pintura, materiales de limpieza, agua, energía eléctrica, etc. para su estimación se ha considerado el 15% del costo anual de mantenimiento, cuyo costo es de **141 903 dólares**.

2. Costos indirectos de fabricación

Comprende los gastos de laboratorio, cargas a la planilla y los gastos generales de la planta. Asciende a **71 604 dólares**.

- **Cargas a la planilla**

Se ha considerado como el 21% (**29 484 dólares**) de la suma de los costos de mano de obra y supervisión (los gastos por concepto de beneficios sociales)

- **Laboratorio**

Comprende los costos de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de calidad del producto, así como también las remuneraciones por supervisión.

Costo: 15% del costo de mano de obra. Ascende a **21 060 dólares**.

- **Gastos generales de la planta**

Lo conforman gastos destinados a satisfacer servicios, tales como: asistencia médica, protección de la planta, limpieza, vigilancia, servicios recreacionales, etc.

Se ha estimado como el 15% del costo de mano de obra. Ascende a **21 060 dólares**.

3. Costos fijos de fabricación

Los costos fijos son independientes del volumen de producción de la planta, están formados por la depreciación, impuestos y los seguros. El total asciende a **5'676,119 dólares**.

- **Depreciación**

El capital sujeto a depreciación es el capital fijo total excluyendo el costo del terreno. Por ser la mayoría de equipos de acero inoxidable se ha considerado un tiempo de vida de 15 años y por lo tanto para determinar se ha considerado el 7.5% del capital fijo. Ascende a **4'730,099 dólares**.

- **Impuestos**

El pago de impuestos a la propiedad para zonas poco pobladas se considera el 1% del capital fijo total, **473 010 dólares**.

- **Seguros**

Se ha considerado el 0.5% del capital fijo total, **473 010 dólares**.

- **Gastos generales (VAI)**

Comprende los gastos realizados por concepto de: administración, ventas y distribución, investigación y desarrollo. Y se ha tomado como el 6% de las ventas totales, **402 276 dólares**.

- **Administración**

Comprende los gastos por derecho de salarios de funcionarios, contadores, secretarias, así como los gastos de gerencia de actividades administrativas. Se estima como el 10% del costo de la mano de obra, supervisión y mantenimiento. Ascende a **111 450 dólares**.

- **Ventas y distribución**

Incluye los costos por derecho de publicidad para la venta del producto, así como los gastos para la distribución. La venta se hace directa a la empresa que importará el producto. Se estima como el 1.0 % del costo fijo de fabricación. Ascende a **283,806 dólares**.

- **Investigación y desarrollo**

Este renglón está encaminado a mejorar la calidad, proceso y en general para abaratar los costos de producción. Se estima como el 5% de la mano de obra, **7,020 dólares.**

b. Costo total de fabricación

Es igual a la suma del costo de fabricación y los gastos generales (VAI). Asciende a **21'047,846 dólares.**

c. Costo unitario

La producción diaria de 120,000 litros por día y produciendo 8000 horas al año se tendrá una producción de 40'000,000 litros, por lo tanto el costo unitario es de **0.5262 dólares/litro.**

4.1.4. Balance económico y rentabilidad

En el análisis de la rentabilidad del proyecto se considera el precio de venta puesto en la fábrica de **0.81 dólares por litro.**

1. Retorno sobre la inversión

- **Antes de Impuesto**

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades antes de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión antes de los impuestos obtenidos es de **35,59 %**, lo que demuestra la factibilidad económica del proyecto.

Tabla 4.2. Costo de Manufactura y Costo Unitario

1. COSTOS DE MANUFACTURA		\$ 13'798,423
1.1. Costos directos de manufactura		
Costos de materia prima	\$13'452,240	
Costo de mano de obra	\$140 400	
Costo de supervisión e ingeniería	\$28 080	
Costo de mantenimiento y reparación	\$946 020	
Costo de auxiliares y servicios	\$141 903	
Costo de suministros de operación	\$189 204	
Total costos directos		\$14'897,847
1.2. Costos indirectos de manufactura		
Costos de planillas	\$29 484	
Costo de laboratorio	\$21 060	
Costos generales de planta	\$21 060	
Total costos indirectos		\$71 604
1.3. Costos fijos de manufactura		
Depreciación	\$4'730,099	
Impuestos	\$473 010	
Seguros	\$473 010	
Total de costos fijos		\$ 5'676,119
1.4. Gastos generales		
Administración	\$111 450	
Ventas	\$283 806	
Investigación y desarrollo	\$7020	
Total gastos generales		\$ 402 276
COSTO TOTAL DE MANUFACTURA		\$21'047,846
2. COSTO UNITARIO		
Producción: 40'000,000 Litros/año.		\$0.5262/Litro

Fuente: Elaboración propia

- **Después del Impuesto.**

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades después de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión después de impuestos obtenidos es de **26,03 %**, lo que demuestra nuevamente la factibilidad económica del proyecto (Ver Apéndice).

2. Tiempo de recuperación de la inversión

Es el tiempo expresado en años, en que se recupera la inversión de capital fijo, operando 8000 horas por año. El tiempo de repago antes de impuestos es de **2.13 años** y después de impuestos es de **2.61 años**.

3. Punto de equilibrio

Es el nivel de producción, en el cual no se obtiene ni pérdidas ni ganancias. Según los cálculos realizados el punto de equilibrio es **25,3064%** de la capacidad total de la planta.

Tabla 4.3. Estado de pérdidas y ganancias

Estado	Monto	Unidades
Producción anual	40'000,000	Litros
Precio de venta por unidad	0,980	\$/litro
Ingreso de ventas anuales	39'200,000	\$
Costo total de fabricación (producción)	21'047,846	\$
Utilidad bruta	18'152,154	\$
Impuesto a la renta (30%)	4'188,959	\$
Utilidad neta	13'963,195	\$

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Ingreso neto de ventas anuales} = \text{Producción anual} * \text{Precio de venta unitario}$$

$$\text{Utilidad bruta} = \text{Ingreso Neto de Ventas Anuales} - \text{Costo Total de Fabricación}$$

$$\text{Utilidad neta} = \text{Utilidad bruta} - \text{Impuesto a la renta}$$

Tabla 4.4. Análisis Económico

Valores calculado	Valor	Aceptable
Retorno sobre la inversión antes del pago de impuestos	35,59%	>35 %
Retorno sobre la inversión despues del pago de impuestos	26,03%	> 12 %
Tiempo de recperación del dinero antes de impuesto	2,13	< 5 años
Tiempo de recuperación del dinero despues de impuesto	2,61	< 3 años
Punto de equilibrio	25,30%	< 50 %

Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Según el estudio de mercado, la demanda insatisfecha de diésel para el mercado nacional ascendería a 32 miles de barriles por día. La demanda está asegurada debido a que la demanda interna se cubre con importaciones. Respecto a la materia prima, residuos municipales orgánicos se dispone de 15000 toneladas por día a nivel nacional. A nivel local con los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo y alrededores se determinó que la futura planta de diésel sintético tendría una capacidad de 5000 litros por hora. La ubicación se recomienda en las cercanías de la futura planta de tratamiento de residuos sólidos que se ubicara en las pampas de Reque.
2. Se evaluaron diferentes procesos de producción de combustibles líquidos a partir de biomasa y se determinó que el proceso KDV es el de mayor rendimiento. Se presenta el balance de masa para una producción de 5000 litros por hora y se determinó que se necesita 15000 kg/h de residuos sólidos municipales con 5% de humedad. Según la tecnología del dueño de la patente (ALPHAKAT) se escogió un módulo de producción de diésel sintético de 5000 litros por hora.
3. La factibilidad económica de la planta se interpreta con los siguientes indicadores:
 - La inversión total para la instalación de la planta asciende a
 - \$ 47'300,994
 - Punto Equilibrio del proyecto 25,30%.
 - Tiempo de recuperación de la inversión es de 1.75 años antes de impuestos y 2.18 años después de impuestos.
 - La tasa de retorno sobre la inversión es de 35,59 % después de los impuestos.
 - El costo unitario por litro de diésel sintético es \$ 0.5262

- El precio de venta por litro de etanol anhidro es \$ 0.98 colocado en fábrica.
4. Al finalizar este proyecto se concluye que es rentable y el retorno sobre la inversión es de 35,59% antes de impuestos, y de 26,03% después de impuestos; lo que conlleva a asegurar que es factible de instalar una planta de producción de diésel sintético a partir de residuos sólidos municipales
 5. El proceso es amigable con el medio ambiente. Además de ser autosostenible energéticamente, la materia prima utilizada son residuos sólidos municipales que en la actualidad constituyen un problema de disposición final. Según el proceso no se eliminan a la atmosfera compuestos tóxicos y se puede generar agua, que en estos tiempos es escasa.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda instalar la planta de diésel sintético a partir de residuos municipales en el distrito de Reque, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.
2. Se recomienda cumplir con las recomendaciones y legislación peruana en materia de seguridad y salud ocupacional para las instalaciones y operaciones de la planta para mantener muy bajos los niveles incidentes y accidentes hacia los colaboradores.
3. Se recomienda seguir investigando métodos de procesamiento que permitan llegar los límites teóricos de rendimiento, con lo cual se disminuirá aún más el costo de producción.
4. Se recomienda instalar una planta de relleno sanitario lo cual permitirá reducir el costo de inversión del proyecto.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALPHA ENERGY LLC. 2012.** Diesel fuel via Catalytic Depolymerization. Alphakat. Mongolia.
- ALPHAKAT. 2009.** Diesel fuel via the catalytic depolymerization. Transformation of wastes material in Diesel, water and fertilizer. Confidential, 2009 Alphakat.
- ALPHAKAT GmbH. 2015.** Pressureless Chemical Catalytic Oiling. 96155 Bittenheim, Germany.
- ALEKLETT, K. 2005.** The Peak and Decline of World Oil and Gas Production”, Mineral&Energy, N° 20.
- ARDC-W4Oil. 2012.** Catalytic Pressure-less Depolymerisation SA Executive Summary. Amandla Resource Development Consortium. Southern Africa.
- BOERRIGTER, H. 2004.** Large-Scale Production of Fischer-Tropsch Diesel from Biomass. Optimal gasification and gas cleaning systems. Presented at Congress on Synthetic Biofuels - Technologies, Potentials, Prospects Wolfsburg, Germany, 4 November 2004.
- CHEREMISINOFF, N.P. 2000.** Handbook of Chemical Processing Equipment. Butterworth Heinemann. Boston.
- DIAZ, B.; JARUFE, B. & NORIEGA, M.T. 2007.** Disposición de Planta. Segunda Edición. Universidad de Lima – Fondo Editorial.
- DEMIRBAS, M.F., BALAT, M. & BALAT, H., 2009.** Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. Energy Conversion and Management, 50(7), pp.1746–1760.
- FAKHRAI, R. & SAADATFAR, B. 2015.** Feasibility study and quality assurance of the end-product of Alphakat KDV technology for conversion of biomass. PhD thesis. KTH School of Industrial Engineering and Management Division of Heat and Power Technology SE-100 44 Stockholm.

