

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de los desechos sólidos
municipales por medio de la producción de diesel en la Ciudad de
Guatemala**

Trabajo de investigación presentado por:

María Andréa Roca Sosa

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería y Ciencias de la
Administración

Guatemala

2012

**Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de los desechos sólidos
municipales por medio de la producción de diesel en la Ciudad de
Guatemala**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

**Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de los desechos sólidos
municipales por medio de la producción de diesel en la Ciudad de
Guatemala**

Trabajo de investigación presentado por:

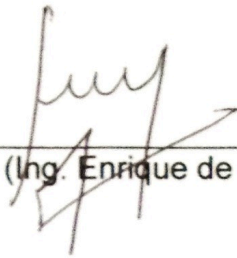
María Andréa Roca Sosa

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería y Ciencias de la
Administración

Guatemala

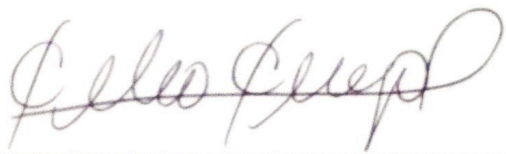
2012

Vo. Bo. :

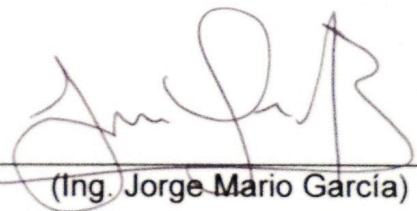
(f) 

(Ing. Enrique de la Vega)

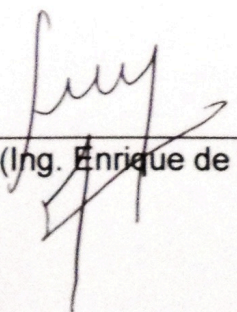
Tribunal Examinador:

(f) 

(Ing. Celso Cerezo)

(f) 

(Ing. Jorge Mario García)

(f) 

(Ing. Enrique de la Vega)

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de enero de 2012

PREFACIO

La elaboración de este trabajo de graduación surgió de la preocupación personal sobre la creciente contaminación debida a los desechos sólidos municipales y los perjuicios que están ocasionando. Esta preocupación despertó el interés en investigar sobre tecnologías sostenibles que ayuden en la conservación del medio ambiente y traigan consigo beneficios adicionales. Con su realización, se pretende congregar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Licenciatura en Ingeniería y Ciencias de la Administración.

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme entusiasmo y optimismo, y por ser mi luz y guía en el camino que me lleva a seguir mis sueños. A mis padres, Danilo Estuardo Roca de la Vega y María Teresa Sosa de Roca y a mi hermano, Danilo Enrique Roca Sosa, por el incondicional apoyo que me han brindado y porque con su ayuda he aprendido a levantarme de fracasos y a gozar de mis triunfos. A mi asesor, Ingeniero Enrique de la Vega Molina, por el tiempo que dedicó al presente trabajo y por compartirme sus experiencias y conocimientos. A mis amigos que me acompañaron en el transcurso de la carrera y me apoyaron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

LISTADO DE CUADROS	ix
LISTADO DE GRÁFICAS	xi
LISTADO DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	4
a. General	5
b. Específicos.....	5
IV. ANÁLISIS DEL MERCADO DE DIESEL EN EL TERRITORIO DE GUATEMALA.....	6
a. Demanda de diesel y otros productos petroleros y precios del mercado	6
b. Oferta del mercado	20
i. Importaciones de diesel y otros productos petroleros	20
ii. Costo de las importaciones	25
c. Desechos sólidos generados en la ciudad de Guatemala.....	31
i. Cantidad de desechos sólidos generados.....	31
ii. Composición de los desechos sólidos.....	32
iii. Implicaciones ambientales y de salud	34
iv. Manejo actual de los desechos sólidos municipales	36
V. ESTUDIO TÉCNICO.....	40
a. Tecnología y proceso de conversión de los desechos sólidos municipales para la producción de diesel	39
i. La situación	39
ii. Características generales del proceso	41
iii. Insumos de la planta	43
iv. Planta KDV	44

v.	Proceso de reacción	48
vi.	Hidrogenación de baja temperatura y sin presión	50
1.	Nuevos avances de hidrogenación	51
2.	El catalizador y su uso en la reacción	52
vii.	Eficiencia	53
viii.	Terreno	58
ix.	Beneficios generales de la implementación de la tecnología	60
x.	Medidas de seguridad	61
xi.	Documentos de permiso y puesta en marcha de la planta ..	64
xii.	Ventajas de la tecnología KDV frente al etanol y biodiesel ..	66
xiii.	Calidad del diesel producido mediante la tecnología KDV ..	67
VI.	IMPLICACIONES LEGALES E IMPOSITIVAS	70
a.	Ley de comercialización de hidrocarburos	70
b.	Ley de impuesto a la distribución de petróleo crudo y combustibles derivados del petróleo	71
VII.	ESTUDIO FINANCIERO	73
a.	Inversión inicial y forma de financiamiento	73
b.	Estructuración de costos	74
c.	Precio de venta del diesel	82
d.	Flujo de efectivo	83
i.	Análisis de sensibilidad	92
e.	Estados de resultados	98
VIII.	CONCLUSIONES	102
IX.	RECOMENDACIONES	104
X.	FUENTES DE CONSULTA	105
XI.	ANEXOS	114
a.	Especificaciones de calidad para Aceite Combustible Diesel No. 2-D (Automotriz)	114

LISTADO DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Consumo de productos petroleros en Guatemala para años 2009 y 2010..	7
2. Volumen de consumo y precio promedio anual de diesel en Guatemala.....	10
3. Proyecciones del consumo de diesel en Guatemala para los años 2011, 2012 y 2013	15
4. Proyecciones de participación en el mercado de combustible diesel en Guatemala	16
5. Consumo de gasolina y combustible diesel por compañía en el 2010.....	18
6. Importaciones de productos petroleros en Guatemala para años 2009 y 2010	20
7. Importaciones de gasolina y combustible diesel por compañía en el 2010	23
8. Costo de las importaciones de productos petroleros para años 2009 y 2010	25
9. Costo y volumen anual de importaciones de diesel en Guatemala	26
10. Proyecciones del costo de importación por litro de diesel en Guatemala para los años 2011, 2012 y 2013.....	29
11. Contenido típico de humedad y valor calorífico promedio en peso seco de cada componente de los desechos sólidos municipales	54
12. Porcentaje de materia prima seca según la razón de conversión a materia seca	55
13. Valor calorífico de los desechos sólidos municipales secos, con una humedad promedio inicial de 60%.....	56
14. Valor calorífico de los desechos sólidos municipales	57
15. Valor calorífico promedio teórico del combustible diesel	57
16. Cantidad necesaria de desechos sólidos y diesel producido	57
17. Costo de adquisición del terreno para el proyecto.....	60
18. Propiedades principales del diesel producido con la tecnología KDV	68

19. Costo total del mobiliario y equipo	73
20. Inversión total para el proyecto	74
21. Estructuración del financiamiento del proyecto	74
22. Costeo del catalizador y la cal	75
23. Costo promedio del combustible consumido por un camión recolector en base a una cierta distancia	75
24. Costo total anual de obtención de desechos sólidos municipales.....	76
25. Costo total anual de mantenimiento	77
26. Costo total anual de mano de obra.....	77
27. Costo total anual de seguros, control de calidad y otros costos administrativos	79
28. Costo total anual de la energía eléctrica consumida	79
29. Costo total anual de depreciaciones.....	80
30. Costo total anual de la operación y costo por litro de diesel producido.....	81
31. Precio de venta del diesel producido y margen bruto de ganancia	82
32. Inflación acumulada	83
33. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 0-2.....	85
34. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 3-5.....	86
35. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 6-8.....	87
36. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 9-10.....	88
37. VPN, TIR del proyecto y TIR del capital	91
38. Valores utilizados para calcular la TIR del proyecto.....	91
39. Valores utilizados para calcular la TIR del capital	92
40. Proyección de Estados de Resultados (US\$) años 1-5.....	99
41. Proyección de Estados de Resultados (US\$) años 6-10.....	100

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1. Consumo de productos petroleros en Guatemala en el año 2010	8
2. Variación Relativa de consumo de productos derivados del petróleo (2009-2010)	9
3. Variación relativa del consumo y precio de diesel desde el año 2002 hasta 2010	11
4. Consumo anual vs. precio promedio anual de diesel	13
5. Tendencia del consumo de diesel en Guatemala	15
6. Consumo de gasolina y combustible diesel Año 2010	17
7. Consumo de gasolina y combustible diesel por compañía en 2010.....	19
8. Importaciones de productos petroleros en Guatemala en el año 2010	21
9. Importaciones de gasolina y combustible diesel año 2010	22
10. Importaciones de gasolina y combustible diesel por compañía en 2010	24
11. Importación anual vs. costo anual de importación de diesel	27
12. Costo anual de importación de diesel por litro en Guatemala	29
13. Importación y consumo de combustible diesel de 2002 a 2010	30
14. Composición de los desechos sólidos en la ciudad de Guatemala	33
15. Resumen de la producción mundial de petróleo.....	39
16. Comparación del flujo de caja acumulado del proyecto y el saldo de préstamo bancario	89
17. Variación de VPN del proyecto respecto a la variación porcentual del precio de venta y los otros factores constantes.....	93
18. Variación de la TIR del proyecto respecto a la variación porcentual del precio de venta y los otros factores constantes.....	94
19. Variación de VPN del proyecto respecto a la variación porcentual del costo de venta y los otros factores constantes.....	95
20. Variación de la TIR del proyecto respecto a la variación porcentual del costo de venta y los otros factores constantes.....	96

21. Variaciones en la TIR del proyecto, TIR del capital y WACC respecto a variaciones en la estructura de financiamiento.....	97
---	----

LISTADO DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de flujo del proceso general de la planta KDV	46
2. Sugerencia de diseño para planta KDV 2000.....	59

RESUMEN

El trabajo de graduación consistirá en realizar un estudio de factibilidad para aprovechar los desechos sólidos municipales en la ciudad Guatemala, a través de la producción de diesel, obteniendo múltiples beneficios ambientales, sociales, económicos, entre otros.

Hoy en día, la contaminación es un problema que está ocasionando serios trastornos en el medio ambiente, así como en la salud de las personas. En el país, en general, no se ha logrado tener un manejo adecuado de la basura, habiendo muchos vertederos ilegales, y gran parte de los desechos siendo quemados o enterrados por las personas. Al darle un tratamiento adecuado a estos desechos no sólo se estaría sacando provecho de recursos que se encuentran varados, sino que a la vez se estaría beneficiando a la sociedad de forma económica, ambiental, etc.

Para llevar a cabo dicho trabajo, se pretende analizar información sobre el mercado: demanda y oferta de diesel, precios, etc.; hacer una investigación sobre el método y tecnología a utilizar para la producción del hidrocarburo; y realizar un análisis económico-financiero, para determinar los costos, rentabilidad, flujos de fondos, entre otros. Esto se hará a través de búsquedas bibliográficas y de Internet, y mediante entrevistas a expertos. Al finalizar, se pretende plantear una solución a un problema que actualmente está afectando al país, así como una oportunidad que puede brindar beneficios de distintas índoles.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la creación de la humanidad, las personas han sido generadoras de desechos, pero en ese entonces cuando la existencia era nómada, la eliminación de los mismos no era un problema. Los humanos simplemente se movían de un lugar a otro y dejaban su basura atrás.

Con el inicio de la revolución industrial, el manejo de los desechos se convirtió en un problema crítico. Las poblaciones aumentaron y la migración de los provenientes de las áreas rurales hacia los pueblos y ciudades industrializadas, resultaron en un consecuente aumento de los desechos industriales y domésticos. Eso significó una amenaza para la salud de los humanos y para el medio ambiente, en donde se empezó a atender contra la calidad del agua, se aumentó la contaminación del aire y las toxinas liberadas en las tierras. Debido a estos problemas, el método de disposición de los desechos se vio obligado a mejorar. Hoy en día, los métodos han evolucionado de tal forma que, una gran cantidad de desechos recibe un tratamiento en rellenos sanitarios, a través del reciclaje, etc.

Los desechos sólidos municipales son basura que proviene de hogares, locales de negocios y centros educativos. Básicamente consisten en productos de empaque, recortes de césped, muebles, telas, botellas, restos de comida, periódicos, baterías y aparatos. Actualmente, esos desechos son dispuestos en terrenos municipales. Lo que no está incluido en esta clasificación son desechos tales como partes de automóviles, lodos municipales, cenizas de combustión y desechos de procesos industriales, que algunas veces también se depositan en los basureros municipales (Young, 2010:135). El problema es que para proteger la salud y el bienestar de las comunidades que están en los alrededores, se requiere que estos terrenos cuenten con revestimientos, sistemas de colección de lixiviados¹, equipos de colección de

¹ Líquido que se ha filtrado a través de los residuos sólidos, y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo ser estos potencialmente dañinos (Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, 2011).

gases, y monitoreo de las aguas subterráneas, entre otros; cuestión que en Guatemala no es una realidad.

La población del país continúa creciendo y, aún existiendo diversos programas de reciclaje, cada vez se genera una mayor cantidad de desechos. Se ha llegado al lugar en el tiempo en el que la tecnología puede ser de gran utilidad para ayudar a proteger la salud y bienestar humano y ambiental, a través de la creación de diseños de infraestructura y de la construcción de procesos sostenibles en donde se le pueda sacar el máximo provecho a los desechos sólidos municipales y que estos dejen de ser un problema.

II. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la contaminación ambiental es un tema de gran interés para la mayoría de personas y sobre el cual se está tomando cada vez más conciencia. Entre los diversos tipos de contaminación, se encuentra la debida a los desechos municipales que no reciben un tratamiento adecuado.

En Guatemala, el manejo de los residuos sólidos ha presentado ciertos problemas, habiendo muchos vertederos ilegales y otros que no están contruidos apropiadamente ni están en lugares seguros. Asimismo, el incumplimiento de las leyes y normas por parte de muchas instituciones y personas particulares en cuanto al desecho de ciertos productos, sumado con una ausencia de coordinación y falta de planificación en la recolección de los mismos, han entorpecido el control de los impactos causados por estos residuos sólidos en el ambiente y en la salud.

A todo esto, también se le debe agregar el crecimiento de la población y los cambios de hábito que se han dado en el consumo de las personas, lo cual ha hecho que se incremente la cantidad de desechos que se genera a diario.

Las consecuencias de un mal tratamiento de los desechos sólidos conlleva a la emisión de olores desagradables; mayores emisiones de dióxido de carbono al ser quemados; contaminación visual, que destruye el entorno paisajístico; la infiltración hídrica en los mantos freáticos, que crea la contaminación da las aguas subterráneas, entre otras. Esto ha provocado, entre varias cosas, daños en la salud de las personas tales como trastornos gastrointestinales, infecciones respiratorias, oculares, enfermedades de la piel, etc.

Por todas estas razones, es muy importante que se de un manejo adecuado de los desechos sólidos o que se les de algún uso a los mismos. Una de las soluciones, la cual no sólo ayudaría a contrarrestar los efectos previamente mencionados, sino que

traería múltiples beneficios más, es la producción de diesel a partir de los desechos sólidos municipales.

Esto se puede realizar de forma sostenida haciendo uso de la tecnología de punta que actualmente ya utilizan otros países de más alto desarrollo. De ser así, no sólo se reducirían las consecuencias que desencadena el mal manejo de los residuos sólidos, que ya se mencionaron, sino que también se reduciría la dependencia de las importaciones de dicho hidrocarburo y se generarían oportunidades de trabajo para los guatemaltecos, entre otras cosas.

III. OBJETIVOS

A. General

- Determinar la factibilidad de la producción de diesel como solución para el aprovechamiento de los desechos sólidos municipales en la ciudad de Guatemala.

B. Específicos

- Analizar información sobre el mercado para determinar la demanda, oferta y precio actual del diesel, así como la cantidad y composición de los desechos sólidos generados por la población guatemalteca.
- Hacer un estudio técnico del proceso y tecnología requerida para la producción de diesel, a partir de los desechos sólidos municipales de la ciudad de Guatemala.
- Realizar un estudio económico-financiero para evaluar la posibilidad de crear un proyecto de producción de diesel a partir de los desechos municipales de la ciudad de Guatemala.
- Determinar los potenciales beneficios y perjuicios ambientales y/o sociales que se generarían en la ciudad de Guatemala por el aprovechamiento de los desechos sólidos en la producción de diesel.

IV. ANÁLISIS DEL MERCADO DE DIESEL EN EL TERRITORIO DE GUATEMALA

El diesel, también denominado gasóleo, es un líquido de tonalidades verdes y blancas, que es principalmente utilizado como combustible en calefacción y en motores diesel. Éste es un producto derivado del petróleo y se obtiene por su destilación (Ciria, 2011).

El mercado de productos petroleros es de interés para muchos alrededor de todo el mundo, ya que en base a estos se logran mover transportes, generar calor, hacer funcionar maquinaria, etc. Entre los diversos tipos de combustibles que hay, el diesel es uno de los más solicitados, y en Guatemala no se da la excepción.

A. Demanda de diesel y otros productos petroleros y precios del mercado

En general, existe una creciente demanda de los productos petroleros a nivel global. Las aumentadas consternaciones al respecto son debidas principalmente a la posible escasez del petróleo, a la volatilidad de su precio y a la contaminación generada por sus productos derivados. No obstante se están buscando sustitutos, las demandas de estos productos han aumentado a lo largo del tiempo. El Cuadro 1, a continuación, muestra el consumo de productos petroleros en el país para los años 2009 y 2010.

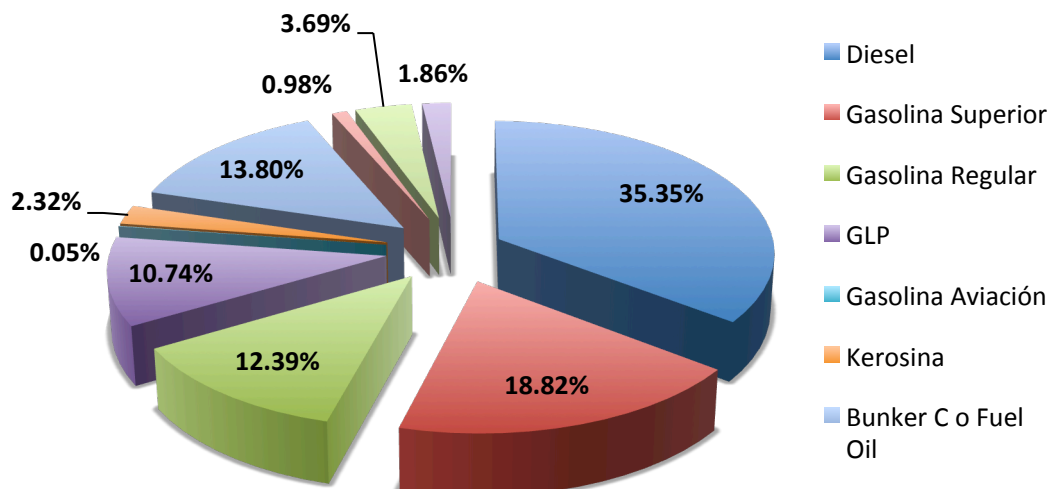
Cuadro 1. Consumo de productos petroleros en Guatemala para años 2009 y 2010.

PRODUCTO/ AÑO	2009 (miles de barriles)	2010 (miles de barriles)	VARIACIÓN	
			ABSOLUTA	RELATIVA(%)
Diesel	9,284.94	9,250.20	-34.74	-0.37
Gasolina Superior	5,090.79	4,924.60	-166.19	-3.26
Gasolina Regular	3,216.85	3,242.09	25.25	0.78
GLP	2,701.41	2,809.56	108.15	4.00
Gasolina Aviación	15.06	14.08	-0.98	-6.54
Kerosina	601.02	606.58	5.57	0.93
Bunker C o Fuel Oil	6,315.44	3,610.51	-2,704.93	-42.83
Asfalto	457.38	257.38	-200.00	-43.73
PetCoke	1,088.95	965.93	-123.02	-11.30
Crudo Nacional	587.88	485.79	-102.09	-17.37
TOTAL GENERAL	29,359.72	26,166.72	-3,192.98	-10.88

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

En el Cuadro 1 se puede observar la gran variedad de productos derivados del petróleo que se consumen en el país. Los primeros tres son probablemente los más familiares para el público en general, puesto que son utilizados diariamente para transportarse. La Gráfica 1 a continuación muestra el porcentaje que ocupó cada uno de estos en el mercado de productos petroleros del país, en el año 2010.