- FORANS AG. 2009.** Energy Recycling with CPD-Technology. CH-8026 Zürich. Freyastrasse 14.
- FORANS AG. 2015.** Technology and Specifications of CPD-500 Plants. Freyastrasse 14, Switzerland.
- GARRIDO, I.C. & ANDALAFT, C.A. 2003.** Evaluación Económica de Proyectos de Inversión Basada en la Teoría de Opciones Reales. Revista Ingeniería Industrial. Año 2; N°1: 83-89
- GESTIÓN. 15 JUNIO 2014.** Perú seguirá importando aceites crudos de petróleo por falta de exploración, afirma Comex. Lima, Perú.
- JICA. 2010.** Lineamientos para las Consideraciones Ambientales y Sociales. Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA.
- KOCH, C. 2015.** Technology and Specifications CPD-500 Plants. D-96155 Buttenheim. Germany.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2012.** Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales del Perú. Gestión 2012.
- MONCADA, ALBITRES LUIS. 2014.** Diseño de Plantas de Procesos Químicos. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- OEFA. 2014.** Informe 2013-2014. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional.
- OLVER, R.J. 2013.** Análisis de la comercialización de combustibles líquidos en el Perú. División de Planeamiento y Desarrollo; Gerencia de Fiscalización de Hidrocarburos Líquidos; Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). Lima, Perú.
- ORDOÑEZ, MUJICA R. 2015.** Creación de una planta de producción polivalente: bioetanol, bioplásticos, biogás y biodiesel.

OSINERGMIN. 2016. Reporte semestral del mercado de hidrocarburos. Año5 – N°7, marzo del 2016.

SAADATFAR, B. 2015. Feasibility study and quality assurance of the end-product of Alphakat KDV technology for conversion of biomass. PhD thesis. KTH School of Industrial Engineering and Management. Division of Heat and Power Technology SE-100 44 Stockholm.

TAMAYO, JESÚS; SALVADOR, JULIO; VÁSQUEZ, ARTURO; Y DE LA CRUZ, RICARDO (EDITORES). 2015. La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país. Osinergmin. Lima-Perú.

PrecioPetroleo.net. 20/10/2016. Precio Petróleo 2017.

VII. APENDICE

7.1. Requerimiento de residuos sólidos orgánicos

Dato: 500 litros/h de diésel sintético requiere 1500 kg/hr de residuos orgánicos (Koch, 2015), es decir 3 kg de residuos por litro de diésel

- 1 galón: 3.875 litros
- 1 barril: 42 galones

Para cubrir demanda insatisfecha proyectada: 32 MBPD

$$32 \times 1000 \times 42 \times 3.785 \times 3 = 15\,261\,120 \text{ kg/día} = 15\,261,12 \text{ ton/día}$$

Posible producción de diésel sintético con los residuos sólidos de Chiclayo

Producción de residuos orgánicos por día: 350 ton/día

Producción de diésel sintético: $(350 \times 1000) / (3 \times 3.785 \times 42) = 0,733 \text{ MBPD}$

Planta modular de 500 litros por hora:

$$(500 \times 24) / (3.785 \times 42): 75.4859 \text{ BPD} = 0.07548 \text{ MBPD}$$

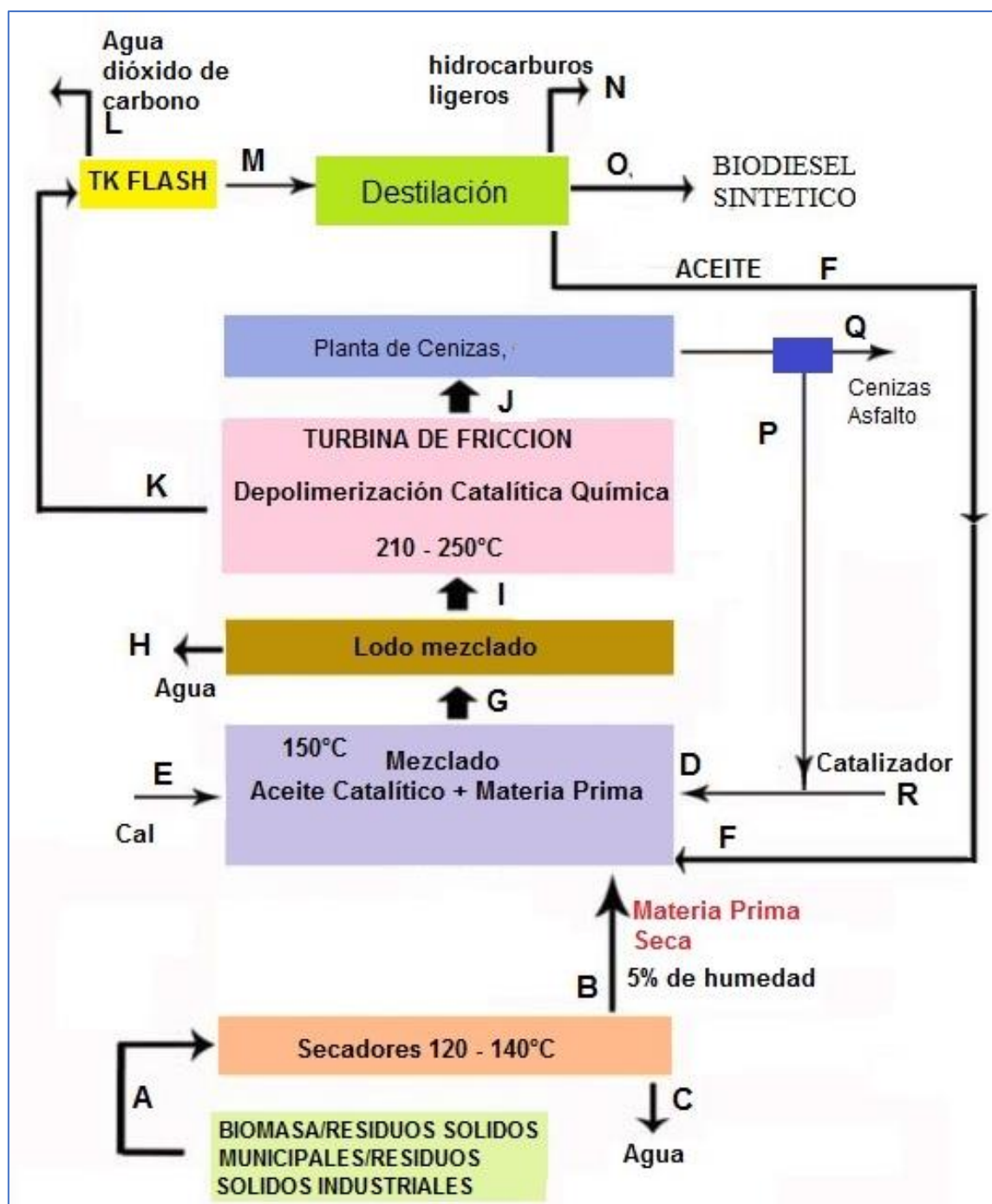
Planta modular de 2000 litros por hora: 0.3019 MPBD

Conclusión de tamaño de planta:

$$5000 \text{ litros/hora} = 0.75 \text{ MBPD}$$

Este valor representa un sobre diseño de: $[(0.75 - 0.733) / 0.733] \times 100 = 2.32\%$ un valor aceptable.

7.2. Balance de masa



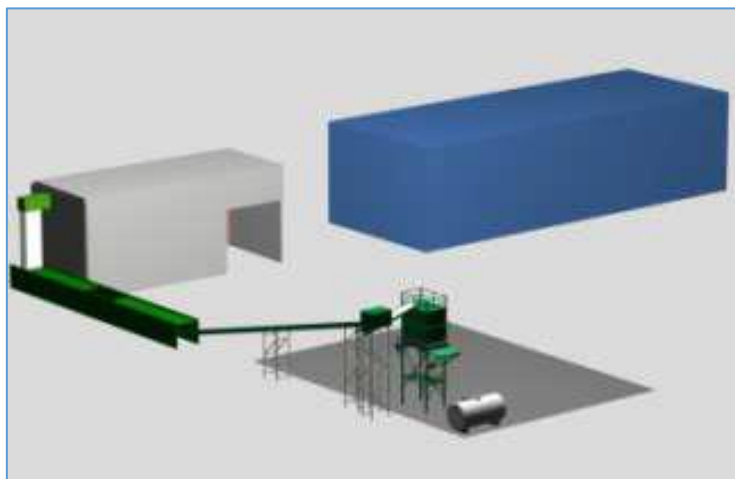
Fuente: Elaboración propia

Figura 7.1. Balance de masa

La biomasa, es decir los RSM que ingresan a la planta han sido previamente seleccionados en la futura planta de tratamiento de RSM de Chiclayo. Se considera RSM con 25% de humedad promedio y con solo 2% de material inorgánico.

Corriente A: 19000 kg/h

- Humedad: 25%
- Material orgánico: 73%
- Material inorgánico: 2%
- Agua: $19000 \times 0.25 = 4750 \text{ kg/hr}$
- Material orgánico: $19000 \times 0.73 = 13870 \text{ kg/hr}$
- Material inorgánico: $19000 \times 0.02 = 380 \text{ kg/hr}$



Fuente. Alphakat GmbH, 2015.

Figura 7.2. Turbina de fricción del proceso CDP

Corriente B: Tiene 5% de humedad:

- Total B: $(380 + 13870)/0.95 = 15000 \text{ kg/hr}$
- Agua B: $0.05 \times 15000 = 750 \text{ kg/h}$
- Material orgánico B: 13870 kg/hr
- Material inorgánico B: 380 kg/hr

Corriente C: Agua eliminada por secado

- Agua C: $4750 - 750 = 4000.0 \text{ kg/hr}$

Corriente D: Catalizador, 2.00 % del material ingresado (bases seca) (ALPHAKAT, 2009, p.16)

- Catalizador: $0.02 \times 15000 = 300 \text{ kg/hr}$

Corriente E: cal, 9.0 % del material ingresado en base seca (ALPHAKAT, 2009, p.16)

- Cal: $0.09 \times 15000 = 1350 \text{ kg/hr}$

Corriente F: se considera que se prepara una pasta con 80% de sólidos

- Teniendo en cuenta que la corriente B contiene 10% de agua, faltaría 10% de aceite:
- Corriente F: $[(380 + 13870 + 1350 + 300)/0.80] \times 0.20 = 750$
- Corriente F = 3225 kg/hr

Corriente G: es la mezcla de

- Agua G: 750 kg/h
- Material orgánico G: 13870 kg/hr
- Material inorgánico G: 380 kg/hr
- Diésel de mezcla G: 3225 kg/hr
- Cal G: 1350 kg/hr
- Catalizador G: 300 kg/hr
- Total G: 19875 kg/hr

Corriente H: Está constituido por agua que se evapora por estar la mezcla a 150°C

- Se considera que se evapora el 90% del agua presente:
- Agua en H: $0.90 \times 750 = 675 \text{ kg/hr}$

Corriente I: Está constituido por la corriente G menos el agua que se evapora en I

- Agua I: $750 - 675 = 75 \text{ kg/h}$
- Material orgánico I: 13870 kg/hr
- Material inorgánico I: 380 kg/hr
- Diésel de mezcla I: 3225 kg/hr
- Cal I: 1350 kg/hr
- Catalizador I: 300 kg/hr
- Total I: 19200 kg/hr

Corriente J: En la corriente J sale todos los sólidos y un 0.5% del material orgánico que se convierte en material carbonoso y forma parte de las cenizas.

- También se asume que se pierde 0.5% del biodiesel sintético formado
- Densidad del biodiesel sintético: 0.8285 kg/L
- Material carbonoso J: $0.005 \times 13870 = 69.35$ kg/hr
- Material inorgánico J: 380 kg/hr
- Biodiesel formado J: $0.005 \times [(15000 \times 0.8285) / 0.995] = 62.45$ kg/hr
- Cal J: 1350 kg/hr
- Catalizador J: 300 kg/hr
- Total J: 2161.8 kg/hr

Corriente P:

- Se pierde 3% del catalizador, es decir se recupera 97%
- Catalizador P: $0.97 \times 300 = 291$ kg/hr

Corriente Q: Son las cenizas producidas

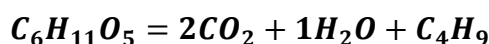
- Material carbonoso Q = 69.35 kg/hr
- Material inorgánico Q = 380 kg/hr
- Biodiesel formado Q = 62.45 kg/hr = 75.38 litros/hr
- Cal Q = 1350 kg/hr
- Catalizador Q: $300 - 291 = 9.0$ kg/hr
- Total Q = 1923.29 kg/h

Corriente R: Es la reposición del catalizador perdido en Q

- Catalizador R = 9.0 kg/hr

Corriente K: Es el contenido de diésel sintético formado, dióxido de carbono, agua y componentes más ligeros que el diésel.

- Materia orgánica disponible: $13870 - 62.45 = 13807.55$ kg/hr

Reacción principal:

$$163Kg = 88kg + 18kg + 57kg$$

Celulosa	CO₂	Aqua	Hidrocarburo
			saturado

Fuente: ALPHAKAT, 2009. Appendice A: CO₂ Calculation

También:

Entonces 1 tonelada de celulosa o material orgánico produce:

- 539 kg de CO₂
- 111 kg de H₂O
- 350 kg de diésel sintético

Adicionalmente se considera que 1 tonelada de celulosa, o material orgánico produce:

- 539 kg de CO₂
- 111 kg de H₂O
- 350 kg de hidrocarburos más ligeros que el diésel sintético

Otros datos:

- Eficiencia del proceso: 65 – 90% (ALPHAKAT, 2009, p. 8)
- 10% de la materia prima sale como CO₂ (ALPHAKAT, 2009, p.11)
- 1.2 toneladas de masa biológica = 500 L de diésel aproximadamente (ALPHAKAT, 2009, p.13)

Para el proyecto se va a considerar:

- Eficiencia de la primera reacción: 87.05%
- Eficiencia de la segunda reacción: 12.95%

Tomando en cuenta las reacciones:

- CO₂ y Agua se forman en las dos reacciones, por lo tanto:
- CO₂ formado: $539 \times (13807.55/1000) = 7438.55 \text{ kg/hr}$
- Agua formada: $111 \times (13807.55/1000) = 1531.872 \text{ kg/hr}$
- Diésel formado: $350 \times (13.80755 \times 0.8705) = 4204.95 \text{ kg/hr}$
- Hidrocarburos ligeros: $350 \times (13.80755 \times 0.1295) = 625.2778 \text{ kg/hr}$

Resumen:

- CO_2 en K: 7438.55 kg/hr
- Agua en K: $1531.872 + 75 = 1606.872$ kg/hr
- Diésel formado K: $4204.95 - 62.45 = 4142.5$ kg/hr
- Aceite de mezcla K: 3225.0 kg/hr
- Hidrocarburos ligeros K: 625.2778 kg/hr
- Total K = 17038.2 kg/hr

Corriente L: En el separador flash se separa el agua formada, agua presente y dióxido de carbono

- Agua L: 1606.872 kg/hr
- Dióxido de carbono L: 7438.55 kg/hr
- **Corriente M:** es la diferencia de la corriente K, menos la corriente L
- **Diésel formado L: 4142.5 kg/hr**
- Aceite de mezcla L: 3225.0 kg/hr
- Hidrocarburos ligeros L: 625.2778 kg/hr

Corriente N: Todos los hidrocarburos ligeros formados, (C₂, hasta C₆)

- Hidrocarburos ligeros N: 625.2778 kg/hr

Corriente O: todo el diésel sintético recuperado:

- Diésel formado O: 4142.5 kg/hr
- Tomando la densidad de 0.82

7.3. Balance de energía

Según los dueños de la patente (ALPHAKAT – Engineering GMBH) el consumo de energía eléctrica está de acuerdo a la capacidad:

Tabla 7.1. Requeridas entradas de biomasa de MSW ordenadas de la siguiente manera

Modelo (Producción bruta Litro/hora)	Ordenamiento MSW de biomasa (Base seca T / 8000 hr. año)	Biomasa 'mojada': tonne./yr. (20% de humedad).	Carga parasitaria en la planta Litros / año y MWe requeridos para el Genset incorporado; utilizando un diésel CPD / KDV propio	
250	6,400	8,000	200,000 litros	75 KWe
500	10,000	12,500	400,000 litros	0.25 MWe
1 000	20,000	25,000	800,000 litros	0.50 MWe
2 000	40,000	50,000	1,600,000 litros	1.0 MWe
5 000	100,000	125,000	4,000,000 litro	2.0 MWe

Fuente: Catalytic Pressure-less Depolymerisation SA Executive Summary: 29-03-2013

- Energía contenida en el diésel sintético: 43.2 MJ/kg
- Densidad del diésel sintético: 0.83 kg/L
- Eficiencia de la combustión en motor diésel y turbina: 45% (Miljöfaktaboken 2011)
 - Consumo de energía eléctrica: 2.0 MJ/s = 7200 MJ/hr
 - Consumo de diésel: $7200 / (43.2 \times 0.45) = 370.37$ kg/hr
 - Flujo volumétrico: $370.37 / 0.83 = 370.37 / 0.83 = 446.22$ litros/h
 - Porcentaje de consumo: 2.97%

7.4. Equipos principales de proceso

7.4.1. Calculo del dimensionamiento transportador de solidos al secador

De acuerdo con las características con la que se debe contar la materia prima orgánica se ha visto por seleccionar el transportador de cadena, el cual logra dicha condición.

- Flujo: 19 000 kg/hr
- Densidad: 350 kg/m³
- $Flujo\ volumetrico = 19\ 000 \frac{Kg}{hr} / 350 \frac{Kg}{m^3} = 54.28 \frac{m^3}{hr}$
- Sobre diseño: 20%
- Flujo de diseño: $54.28 \frac{m^3}{hr} \times 1.2 = 65.14 \frac{m^3}{hr}$

De acuerdo con las especificaciones del catálogo WAMGROUP que se muestra a continuación el tipo de transportador es. Tipo: TCG 050 (Fig. – Anexos)

Technical drawing of a TCG conveyor system. The main view shows a side profile of the conveyor with dimensions: A (distance from start to first support), D (distance between supports), C (distance from last support to end), N x C (total length of the main section), B (distance from end of main section to final support), A1 (height of the start section), A3 (height of the first support), A4 (height of the last support), B1 (height of the final support), B3 (height of the end section), B4 (height of the final support), and C4 (width of the final support). The product direction is indicated by an arrow pointing left. A small detail view of the final support is shown on the right.