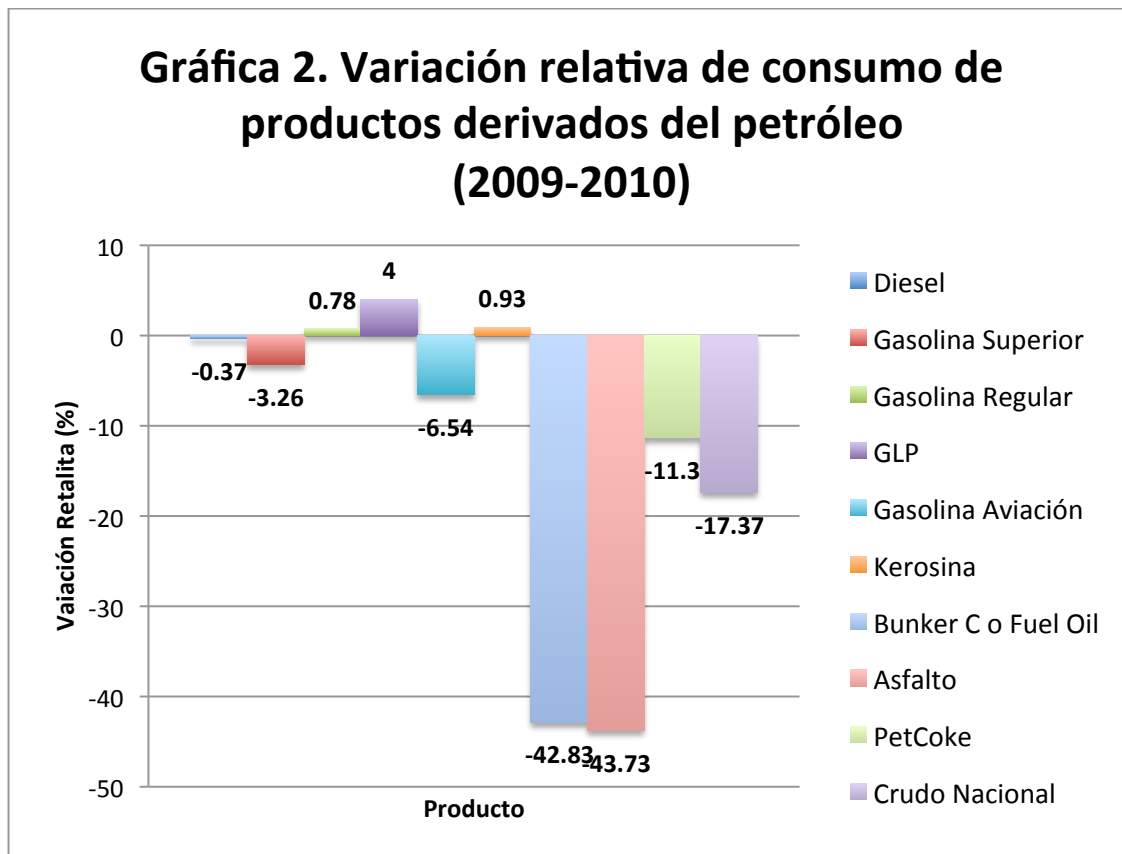
Gráfica 1. Consumo de productos petroleros en Guatemala en el año 2010



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en la Gráfica 1, el producto petrolero más consumido en el mercado guatemalteco, en el 2010, fue el diesel, siendo su consumo igual a 35.35% del total de productos. Debido a que esto representa más de un tercio del consumo de dichos productos en el mercado, se debe de dar prioridad a la producción de diesel o de sustitutos del mismo, que además de generar autonomía energética, lo cual beneficia la economía del país, también favorece el ambiente.

La Gráfica 2 a continuación, muestra la variación relativa (%) de consumo de productos derivados del petróleo, que tuvo lugar entre el 2009 y el 2010.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en la Gráfica 2, los productos petroleros que tuvieron una mayor variación relativa entre los dos años en mención fueron el bunker C y el asfalto, significando un decremento en su consumo de aproximadamente un 40%, para cada uno. Sin embargo, para el producto de interés en este caso, que es el diesel, aunque muestra un decremento en su consumo, éste fue sólo de 0.37%, representando una baja volatilidad en el empleo y preferencia del mismo por parte del mercado; en comparación con los que tuvieron la variación más alta. Asimismo, se observa que éste es el producto que tuvo la mínima variación relativa en valor absoluto.

Para tener una visión más clara sobre la variación en el consumo del diesel, se investigó sobre su consumo y precio promedio anual por galón en el mercado guatemalteco, desde el año 2002 hasta el 2010. No se incluyeron los resultados

del 2011, ya que los datos son anuales, y como el presente año aún no ha terminado, se estarían mostrando variaciones por no considerar un tiempo equivalente a 12 meses, tal como en los otros años.

El Cuadro 2 a continuación, muestra el consumo y el precio promedio anual del diesel desde el 2002 hasta el 2010. Asimismo, se muestran las variaciones relativas (%) de dichas variables de un año a otro.

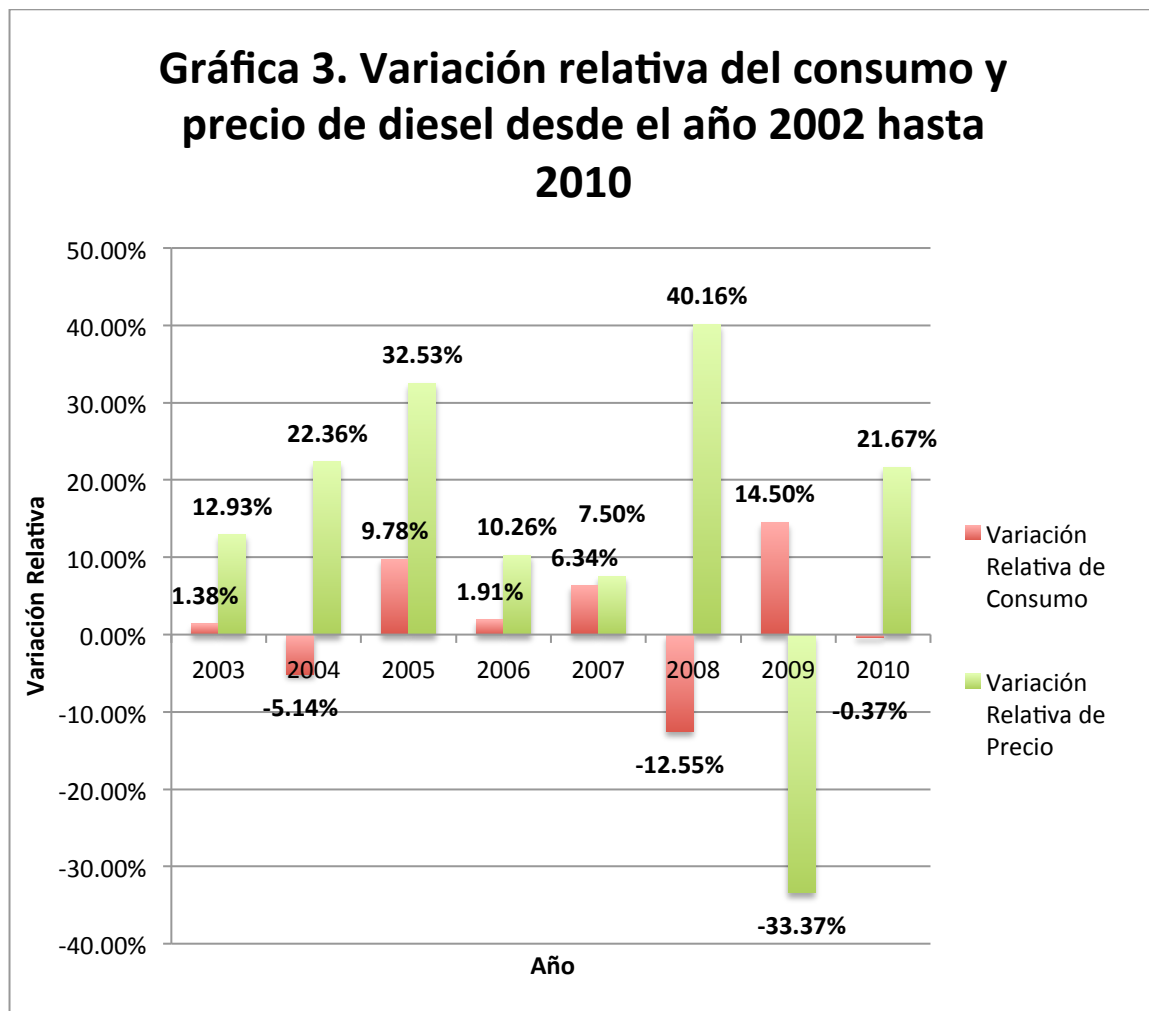
Cuadro 2. Volumen de consumo y precio promedio anual de diesel en Guatemala.

Concepto / Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Consumo Diesel (miles de barriles)	8,104	8,216	7,794	8,556	8,719	9,272	8,108	9,284	9,250
Variación relativa de consumo (%)	-	1.38	-5.14	9.78	1.91	6.34	-12.55	14.50	-0.37
Precio promedio por galón (Q)	9.90	11.18	13.68	18.13	19.99	21.49	30.12	20.07	24.42
Variación relativa de precio (%)	-	12.93	22.36	32.53	10.26	7.50	40.16	-33.37	21.67

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se observa en el Cuadro 2, para el año 2002 no se muestra ningún dato en los valores de las variaciones relativas, puesto que éste es el primer año en consideración para el análisis. Para tener una visualización más clara sobre qué tan variable ha sido el consumo del diesel en el mercado guatemalteco, a

continuación se muestra la Gráfica 3 con los datos de la variación relativa del consumo, en comparación con la variación relativa de su precio, para determinar las potenciales relaciones entre ambos.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se observa en la Gráfica 3, la mayor variación relativa del consumo en valor absoluto fue de 14.50%, refiriéndose a un aumento del consumo entre los años 2008 y 2009. Mientras que la menor variación en valor absoluto fue de 0.37%, que era la que se había mencionado anteriormente como un decremento entre los años 2009 y 2010. Esto muestra que el consumo del diesel en el

mercado del país no ha sido tan volátil a lo largo del tiempo que se está examinando.

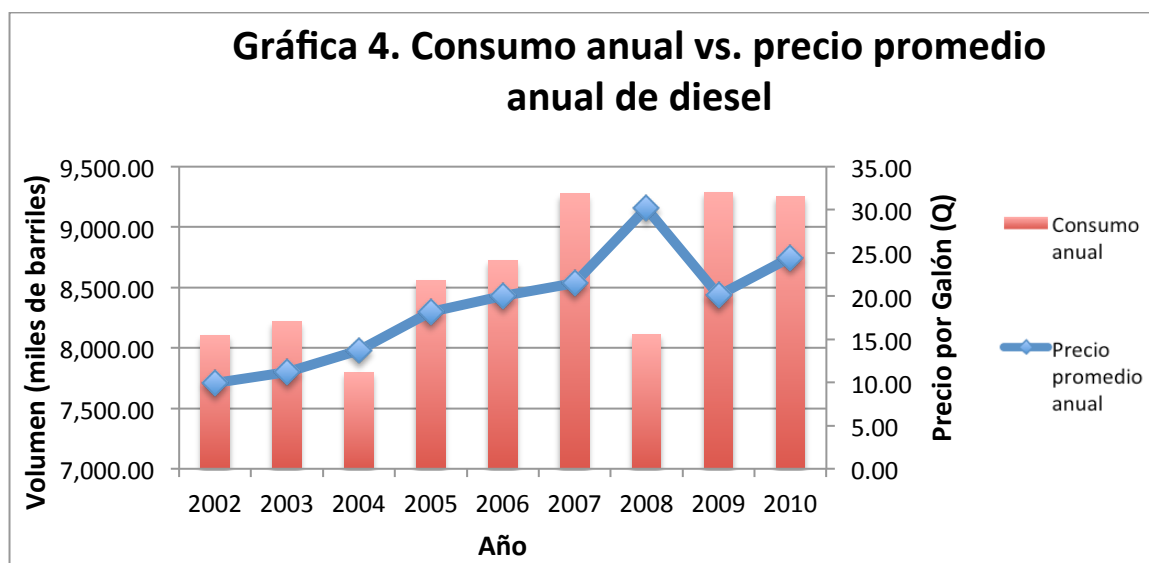
Por lo tanto, según datos históricos, si se invierte en la producción de diesel, se puede decir que se está tratando con un producto cuyo consumo no es tan volátil. Por lo que el riesgo de que éste no vaya a ser comprado no es alto, siempre y cuando se cumpla con los estándares de calidad y características similares del diesel que se comercia actualmente en el mercado.

Sin embargo, no se puede decir lo mismo acerca del precio de mercado del diesel. Como se observa en la Gráfica 3, la mayor variación relativa fue de un 40%, representando un aumento en el precio promedio del 2007 al 2008. Seguida de un 33%, en valor absoluto, que representa un decremento del mismo entre el año 2008 y el 2009. Estas variaciones son mayores a la inflación promedio que ha habido en el país desde el 2002, que está alrededor de un 7% anual (Banco de Guatemala, 2011). Por lo que el precio de mercado sí es muy variable, ya que por ser el diesel un derivado del petróleo, depende en gran medida de factores externos tales como el precio del barril de petróleo; problemas de índole económica, política, etc., de los países petroleros, o entre estos y otras naciones; especulaciones sobre nuevas tendencias en las fuentes primarias para la elaboración de combustibles y sobre la cantidad de reservas de petróleo; entre otras.

Analizando la Gráfica 3, se observa una cierta relación entre el precio promedio del diesel y su consumo anual, con algunas excepciones. Por ejemplo, del año 2002 al 2003 se tuvo un aumento del precio de 12.93%, pero del consumo sólo de 1.38%. Para el siguiente año, el precio promedio volvió a aumentar, sólo que ahora en un 22.36%, por lo que el consumo disminuyó en un 5.14%, como es de esperar que a mayor precio, menor consumo. Sin embargo, para el 2005, el precio aumentó un 32.53% en relación al año anterior y el consumo también aumentó, sólo que en menor medida: 9.78%. Esto pudo

deberse a que, a pesar que hubo un gran aumento en el precio, las personas pudieron creer que el mismo tenía una tendencia a la alta e iba a seguir creciendo o permanecer igual, por lo que continuaron consumiéndolo. Además, por factores de crecimiento poblacional o económico también puede haber un aumento de consumo. De forma similar, para los siguientes dos años, 2006 y 2007, a pesar de los aumentos en el precio, el consumo también lo hizo, aunque de forma moderada.

No obstante, los años 2008 y 2009 representan el comportamiento esperado del mercado. Esto es porque en el 2008 hubo una variación de aumento en el precio del diesel de 40.16%, por lo que el consumo disminuyó en un 12.55%. De forma similar, para el 2009 hubo un decremento del precio de 33.37%, es decir, éste bajó casi todo lo que aumentó el año anterior, por lo que el consumo incrementó en un 14.50%, regresando más o menos a los niveles donde se encontraba antes de la alza en el precio. En estas grandes fluctuaciones se puede encontrar de trasfondo el efecto de la crisis económica que se sufrió en el 2008 y principios del 2009, y que tuvo un impacto mundial. Esto se puede apreciar de forma más fácil en la Gráfica 4, a continuación, en la cual se compara el consumo versus el precio promedio anual del diesel, desde el 2002 hasta el 2010.

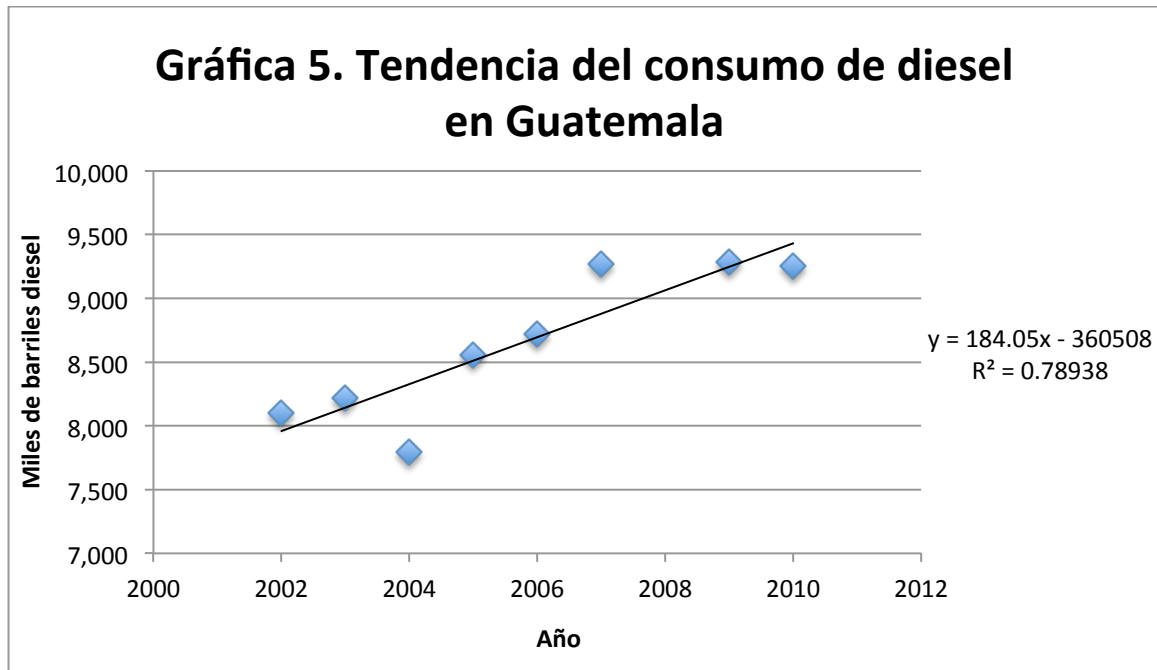


(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se observa con mayor claridad en la gráfica 4, en el 2008 se ve el gran aumento que tuvo el precio promedio anual y el gran decremento que hubo en el consumo del mismo. Se aprecia que la tendencia del precio es aumentar con el transcurso de los años, al menos en los que se muestran en esta gráfica, pero en el 2008 el aumento sí fue pronunciado. De igual forma se observa que el consumo tendía a crecer (con excepción del 2004), pero que en el 2008 su decremento sí fue significativo, hasta que en el siguiente año volvió a estabilizarse en los niveles donde se encontraba antes de caer.

Entre las causas de la variación en el precio del galón del diesel, se encuentran las que se mencionaron anteriormente, puesto que el diesel es un derivado del petróleo. Sin embargo, en el caso de la generación de diesel a partir de los desechos sólidos municipales no se correría el riesgo de la dependencia y sujeción a las variaciones en el petróleo, por lo que en los casos de alzas extremistas en el precio del diesel petrolero, se podría sacar una cierta ventaja en cuanto a los precios de venta en el mercado. Es claro que dicha ventaja depende del costo de producción, el cual se analizará posteriormente, pero a priori se puede decir que se tiene la ventaja de que la materia prima, que son los desechos sólidos municipales, está siempre disponible, puesto que a diario todas las personas los generan, y el costo de adquisición de la misma es relativamente bajo y constante.

A partir de los datos mostrados en el Cuadro 2, se observó la tendencia en el consumo del diesel en Guatemala y se ajustó una recta de regresión a los mismos. Para hacerlo, no se consideró el consumo del año 2008, que debido a la crisis económica sufrida a finales de ese año, hubo una variación grande por la cual se desajusta la correlación entre el resto de datos. Esto se muestra en la gráfica 5, a continuación.



Como se puede observar en la Gráfica 5, el consumo de diesel muestra una tendencia alcista. El coeficiente de determinación es de 0.79 por lo que se tiene una buena correlación entre los datos, y el modelo, definido por la ecuación mostrada en la gráfica, puede utilizarse para aproximar los consumos de los próximos años.