TYPE	TCG050	TCG100	TCG150	TCG200	TCG300	TCG400	TCG500	TCG600	TCG800
m ³ /h	87	130	210	280	404	533	670	800	1070
Max. length	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m
Casing cross-section	200x290	300x290	300x420	400x420	500x550	660x550	Available on request	Available on request	Available on request
A	920	920	1720	1720	2120	2120			
A1	298	298	459	459	609	609			
A3	100	100	195	195	195	195			
A4	225	225	280	280	380	380			
B	920	920	1720	1720	2120	2120			
B1	343	343	555	555	804	804			
B3	388	388	1014	1014	1151	1151			
B4	332	332	385	385	548	548			
C	2000	2000	2000	2000	2000	2000			
C4	292	392	392	492	592	752			
D	1400-600	1400-600	1400-600	1400-600	1400-600	1400-600			
N	Variable according to the length								

Fuente: Catalogo Wangroup

De acuerdo con el tipo correspondiente las siguientes dimensiones:

A=920 mm, A1=298 mm, A3=100 mm, A4=225, B= 920 mm, B1= 343 mm, B3= 388 mm, B4=332 mm, C= 2 000 mm, C4=292 mm

Transformando de milímetros a pies

$$A = 920 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$A = 0.92 \text{ m}$$

$$A1 = 298 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$A1 = 0.298 \text{ m}$$

$$A3 = 100 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$A3 = 0.100 \text{ m}$$

$$A4 = 225 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$A4 = 0.225 \text{ m}$$

$$B = 920 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$B = 0.920 \text{ m}$$

$$B1 = 343 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$B1 = 0.343 \text{ m}$$

$$B3 = 388 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$B3 = 0.388 \text{ m}$$

$$B4 = 332 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$B3 = 0.332 \text{ m}$$

$$C = 2\,000 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$C = 2 \text{ m}$$

$$C = 292 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$C = 292 \text{ m}$$

7.4.2. Secador de residuos solidos

Secador rotatorio diseñada por **Zhengzhou Taicheng Mining Machinery** se ajusta para llevar el secado hasta 05%. Esta máquina adopta las teorías tradicionales de Secadores rotatorios. Es la mejor opción con gran capacidad.

De acuerdo con las especificaciones del catálogo **Zhengzhou Taicheng Mining Machinery** que se muestra a continuación el tipo de transportador es. Tipo: PC400x600 (Fig. – Anexos)

especificaciones (mm)	inclinación(%)	velocidad de rotación (r/min)	el max. temperatura del aire de admisión(° C)	potencia (kw)	capacidad (t/h)	peso (kg)
600x6000	3-5	3-8	≤ \$ number	3	0.5-1.5	2.9
800x8000	3-5	3-8	≤ \$ number	4	0.8-2.0	3.5
800x10000	3-5	3-8	≤ \$ number	4	0.8-2.5	4.5
1000x10000	3-5	3-8	≤ \$ number	5.5	1.0-3.5	5.6
1200x10000	3-5	3-8	≤ \$ number	7.5	1.8-5	14.5
1200x12000	3-5	3-8	≤ \$ number	11	2-6	14.8
1500x12000	3-5	2-6	≤800	15	3.5-9	17.8
1800x12000	3-5	2-6	≤800	18	5-12	25
2200x12000	3-5	1.5-6	≤800	18.5	6-15	33
2200x18000	3-5	1.5-6	≤800	22	10-18	53.8
2200x20000	3-5	1.5-6	≤800	30	12-20	56
2400x20000	3-5	1.5-5	≤800	37	18-30	60
3000x20000	3-5	1.5-5	≤800	55	25-35	78
3000x25000	3-5	1.5-5	≤800	75	32-40	104.9

Fuente: Catalogo GME, tomado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tunnel-drier-tunnel-drying-equipment-tunnel-rotary-dryer-60023178762.html?spm=a2700.8699010.29.34.5a32261RW4Aks>. Ubicado el 28/11/2017

De acuerdo con el tipo correspondiente las siguientes dimensiones:

- Largo: 20 m
- Diámetro: 2.2 m
- Inclinación: 4%
- Velocidad de rotación: 1.5; 6 rpm
- Potencia: 30 Kw

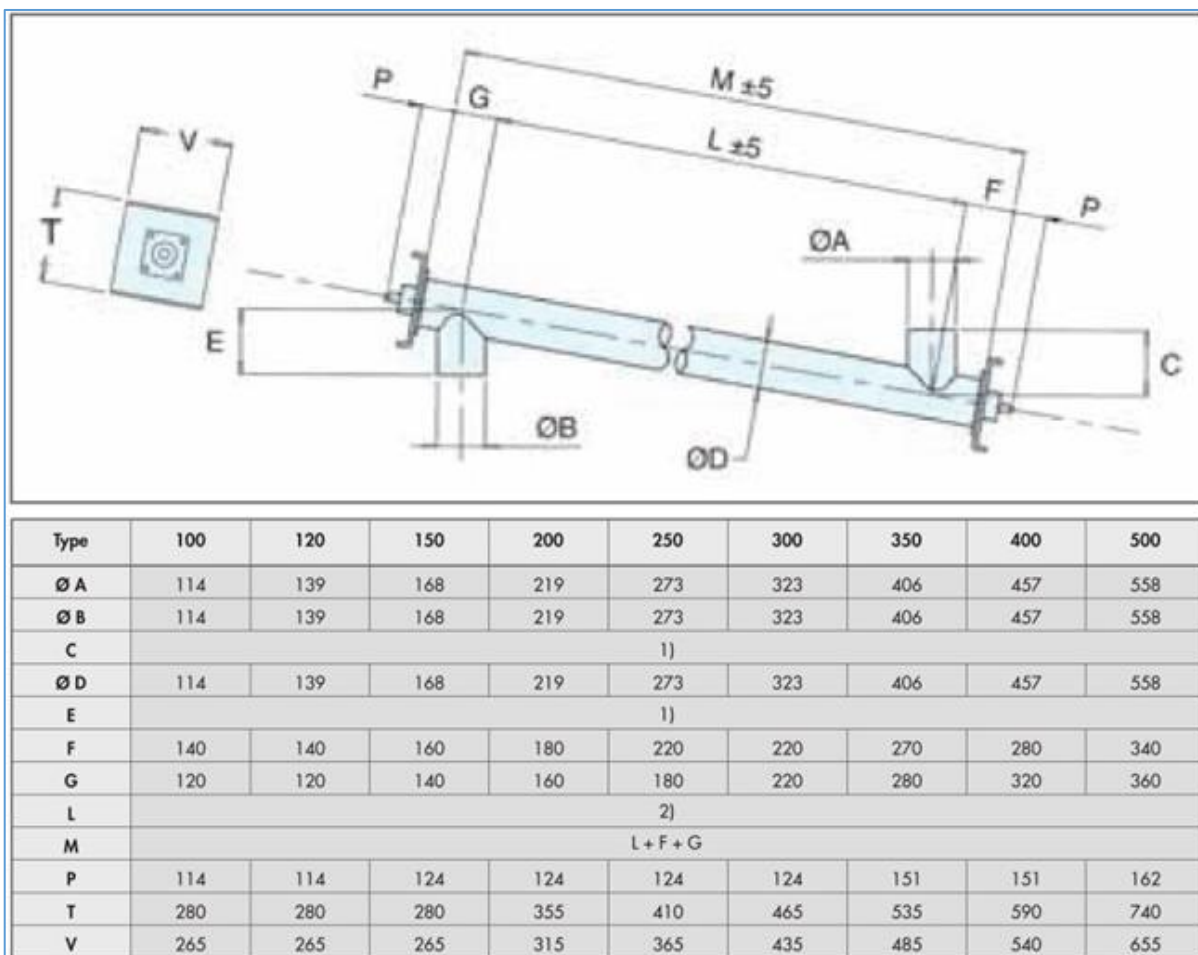
7.4.3. Transportador de solidos secos al molino

De acuerdo con las características con la que se debe contar la materia orgánica seca se ha visto por seleccionar el transportador de cadena, el cual logra dicha condición.

- Flujo: 15 000 kg/hr = 250 Kg/min
- Sobre diseño: 20%

- Capacidad recomendada: $250 \frac{Kg}{min} \times 1.2 = 300 \frac{Kg}{min}$

De acuerdo con las especificaciones del catálogo WAM que se muestra a continuación el tipo de transportador es. Tipo: 300 (Fig. – Anexos)



Fuente: Catalogo Wam

De acuerdo con el tipo correspondiente las siguientes dimensiones:

ØA= 323 mm, ØB= 323 mm, ØD= 323 mm, F= 220 mm, G= 220 mm, P= 124 mm,
T= 465 mm, V= 435 mm.

$$\varnothing A = 323 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$\varnothing A = 0.323 \text{ m}$$

$$\emptyset B = 323 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$\emptyset B = 0.323 \text{ m}$$

$$\emptyset D = 323 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$\emptyset D = 0.323 \text{ m}$$

$$F = 220 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$F = 0.220 \text{ m}$$

$$G = 220 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$F = 0.220 \text{ m}$$

$$P = 124 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$P = 0.124 \text{ m}$$

$$T = 465 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$T = 0.465 \text{ m}$$

$$T = 435 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$T = 0.435 \text{ m}$$

7.4.4. Molienda

Trituradora de martillos diseñada por GME se ajusta para producir productos de polvo grueso de 0-3mm. Esta máquina adopta las teorías tradicionales de trituradoras y molinos. Es la mejor opción para producir polvo grueso con gran capacidad.

De acuerdo con las especificaciones del catálogo GME que se muestra a continuación el tipo de transportador es. Tipo: PC400x600 (Fig. – Anexos)

Modelo	Diámetro de Rotor (mm)	Longitud de Rotor (mm)	Cantidad de Martillos	Alimentación Máxima (mm)	Descarga(mm)	Capacidad (t/h)	Potencia(kw)	Modelo de Motor
PC300×400	400×300	16	<100	<15	3-8	11	1100	855×795×862
PC400×600	600×400	20	<150	<15	8-15	18.5	1000	1155×1100×1255
PC600×800	800×600	28	<220	<20	15-30	45	900	2360×1500×1580

Fuente: Catalogo GME, tomado de: <http://www.languageplanet.com.mx/products/trituradora-de-martillos.html>. Ubicado el 28/11/2017

De acuerdo con el tipo correspondiente las siguientes dimensiones:

- Longitud del rotor: 20 mm
- Capacidad nominal: 18.5 Ton/hr
- Potencia: 1000 KW

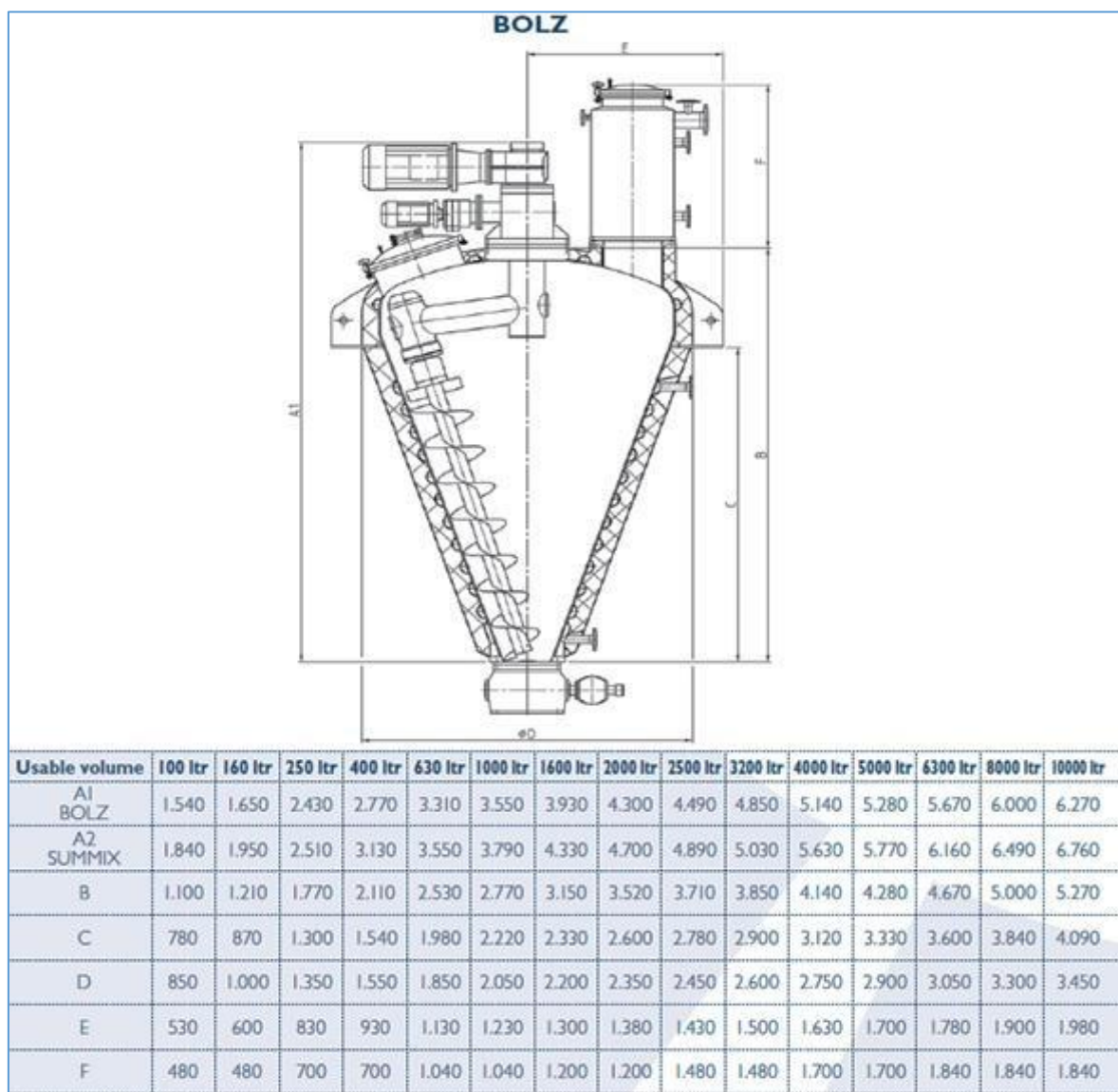
7.4.5. Mezclador principal

De acuerdo con las características con la que se debe contar la mezcla orgánica se ha visto por seleccionar un mezclador, el cual logra dicha condición.

- Flujo de entrada al mezclador: 19200 kg/hr
- Densidad promedio al final de la mezcla: 1.25 kg/m³
- $Flujo\ volumetrico = 19\ 200\ \frac{Kg}{hr} / 125\ \frac{Kg}{m^3} = 15\ 360\ \frac{m^3}{hr} = 256\ \frac{L}{min}$
- Tiempo de mezclado: 1 a 4 minutos; se considera 4 minutos
- Tiempo de carga: 3 minutos
- Tiempo de descarga: 2 minutos
- $Tiempo\ total\ por\ batch = t.\ de\ mezclado + t.\ de\ carga + t.\ de\ descarga$
- $Tiempo\ total\ por\ batch = 4\ m + 3\ m + 2\ m = 9\ minutos$
- $Volumen\ requerido = Flujo\ volumetrico * Tiempo\ total$
- $Voumen\ requerido = 256\ \frac{L}{min} * 9\ min = 2\ 304\ Litros$
- Sobre diseño: 20 %
- Capacidad de diseño: $2\ 304 * 1.2 = 2764\ Litros$

- Capacidad nominal: 3000 Litros

De acuerdo con las especificaciones del catálogo Bolz, Summix que se muestra a continuación el tipo de mezclador es. Tipo: BOLZ 3200lts (Fig. – Anexos)



Fuente: Catalogo Bolz, Summix

De acuerdo con el tipo correspondiente las siguientes dimensiones:

A1= 4.850 m, B= 3.850 m, C= 2.900 m, D= 2.600 m, E= 1.500 m, F= 1.480 m

7.4.6. Columna de destilación (D1)

- Flujo agua: 675 kg/h
- Diésel sintético: 25 kg/h
- Aceite sin reaccionar: 5 kg/h
- Se hizo simulación con seudo componentes: solo agua y diésel

CHEMCAD 6.1.3
Page 1

Job Name: DESTILADOR C101 Date: 01/11/2018 Time: 09:33:50

Seds Rigorous Distillation Summary

Equip. No.	1
Name	
No. of stages	10
1st feed stage	8
Condenser mode	11
Condenser spec	674.0000
Cond comp i pos.	1
Reboiler mode	11
Reboiler spec.	1.0000
Reboiler comp i	1
Cond press drop atm	0.0100
Colm press drop atm	0.0100
Est. dist. rate	37.2117
(kmol/h)	
Est. reflux rate	4.9407
(kmol/h)	
Est. T top C	102.6930
Est. T bottom C	103.2010
Est. T 2 C	102.6952
Top pressure atm	1.1000
Calc Cond duty	-1.6250
(MMBtu/h)	
Calc Reblr duty	1.6876
(MMBtu/h)	
Iterations	20
Initial flag	1
Calc Reflux mole	4.9085
(kmol/h)	
Calc Reflux ratio	0.1312
Calc Reflux mass kg/h	88.4257
Tray type	3
Column diameter m	0.4572
Tray space m	0.6096
Thickness (top) m	0.0016
Thickness (bot) m	0.0040
No of sections	1
Ambient T C	25.0000
No of passes (S1)	1
Weir side width m	0.0825
Weir height m	0.0508
System factor	1.0000
Frac.hole area	0.1100
Hole pitch m	0.0127
Vapor recondensing	1
Optimization flag	1
Calc. tolerance	3.4716e-006

Resumen:

- Numero de etapas: 10
- Plato de alimentación: 8

- Diámetro: 0.4572 m
- Espaciado entre platos: 0.6096 m
- Altura de la columna: $0.6096 \times 11 = 6.7056$ m

7.4.7. Tanque de agua

- Flujo: 675 kg/hr
- Densidad: 1 Kg/L
- Para almacenar dos días: 48 hr
- Flujo volumétrico: $675/1 = 675$ L/hr
- Volumen: $675 \text{ L/hr} \times 48 \text{ hr} = 32\,400$ Litros = 32.4 m^3
- Sobre diseño: 20%
- Volumen de tanque requerido: $1.2 \times 32.4 = 38.88 \text{ m}^3$
- Altura: 1.3 Diámetro
- $V = \frac{\pi}{4} D^2 \times 1.3D$, Despejando D:
- $D^3 = \frac{4 \times V}{\pi \times 1.3}$
- $D^3 = (4 \times 38.88) / (3.1416 \times 1.3)$
- $D = 3.364$ m
- H: 1.3×3.364 m
- $H = 4.372$ m

7.4.8. Bombas de lodo

Resumen

- Flujo: una corriente tiene 19875 kg/h y la otra corriente 19200 kg/hr
- Flujo volumétrico: $19875/1.25 = 15900$ litros/hr
- Se va a considerar una bomba de 20 m³/hr
- Fabricante: EXELNS

Serie EGM:

- EGM-6S: 468 - 1008 m³/h
- EGM-4S: 324 - 720 m³/h
- EGM-3E: 126 - 352 m³/h
- EGM-2D: 68.4 - 136.8 m³/h

- EGM-1C: 16.2 – 34.2 m³/h

Model	EGM-1C
Capacity	16.2-34.2 m ³ /h
Head(TDH)	25-92 m
Allowable Max. Power	30 kW
Speed	1400-2200 r/min
NPSH	2-5.5 m

Fuente: Tomado de <http://www.excellencepumps.com/Horizontal-Slurry-Pump/EGM-Slurry-Pump.html>. Ubicado el 30-11-2017.