Cuadro 3. Proyecciones del consumo de diesel en Guatemala para los años 2011, 2012 y 2013.

Año	Consumo (miles de barriles)
2011	9,617
2012	9,801
2013	9,985

Como se puede observar en el Cuadro 3, utilizando la ecuación de la regresión lineal, los consumos proyectados van en aumento conforme pasa el tiempo. Aunque esto no pueda asegurarse completamente, debido a que no se tiene control sobre el mercado, es lo más probable que ocurra, al menos en los próximos años. Esto es puesto que la población está en aumento, y con ella el

consumo de diesel; se teme que el petróleo se acabe no en un tiempo muy lejano, lo que aumenta su demanda; y para que un producto sustituto se establezca como líder sobre el diesel, deben pasar varios años.

Para conocer la participación en el mercado de combustible diesel en Guatemala, o el “market share”, que se estimaría tener, cabe mencionar, que tal como se verá más adelante, con la tecnología que se está estudiando se tendría la posibilidad de ofertar en el mercado 14,400,000 litros de diesel anualmente. Con base en este dato y haciendo uso del consumo de diesel del año 2010 y de las proyecciones de la demanda, el Cuadro 4 muestra el market share proyectado.

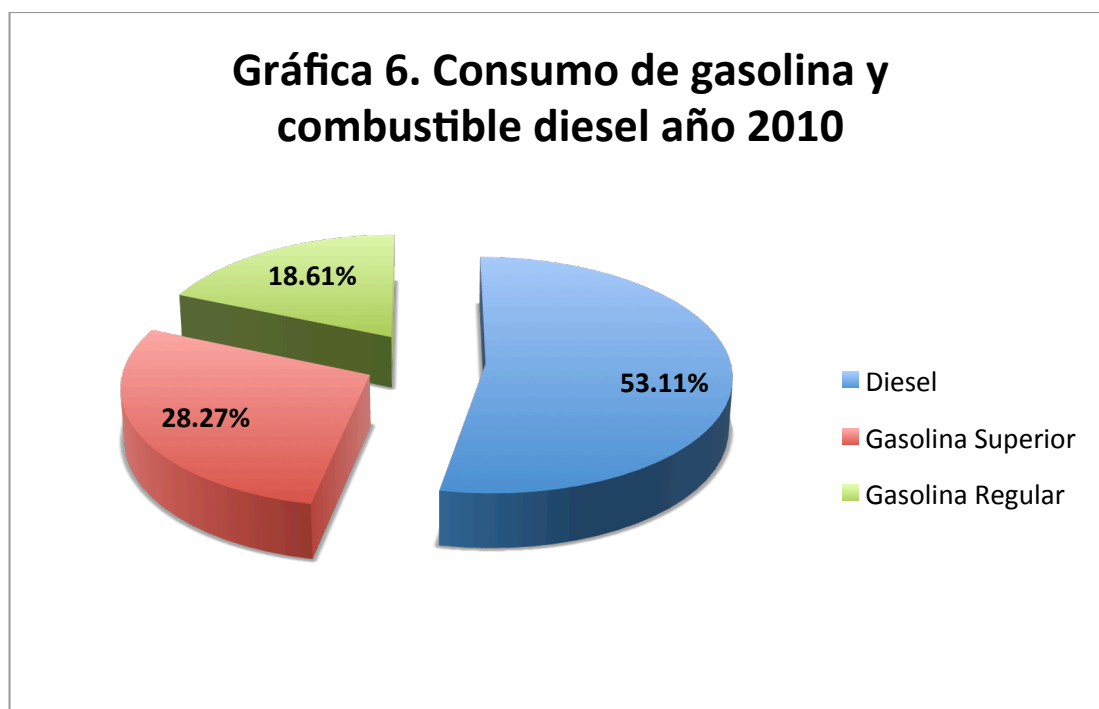
Cuadro 4. Proyecciones de participación en el mercado de combustible diesel en Guatemala.

Año	Consumo anual de diesel (barriles)	Consumo anual de diesel (litros)	Market share por venta de 14,400,000 litros anuales
2010	9,250,000	1,470,750,000	0.98%
2011	9,617,000	1,529,103,000	0.94%
2012	9,801,000	1,558,359,000	0.92%
2013	9,985,000	1,587,615,000	0.91%

Como se puede observar en el Cuadro 4, el market share que se hubiera tenido en el año 2010, y el que se proyecta tener en los siguientes años si la demanda de diesel aumenta como se pronosticó, es menor al 1%. Esto respalda la aseveración de que sí se vendería todo el diesel producido, al menos en lo que respecta a que la participación en el mercado no representa una gran competencia en volumen, para las empresas ya existentes.

También es importante prestar atención al porcentaje de consumo que le corresponde al diesel frente a la gasolina, ya que es un mercado que la mayoría

de personas frecuente seguidamente y al que se es más cercano. Estos datos se muestran en la Gráfica 6, a continuación.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se observa en la Gráfica 6, el consumo de diesel en el mercado guatemalteco para el año 2010 tuvo la mayor fracción con un porcentaje de 53.11%, seguido de la gasolina súper y luego de la gasolina regular. Esto quiere decir, que refiriéndose al mercado de estos tres productos, que son a los que con frecuencia se relacionan la mayoría de los pobladores, por encontrarse en gasolineras, para el 2010 el diesel tuvo un porcentaje de consumo que sobrepasó el 50%; lo cual da una idea de la alta demanda del producto.

Enfocarse meramente en el consumo de gasolina y de combustible diesel es importante para determinar el posible consumo de diesel que puede haber y quiénes pueden ser sus potenciales compradores. El Cuadro 5, a continuación, muestra el consumo de gasolina y de combustible diesel por compañía para el 2010.

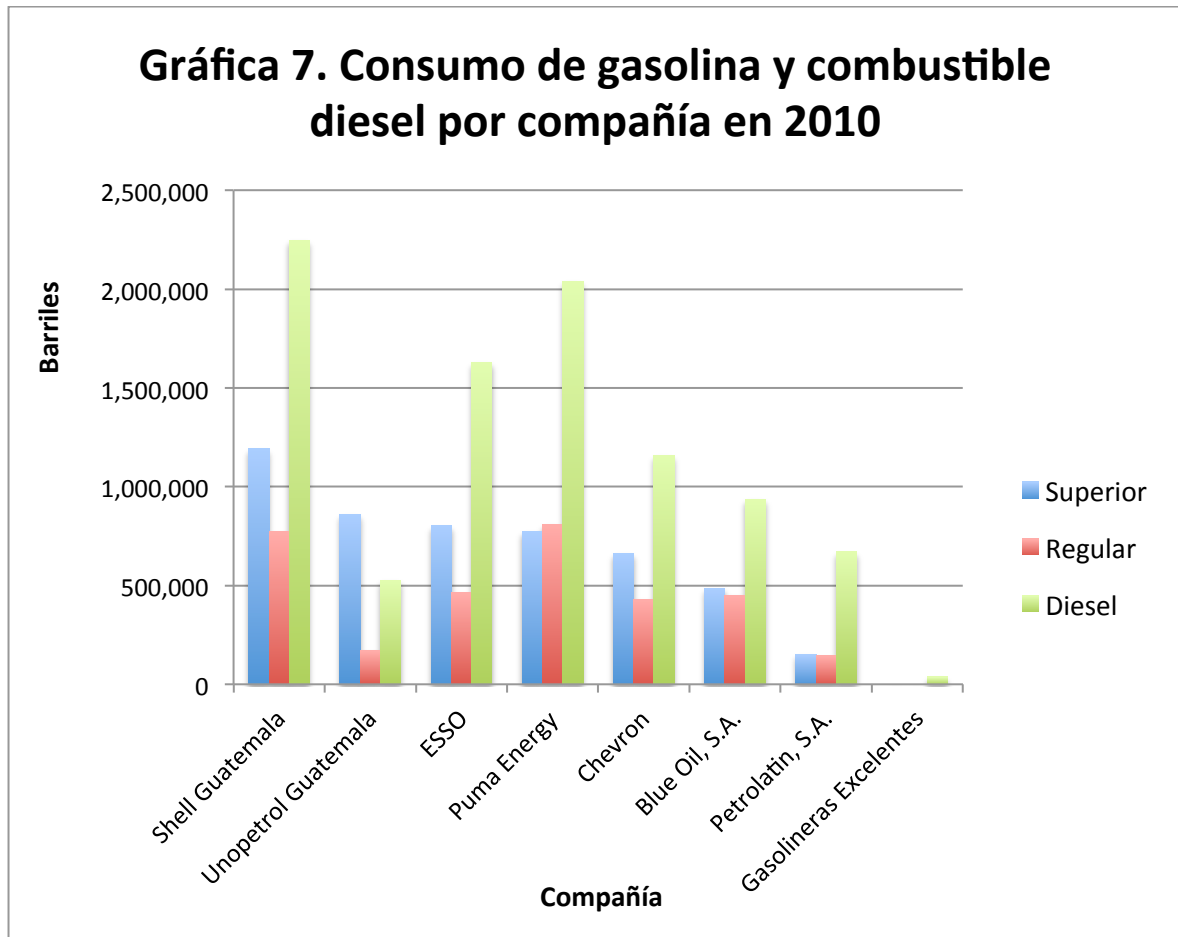
Cuadro 5. Consumo de gasolina y combustible diesel por compañía en el 2010.

COMPAÑÍA	SUPERIOR (Barriles)	REGULAR (Barriles)	DIESEL (Barriles)	TOTALES (Barriles)
Shell Guatemala	1,191,752	774,860	2,247,798	4,214,410
Unopetrol Guatemala	859,441	168,959	527,006	1,555,406
ESSO	803,439	463,233	1,630,587	2,897,259
Puma Energy	772,296	811,333	2,039,302	3,622,931
Chevron	662,119	428,983	1,160,726	2,251,828
Blue Oil, S.A.	485,131	449,975	937,759	1,872,865
Petrolatin, S.A.	150,418	144,749	669,899	965,066
Gasolineras Excelentes	-	-	37,119	37,119
TOTAL POR PRODUCTO	4,924,597	3,242,092	9,250,196	17,416,885

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en el Cuadro 5, son ocho las principales compañías consumidoras de gasolina y de combustible diesel. Asimismo, que la compañía que tuvo el consumo superior para el año 2010 fue Shell Guatemala y el mínimo consumo fue de Gasolineras Excelentes, las cuales sólo consumieron diesel.

La Gráfica 7 a continuación, muestra con mayor facilidad visual estos datos, y se pueden apreciar las preferencias de consumo de las compañías, en general.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en la Gráfica 7, siete de ocho compañías consumen más combustible diesel de lo que consumen gasolina superior y regular. Esto quiere decir que, por parte de las estaciones de servicio de gasolina del mercado guatemalteco, existe una alta demanda de diesel, lo cual da lugar a una expectativa positiva sobre la compra del diesel que se está evaluando producir.

En especial, se observa a simple vista que las compañías que más consumen diesel son Shell Guatemala, ESSO y Puma Energy, por lo que podrían ser potenciales consumidores. No obstante, no cabe descartar a Gasolineras Excelentes, por ejemplo, que aunque no esté dentro de las compañías que tienen los más altos consumos, es una compañía que sólo consume diesel, o al menos así lo hizo el año 2010.

B. Oferta del mercado

1. Importaciones de diesel y otros productos petroleros. La información sobre las importaciones de los productos petroleros que se realizan en el país, da a conocer cuánto se trae del exterior, quiénes son los que lo hacen y en qué medida se cubre la demanda de los mismos. Esto también indica quiénes son los posibles oferentes del mercado y, que en el caso de generar diesel, podrían ser posibles consumidores del producto.

El Cuadro 6, a continuación, muestra las importaciones de productos petroleros en Guatemala que tuvieron lugar en los años 2009 y 2010, así como sus variaciones.

Cuadro 6. Importaciones de productos petroleros en Guatemala para años 2009 y 2010.

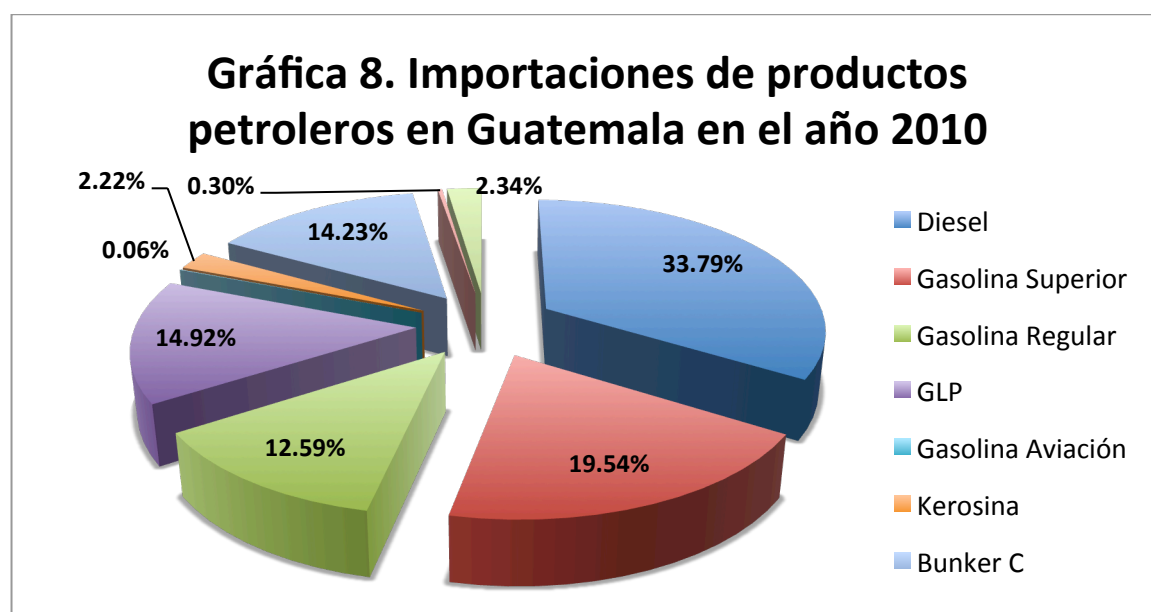
PRODUCTO/ AÑO	2009 (miles de barriles)	2010 (miles de barriles)	VARIACIÓN	
			ABSOLUTA	RELATIVA(%)
Diesel	10,136.66	9,011.13	-1,125.53	-11.10
Gasolina Superior	5,343.29	5,212.71	-130.58	-2.44
Gasolina Regular	3,616.52	3,358.40	-258.12	-7.14
GLP	3,624.49	3,979.82	355.34	9.80
Gasolina Aviación	12.68	15.37	2.69	21.21
Kerosina	589.38	593.39	4.01	0.68
Bunker C	6,109.61	3,796.04	-2,313.57	-37.87
Asfalto	71.09	78.91	7.83	11.01
PetCoke	789.06	625.39	-163.67	-20.74
TOTAL GENERAL	30,292.78	26,671.16	-3621.60	-11.96

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en el Cuadro 6, el total de las importaciones de productos petroleros, en general, disminuyó en un 11.96% del 2009 al 2010; mientras que la demanda también tuvo un decremento, pero de 10.88%, como se observó en el Cuadro 1. Este decremento de importaciones se pudo deber a la disminución de la demanda, que probablemente se tenía prevista, al aumento del costo de importación, entre otras cosas.

Con la información proporcionada por el Cuadro 6 y la que se presentó en el Cuadro 1, se ve prácticamente que toda la demanda de productos petroleros puede ser cubierta con las importaciones. Esto se verá con detenimiento más adelante, pero cabe mencionar que para cumplir con la demanda de producto es necesaria la importación de los mismos, puesto que en el país se produce una cierta cantidad, pero de cualquier forma la Dirección de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas la tiene clasificada como no comercial dentro del país (Ministerio de Energía y Minas, 2010).

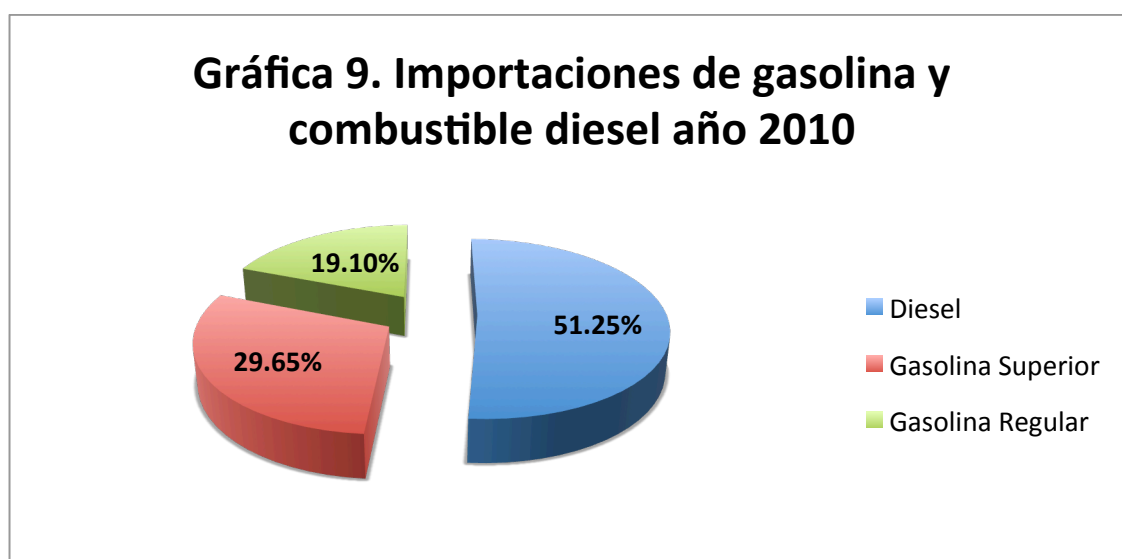
La Gráfica 8 a continuación muestra los porcentajes de las importaciones que tuvieron lugar en el 2010 en Guatemala, de cada uno de los productos petroleros.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en la Gráfica 8, la importación de diesel en el 2010 tuvo un porcentaje de 33.79% del total de importaciones de productos petroleros en el país. Esto significa que un tercio del total de dichas importaciones son debidas a las compras de diesel que se hacen al exterior del país.

Esto da cabida a especular que si se produce diesel dentro del país, gran parte de las empresas que importan el producto estarían interesadas en comprar el que se generaría aquí, puesto que se ahorrarían los aranceles de importación más otros costos adicionales. A continuación, en la Gráfica 9, se muestra el porcentaje de las importaciones correspondientes a la gasolina y al combustible diesel en el año 2010.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en la Gráfica 9, las importaciones del combustible diesel superaron el 50% frente a las importaciones de gasolina. Lo que como se esperaba, va acorde a la demanda de dichos productos, en la que el combustible diesel era el que lideraba en consumo. Nuevamente, se podría sacar ventaja de esta situación y acercarse al mercado de las gasolineras para venderles el diesel producido.

A continuación, el Cuadro 7 muestra las importaciones de gasolina y de combustible diesel por compañía, en el año 2010.

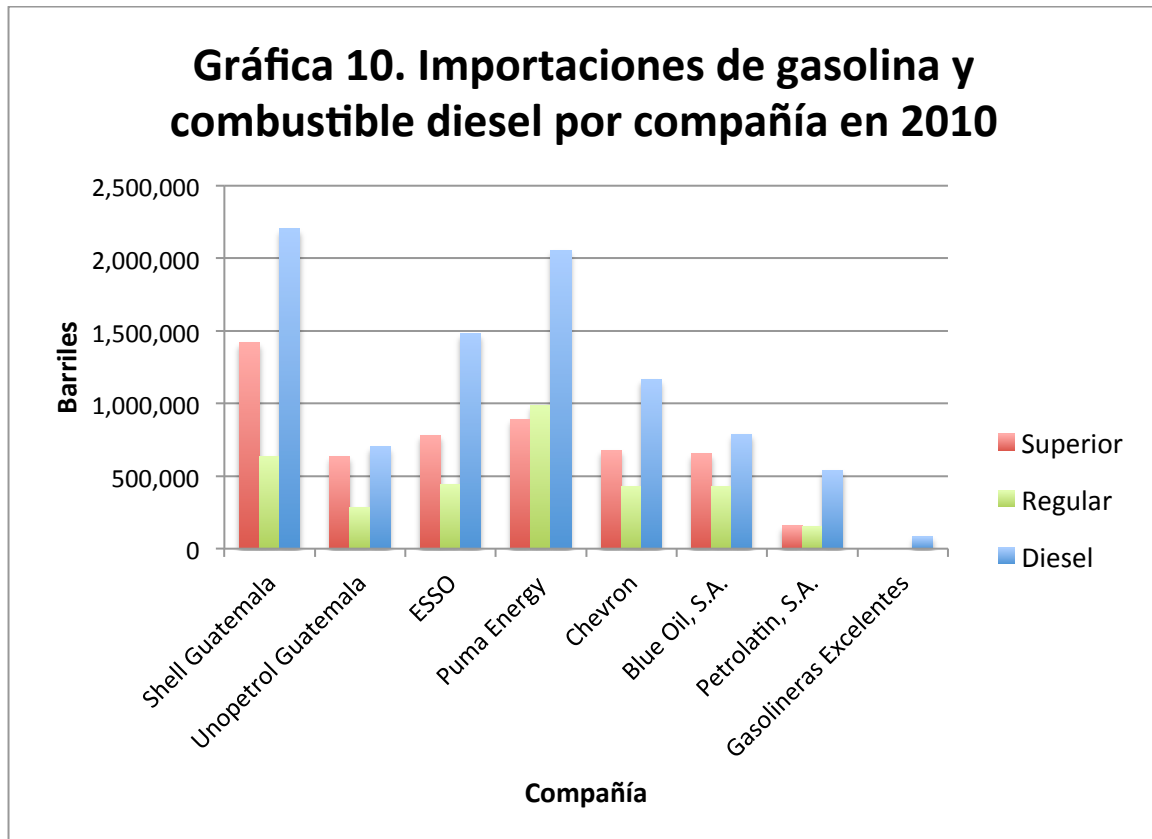
Cuadro 7. Importaciones de gasolina y combustible diesel por compañía en el 2010.

COMPAÑÍA	SUPERIOR (Barriles)	REGULAR (Barriles)	DIESEL (Barriles)	TOTALES (Barriles)
Shell Guatemala	1,419,969	637,690	2,202,320	4,259,979
Unopetrol Guatemala	632,681	283,271	700,706	1,616,658
ESSO	782,754	441,706	1,480,097	2,704,557
Puma Energy	889,834	984,524	2,051,629	3,925,987
Chevron	677,749	430,033	1,164,747	2,272,529
Blue Oil, S.A.	652,588	430,042	789,669	1,872,299
Petrolatin, S.A.	157,133	151,132	540,150	848,415
Gasolineras Excelentes	-	-	81,815	81,815
TOTAL POR PRODUCTO	5,212,708	3,358,398	9,011,133	17,582,239

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

En el Cuadro 7 se puede observar la descomposición de los porcentajes de importación del diesel y de la gasolina por cada una de las compañías de este mercado. Como se observa, la compañía Shell Guatemala es la que más importaciones tuvo en el 2010 y la que menos importó fue Gasolineras Excelentes.

En la Gráfica 10, a continuación, se observan con mayor claridad las importaciones de cada producto.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se ve, de las ocho compañías de las que se muestran los registros, el producto que más importaron, en su totalidad en el 2010, fue el combustible diesel. Además, se observa que las importaciones van de la mano con el consumo de producto de cada compañía, puesto que la que más importó fue Shell Guatemala, seguido de Puma Energy, y luego ESSO; el cual es el mismo orden que se tuvo en la demanda.

Asimismo, la compañía que importó la menor cantidad de producto fue Gasolineras Excelentes, importando solamente combustible Diesel. Todas estas compañías son parte del potencial mercado objetivo, puesto que se ve que sus adquisiciones de combustible diesel sí son en grandes cantidades.

2. Costo de las importaciones. Un elemento relevante que se debe de considerar es el costo de las importaciones que se tuvo de los productos petroleros. Esta información es de gran importancia para determinar si existe alguna posible ventaja en costos que se le podría presentar al mercado objetivo, en cuanto a la adquisición del combustible diesel que se desea generar, frente al que se adquiere mediante la importación. Estos costos de importación que se tuvieron en los años 2009 y 2010 se muestran en el Cuadro 8, a continuación, así como su variación relativa (%).

Cuadro 8. Costo de las importaciones de productos petroleros para años 2009 y 2010.

PRODUCTO/ AÑO	2009 (US\$)	2010 (US\$)	VARIACIÓN RELATIVA(%)
Diesel	761,098,743	842,190,855	10.65
Gasolina Superior	412,492,419	488,961,450	18.54
Gasolina Regular	263,803,684	301,754,238	14.39
GLP	161,543,275	244,604,069	51.42
Gasolina Aviación	1,415,974	2,016,939	42.44
Kerosina	44,093,859	56,433,580	27.99
Bunker C	350,132,418	282,543,024	-19.30
Asfalto	4,262,717	5,927,241	39.05
PetCoke	10,270,196	10,828,359	5.43
TOTAL GENERAL	2,009,113,285	2,235,259,755	11.26

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en el Cuadro 8, el total general de los costos de importación de productos derivados del petróleo aumentó un 11.26% del 2009 al

2010. Esto se debe a que los costos de cada uno de los productos tuvo una variación relativa hacia el alza, excepto por el bunker C.

El aumento en los costos de importación tiene un gran impacto sobre las compañías importadoras, lo que en última instancia se traslada al consumidor final del producto, provocando así un aumento en su precio de venta. Es por eso que si se pudiera proporcionar un producto a un costo más bajo, el interés de las compañías en comprarlo sería alto, puesto que podrían ser más competitivas en el mercado.

Enfocándose sólo en el diesel, que es el producto de interés, se tiene el siguiente Cuadro 9, en el que se muestra el costo y el volumen de importaciones que se ha tenido desde el 2002 hasta el 2010. Asimismo, se muestran sus respectivas variaciones relativas de un año a otro.

Cuadro 9. Costo y volumen anual de importaciones de diesel en Guatemala.

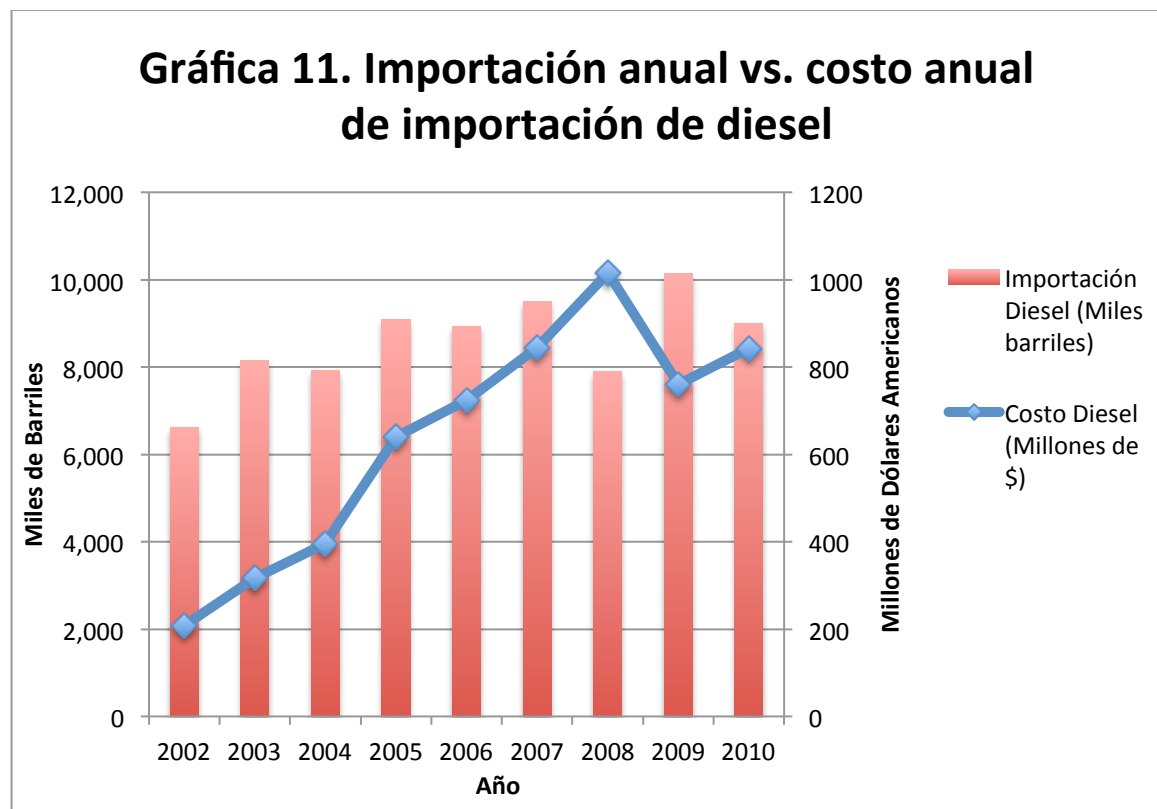
Concepto/ Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Costo Diesel (millones de US\$)	207.7	316.9	396.2	641.3	723.8	844.2	1,015.7	761.1	842.2
Variación relativa del costo (%)	-	52.58	25.02	61.86	12.86	16.63	20.32	-25.07	10.66
Importación Diesel (miles barriles)	6,616	8,164	7,915	9,086	8,932	9,513	7,898	10,137	9,011
Variación relativa (%)	-	23.40	-3.05	14.79	-1.69	6.50	-16.98	28.35	-11.11

(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

A simple vista se observa en el Cuadro 9 que en las variaciones relativas del costo solo hay un valor negativo, lo que significa que estos han tendido a ir al

alza con el paso del tiempo. Mientras que la variación relativa del volumen de importación sí tiene varias cantidades negativas, lo cual muestra que ha habido bastante oscilación en las importaciones.

Para observar con mayor claridad, la Gráfica 11, a continuación, muestra el volumen anual importado de diesel comparado con su costo anual.

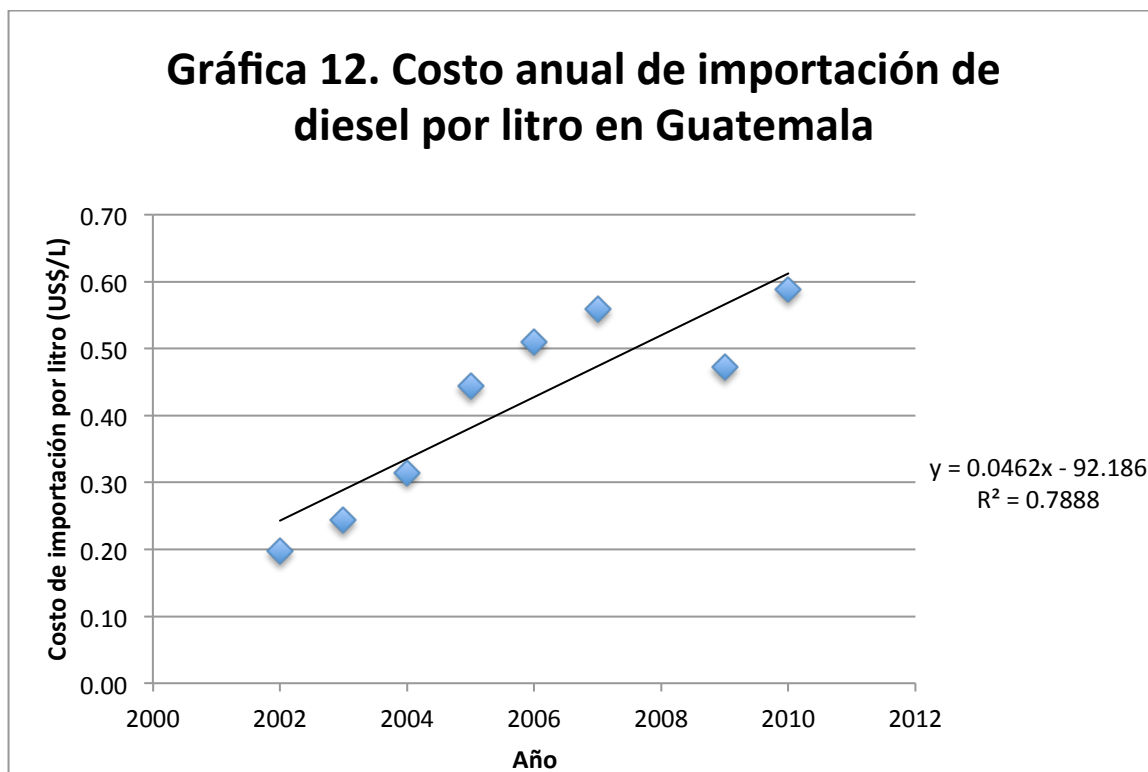


En la Gráfica 11, se observa que el costo de importación del diesel tuvo una tendencia al alza desde el 2002 hasta el 2008, en el que alcanzó su punto máximo, antes de caer. Estos aumentos van sujetos a variaciones en el precio del barril de petróleo, así como a índices inflacionarios de varios países, y problemas políticos o de otra índole que pudieran tener los países vendedores de petróleo, entre otros. La caída del costo que hubo entre el 2008 y 2009 está sujeta a la crisis económica mundial que se sufrió en esta época y se comentó anteriormente.

Por el otro lado, se ve que en el volumen de las importaciones del diesel ha existido una mayor fluctuación, en la que no se puede observar una tendencia definida. Se muestra una cierta relación entre los aumentos más pronunciados del costo de importación y un aumento no tan alto de las importaciones, o una baja en el volumen de las mismas de un año a otro. Esto da una idea de que sí existe una relación entre el costo y el volumen de importación, aunque este no es tan determinante, puesto que si las empresas que compran el producto desean cubrir la demanda del mercado, deben de comprarlo aunque el costo se eleve. Esto, tal como se mencionó anteriormente, se traslada al consumidor con precios más altos.

De ser posible y factible la generación de diesel a partir de los desechos sólidos municipales, se podrían ofrecer ciertas ventajas. Una de ellas es que si las empresas que compran el diesel tuvieran menores costos que los que actualmente existen para las importaciones del producto, podrían ser más competitivos en el mercado al ofrecer un precio más bajo. Esto lo lograrían ya que tendrían un costo de compra menor y, por lo tanto, podrían aumentar sus ventas y beneficiar al consumidor a la vez, al ofrecerle dicho precio. O también, podrían seguir vendiendo al mismo precio que hay en el mercado y obtener mayores utilidades.

A partir del Cuadro 13, se obtuvieron los costos de importación por litro de diesel que se han tenido en Guatemala desde el 2002 hasta el 2010, los cuales servirán como punto de comparación en el análisis financiero. Se hizo uso de todos los datos, exceptuando el que se obtuvo en el año 2008, ya que mostraba una variación en extremo alta, debida a la crisis sufrida al final de este año, y afectaba significativamente la correlación entre el resto de datos. Estos se muestran en la Gráfica 12, a continuación.



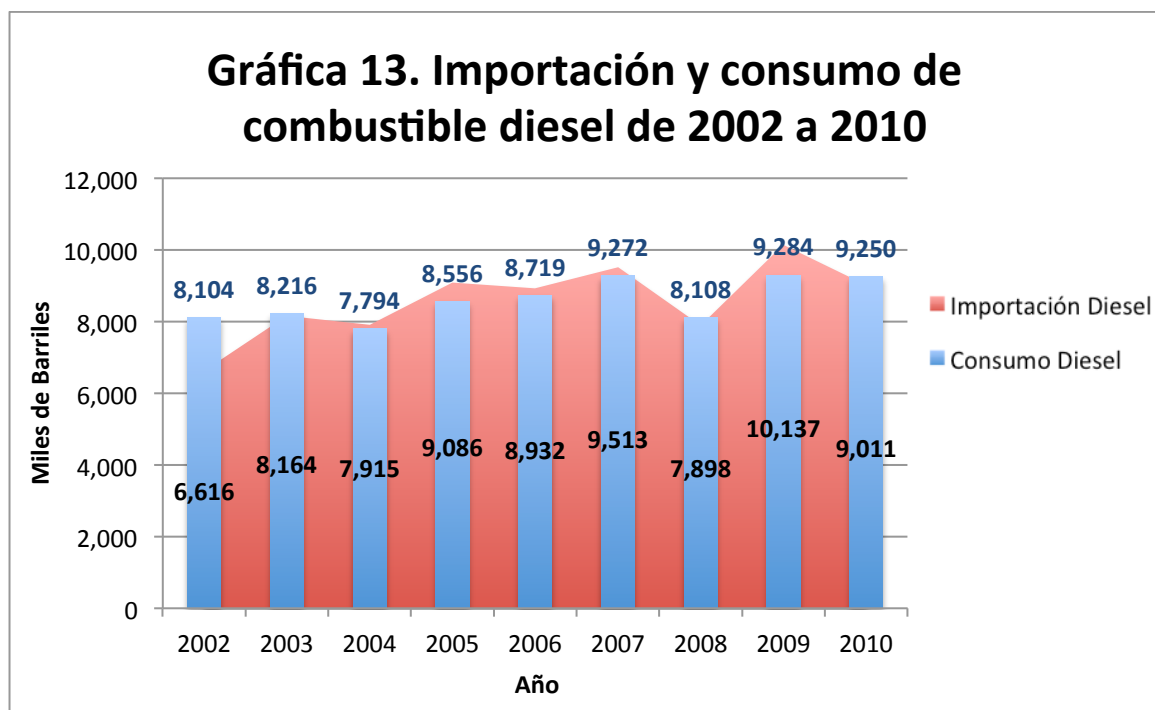
Como se puede observar en la Gráfica 12, los datos muestran una tendencia alcista con el transcurso del tiempo. Debido a factores inflacionarios y a posibles preocupaciones de la escasez del petróleo, se pronostica que el costo seguirá en aumento, o al menos no declinará, hasta que en el mercado se establezca un producto sustituto del diesel, con un menor costo. Por lo mismo, se ajustó una recta de regresión lineal, cuya ecuación se muestra en la gráfica, y con la que se proyectaron los valores para los años 2011, 2012 y 2013. El coeficiente de correlación es de 0.79, por lo que el grado de correlación es bueno, siendo el modelo útil para al menos aproximar posibles valores de los años en mención.

Cuadro 10. Proyecciones del costo de importación por litro de diesel en Guatemala para los años 2011, 2012 y 2013.

Año	Costo importación por litro (US\$/L)
2011	0.72
2012	0.77
2013	0.81

Como se observa en el Cuadro 10, los costos de importación por litro se proyectan en aumento para cada año. No obstante, se vuelve a enfatizar que esto es muy difícil de pronosticar, ya que su precio está ligado a factores externos, que se mencionaron anteriormente.

A continuación, se muestra la Gráfica 13, en la que se pueden observar el volumen de importación y consumo anual de diesel que ha habido en Guatemala desde el 2002 hasta el 2010. Con esto se puede explicar lo que se mencionó con anterioridad sobre la necesidad de realizar importaciones de producto, aunque los costos hayan aumentado, puesto que es necesario cubrir la demanda del mismo.



(Fuente: Ministerio de Energía y Minas: *Estadísticas de Hidrocarburos*, 2010)

Como se puede observar en la Gráfica 13, en cuatro de los nueve años que se muestran, el consumo de combustible diesel ha sobrepasado el volumen de importación del mismo, aunque por diferencias pequeñas. Con esto se demuestra la importancia que tienen las importaciones en el abastecimiento del

producto en el mercado del país. Asimismo, que además del hecho de que se puede vender el diesel generado como un sustituto del diesel importado, también se puede vender en el mercado a aquellos que no importaron todo el producto que necesitaban y aún tienen una demanda faltante por cubrir.

C. Desechos sólidos generados en la ciudad de Guatemala

El mundo en general se enfrenta al problema cada vez más grave sobre cómo deshacerse del creciente volumen de desechos sólidos que las personas generan. La generación de desechos sólidos municipales depende de varios factores culturales que, en general, se asocian a los niveles de ingreso, desarrollo tecnológico, hábitos de consumo, entre otros. Los sectores que tienen mayores ingresos usualmente generan más volumen de residuos, los cuales presentan un mayor valor incorporado que los que provienen de sectores económicos menos privilegiados de la población.