Característica:

- Potencia para 16.2 m³/h: $30 \times (16.2/34.2) = 14.21$ kW
- Se va a considerar: 15 kW.

7.4.9. Tanque pulmón

- Flujo de entrada: 19 200 Kg/hr
- Densidad del lodo: 1.25 Kg/L
- Flujo volumétrico: $19200/1.25 = 15\,360$ L/hr
- Tiempo de residencia: 1hr
- Tanques: 2 unidades
- Flujo volumétrico (C/U): 7.68 m³/hr
- Volumen: $7.68 \times 1 = 7.68$ m³
- Sobre diseño: 20%
- Volumen requerido: $7.68 \times 1.2 = 9.216$ m³
- Altura: 1.3 Diámetro
- $V = \frac{\pi}{4} D^2 \times 1.3D$, Despejando D:
- $D^3 = \frac{4 \times V}{\pi \times 1.3}$
- $D^3 = (4 \times 9.216) / (3.1416 \times 1.3)$
- $D = 2.08$ m

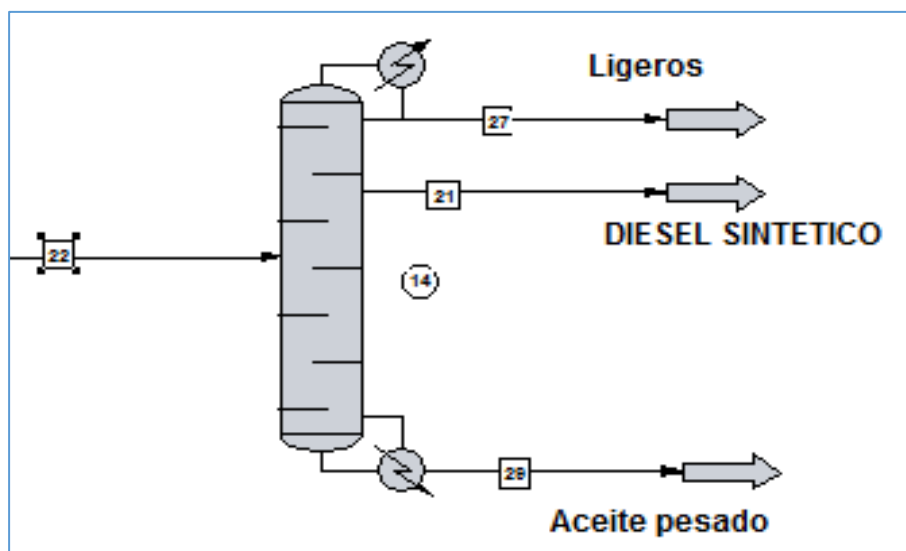
- H: 1.3 x 2.08 m
- H = 2.7 m

7.4.10. Diseño del reactor

- Flujo de entrada: 19200 kg/hr
- Densidad del lodo: 1.25 kg/L
- Flujo volumétrico: $19200/1.25 = 15360$ litros/hr = 256 litros/min
- Dividiendo el flujo en dos: $256/2 = 128$ litros/min
- Tiempo de residencia: 3 minutos
- Volumen de reacción: $128 \times 3 = 384$ litros
- Volumen ocupado por el mezclador de la turbina: 70%
- Volumen de reactor total: $384/0.30 = 1280$ litros = 1.28 m³
- Relación largo a diámetro: 3:1
- Entonces: $(\pi D^2 \times 3D)/4 = 2.194$ m³
- Despejando D: 0.816 m = 816 mm
- Largo: $816 \times 3 = 2448$ mm

7.4.11. Columna de destilación diésel

La simulación se ha realizado en base a un componente similar, que es el biodiesel (FAME) que es un componente del programa Chemcad.



Fuente: Chemcad 6.0

Figura 7.3 Columna de destilación de diésel

Resumen:

- Número de etapas: 10
- Alimentación: plato 6
- Diámetro hasta el plato 7: 0.610 m
- Diámetro del plato 8 al 10. 0.914 m
- Espaciado entre platos: 0.610 m
- Los datos detallados de la columna se muestra a continuación:

CHEMCAD 6.1.3

Page 1

Job Name: Alkali-catalyzed Date: 12/27/2017 Time: 19:59:45

Scds Rigorous Distillation Summary

Equip. No.	14
Name	
No. of stages	10
1st feed stage	6
Condenser type	1
Condenser mode	1
Condenser spec	2.0000
Reboiler mode	12
Reboiler spec.	0.0100
Reboiler comp i	1
Colm press drop kPa	10.0000
Est. dist. rate	0.3290
(kmol/h)	
Est. T top C	198.0000
Est. T bottom C	410.0000
Eff. top stage	0.6000
Eff. last stage	0.7000
Top pressure kPa	10.0000
Calc Cond duty MJ/h	-272.9789
Calc Reblr duty MJ/h	3396.4802
Side 1 stage no.	3
Side 1 spec.	3954.0002
Side product 1 mode	-3
Iterations	200
Initial flag	1
Calc Reflux mole	2.2786
(kmol/h)	
Calc Reflux ratio	2.0000
Calc Reflux mass kg/h	675.7953
Tray type	2
Column diameter m	1.5240
Tray space m	0.6096
No of sections	1
No of passes (S1)	1
Weir side width m	0.2731
Weir height m	0.0508
System factor	1.0000
Calc. tolerance	1.3986e-007

Resumen:

- Numero de etapas: 10
- Plato de alimentación: 6
- Diámetro: 1.524 m
- Espaciado entre platos: 0.6096 m
- Altura de la columna: $0.6096 \times 11 = 6.7056$ m

SCDS Distillation Column -

ID: 14

General Specifications **Convergence** Cost Estimation 1 Cost Estimation 2

Estimates and Convergence Parameters

Estimates

Initialization: 1 Reload column profile

Dist. rate: 0.329 kmol/h

Reflux rate: kmol/h

T top: 198 C

T 2 (ovhd): C

T (n-1): C

T bottom: 410 C

Calculated results

Condenser duty: -272.979 MJ/h

Reboiler duty: 3396.48 MJ/h

Reflux mole: 2.27858 kmol/h

Reflux mass: 675.795 kg/h

Reflux ratio: 2

Tolerance: 1.39865e-

Side product estimations

Stage	Estimated flowrate
3	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h
	kmol/h

Convergence

Iterations: 200

Tolerance:

Damping factor:

Trace flag:

☐ Run optimization for infeasible design specs.

Stage efficiency:

Tray efficiency profile: 0 No efficiency profile

Top stage: 0.6

Last stage: 0.7

Miscellaneous

Pressure profile: Specify pressure drop

Thermosyphon vapor fraction:

Help
Cancel
OK

Fuente: Chemcad 6.0

Figura 7.4 Parámetros de la columna de destilación

7.4.12. Columna de destilación recuperación de diesel

La simulación se ha realizado en base a un componente similar, que es el biodiesel (FAME) que es un componente del programa Chemcad.

CHEMCAD 6.1.3

Page 1

Job Name: DESTILADOR C102 Date: 01/11/2018 Time: 09:56:35

Scds Rigorous Distillation Summary

*** Equip. 1 ***

SCDS/EXTR did not converge.

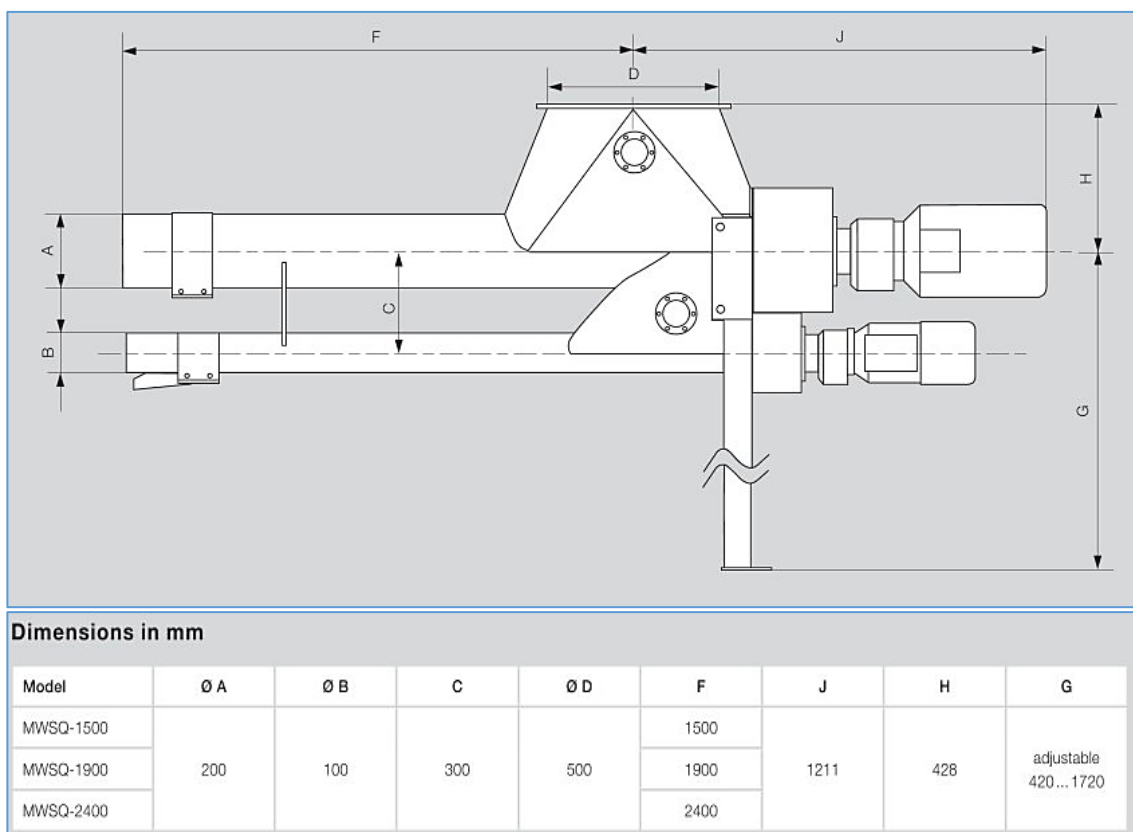
Equip. No.	1
Name	DIESEL Y OIL
No. of stages	8
1st feed stage	6
Condenser mode	11
Condenser spec	48.0000
Cond comp i pos.	1
Reboiler mode	11
Reboiler spec.	2.0000
Reboiler comp i	1
Cond press drop atm	0.0100
Colm press drop atm	0.0100
Est. dist. rate (kmol/h)	37.2117
Est. reflux rate (kmol/h)	4.9407
Est. T top C	102.6930
Est. T bottom C	103.2010
Est. T 2 C	102.6952
Top pressure atm	1.1000
Calc Cond duty (MMBtu/h)	-0.1285
Calc Reblr duty (MMBtu/h)	0.1279
Iterations	20
Initial flag	1
Calc Reflux mole (kmol/h)	0.3596
Calc Reflux ratio	0.1341
Calc Reflux mass kg/h	6.5706
Tray type	3
Column diameter m	0.1524
Tray space m	0.6096
Thickness (top) m	0.0016
Thickness (bot) m	0.0111
No of sections	1
Ambient T C	25.0000
No of passes (S1)	1
Weir side width m	0.0271
Weir height m	0.0508
System factor	1.0000
Frac.hole area	0.1100
Hole pitch m	0.0127
Vapor recondensing	1
Optimisation flag	1
Calc. tolerance	2.5117e-006