Uno de los problemas más grandes que se sufre en Guatemala, en referencia al ambiente, es el manejo inadecuado de los desechos sólidos. La severidad del problema es tal, que se estima que en la ciudad de Guatemala existen más de mil botaderos de desechos sólidos que son ilegales. Estos se localizan en barrancos de la ciudad e incluso en algunos ríos (Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, 2011).

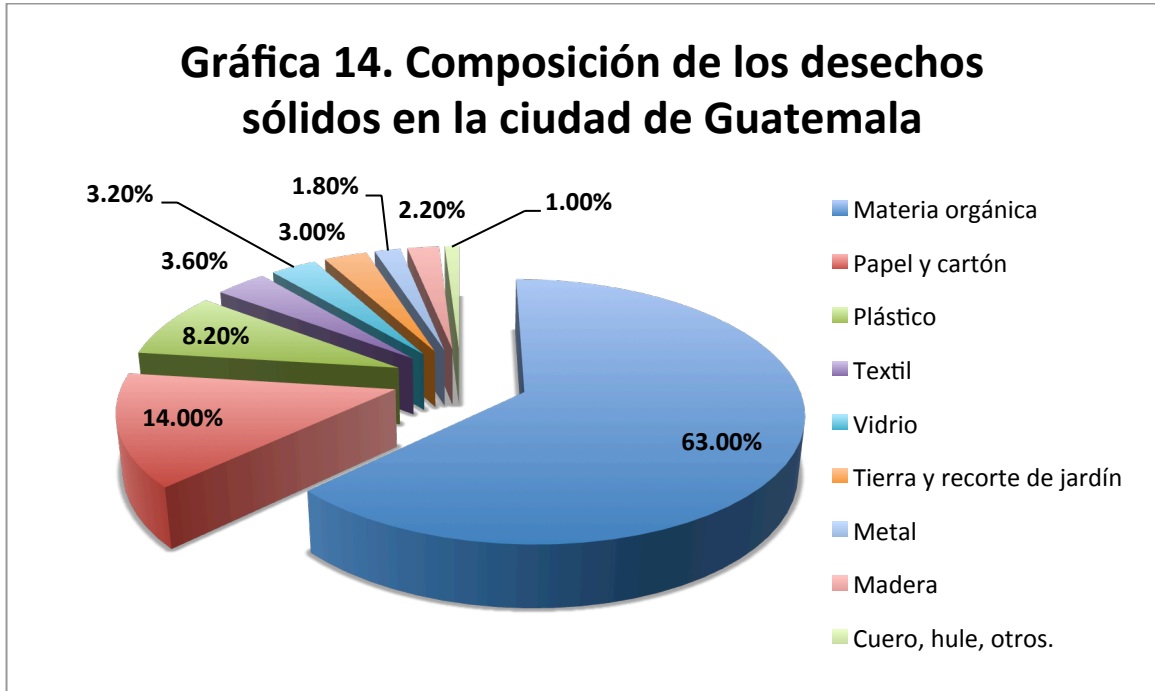
1. Cantidad de desechos sólidos generados. El principal depósito de desechos sólidos para el Área Metropolitana del país es el basurero de la zona 3 de Guatemala. También existe un botadero en la zona 10 de Villa Nueva en el que se reciben 300 toneladas diarias de desechos, otro en Mixco y otro en Amatitlán, los cuales son a cielo abierto. Asimismo, existen varios botaderos que son clandestinos (Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, 2011).

El basurero de la ciudad también es utilizado por los municipios de Villa Canales, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Mixco, Fraijanes y Chinautla, puesto que depositan ahí su basura. El resto de municipios del departamento, que es prácticamente la otra mitad, tiene basureros que están dentro de su influencia, pero también han surgido muchos que no están autorizados (Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, 2011).

La cantidad, composición y calidad de los desechos sólidos puede diferir de manera significativa a través de las diferentes épocas del año. Por lo general, en las épocas cuando el clima está más caliente, la cantidad media diaria de generación está por encima de la media anual. Esto se debe en cierta parte al aumento del consumo de productos, como por ejemplo gaseosas, bebidas alcohólicas, etc., y también porque en este tiempo es común realizar actividades dirigidas al mejoramiento urbano. No obstante dichas diferencias estacionales, en la ciudad de Guatemala se utiliza una media general de lo que se produce por cápita y, luego, se hace el cálculo total según la cantidad de habitantes.

Según el Censo de 2002, entre los municipios que aquí se mencionan se condensa una población de 2,144,052 habitantes, lo cual implica que se generan alrededor de 1,369ton/día. De esta cantidad de basura, aproximadamente 1,010ton/día son generadas por los habitantes de la ciudad de Guatemala (Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, 2011).

2. Composición de los desechos sólidos. Los basureros reciben una gran variedad de desechos a diario. En general, la composición de los desechos sólidos en la ciudad de Guatemala es como se muestra en la Gráfica 14, a continuación.



(Fuente: Ibañez, J.; Corroccoli, M. 2002)

Como se puede observar en la Gráfica 14, el mayor porcentaje de desechos sólidos está compuesto de materia orgánica² (63%). Mientras que el menor porcentaje es el de cuero, hule y otros (1%). Además, según la Municipalidad de Guatemala, de los desechos generados en la ciudad de Guatemala, un 29% es reciclable, aunque no en su totalidad se recicle (Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, 2011).

El hecho de que el mayor porcentaje de desechos sólidos municipales lo constituya la materia orgánica, puede traer serios problemas ambientales asociados a su descomposición, como se verá más adelante. Además, existe una variada composición de los mismos, por lo que de no practicarse el reciclaje o algún otro tipo de método, se requiere de algún proceso que haga uso de ellos o les de el tratamiento adecuado, para reducir sus potenciales perjuicios.

² Porción que consiste de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, organismos vivos del suelo y sustancias sintetizadas por éstos organismos. Como por ejemplo, restos de comida, cáscaras de frutas, hojas del jardín, etc. (Riegoporgoteo, 2009)

3. Implicaciones ambientales y de salud. El mal manejo de los desechos sólidos tiene graves consecuencias respecto al medio ambiente y a la salud y bienestar de las personas que los manejan o que están en los alrededores de los basureros. Una de las implicaciones más evidentes es el deterioro estético del paisaje natural y de las calles de las ciudades. Esto puede incluso llegar a afectar el turismo del país, puesto que ver basura entorpeciendo el entorno paisajístico no es agradable.

Desechar los aceites usados, sin tener un control sobre ellos, puede contaminar al ambiente de distintas formas (Estrada, 2009):

- Si los aceites se desechan en el suelo, se pueden contaminar las aguas, así como seres vivos que tengan su hábitat en un lugar cercano.
- Si se desechan en las alcantarillas, se dificulta el funcionamiento adecuado de las plantas depuradoras y, además, se contaminan los ríos.
- Si los aceites se queman de forma no controlada, pueden contaminar gravemente la atmósfera.

La basura, en especial los desechos orgánicos, después de cierto tiempo de estar estancados en un lugar, por ejemplo, en un botadero, liberan líquidos orgánicos y agua que contienen en su interior, que de no ser absorbidos por el resto de desechos, se puede infiltrar en los suelos llevando consigo compuestos que tienen un elevado potencial contaminante, y que se le conoce como lixiviados, tal como se había mencionado anteriormente. La contaminación de los mantos freáticos es muy preocupante, ya que son fuentes de agua para poblaciones enteras. Esto implica gastos de potabilización, así como potenciales consecuencias para la salud pública (Ingeniería Ambiental y Medio Ambiente, 2000).

Asimismo, cuando los desechos se descomponen, empiezan a generar gases como subproductos naturales. La cantidad de gases que se producen y su

composición depende en gran medida del tipo de desecho del que se trate, de su estado y de las condiciones del medio que, en cierta forma, pueden llegar a favorecer o desfavorecer el proceso de la descomposición. Esto puede provocar mal olor al ambiente y ser molesto para habitantes que rodean las áreas de los basureros.

El hecho de quemar basura tiene las siguientes repercusiones principales (Estrada, 2009):

- No es un proceso de combustión, por lo que la materia no se destruye por completo, quedando así basura en el ambiente.
- Debido a que a la hora de quemar los desechos no se hace una selección de los mismos, se pueden quemar materiales altamente peligrosos y tóxicos.
- El humo que se produce cuando se quema la basura es monóxido de carbono, el cual es sumamente dañino para las personas y más si se exponen frecuentemente a éste.
- Los residuos de la materia quemada permanecen en el suelo, lo cual crea un impermeabilizante que, con el paso del tiempo, crea problemas en el suelo, cultivos, etc., en cuanto a la absorción de la lluvia.
- Los residuos de los desechos quemados pueden ser arrastrados por el viento creando problemas en comunidades cercanas como la acumulación de basura en drenajes, campos, en el alimento del ganado, en los cultivos, etc.

Desechar la basura en las corrientes de agua, ríos, lagos, etc., adiciona sustancias inorgánicas y orgánicas que afectan su composición, así como el sistema de alcantarillado. Entre los efectos que se producen están los cambios físicos en el agua, debido a la turbidez y los sólidos suspendidos, así como disminución de los caudales; cambios químicos, puesto que puede modificar su composición y características, haciendo que la vida animal que habita en ella

sea propensa a morir; y cambios bacteriológicos, que proporcionan un mejor medio para que las bacterias puedan vivir y multiplicarse (Martínez, 1996). Además, el hecho de afectar las redes de alcantarillado puede provocar inundaciones y causar pérdidas de bienes materiales, cultivos, entre otros.

Debido a las precarias condiciones de vida de algunas personas, los desechos municipales sólidos son considerados por ellos como un medio de subsistencia. El problema es que existe un grave riesgo cuando estos residuos son manejados con otros que son tóxicos o peligrosos y no hay colección selectiva de los mismos. Ello puede generar enfermedades gastrointestinales, cardiovasculares, oculares, entre otras. Asimismo, la devaluación de las propiedades en donde se encuentran los botaderos a cielo abierto, constituye un obstáculo para el desarrollo urbano del país (Jaramillo, 2003).

4. Manejo actual de los desechos sólidos municipales. El manejo de los desechos se refiere al conjunto de procedimientos y políticas que conforman el sistema de administración de los desechos sólidos. Lo que la mayoría de veces se busca es realizar una gestión que sea ecológica y económicamente adecuada (Estrada, 2009).

Un factor que se debe tener presente cuando se habla del servicio de recolección de basura en Guatemala, es la situación económica que atraviesa el país. El desembolso, alrededor de Q.50.00, según el área en donde se viva, que se destina a dicho servicio es un lujo para muchas personas que viven en condiciones precarias. Por lo que muchos prefieren y optan por quemar los desechos sólidos y prescindir de los servicios de extracción de basura que se les ofrece.

El hecho de tirar los desechos sólidos en lugares donde no corresponde, se debe en gran medida a la falta de una cultura de limpieza y a la falta de educación cívica. Esto hace que se formen botaderos clandestinos y, por lo

tanto, se dificulta la recolección y manejo adecuado de todos los desechos que se generan.

Según la municipalidad de Guatemala, actualmente más de 700 trabajadores municipales trabajan en cada jornada, las 24 horas del día y los 365 días del año, para limpiar la ciudad. Alrededor de Q22 millones se invierten anualmente para el tratamiento adecuado de los desechos, que al final llegan al basurero de la zona 3. Además, retiran más de 1,000 m³ de basura mensualmente de los 40 mil tragantes con los que cuenta la ciudad de Guatemala (Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, 2011). Sin embargo, el basurero en sí no recibe un tratamiento adecuado, debido a lo cual se generan olores fétidos y las comunidades de los alrededores se quejan constantemente de contracción de enfermedades. Éste ha causado graves daños en la atmósfera, el suelo, el agua, entre otros.

Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) recientemente participó, junto con otro grupo de personas e instituciones, para construir la “Estrategia de Intervención para la Gestión de los Residuos Sólidos en Guatemala”, con la que se quiere apoyar la introducción de servicios eficientes de gestión de residuos sólidos por las comunas. Con ello, también se persigue implementar un sistema de información, comunicación, capacitación y participación social en el tema. Esto es en parte porque, según resultados del último Diagnóstico Nacional que se realizó, no existe ninguna experiencia de clasificación metodológica y eficiente de los residuos sólidos municipales (Marroquín, 2011).

A nivel nacional, el porcentaje de reutilización de los residuos sólidos no es mayor del 5%. Existen varias empresas y múltiples familias que comercian para recuperar formalmente los residuos para el reciclaje. Sin embargo, por la poca eficiencia de recolección, clasificación y selección de residuos, estos intentos de

reciclaje no alcanzan elevados niveles y no todo el porcentaje de desechos que son reciclables reciben su adecuado tratamiento (Marroquín, 2011).

El hecho de que la Municipalidad de Guatemala esté invirtiendo dinero, tiempo y esfuerzo en mejorar la recolección de los desechos sólidos; la falta de un tratamiento adecuado para el basurero principal de la ciudad; y los intentos del MARN y de otras instituciones de encontrar y apoyar métodos y servicios eficientes para la gestión adecuada de los desechos sólidos, ayudan a crear un escenario favorable y una oportunidad para la implementación de la tecnología KDV, para el tratamiento de los desechos sólidos municipales de la ciudad.

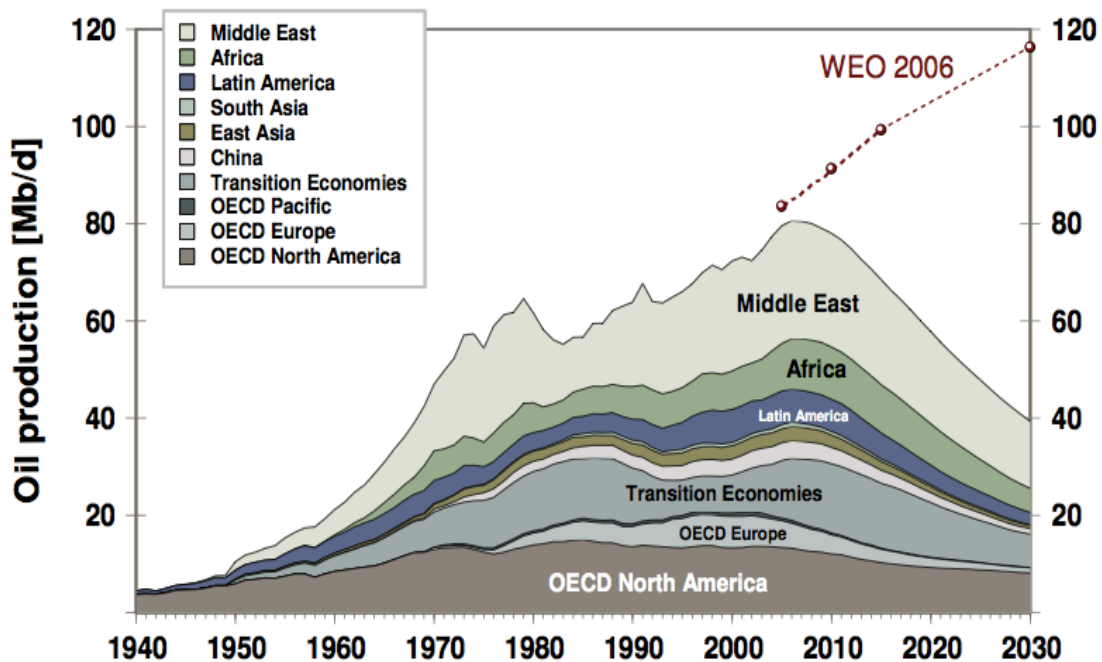
En primer lugar, el mejoramiento en la recolección de los desechos es beneficioso en este caso, ya que se podría pactar la entrega de los mismos en algún área específica y, luego, ser utilizados por la planta. En segundo lugar, el tratamiento inadecuado de los basureros de la ciudad, en especial el de la zona 3, sumado al deseo de las comunidades que viven alrededor de trasladarlo a otro lugar (Choc, 2010), hacen que designar un área especializada para la recepción de los desechos, en donde estos no permanezcan al aire libre, sino que sean dispuestos de forma en que se aprovechen, sea una propuesta atractiva y beneficiosa para muchos. Finalmente, entre otros puntos a favor, la iniciativa de la mejora en la gestión de los desechos, que se mencionó anteriormente, abre las puertas y muestra la disposición positiva de varias instituciones de conocer nuevas metodologías y procesos, con los que se puedan gestionar de forma adecuada los desechos y así beneficiar al medio ambiente y a las comunidades.

V. ESTUDIO TÉCNICO

A. Tecnología y proceso de conversión de los desechos sólidos municipales para la producción de diesel

1. **La situación.** Conforme transcurre el tiempo, las provisiones mundiales de petróleo crudo se están agotando, como se muestra en la gráfica 13 a continuación, y su costo es cada vez más elevado. El futuro de las siguientes civilizaciones, así como su seguridad, dependen de la producción de combustibles asequibles que puedan ser sustitutos del petróleo crudo natural.

Gráfica 15. Resumen de la producción mundial de petróleo.



(Fuente: Schindler, J.; Zittel, W., 2008)

Como se puede observar en la Gráfica 15, realizada por “Energy Watch Group”, la línea roja (WEO) predice que la demanda de petróleo aumentará de

85 millones de barriles por día, a aproximadamente 120 millones de barriles por día, cerca del 2030. El problema es que se tiene proyectada una oferta sólo de 1/3 de dicha demanda, por lo que los restantes 2/3 deberán ser cubiertos con otros combustibles que no se tienen el día de hoy (Schindler, J.; Zittel, W., 2008).

Existen nuevas tecnologías que utilizan biomasa renovable y desechos orgánicos, como alternativas al uso del petróleo para producir los combustibles. En especial llaman la atención aquellas con las que se puede producir el combustible a través de un proceso de bajo costo y de cero emisiones.

El proceso de interés en este estudio es el que se efectúa con la tecnología KDV 2000, que por sus siglas en alemán significa “Katalytische Drucklose Verölung”, lo cual quiere decir “Despolimerización Catalítica de Baja Presión”; y el 2000 se refiere a la capacidad de la planta de producir 2000 litros de diesel por hora. En general, dicha tecnología hace uso de un reactor que está diseñado para simular, en minutos, la producción natural de petróleo crudo que toma parte debajo de la superficie de la tierra, pero que en la naturaleza se prolonga por millones de años. El proceso imita, de primero, la producción natural de petróleo crudo y, luego, su proceso de refinación para producir diesel (Alphakat, 2011).

Algunos puntos destacados a favor de esta tecnología son que se puede:

- Hacer uso y eliminar los desechos sólidos municipales
- Eliminar los desechos industriales
- Hacer uso de los desechos de agricultura
- Eliminar los sitios de almacenamiento de los desechos, incluyendo los vertederos de residuos industriales y comerciales, y los lagos de betún
- Reducir la cantidad de CO₂ en la producción de diesel

La clave de este proceso se encuentra en la utilización de un catalizador³ que fue desarrollado por décadas, y optimizado para que su consumo fuera mínimo, resultando en bajos costos de operación. Asimismo, que las unidades del proceso requieren un bajo mantenimiento y la potencia, calor y energía demandada, son adquiridas por una planta combinada de calor y potencia, que consume cerca del 10% del diesel que se produce. Por lo tanto, no se requiere de otro insumo más que los desechos de materia (Alphakat, 2011).

2. Características generales del proceso. En general, en un ciclo cerrado del proceso, los materiales que se utilizan de insumo son mezclados con los catalizadores diseñados para el mismo, produciendo la siguiente reacción catalítica (Alphakat, 2011):

1. Se lleva a cabo la despolimerización de largos hidrocarburos a temperaturas relativamente bajas entre 290°C - 350°C, y a una baja presión de 0.9 bar.
2. Se tiene una alta salida de aproximadamente más del 80% de los hidrocarburos utilizados como insumos.
3. Los halógenos⁴ peligrosos se fijan en sales.
4. Se produce combustible diesel estándar como resultado.

La despolimerización es un proceso en el que un polímero se descompone en sus unidades más simples. En este caso, ésta es utilizada para reducir los materiales orgánicos complejos a petróleo crudo liviano. Con baja presión y calor, largas cadenas de polímeros de hidrógeno, oxígeno y carbono se

³ Sustancia presente en una reacción química que está en contacto físico con los reactivos, y acelera o induce dicha reacción sin actuar en ella (Escuela de Educación Técnica N°4, 1999).