- Numero de etapas: 8
- Plato de alimentación: 6
- Diámetro: 0.1524 m
- Espaciado entre platos: 0.6096 m
- Altura de la columna: $0.6096 \times 9 = 5.48$ m

7.4.13. Separador de cenizas

De acuerdo con las características con la que se debe contar las cenizas se ha visto por seleccionar el transportador con doble sin fin, el cual logra dicha condición.

- Flujo: 2161,8 Kg/hr
- Transportador con doble sin fin
- Sobre diseño: 20 %
- Flujo nominal: $2161,8 \times 1.2 = 2\,594.16$
- Fabricante: Buhler,



Fuente: Tomado de <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/buehler/twin-screw-feeder-mwsq/68538-615593.html>. Ubicado el 30-11-2017

Se selecciona el modelo MWSQ-2400 con una capacidad nominal de 2400 kg/hr, lo que representa un sobre diseño respecto a lo necesario de 16.1%, lo cual se considera aceptable.

De acuerdo con el tipo correspondiente las siguientes dimensiones:

$\varnothing A = 200 \text{ mm}$, $\varnothing B = 100 \text{ mm}$, $\varnothing C = 300 \text{ mm}$, $\varnothing D = 500 \text{ mm}$, $F = 2400 \text{ mm}$, $J = 1211 \text{ mm}$, $H = 428 \text{ mm}$

$$\varnothing A = 200 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$\varnothing A = 0.200 \text{ m}$$

$$\varnothing B = 100 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$\varnothing B = 0.100 \text{ m}$$

$$\varnothing C = 300 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$\varnothing C = 0.300 \text{ m}$$

$$\varnothing D = 500 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$\varnothing D = 0.500 \text{ m}$$

$$F = 2400 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$F = 2.400 \text{ m}$$

$$J = 1211 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$J = 1.211 \text{ m}$$

$$H = 428 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}}$$

$$J = 0.428 \text{ m}$$

7.4.14. Tanque de almacenamiento de diésel

- Flujo: 5000 litros/hr
- Tiempo de almacenamiento: 48 horas
- Volumen total: $48 \times 5000 = 240000$ litros
- Considerando 6 tanques:
- Volumen de trabajo cada tanque: 40000 litros
- Sobre diseño: 20 %
- Volumen total: $1.2 \times 40000 = 48 \text{ m}^3$
- Altura: 1.3 Diámetro
- $V = \frac{\pi}{4} D^2 \times 1.3D$, Despejando D:
- $D^3 = \frac{4 \times V}{\pi \times 1.3}$
- $D^3 = (4 \times 48) / (3.1416 \times 1.3)$
- $D = 3.6 \text{ m}$
- $H: 1.3 \times 3.6 \text{ m}$
- $H = 4.7 \text{ m}$

7.5. Evaluación económica

7.5.1. Costo de equipos de proceso

Los costos están actualizados para el 2017 respecto a precios del 2014:

Equipo	Precio FOB - 2014 Dólares
1 sistema de almacenamiento, transporte, secado y molienda de materia prima.	1 750200
1 sistema de preparación del lodo catalítico, bombeo, tanque de regulación.	960000
1 reactor tipo turbo-mezclador	7 540000
1 Sistema de recuperación de productos y subproductos	2 540000
1 sistema de tratamiento de sólidos residuales, con recuperación de catalizador.	1 200000
1 sistema de almacenamiento de producto	1 200000
1 sistema producción de electricidad, motor diésel y turbogenerador.	7 200979
TOTAL	22'391,179

- Costo FOB 2014: 22'391,179
- Índice CEPCI 2014: 592,2
- Índice CEPCI 2017: 658.4
- Costo FOB 2016: $22'391,179 \times (658,4/592,2) = 24'894,212$ dólares americanos

a. Inversión total

a.1. Determinación de costos directos totales

- **Costo CIF de los equipos:** considerando que los tanques de almacenamiento de RSM, de diésel sintético, transportadores y otros serán construidos in situ, se considera 20% adicional

$$24'894,212 \times 1.2 = 29'873,054 \text{ dólares}$$

Costo de los equipos transportados a la planta: se considera 1.5% del costo CIF de los equipos.

$$0.015 \times 29'873,054 = 448096 \text{ dólares.}$$

- Costo de los equipos puestos en planta:

$$29'873,054 + 448096 = 30'321,150$$

- **Costo de instalación de los equipos:** se va considerar 10% del costo de los equipos colocados en la planta:

$$30'321,150 \times 0.10 = 3'032,115 \text{ dólares.}$$

- **Costo de instrumentación y control:** incluye los equipos instalados. Teniendo en cuenta que algunos equipos traen su propio sistema de control, se considera solo un 3% del costo de los equipos:

$$30'321,150 \times 0.03 = 909634 \text{ dólares.}$$

- **Costo de tubería y accesorios:** las conexiones serán mínimas, debido a que los sistemas son modulares. Se considera solo el 8% del costo de los equipos.

$$30'321,150 \times 0.08 = 2'425,692 \text{ dólares.}$$

- **Costo de sistema eléctrico:** incluye el costo del transformador de alta tensión a baja tensión (380 y 440 V). Se considera el 3% del costo de los equipos.

$$30'321,150 \times 0.03 = 909634 \text{ dólares.}$$

- **Costo de edificios:** incluye algunos servicios como baños, comedor, y otros. Se considera 3% del costo del equipo.

$$30'321,150 \times 0.03 = 909634 \text{ dólares.}$$

- **Costo de mejoras de terrenos:** incluye construcción de vías de acceso tanto peatonal como vehicular. Se considera 2% del costo de equipo principal.

$$30'321,150 \times 0.02 = 606423 \text{ dólares.}$$

- **Costo de servicios:** incluye aire comprimido para control, servicio de vapor, servicio de agua. Se considera 9,0% del costo del equipo.

$$30'321,150 \times 0.09 = 2'728,903 \text{ dólares.}$$

a.2. Costos directos totales:

Es la suma de los costos de instalación, instrumentación y control, tubería y accesorios, instalaciones eléctricas, edificios, mejoras de terrenos y servicios:

CDT: 41'843,187 dólares.

i. Determinación de costos indirectos

- **Costo de ingeniería y supervisión:** incluye el expediente técnico y la supervisión de la construcción. Se hará con profesionales peruanos. Se considera 4% del costo de los equipos.

$$30'321,150 \times 0.04 = 1'212,846 \text{ dólares.}$$

- **Costo de la construcción:** para las bases de los equipos, y otros. Se considera 8% del costo de los equipos.

$$30'321,150 \times 0.08 = 2'425,692 \text{ dólares.}$$

- **Costo de seguros e impuestos a la construcción:** se considera el 2% del costo de los equipos.

$$30'321,150 \times 0.02 = 606,423 \text{ dólares.}$$

- **Costo de honorarios para contratistas:** para la realidad peruana se considera sólo 2% del costo de los equipos:

$$31'993,092 \times 0.02 = 606,423 \text{ dólares.}$$

- **Gastos imprevistos:** la provisión que hay que hacer para algún gasto como un accidente. Se considera 2% del costo de los equipos.

$$31'993,092 \times 0.02 = 606,423 \text{ dólares.}$$

a.3. Costos indirectos totales:

Es la suma de costo de ingeniería y supervisión, costo de la construcción, costo de seguro e impuestos a la construcción, costo de honorarios para contratistas y gastos imprevistos:

$$\text{CIT} = 5'457,807 \text{ dólares.}$$

b. Activos fijos:

Llamado también inversión de capital fijo (**ICF**) y es la suma de los costos directos totales y los costos indirectos totales:

$$\text{ICF: CDT} + \text{CIT} = 47'300,994 \text{ dólares.}$$

c. Determinación de capital de trabajo

Operación continua: 8000 horas por año.

Materia prima	Flujo (kg/hr)	Precio, Dólar/kg
RSM (5% humedad)	15000	0.10
Catalizador	9.3	2.1
Cal	1350	0.12

La reposición de catalizador es 9 kg/hr, sin embargo para 8 paradas de la planta de producción para mantenimiento se considera la alimentación de catalizador de 300 kg cada vez que se reinicia la planta. En promedio se considera 9.3 kg/h.

c.1. Inventario de materia prima:

Se considera para un mes de operación. Sin embargo teniendo en cuenta que la materia principal (bagazo) se encuentra en las cercanías, solo se considera una semana.