⁴ Elementos que ocupan el grupo 17 del Sistema Periódico. Los halógenos F, Cl, Br, I y At, son elementos volátiles, diatómicos y cuyo color se intensifica al aumentar el número atómico. Por su alta reactividad, siempre están combinados con otros elementos (Antiñolo, A., 2010).

descomponen en cortas cadenas de hidrocarburos de petróleo, con una longitud máxima de 18 carbonos (Alphakat, 2011).

Para poder obtener cadenas de hidrocarburos más cortas, se hace uso de un catalizador específico, desarrollado y patentado por la compañía a la que pertenece la tecnología KDV. El catalizador cristalizado que se utiliza en este proceso cumple con una doble función: acelerar la reacción, facilitando la formación de productos con alto valor; y actuar como intercambiador de iones, reteniendo los átomos como halógenos, fósforo, nitrógenos y metales pesados, que están presentes en la materia de insumo, y transformándolos en sales inorgánicas (Alphakat, 2011).

El proceso catalítico de despolimerización es un proceso de reacción que ocurre a una temperatura relativamente baja y a una baja presión. Debido a la baja temperatura, se hace necesario un catalizador para poder separar las moléculas de hidrocarburos. El proceso requiere una temperatura por encima de los 270°C, aunque siempre y cuando ésta se mantenga por debajo de los 400°C, la producción de dióxido de carbono, dioxinas y furanos⁵ se logra evitar. Además, puesto que el proceso KDV no es una reacción de pirólisis⁶, la formación de coque⁷ no puede ocurrir (Alphakat, 2011).

⁵ Las dioxinas y furanos son compuestos químicos que se obtienen de procesos de combustión que implican cloro. Son muy tóxicos, activos fisiológicamente en dosis extremadamente pequeñas; no se degradan fácilmente y pueden durar años en el medio ambiente. Son bioacumulables en los tejidos grasos de los organismos y aumentan su concentración progresivamente a lo largo de las cadenas alimenticias (ARCA, 2004).

⁶ Degradación térmica de una sustancia en ausencia, o con una cantidad limitada, de oxígeno, que produce como resultado cierta oxidación y formación de dioxinas y otros productos relacionados con una combustión incompleta (Greenpeace, 2002).

⁷ Residuo sólido que se obtiene de la pirolisis de determinados carbones minerales, después de haber pasado por una fase plástica. Su alto contenido de azufre y metales pesados pueden ser dañinos para las vías respiratorias (Méndez, J., 2007).

3. Insumos de la planta. La planta KDV 2000 está económicamente optimizada para recibir una gran variedad de materiales biológicos y minerales como insumos. Entre estos se encuentran cuatro grupos principales (Alphakat, 2011):

- Desechos de aceites, grasas de todo tipo, residuos de las refinerías, alquitrán⁸, betún⁹, entre otros.
- Plásticos de todo tipo. Es probablemente la forma más amigable con el ambiente, para procesar todos los plásticos manufacturados con cloruro, como el PVC, ya que gracias a la baja temperatura del proceso no se producen emisiones de dioxinas.
- Biomasa: desechos de agricultura, de productos animales, etc.
- Desechos sólidos municipales.

En cuanto a los materiales tóxicos que están contenidos en la materia de insumo, como los metales y el cloro, el catalizador se encarga de agruparlos como sales y neutralizar los gases nocivos. La descarga de dichos materiales inorgánicos, sucede a alta concentración a través de un sistema de sedimentación¹⁰ de descarga especial a un contenedor residual de cenizas. Además, por las bajas temperaturas de procesamiento que maneja esta tecnología, se recalca que no se emiten dioxinas ni furanos, por lo que no se daña al ambiente con estos compuestos.

La entrada de material se aplica a los procesos, ya sea como producto sólido o en estado líquido, alrededor de un circuito cerrado. La entrada de producto

⁸ Sustancia oscura y viscosa que se obtiene por destilación de la hulla, madera, petróleo, etc. (Aguilar, C.)

⁹ Mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos (Wikipedia, 2011).

¹⁰ Operación que consiste en la separación por la acción de gravedad de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro (Universidad Autónoma de Madrid, 2007).

sólido debe ofrecer un contenido bajo de humedad, alrededor de 20%, y un tamaño de partícula pequeña, de aproximadamente 25mm de diámetro. Éste llega al sistema a través de una máquina transportadora en espiral. Mientras que la entrada de productos líquidos ocurre a través de un depósito del sistema combinado y mediante una bomba. El catalizador así como el neutralizador (cal) se colocan en el sistema a través de unidades automáticas de dosificación.

Antes de poner los materiales en la planta KDV, todos los metales, piedras, cerámica y vidrio tienen que ser separados de los desechos sólidos. Para separar la piedra y el vidrio en fracciones, se utiliza un medidor de flujo contra la gravedad, antes de separar los metales, como segundo paso. Esto, al igual que la trituración para alcanzar el tamaño de particular requerida, se realiza en la planta de pretratamiento. Asimismo, si la humedad es mayor al 20%, que para el caso de los desechos de la ciudad de Guatemala sí lo es, el material triturado se debe calentar en un horno rotatorio en esta misma planta. En el caso de que hayan lodos orgánicos, estos se deshidratan y se secan también en un horno rotatorio. Finalmente, una banda transportadora asegura la alimentación a la planta KDV.

4. Planta KDV. El sistema KDV está compuesto por cuatro módulos básicos y un último módulo opcional, que es en donde se lleva a cabo la desulfuración del diesel resultante. Optar o no por el último módulo depende de la materia prima que se utilice, de las regulaciones sobre el diesel y la calidad que se quiera de éste. Los módulos que se mencionan son los siguientes:

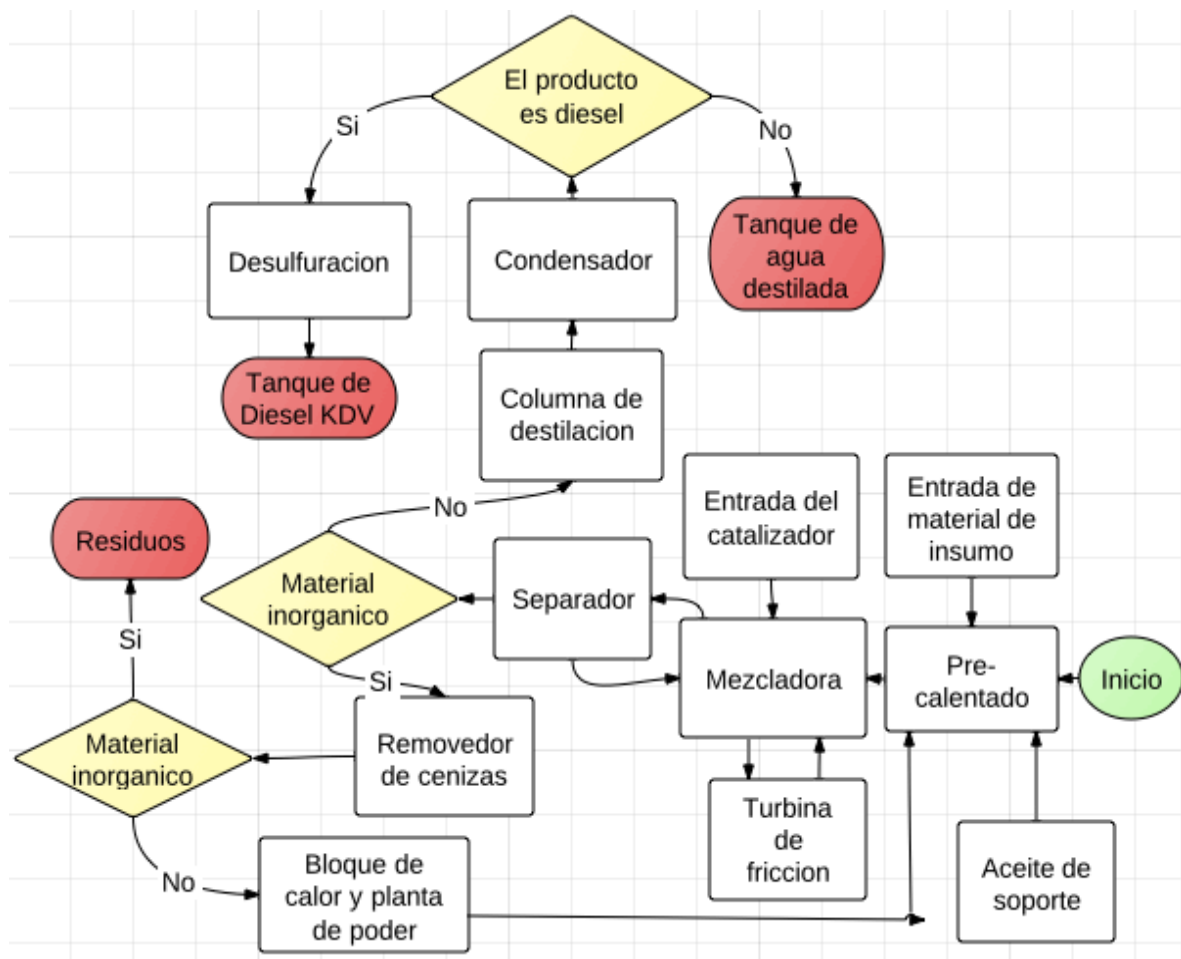
1. Planta de lodos. Este módulo es en donde se prepara la materia prima. La unidad se alimenta de los desechos sólidos municipales y su función es convertir los insumos sólidos en una especie de “lodo” antes de ser llevado al núcleo principal de la planta, donde el proceso KDV toma lugar. Cuenta con un contenedor para recibir el material de entrada, un contenedor con carga de catalizador y cal, en caso de que los insumos

contengan cloro o algún otro elemento que pudiera formar productos indeseados.

2. Módulo de núcleo principal. En esta unidad el lodo del módulo anterior es calentado con los reactores de la turbina. Los vapores de diesel resultantes son llevados a la principal columna de destilación y, luego, a los principales condensadores para producir diesel en forma líquida.
3. Planta de cenizas. Todos los restos inorgánicos provenientes de la materia prima son conducidos a esta unidad, donde los hidrocarburos restantes son removidos y el resto permanece en forma de cenizas.
4. Módulo "Genset". En este módulo se encuentra un set de generadores, llamado Genset, que produce la energía necesaria para llevar a cabo el proceso. También hay intercambiadores de calor que toman ventaja del calor de los gases de escape, el cual es usado para calentar los circuitos térmicos de aceite. El calor y el bloque central de energía se puede ejecutar con la producción propia del diesel sintético. Sin embargo, por razones de seguridad y de prevención, se debe tener una entrada de corriente que debe ser de 10 kW.
5. Módulo de desulfuración. Como se mencionó anteriormente, este módulo es opcional. Dependiendo de la materia prima, el diesel resultante puede tener un alto contenido de azufre. El módulo de desulfuración es, por lo tanto, usado para removerlo del diesel. Esto se debe a que en algunos países las regulaciones sobre los límites del contenido de azufre son muy estrictas para todos los combustibles utilizados en el transporte; así que esta unidad lo lleva a los niveles que son aceptados. La disposición de diesel se lleva a cabo en un tanque de diesel. Este depósito está conectado con el depósito de combustible de los clientes.

Antes de entender qué ocurre en la reacción, es importante conocer el proceso general que se debe llevar a cabo para transformar los desechos de materia a combustible diesel. La Figura 1, a continuación, muestra el diagrama de flujo del proceso en general.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso general de la planta KDV.



El flujo del proceso es como se describe a continuación:

1. El material de entrada se lleva sobre un sistema de dosificación automático en el precalentado.
2. Después de que los materiales se calientan en el sistema de precalentado, a 300°C, entran al mezclador.
3. El catalizador es introducido directamente en el mezclador.

4. Dentro del mezclador, los materiales de entrada se mezclan con el catalizador y el aceite de soporte.
5. La turbina, que se encuentra en conexión con el mezclador, es la base de la generación de calor a una temperatura relativamente baja. Ésta hace posible la reacción catalítica continua de los materiales sin necesidad de subproductos, como los gases combustibles y coque. Las moléculas de carbono del material de entrada se rompen por el efecto del catalizador, en un sistema de fluidos de circuito cerrado, que contiene entre 280°C a 340 °C la suspensión de aceite caliente.
6. El aceite de soporte y el catalizador permanecen en el ciclo del proceso. Aquí, el separador induce al catalizador a la conversión de los materiales de insumo en vapor de aceite sintético liviano.
7. En la columna de destilación, se lleva a cabo la separación del material térmico a través de un proceso de destilación fraccionada¹¹, con la cual se obtiene como producto final el diesel.
8. El vapor de aceite liviano que se condensa es capturado por el condensador. Éste llega como diesel sobre la planta de desulfuración al tanque del producto.
9. Los materiales que no se pudieron condensar en vapor de aceite liviano, llegan como ceniza para ser sacada.
10. El aceite contenido en la mezcla de materiales que no se pudo condensar es usado como fuente de energía en el bloque de calor y en la planta de energía. El exceso de aceite se bombea al precalentado para continuar con la producción de diesel en el mismo.
11. La eliminación del material que no fue convertido, así como el catalizador que fue utilizado, es hecha por la ceniza que se remueve en una forma

¹¹ Es un proceso físico utilizado para separar mezclas de líquidos mediante calor, y con un amplio intercambio calórico y másico entre vapores y líquidos. Es usado para separar compuestos de sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos. Consiste en varias evaporaciones y condensaciones a lo largo de una columna, en donde al final los líquidos con menor punto de ebullición se convierten en vapor y los vapores de sustancias con mayor punto de ebullición pasan al estado líquido (Wikipedia, 2011).

concentrada. Esto se hace a través de un transportador en espiral especial.

5. Proceso de reacción. Luego de entender el flujo del proceso que se lleva a cabo en la planta KDV, es esencial conocer cuál es el proceso de reacción para la transformación de la materia de insumo a diesel. Como se mencionó anteriormente, al inicio, la mezcla de los materiales de desecho junto con el catalizador entran en contacto con el sistema de transporte de la turbina. En este proceso de mezcla, toda la adsorción del catalizador por parte de los desechos usados como insumos, la reacción, la desorción de los productos formados por la reacción y la evaporación de los mismos, toma lugar en un ciclo de aproximadamente 3 minutos a 280°C, en la turbina de reacción.

Dentro del proceso se llevan a cabo dos reacciones primordiales:

1. Extracción de CO₂, la cual lleva a cero el contenido de oxígeno de los componentes orgánicos, produciendo un excedente de hidrógeno.
2. Despolimerización (rompimiento de las moléculas), la cual continúa hasta que las cadenas de la molécula son tan cortas que la temperatura de la reacción permite la evaporación (Alphakat, 2011).

Debido a estas dos reacciones es que sólo se generan hidrocarburos con una temperatura de evaporación cercana a los 280°C (gasóleo). Además del diesel, solo se producen tres materiales más. Estos son el CO₂, que es resultado de la reacción de extracción catalítica; agua, si hay algún residuo húmedo en los materiales de insumo o si el excedente de hidrógeno reacciona con el oxígeno, cuando se utilizan materiales orgánicos como insumo; y cenizas, si hay algún material inorgánico en los desechos de insumo (Alphakat, 2011).

Una de las tareas más importantes en la eliminación de los desechos es prevenir la formación de dioxinas como, por ejemplo, componentes aromáticos

que contengan ácidos, especialmente los halógenos. La tecnología KDV, a través de la combinación de catalizadores de cationes¹² con cal, asegura que los componentes ácidos, como insecticida, PVC, etc., que están ligados a los materiales de insumo, no puedan reaccionar con el gasóleo que se produce, puesto que los une como sales (cloruro de calcio y sal de cocina) (Alphakat, 2011).

La formación de dioxinas es en parte responsable de la deterioración cancerígena que hay en el medio ambiente. Su valor crítico es de 0.0000000001, el cual debe mantenerse lo más bajo posible, puesto que los halógenos aromáticos son altamente tóxicos. En el caso de la tecnología KDV, esto no es una preocupación, ya que los halógenos contenidos en las sales de cocina no son tóxicos. Esto quiere decir que, mediante esta tecnología, no se producen desechos cancerígenos tóxicos y el material resultante puede ser usado directamente como combustible. Además, gracias a las sustancias minerales de aceite que contiene, se compara con el diesel proveniente del petróleo.

Las plantas que existen en funcionamiento con la tecnología KDV han mostrado, entre otros, los siguientes resultados (Alphakat, 2011):

- La temperatura de reacción en el punto más caliente dentro de la turbina de reacción fue de 282°C, sin ninguna entrada adicional de energía en forma de calor, energía de microondas o llamas.
- Se obtuvo diesel con un grado de desulfuración alrededor de 90%, comparado con el porcentaje de azufre en el material de entrada.
- Se obtuvo un producto final con un valor calorífico¹³ de 12,000 kcal/kg.

¹² Un catión es un ión con carga eléctrica positiva. Es decir, aquel átomo que ha perdido electrones o ha ganado protones, que junto con los aniones (carga negativa) forman sales (Canalda, J., 1999).

¹³ Expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre el combustible y la sustancia que permite su combustión. Es la cantidad de calor

- La viscosidad, densidad, contenido de agua y contenido residual de materia en el diesel final, se encontró dentro de las tolerancias especificadas en EN 590¹⁴.
- Hubo un 89% de rendimiento de los hidrocarburos introducidos dentro del proceso en el producto final.

Con esta tecnología se logran condensar todos los materiales de entrada posibles, para formar diesel y agua, de modo que no se producen gases combustibles ni otros subproductos. Los gases no condensables y el CO₂ que se genera, son conducidos a un filtro generador de aire para su reciclaje. Además, debido a que la planta no tiene ninguna chimenea o incinerador, las regulaciones de protección para la contaminación no aplican a este proceso. Éstas sólo restringen a los materiales de entrada y al almacenamiento del producto final.

6. Hidrogenación de baja temperatura y sin presión. La hidrogenación¹⁵ y gasificación¹⁶ compiten en la producción de diesel desde hace mucho tiempo atrás. A pesar de la alta eficiencia de la hidrogenación, la gasificación ha sido más usada que ésta. Esto es debido a la alta presión, de más de 90 bares, del proceso de hidrogenación con gas hidrógeno y catalizador níquel. No obstante,

que entrega un kilogramo de combustible al oxidarse completamente (Red Proteger, 2011).

¹⁴ Norma que describe las propiedades físicas que todos los combustibles fósiles deben tener si se desean vender en la Unión Europea, República Checa, Islandia, Noruega o Suiza (Matthews, W.; O'Connor, D. 2006)

¹⁵ Tipo de reacción química cuyo resultado final visible es la adición de hidrógeno (H₂) a otro compuesto. Un ejemplo típico es la adición de hidrógeno en dobles enlaces, convirtiendo alquenos en alcanos. La mayoría de hidrogenaciones son producidas mediante la adición directa de H₂ bajo presión y en la presencia de un catalizador (QuimiNet, 2006).

¹⁶ Proceso de combustión incompleta del que se obtiene como producto principal un gas combustible. El oxidante utilizado juega un papel importante en la composición del gas generado: en el caso del aire se genera el llamado gas pobre, por su bajo poder calorífico, como consecuencia del alto contenido en nitrógeno; mientras que en el caso del oxígeno o vapor de agua, se da lugar al llamado gas de síntesis que tiene un poder calórico mayor. Uno de los problemas de este proceso es la emisión de gases al ambiente (Lesme, R.)

después de que la gasificación mostró varios problemas con partículas adherentes, dioxinas y furanos, la competencia con los procesos de hidrogenación han tenido auge nuevamente (Alphakat, 2011).

a. Nuevos avances en hidrogenación. Después de mucha investigación y experimentación, los desarrolladores del proceso KDV han descubierto una nueva forma de hidrogenación. Al sustituir el gas hidrógeno de la reacción con biomasa, la presión de la reacción se puede reducir de 90 bares a menos de la presión normal. Cuando se realiza este proceso, ya no es necesario utilizar níquel como catalizador, lo cual se suele hacer, sino que los minerales de dicha biomasa, que están en forma de cationes aluminosilicatos (minerales que contienen óxido de aluminio y cuarzo), pueden actuar como tal. Asimismo, la temperatura de la reacción cae por debajo de los 300°C (Alphakat, 2011).