Materia prima	Valor
RSM con 5% humedad	250000 dólares
Catalizador	3255 dólares
Cal	27000 dólares
Total	280255 dólares

c.2. Inventario de materia prima en proceso:

Se considera un dial del costo total de producción:

- Producción: 5000 litros/hr.
- Costo del producto: 0.4 dólares/litros (valor estimado).

$$5001 \times 24 \times 0.4 = 48000 \text{ dólares.}$$

c.3. Inventario de producto en almacén:

Se considera el costo de manufactura para una semana de producción:

$$50004 \times 0.4 \times 1.85 = 333333 \text{ dólares.}$$

c.4. Cuentas por cobrar: equivalente a una semana de ventas.

Precio de venta estimado: 0.61 dólares/litro

$$5000.61 \times 166.6 = 508333 \text{ dólares.}$$

c.5. Disponibilidad en caja: costo de una semana de producción. Sirve para pagar algunos suministros e imprevistos.

$$5000 \times 24 \times 0.4 \times 166.6 = 333333 \text{ dólares.}$$

d. Total de capital de trabajo:

Suma de inventario de materia prima en proceso, inventario de producto en almacén, cuentas por cobrar y disponibilidad en caja.

Capital de trabajo: 1'503,255 dólares.

e. Inversión total

Suma de inversión de capital fijo y capital de trabajo:

$$47'300,994 + 1'503,255 = 47'300,994 \text{ dólares.}$$

f. Costo de manufactura (costo total del producto)**f.1. Costos directos de producción**

- **Costo de Materia Prima:** Es el costo para un año de producción a razón de 8000 horas de operación.

- RSM: 12'000,000 dólares.
- Catalizador: 156240 dólares.
- Cal: 1'296,000 dólares.

Total materia prima: **13'452,240 dólares.**

- **Costo de mano de obra:** se considera 12 trabajadores por un turno, 13 salarios, sueldo de 300 dólares.
 - $C_{\text{Mobra}} = 12 \times 3 \times 13 \times 300$
 - $C_{\text{Mobra}} = 140400$ dólares.
- **Costo de supervisión e ingeniería:** 20% del costo de la mano de obra.
 - $C_{\text{ing}} = 0.20 \times 140400$
 - $C_{\text{ing}} = 28080$ dólares.
- **Costo de mantenimiento:** 2% del capital fijo total.
 - $C_{\text{mant}} = 0.02 \times \text{ICF}$
 - $C_{\text{mant}} = 946020$ dólares.
- **Costo de auxiliares y servicios:** El 15% del costo de mantenimiento.
 - $C_{\text{aux}} = 0.15 \times C_{\text{mant}}$
 - $C_{\text{aux}} = 141903$ dólares.
- **Costo de suministros de operación:** 20% del costo de mantenimiento.
 - $C_{\text{sum}} = 0.20 \times C_{\text{mant}}$
 - $C_{\text{sum}} = 189204$ dólares.

Costo directo de producción

$$\text{CDP} = \text{CMP} + C_{\text{Mobra}} + C_{\text{ing}} + C_{\text{mant}} + C_{\text{aux}} + C_{\text{sum}}$$

$$\text{CDP} = 14'897,847 \text{ dólares.}$$

f.3. Costos indirectos de fabricación

- **Cargas a planillas:** 21% de la mano de obra.

- $C_{\text{plan}} = 0.21 \times C_{\text{Mobra}}$
- $C_{\text{plan}} = 29\,484$ dólares.
- **Gastos de laboratorio:** 15% del costo de mano de obra.
 - $C_{\text{lab}} = 0.15 \times C_{\text{Mobra}}$
 - $C_{\text{lab}} = 21\,060$ dólares.
- **Gastos generales de planta:** 15% del costo de mano de obra.
 - $G_{\text{gen}} = 0.15 \times C_{\text{Mobra}}$
 - $C_{\text{gen}} = 21\,060$ dólares.

Costo indirecto de fabricación:

$$\text{CIF} = C_{\text{plan}} + C_{\text{lab}} + G_{\text{gen}}$$

$$\text{CIF} = 71\,604 \text{ dólares.}$$

g. Costo fijo de fabricación

g.1. Depreciación: 10% del capital fijo total, considerando un tiempo de vida de los equipos de 10 años. La mayoría son de acero inoxidable.

- $\text{Dep} = 0.10 \times \text{ICF} = 0.10 (47'300,994)$
- $\text{Dep} = 4'730,099$ dólares.

g.2. Impuestos: 1% del capital fijo total.

- $\text{Imp} = 0.01 \times \text{ICF}$
- $\text{Imp} = 473\,010$ dólares.

g.3. Seguros: 1,0% del capital fijo total.

- $\text{Seg} = 0.01 \times \text{ICF}$
- $\text{Seg} = 473\,010$ dólares.

Costos fijos de fabricación

$$\text{CFF} = \text{Dep} + \text{Imp} + \text{Seg}$$

$$\text{CFF} = 5'676,119 \text{ dólares.}$$

h. COSTO DE MANUFACTURA (FABRICACIÓN)

Es la suma de los costos directa de fabricación, Costo indirecto de fabricación y el costo fijo de fabricación.

$$C_{\text{Fab}} = \text{CDF} + \text{CIF} + \text{CFF}$$

$$C_{\text{Fab}} = \mathbf{20'645,570 \text{ dólares.}}$$

i. Gastos generales (gastos vai)

i.3. Ventas: gastos en oficinas de ventas, personal de ventas, propaganda, distribución.

Por ser exportación se considera solo el 5% del costo fijo de fabricación:

$$\text{Vent: } 0.05 \times \text{CFF} = 283806 \text{ dólares.}$$

i.3. Administración: salario de ejecutivos, planilla de oficinistas, suministros de oficina, comunicaciones. 10% del costo de mano de obra, supervisión y mantenimiento.

- Adm: $0.10 \times (C_{\text{Mobra}} + C_{\text{ing}} + C_{\text{mant}})$
- Adm = 111450 dólares.

i.3. Investigación y desarrollo: se considera el 5% de la mano de obra.

- Inv: $0.05 \times C_{\text{Mobra}}$
- Inv = 7020 dólares.

Gastos generales:

$$\text{Ventas} + \text{Administración} + \text{Investigación y Desarrollo.}$$

$$283806 + 111450 + 7020 = \mathbf{402276 \text{ dólares.}}$$

j. COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN

Es la suma de los Costos de Fabricación y los Gastos Generales (VAI).

$$\text{CTF} = C_{\text{Fab}} + \text{VAI}$$

$$\text{CTF} = \mathbf{21'047,846 \text{ dólares.}}$$

Total de unidades producidas al año

- $\text{NumProd} = 5000 \text{ Litros/h} \times 8000 \text{ horas/año}$
- $\text{NumProd} = 40'000,000 \text{ litros/año}$

Costo unitario

$$\text{CostUnit} = \frac{CTF}{\text{NumProd}} \quad \text{Costo Unitario} = 0.5262 \text{ dólares/litro.}$$

k. Estado de pérdidas y ganancias

- **Producción Anual**

$$P_{\text{anual}} = 40'000,000 \text{ litros/año.}$$

Precio de ventas por unidad (ex – fábrica)

$$P_{\text{venta}} = 0.98 \text{ dólares/litro.}$$

- **Ingreso de ventas anuales**

$$\text{Ing.ventas} = P_{\text{anual}} \times P_{\text{venta}} = 39'200,000 \text{ dólares.}$$

- **Costo total de fabricación (producción)**

$$CT_{\text{fabri}} = C_{\text{Fab}} \quad CT_{\text{fabri}} = 21'047,846 \text{ dólares.}$$

- **Utilidad Bruta**

$$U_{\text{bruta}} = \text{Ing}_{\text{ventas}} - CT_{\text{fabri}} \quad U_{\text{bruta}} = 18'152,154 \text{ dólares.}$$

- **Impuesto a la renta**

$$\text{Imp}_{\text{renta}} = \frac{U_{\text{bruta}}}{1.3} \times 0.30 \quad \text{Imp}_{\text{renta}} = 4'188,959 \text{ dólares.}$$

- **Utilidad Neta**

$$U_{\text{neta}} = U_{\text{bruta}} - \text{Imp}_{\text{renta}} \quad U_{\text{neta}} = 13'963,195 \text{ dólares.}$$

Análisis económico

- **Tasa interna de Retorno**, antes del pago de impuestos

P: inversión inicial: 48'804,249 dólares

A: ingreso neto de ventas: 18'152,154 dólares

VS: depreciación: 4'730,099 dólares

n: periodo en el que espera recuperar el dinero, 10 años

i: tasa interna de retorno

Aplicando la fórmula:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

Se despeja el valor de i:

$$i = 35,59 \%$$

- **Tasa interna de Retorno**, después del pago de impuestos.

U = utilidad neta, después de impuestos

$$P = U \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

$$i = 26,03\%$$

- **Tiempo de recuperación del dinero antes de impuestos.**

Se aplica la siguiente formula:

$$TRI = INVT / (U_{bruta} + D)$$

$$TRI = 2.13 \text{ años.}$$

- **Tiempo de recuperación del dinero después de impuestos.**

Se aplica la siguiente formula:

$$TRI = I / (U_{neta} + D)$$

$$TRI = 1986001 / (3014680 + 137334)$$

$$TRI = 2.61 \text{ años.}$$

- **Punto de Equilibrio:**

$$CFF = 5'676,119 \text{ dólares}$$

Costos Fijos:

• Ingresos Anuales: $Ing_{ventas} = 13'963,195$ dólares.

• Costos variables: $C_{var} = C_{Fab} - CFF$

$$C_{var} = 10'199,201 \text{ dólares} \quad .$$

Para no pierda ni gane el número de unidades que se debe producir será:

$$Q = \frac{\frac{CFF}{Ing_{ventas}}}{\frac{C_{var}}{Panual}}$$

$$Q = 10'122,559 \text{ litros}$$

$$Pequilibrio = \frac{Q}{Panual} \cdot 100$$

$$Pequilibrio = 25,3064\%$$