Respecto a la energía de entrada para llevar a cabo la reacción, ésta no proviene de alguna fuente externa. La reacción toma lugar sólo por fricción, calentándose en una cámara de mezcla, a la cual se le conoce como turbina de fricción. La tecnología KDV es la primera en utilizar este suave sistema de hidrogenación (Alphakat, 2011).

Con la utilización de la energía de entrada formada en la turbina de fricción y con el catalizador en el medio de circulación del sistema, en forma de cationes aluminosilicatos, la biomasa es destruida en una molécula de combustible de 4 o 6 hidrógenos. Dicha molécula hidrogena el material de insumo con presión normal o más baja presión, y sustituye el catalizador en la masa de reacción con hidrógeno, para lograr alcanzar esa temperatura tan baja de menos de 300°C (Alphakat, 2011).

La eficiencia de la biomasa, a la hora de mezclarse con otros hidrocarburos, está en que logra hidrogenar el aceite y el plástico para volverlos alcanos.

Asimismo, en que sustituye al catalizador, llevando a cabo la extracción de CO₂ y la despolimerización de los insumos, para hacer que el producto sea evaporable. Esto quiere decir que el diesel químico que es producido ya no permanece cubierto de catalizador y se puede evaporar en la línea de producción (Alphakat, 2011).

b. El catalizador y su uso en la reacción. El catalizador, que permite llevar a cabo esta reacción, es obtenido por los creadores de esta tecnología de las siguientes formas (Alphakat, 2011):

- A partir de iones silicato de sodio-aluminio, de donde se produce el catión-aluminio-silicato; o
- Utilizando una mezcla de biomasa y cal, en donde parte de las cenizas de su mezcla lo constituyen.

Después de añadir el catalizador al proceso, se llega a un sistema catalítico en el que sus moléculas se encuentran finamente suspendidas en el medio de circulación del aceite, y se dirigen al insumo de hidrocarburos para hacer la extracción de CO₂ y la despolimerización. Este sistema es apoyado por la alta fricción, en la turbina de fricción, la cual ayuda al calentamiento y a la reacción para que el producto sea de alta calidad y saturado de hidrocarburos (Alphakat, 2011).

Esta innovación lleva a la producción de combustibles en una dirección de hidrogenación catalítica económica con biomasa, utilizando sus minerales como catalizador. Al comparar los procesos mas antiguos que utilizan catalizadores hidrogenados de níquel, con 90 bares de presión y alta temperatura calentada por una fuente externa, se puede inferir que este proceso de baja presión, que utiliza biomasa como portador de hidrógeno y genera calor con una turbina de fricción, es mucho más económico. El proceso KDV puede ser aplicado en la producción de combustible, puesto que es económicamente más accesible que

otros procesos de hidrogenación, es completamente amigable con el ambiente, altamente eficiente como se verá más adelante y los materiales dañinos como flúor, cloro y moléculas de metales son absorbidas por la cal y el catalizador.

7. Eficiencia. La naturaleza se encarga de limpiar los materiales orgánicos muertos, produciendo petróleo crudo, a través de un proceso catalítico con el que la Tierra logra reducir el contenido de CO₂ de 200,000 ppm a aproximadamente 250 ppm. La tecnología KDV imita el proceso de la naturaleza y logra una eficiencia alrededor de 80-90% del contenido de hidrocarburos que se encuentra en los materiales de desechos sólidos municipales (Alphakat, 2011).

Con este proceso, la eficiencia que se tiene en el aprovechamiento de los materiales se combina con una eficiencia en la protección ambiental, puesto que los desechos con un bajo valor calorífico y altamente contaminantes, se convierten en un combustible de alto valor calorífico y baja contaminación. Además, la utilización en la planta de alrededor del 10% del combustible diesel producido, se hace de forma responsable con el ambiente, a través de una combustión catalítica que no lo daña (Alphakat, 2011).

La planta KDV sobre la que se está realizando el estudio es la KDV 2000, tal como se mencionó anteriormente. Ésta tiene la capacidad de producir 16,000,000 litros/año de diesel. Esto es considerando 8,000 horas de producción al año, puesto que así lo tiene estipulado la compañía; lo cual significa que la capacidad de la planta es de 2,000 litros/hora.

Para determinar la cantidad de desechos sólidos municipales de la ciudad de Guatemala que la planta requiere, para producir la totalidad de litros de la que es capaz, se estimó la cantidad de energía asociada a estos, según la composición que se mostró en la Gráfica 14 y el porcentaje de humedad que en promedio es de 60% (Monreal, J., 2001). El Cuadro 11, a continuación, muestra los

porcentajes típicos de humedad relacionados con cada uno de los componentes de los desechos, así como su valor calorífico promedio en peso seco. Entiéndase que, al decir “en peso seco”, se refiere a la energía que desprende el material cuando a éste ya se le ha extraído toda el agua posible, a través de un calentamiento.

Cuadro 11. Contenido típico de humedad y valor calorífico promedio en peso seco de cada componente de los desechos sólidos municipales.

Componentes de los desechos sólidos municipales	Contenido típico promedio de humedad	Valor calorífico promedio en peso seco (BTU ¹⁷ /lb)
Materia orgánica	70%	2000
Papel y cartón	6%	7200
Plástico	4%	14000
Textil	10%	7500
Vidrio	3%	60
Tierra y recorte de jardín	60%	2800
Metal	2%	300
Madera	60%	8000
Cuero, hule, otros.	6%	8800

(Fuente: Reinhart, 2004)

Como se puede observar en el Cuadro 11, los porcentajes de humedad mostrados son los que en promedio suelen tener cada uno de los componentes. En el Cuadro 12, a continuación, se observa la columna “razón de conversión a materia seca”, la cual se refiere a la proporción de materia seca remanente después de eliminar la humedad de cada componente, según los porcentajes promedios.

¹⁷ “British Termal Unit”; cantidad de calor necesario que hay que sustraer a 1 libra de agua para elevar su temperatura 1°F (QuimiNet, 2011).

Cuadro 12. Porcentaje de materia prima seca según la razón de conversión a materia seca.

Componente	Porcentaje de materia prima	Razón de conversión a materia seca	Porcentaje de materia prima seca
Materia orgánica	63.00%	0.300	18.90%
Papel y cartón	14.00%	0.945	13.23%
Plástico	8.20%	0.956	7.84%
Textil	3.60%	0.900	3.24%
Vidrio	3.20%	0.975	3.12%
Tierra y recorte de jardín	3.00%	0.400	1.20%
Metal	1.80%	0.982	1.77%
Madera	2.20%	0.400	0.88%
Cuero, hule, otros.	1.00%	0.940	0.94%
TOTAL	100%		51.12%

Como se puede observar en el Cuadro 12, después de secos los materiales, el porcentaje remanente es de 51.12%. Lo cual quiere decir que, por ejemplo, si se utiliza una libra de desechos con esa composición, después de eliminar un 48.88% de humedad, sólo quedará 0.5112 libras de desechos sólidos secos, de los cuales se puede obtener energía.

Como en la ciudad de Guatemala se estima que los desechos sólidos municipales tienen un 60% de humedad, el cual es uno de los porcentajes más elevados en cuanto a la humedad promedio de los desechos sólidos en general, se debe hacer un ajuste a los porcentajes promedio de humedad de cada componente. Esto se muestra en el Cuadro 13, en donde, para obtener el “contenido de humedad”, se realizaron reglas de tres; utilizando como parámetros el contenido típico promedio de humedad de cada componente y una humedad general de los desechos de 48.88%, que se mencionó anteriormente. Así, por ejemplo, si para la materia orgánica se tenía una humedad típica de 70% y un contenido general de humedad de 48.88%; entonces para un contenido general de humedad de 60%, el valor correspondiente del componente es 86%. De igual forma se calculó el resto.

Cuadro 13. Valor calorífico de los desechos sólidos municipales secos, con una humedad promedio inicial de 60%.

Componente	Contenido de humedad	Razón de conversión a materia seca	Materia prima seca	Razón de materia prima seca útil	% de materia prima seca útil	BTU/lb de materia prima seca
Materia orgánica	86%	0.14	9%	0.09	27%	531
Papel y cartón	7%	0.93	13%	0.13	39%	2,813
Plástico	5%	0.95	8%	0.08	23%	3,250
Textil	12%	0.88	3%	0.03	9%	709
Vidrio	3%	0.97	3%	-	-	-
Tierra y recorte de jardín	74%	0.26	1%	-	-	-
Metal	2%	0.98	2%	-	-	-
Madera	74%	0.26	1%	0.01	2%	139
Cuero, hule, otros.	7%	0.93	1%	-	-	-
TOTAL			40%	0.33	100%	7,441

Como se puede observar en el Cuadro 13, el porcentaje total de la materia prima seca es de 40%, comparado con el 100% de materia prima que se mostró en la segunda columna del Cuadro 12. Esta diferencia es debida a la pérdida de humedad al calentar la materia de insumo. Asimismo, se puede ver una columna de “razón de materia prima seca útil”, que se refiere a la proporción de los desechos sólidos municipales que serán empleados en el proceso, que deben de separarse en la planta de pretratamiento, y luego calentarse. Esto quiere decir que, a pesar de que se muestra el porcentaje de materia prima seca total, sólo se deberán calentar y usar los materiales mencionados como útiles; sin embargo, se quería exponer que, de calentar todos los desperdicios, la diferencia total de materia sería igual al porcentaje promedio de humedad de los desechos.

Finalmente, la columna del valor calorífico de la materia prima útil seca se obtuvo del producto entre el porcentaje de materia prima útil seca y el valor calorífico promedio en peso seco, que se mostró en el Cuadro 8. La última

casilla de esta columna se refiere al valor calorífico total, que en promedio se podría obtener de una libra de los materiales útiles secos, adquiridos de los desechos sólidos municipales. Este valor se muestra en el Cuadro 14, a continuación, así como su conversión a BTU/ton, que será utilizada para realizar los cálculos del Cuadro 16.

Cuadro 14. Valor calorífico de los desechos sólidos municipales.

	BTU/lb	lb/ton	BTU/ton
Desechos sólidos municipales	7,441	2,205	16,407,486.86

En el Cuadro 15 se muestra el valor calorífico promedio teórico del combustible diesel, en BTU/galón, el cual servirá también para siguientes cálculos.

Cuadro 15. Valor calorífico promedio teórico del combustible diesel.

	BTU/gal
Combustible Diesel	132,000

(Fuente: Alphakat, 2011)

Utilizando los valores mostrados en los cuadros 14 y 15, y con una eficiencia del proceso del 80% se obtuvo la primera fila de datos del Cuadro 16, a partir de la cual se derivan las siguientes filas.

Cuadro 16. Cantidad necesaria de desechos sólidos secos y diesel producido.

Desechos sólidos municipales secos útiles	BTU/ton	% de eficiencia	BTU de combustible	Galones de diesel	Litros de diesel
1 ton	16,407,486.86	80%	13,125,989.49	99	376
5.3 ton/h				528	2,000
128 ton/día				12,680	48,000

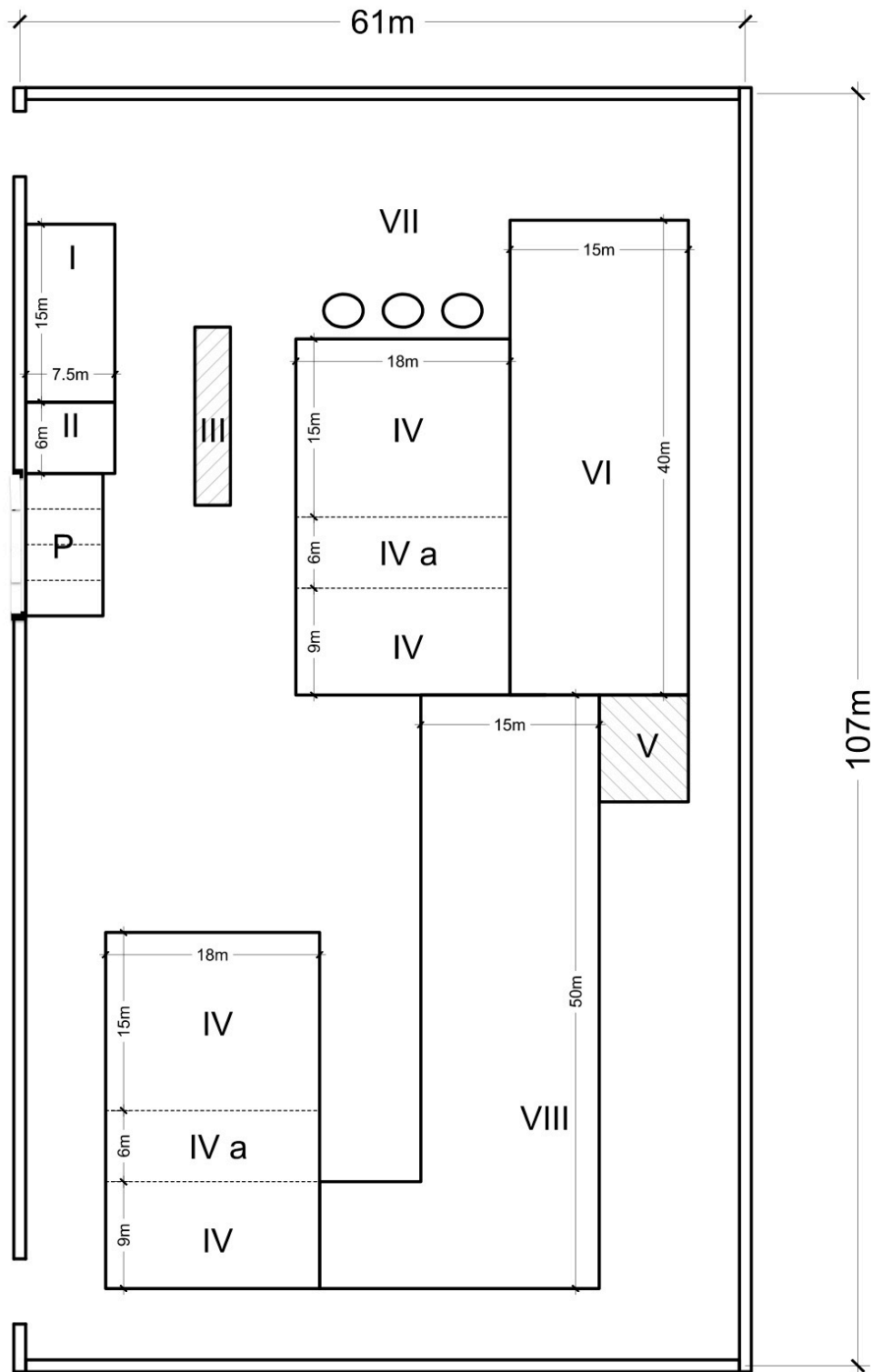
Como se puede observar en el Cuadro 16, según los cálculos anteriores, con una tonelada de desechos sólidos municipales secos útiles se pueden producir

alrededor de 376 litros de combustible diesel. Tal como se mencionó anteriormente, la capacidad de la planta KDV es de 2000 litros de diesel por hora, por lo que para determinar la cantidad de desechos secos útiles requeridos, de forma en que se lleve a cabo la producción máxima, se hizo una regla de tres. Así, se definió que cada hora se requieren aproximadamente 5.3 toneladas de estos y en 24 horas, 128 toneladas. Por lo tanto, considerando que sólo alrededor del 91% de los desechos sólidos municipales son útiles, y que de estos, el 60% es humedad que se debe secar, se deben adquirir cerca de 350 toneladas diarias de desechos sólidos municipales, para conseguir las 128 toneladas secas útiles.

Comparando estos datos con la información mencionada sobre la cantidad de desechos sólidos generados diariamente en la ciudad, 1,369 toneladas, se puede ver que se tiene una alta capacidad de producción, en cuanto a disponibilidad de insumos. Incluso se podría pensar en colocar otra planta o ver la forma de colocar más líneas de producción dentro de la misma, ya que, no obstante esto aumentaría los costos de inversión, al producir a escala se disminuirían los costos de producción, y se sacaría provecho de una mayor cantidad de desechos. Además, como se mencionó, se supone que un 29% de los desechos sólidos de la ciudad son reciclables, pero no toda esta cantidad está siendo reciclada, por lo que sería otra forma de hacer uso de los mismos.

8. Terreno. La Figura 2, a continuación, muestra una sugerencia de cómo podría llevarse a cabo el diseño de la planta. Con base en este diseño, se definió un tamaño aproximado de las dimensiones requeridas del terreno.

Figura 2. Sugerencia de diseño para planta KDV 2000.



(FUENTE: SOSTIERRA S.A.C., 2011)

Las áreas numeradas que se muestran en la Figura 2, corresponden a los siguientes espacios:

- I. Oficinas y espacio común
- II. Laboratorio
- III. Pesas y medidores
- IV. Depósitos de almacenaje, bajo un techo corredizo
- IV. a. Transportador y dosificador de materiales de insumo
- V. Plataforma para contenedores de residuos
- VI. Centro KDV 2000: 600m²
- VII. Tanques: 240m³
- VIII. Planta de pretratamiento
- P. Lugar de estacionamiento de vehículos

En base a este diseño, se definió que se requiere un terreno con un tamaño aproximado de 6,600m² para tener un espacio suficiente por cualquier inconveniente o modificación. Éste se cotizó en el kilómetro 17 de la ruta al atlántico. El valor total de su costo se muestra en el Cuadro 17, a continuación.

Cuadro 17. Costo de adquisición del terreno para el proyecto.

TERRENO	
Tamaño del terreno	6,600m ²
Costo del metro cuadrado	\$19.5
COSTO TOTAL	\$128,700.00

(FUENTE: Empresa DIMASA, 2011)

9. Beneficios generales de la implementación de la tecnología. Los materiales de insumo que pueden ser utilizados en este proceso son de diversa índole, permitiendo mucha flexibilidad. Los desechos sólidos municipales son desperdicios que actualmente no están siendo del todo aprovechados, por lo que el costo de conseguirlos es bajo.

La implementación de la tecnología KDV puede llevar, entre algunos otros, a los siguientes beneficios generales (Alphakat, 2011):

- Creación de puestos de trabajo para ingenieros industriales, químicos y mecánicos, así como para operarios que manejen la planta.
- Significante reducción en las emisiones de CO₂ para contribuir a la preservación del ambiente.
- Producción de combustible a través de la regeneración de materia prima, con mayor eficiencia y creando prácticamente ninguna sustancia residual que sea dañina para el ambiente.
- Reducción sustancial de las importaciones de diesel en el país, a través de la utilización de recursos no aprovechados y liberando la energía atrapada en los desechos.
- Independencia de las políticas internacionales de petróleo a través del uso de recursos locales.

10. Medidas de seguridad. La construcción de la planta tiene un diseño cerrado que permite tener control sobre las emisiones gaseosas. Las únicas emisiones de la planta son los gases de escape del bloque de la planta de calor y potencia, incluyendo el motor de diesel, que produce agua caliente y calor para el sistema, así como el calor de los desechos que es utilizado en la planta. Además, al núcleo de la unidad KDV se le construye una cacerola de retención de aceite de hormigón y se cubre con una capa a prueba de aceite (Alphakat, 2011).

A pesar de que la planta está diseñada para ser segura, ciertos requerimientos adicionales deben de ser tomados en cuenta. El requisito de tener la planta KDV sellada es asegurado por una presión marginalmente negativa que se encuentra conectada con una válvula de seguridad de desconexión (Alphakat, 2011).

Todas las técnicas de preparación de la materia y del producto final, están controladas y monitoreadas con sensores, dispositivos de medición y actuadores¹⁸. El control es completamente automático. Los operadores pueden seguir el proceso desde un plataforma central a través de las cámaras y estar pendientes por las advertencias visuales y acústicas, en caso de peligro. Toda la ingeniería y la construcción de los equipos de preparación coincide con la cantidad de normas técnicas válidas en la Unión Europea y en Estados Unidos.

A diferencia de otros procedimientos, no existe peligro de aparición de gases tóxicos como dioxinas o furanos. Los catalizadores intercambiadores de iones unen los halógenos como sales, por debajo de la temperatura gaseosa, de modo que estos materiales no puedan formar dioxinas, al no convertirse en estado gaseoso. Asimismo, los priones¹⁹ de la materia orgánica son unidos por el catalizador, justo como los metales, reduciendo el riesgo de contaminación (Alphakat, 2011).

La baja presión del sistema es mantenida con unas bombas de vacío especiales, las cuales succionan los gases sintetizados en el proceso KDV. Estos gases consumibles son dirigidos al ducto de suministro de aire del generador de diesel. En este generador, estos gases son reciclados en una poscombustión térmica. De esta forma, la operación asegura que ninguna emisión dañina pueda contaminar el ambiente, siendo las únicas emisiones del proceso las que se producen del generador de diesel (Alphakat, 2011).

¹⁸ Son dispositivos capaces de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Estos reciben la orden de un regulador o controlador y en función a ella generan la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula (Wikipedia, 2011).

¹⁹ Los priones son agentes proteicos causantes de un grupo de patologías neurodegenerativas letales, que son características en mamíferos (Gasset, M.; Westway, D.).

El proceso de reacción toma lugar en una emulsión²⁰ que consiste de aceite y el catalizador. Las condiciones del líquido y de los circuitos deben de ser supervisados constantemente, por si en dado caso los niveles bajan o si llega a ocurrir algún problema con las bombas o las turbinas, la planta pueda ser apagada inmediatamente como medida de seguridad (Alphakat, 2011).

Para que el proceso de detener la planta y el enfriamiento de la misma ocurran de forma rápida, se debe de apagar el suministro de energía. Cuando el bloque de la planta de calor y potencia se apaga, la planta es automáticamente acondicionada con aceite, previniendo cualquier tipo de bloqueo que pudiera ocurrir si algún plástico muy frío se encontrara dentro del circuito. Asimismo, cualquier apagado de emergencia inicia una alarma en el centro de servicio central, en donde simultáneamente se generan registros (Alphakat, 2011).

La planta se puede reiniciar una vez que se resuelve el problema. Los errores de control y las perturbaciones que puedan ocurrir debido a los procedimientos de reparación inadecuada, minimizan la protección de los componentes de la planta. El reinicio de la planta tarda aproximadamente 45 minutos y es ejecutado de acuerdo a ciertos procedimientos predeterminados, de modo que se minimicen futuros errores de secuencia. Los sensores de medición están dispuestos en una configuración redundante. Al menos dos valores medidos deben correlacionarse en todo momento, puesto que de lo contrario, automáticamente se inicia una situación de emergencia (Alphakat, 2011).

El proceso KDV es sin o con muy baja presión y funciona a bajas temperaturas, por lo que ni el diesel ni otros subproductos del proceso están clasificados como sustancias dañinas. Dado que el proceso KDV es inocuo y fácil de mantener, no requiere un gran número de técnicos especializados y, por

²⁰ Es un sistema de dos fases que consta de dos líquidos parcialmente miscibles, uno de los cuales es dispersado en el otro en forma de glóbulos (Textos Científicos, 2011).

lo tanto, se puede implementar incluso en regiones remotas. Cuando la planta se instala en un lugar remoto, puede ser equipada con los últimos dispositivos de comunicación por satélite para facilitar la supervisión directa en cualquier momento y desde cualquier lugar (Alphakat, 2011).

El proceso KDV separa las sustancias inorgánicas, tales como impurezas metálicas, de la materia prima. Los catalizadores se encargan de absorber dichas sustancias gracias a su estructura cristalina. Éstas se aglomeran en conjunto, pudiendo ser removidas del proceso de forma segura. La ingeniería KDV asegura que los compuestos metálicos preprocesados en los materiales de entrada, se fijen durante la licuefacción²¹. Debido a que el diesel, como producto final, se forma luego durante la fase de evaporación, éste se encuentra libre de sustancias dañinas. Como resultado, todos los metales y otras sustancias inorgánicas son eliminadas de forma controlada; y utilizando la electrólisis²², como una característica de posprocesamiento, estos pueden ser recuperados, creando una fuente de ingreso adicional (Alphakat, 2011).

Debido a que la materia prima se agita en el aceite de reacción a temperaturas superiores a 300 °C, ningún prion ni otras moléculas proteicas pueden reaccionar con el diesel KDV sin descomponerse. Además, no hay descargas o chispas tales como las asociadas a los procesos de combustión (Alphakat, 2011).

11. Documentos de permiso y puesta en marcha de la planta. El fabricante de la tecnología proporciona la documentación necesaria para apoyar todas las peticiones que puedan ser realizadas al operador de la planta, por parte de las autoridades, respecto a regulaciones de construcción, protección contra incendios, prevención de explosiones y seguridad, y protección de la

²¹ Cambio de una sustancia de estado sólido o gaseoso a líquido (Seguel, R.; Silva, F., 2011).

²² Procedimiento de descomposición de los elementos que forman un compuesto mediante la aplicación de una corriente eléctrica (Construmática, 2011).

salud. Normalmente, no hay requisitos referentes a la prevención de contaminación, puesto que no se libera ningún gas al medio ambiente (Alphakat, 2011).

La compañía encargada de la tecnología entrega la planta completa bajo la base de "llave en mano" y se compromete a erigir la planta en alrededor de 18 semanas, después de que los primeros componentes se encuentren en el sitio donde se llevará a cabo el proyecto. Además, se tiene la ventaja de que la empresa consta con tres equipos de trabajo: equipo de construcción, que instala las unidades principales; equipo de tuberías, que se encarga de las conexiones entre módulos; y equipos especiales, que tienen a su cargo lo eléctrico, electrónico y el aislamiento. Asimismo, toda su tecnología está protegida por patentes (Alphakat, 2011).

Inmediatamente después de la finalización de la construcción de la planta, ésta se opera conjuntamente con el vendedor en un período de 48 horas, para hacer una demostración de su funcionamiento, así como de la usabilidad del producto terminado en los motores diesel. El resultado de la demostración de la planta KDV se documenta y firma por ambas partes, para determinar si se ha realizado correctamente, de acuerdo con el contrato de venta de las garantías de rendimiento. De funcionar correctamente, quien está adquiriendo la planta no puede negar la toma de su posesión (Alphakat, 2011).

Al finalizar la prueba, junto con el vendedor se completa una lista de revisión de los defectos de calidad que se encuentren. Después de esto, se define un cierto período de tiempo para volver a revisar y verificar que hayan rectificado con éxito todos los defectos. La puesta en marcha de la planta se llevará a cabo cuando se entregue el reporte final por parte de los vendedores (Alphakat, 2011).

Después de la instalación del equipo, el vendedor garantiza una amplia formación para todos los trabajadores del adquirente de la planta. La

capacitación se lleva a cabo en un período aproximado de 10 días hábiles hasta que, de forma independiente, ellos puedan operar y mantener la planta en forma segura. El número de participantes está limitado a seis personas. Cada participante recibe un certificado de formación, documentación y manuales de instrucciones después de la finalización exitosa del curso. Esta es la autorización para el funcionamiento de la planta de manera independiente (Alphakat, 2011).

El servicio de la planta, durante los dos primeros años después de la inspección final, está incluida en el precio de adquisición de la misma. Sin embargo, cualquier desgaste o deterioro del equipo después de este período de tiempo, no se sustituyen de forma gratuita (Alphakat, 2011).

Como se mencionó anteriormente, la planta KDV trabaja 8000 horas al año. No es necesario parar la planta para limpiar el sistema. El programa de mantenimiento se lleva a cabo a diario por dos empleados con experiencia. No obstante, se reserva dos semanas completas para el mantenimiento general de la planta durante el año (Alphakat, 2011).

12. Ventajas de la tecnología KDV frente al etanol y biodiesel. Para conocer las ventajas que muestra la tecnología KDV frente a otras alternativas como el biodiesel o el etanol, es importante tener claro qué son estos. El biodiesel es un biocombustible líquido que es producido a partir de grasas animales y de aceites vegetales, siendo el girasol, la soja y la colza las materias primas que más se utilizan para su producción (Miliarium, 2004). El etanol o alcohol etílico, por su parte, es un compuesto líquido, volátil e inflamable que se produce a partir de tres principales materias primas: sacarosas, almidones y celulosa. Se utiliza como combustible, ya sea para mezclar o reemplazar los productos petroleros y sus derivados (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2003).

Comparando la producción de diesel mediante el proceso KDV, con la de biodiesel y etanol, se tiene, en primer lugar, que con esta nueva tecnología se maximiza la utilización de la tierra. Esto es porque, se produce diesel con 4 y 5 veces el rendimiento neto de energía por acre de etanol y biodiesel, respectivamente. En segundo lugar, el proceso KDV es más económico; éste tiene una ventaja de 42% en el costo por BTU sobre el etanol, y de 51% en el costo por BTU sobre el biodiesel (Tiedemann, K.; Lummerich, A., 2010).

En el caso de la tecnología KDV, no existe el problema de tomar una decisión sobre usar las materias primas como alimentos o como combustibles, como ocurre con los otros dos componentes. Además, las materias primas para producir diesel con esta tecnología son muy variadas, incluyendo desechos sólidos municipales, de agricultura, petroleros, etc.

Asimismo, esta tecnología emplea catalizadores para llevar a cabo la reacción. Estos han comprobado ser la forma más efectiva de producir combustibles y han sido más exitosos que los métodos de fermentación, utilizados por los procesos de producción de biodiesel y etanol. Además, el diesel obtenido del proceso KDV tiene casi inmediata aceptación del mercado, puesto que es universalmente utilizable, al ser compatible con motores, tuberías y bombas de combustible ya existentes; mientras que algunas veces para usar biodiesel se deben de cambiar las mangueras, empaques y algunos otros componentes (Alphakat, 2011).

13. Calidad del diesel producido mediante la tecnología KDV. El diesel producido mediante esta tecnología cumple con la norma Europea DIN E590 de combustibles automovilísticos, una vez que su producto ha sido desulfurado. En el caso de Guatemala, la ley se rige por los estándares ASTM para combustible diesel, los cuales se muestran en los anexos A. Las principales propiedades del diesel producido son:

Cuadro 18. Propiedades principales del diesel producido con la tecnología KDV.

PROPIEDAD	VALOR EXPERIMENTAL	VALOR ASTM
Índice de Cetano ²³	59	45 mínimo
Densidad a 15°C	0.830 Kg/m ³	-
Viscosidad a 40°C	3.2 mm ² /s	1.9-4.1 mm ² /s
Contenido de azufre	Depende de la materia prima, pero se cuenta con un módulo de desulfuración	0.5 máximo
Punto de inflamación	57°C	52 °C mínimo
Lubricidad	255	-

(Fuente: COGUANOR; CONACYT; MIFIC; SIC; MEIC, 2011)

Como se puede observar en el Cuadro 18, los valores experimentales de las propiedades del diesel producido a través del proceso KDV sí cumplen o están dentro de las especificaciones de calidad que se requieren en Guatemala. En cuanto al contenido de azufre, que depende de la materia prima, se recalca que uno de los módulos de la planta es el de desulfuración, con el cual se pueden alcanzar los niveles de azufre deseados.

El contenido de azufre es importante, ya que altas cantidades del mismo pueden generar problemas respiratorios y cardiovasculares en las personas, e incluso llegar a causar la muerte. Asimismo, un diesel con bajo contenido de azufre ofrece beneficios para los motores. Esto es porque, durante la combustión, los óxidos de azufre que se generan pueden reaccionar con vapor de agua para generar sulfuros y ácido sulfúrico, los cuales pueden corroer el material de los motores.

²³ El índice de cetano mide la calidad de ignición del diesel. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida, seguida de un quemado uniforme y completo. (Leiva, M.; Rodríguez, N., 2011)

En cuanto al cetano, mientras más alto sean los valores correspondientes de los combustibles, estos arden con mayor facilidad. Para este diesel, el valor es bastante alto. En este caso, el combustible empieza a arder espontáneamente luego de que es inyectado en la cámara de combustión de un motor y, después, se quema suavemente dejando muy poco o ningún resto de combustible sin quemar. Por lo que deja un motor más limpio, causa menos estrés dentro de éste, hace más económico el combustible y reduce las emisiones.

VI. IMPLICACIONES LEGALES E IMPOSITIVAS

A. Ley de comercialización de hidrocarburos

Si se desea producir diesel en Guatemala para su posterior venta dentro del territorio nacional, una de las leyes a considerar es la “Ley de Comercialización de Hidrocarburos”. En su artículo 44 establece que los lineamientos de calidad del diesel serán dictaminados por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, los cuales son los que se muestran en los anexos A. Uno de los aspectos que se recalca en dicho artículo es el contenido de azufre que debe contener el combustible, para lo cual se tiene la ventaja que esta tecnología tiene un módulo de desulfuración.

En cuanto a la inspección, el artículo 7 de esta ley, dictamina que los que efectúen actividades de refinación, transformación o comercialización de productos petroleros, están obligados a permitir que inspectores o asesores autorizados por el Ministerio de Energía y Minas, tengan libre acceso para inspeccionar las instalaciones, equipos e información de la producción que se tenga. Asimismo, en su artículo 15, establece que la solicitud de la licencia de refinación o transformación de productos petroleros se debe tramitar ante la Dirección de Hidrocarburos, proporcionando toda la documentación que requieran, así como documentación técnica de las instalaciones. También, en el artículo 16, contempla que el propietario de la licencia debe cumplir con las especificaciones de calidad, proporcionar a los inspectores las muestras de producto necesarias para su revisión, y que debe de cumplir las normas y sistemas de seguridad industrial y ambiental. Además, en el caso de llevar a cabo la instalación de la planta que se está estudiando, se debe tramitar una licencia para construir y modificar la planta, así como para almacenar temporalmente el producto; esto según el artículo 29.

En el artículo 53, se menciona la obligatoriedad de contar con seguros por daños causados a personas, al medio ambiente y a bienes materiales, por los montos y peculiaridades de los potenciales riesgos a los que están expuestos. La ventaja es que con este sistema no se tienen emisiones en el medio ambiente y, además, como se mostró con anterioridad, la planta cuenta con diversos dispositivos de seguridad para evitar los posibles accidentes que pudieran ocurrir y minimizar los riesgos.

En cuanto a su comercialización, son libres de participar en actividades de refinería, transformación y de la cadena de comercialización todos aquellos que cumplan con la ley y su reglamento, según lo establece el artículo 4. Además, según el artículo 5, estas personas o entidades, podrán establecer libre e individualmente los precios de los productos y servicios que presten, los cuales deben ser un reflejo de las condiciones del mercado nacional e internacional.

B. Ley de impuesto a la distribución de petróleo crudo y combustibles derivados del petróleo

En Guatemala, la ley que regula la distribución del diesel es la “Ley de impuesto a la distribución de petróleo crudo y combustibles derivados del petróleo”. En el artículo 1 deja claro que se establecerá un impuesto sobre los derivados del petróleo, tanto a los que se importan como a lo que se producen nacionalmente y que se distribuyan dentro del país. Se genera el impuesto ya sea por la distribución, uso o consumo del producto.

El artículo 8 establece que son contribuyentes y agentes retenedores aquellos que refinan, transformen, procesen o distribuyan productos petroleros y que estén legalmente autorizados para operar en el país; ya sea si comercializa con un importador, mayorista, transportador, o lo almacena o usa para consumo propio. Estas personas o entidades deben registrarse como contribuyentes y agentes retenedores del impuesto ante la Dirección General de Rentas Internas,

emitir factura o documento equivalente por los despachos de combustible, recaudar el impuesto cuando realicen actos gravados y enterar a las cajas fiscales; esto según el artículo 9.

El artículo 12 establece que la base imponible o base de cálculo se fija de acuerdo al galón americano de 3.785 litros, a temperatura ambiente. La tasa del impuesto por dicho galón es de Q 1.30 para el diesel, y queda exento de este impuesto el diesel que se utilice en la generación de electricidad, en las plantas termoeléctricas que integran al Sistema Eléctrico Nacional.

Según el artículo 14, el monto total del impuesto será el resultado del producto de la base imponible por la tasa de impuesto. Este impuesto será aplicado a los agentes retenedores cuando efectúen las entregas de combustibles a cualquier adquirente, tal como lo establece el artículo 15. Y, como lo estipula el artículo 19, el control y la fiscalización de las obligaciones tributarias le corresponde a la Superintendencia de Administración Tributaria, por lo que ésta podrá mantener uno o más delegados en cada uno de los depósitos, almacenes o plantas de transformación.

VII. ESTUDIO FINANCIERO

A. Inversión inicial y forma de financiamiento

El año previo a comenzar a operar, debe contar con inversiones en cuatro aspectos principales: la planta de pretratamiento de los desechos, el centro KDV 2000, el terreno y el mobiliario y equipo de oficina en la planta.

La compra de la planta de pretratamiento, así como del centro KDV se debe hacer con el proveedor de la tecnología; mientras que el terreno y el equipo de oficina se adquirirán aquí en Guatemala. Los valores de la inversión en los primeros dos aspectos fueron proporcionados por dicho proveedor. El costo del terreno fue el que se mostró en el Cuadro 17 del estudio técnico. Finalmente, el valor total del mobiliario y equipo se obtuvo del Cuadro 19, a continuación.

Cuadro 19. Costo total del mobiliario y equipo.

Mobiliario y equipo	Unidades	Costo unitario	Costo total (Q)	Costo total (US\$)
Computadoras de escritorio	5	Q 3,388.12	Q 16,940.60	\$2,149.82
Escritorios con silla	6	Q 1,222.00	Q 7,332.00	\$930.46
Impresora multifuncional	2	Q 575.00	Q 1,150.95	\$145.94
Sillas adicionales	15	Q 200.00	Q 3,000.00	\$380.71
Otros		Q 5,000.00	Q 5,000.00	\$634.52
Total			Q 32,421.65	\$4,241.44

(Fuente: CompuSys y Mueblerías Guatemala, 2011)

Las unidades del mobiliario y equipo se estimaron en base al personal que se requiere en la planta, así como de posibles visitas que se puedan tener. Además, se dejó un rubro de “otros”, para algún imprevisto que pudiera surgir.

Con el dato total del costo de mobiliario y equipo, se completó el Cuadro 20 de la inversión total que se muestra a continuación.

Cuadro 20. Inversión total para el proyecto

INVERSIÓN	US (\$)
Planta de pretratamiento	\$5,413,600.00
Centro KDV 2000	\$18,315,790.00
Terreno	\$128,700.00
Mobiliario y equipo	\$4,241.44
INVERSIÓN TOTAL	\$23,862,331.44

La forma de financiamiento para la inversión del proyecto se dividió en dos rubros: préstamo bancario y en capital de socios. El préstamo consistirá en el 70% del monto total de la inversión, y el restante 30% corresponderá al capital de los socios. Según información de varios bancos de Guatemala, entre ellos Banco Industrial y Banco del Crédito, este préstamo en dólares se puede conseguir a una tasa de interés anual del 8%. El Cuadro 21, a continuación, muestra la estructuración del financiamiento.

Cuadro 21. Estructuración del financiamiento del proyecto.

FORMA DE FINANCIAMIENTO		
Préstamo bancario	70%	\$16,703,632.01
Capital de Socios	30%	\$7,158,699.43
INVERSIÓN TOTAL	100%	\$23,862,331.44

B. Estructuración de costos

Los rubros principales del costeo para llevar a cabo el proyecto son 6: materiales, costo de obtención de desechos sólidos, mantenimiento, mano de obra, diverso y depreciación. Cada uno de estos rubros se subdivide en ciertos componentes, los cuales se explican a continuación.

El rubro de materiales está compuesto por el catalizar y la cal. El Cuadro 22 muestra la cantidad requerida de cada uno de ellos mensualmente y cuál es su costo por kilogramo. Las cantidades requeridas fueron proveídas por el proveedor de la tecnología, así como el costo por kilogramo del catalizador. El costo de la cal se cotizó en el mercado guatemalteco, en donde se hizo la conversión a dólares, al cambio de Q. 7.88 por US\$1.00, que se encontró el 6 de octubre del presente año (Banco de Guatemala, 2011).

Cuadro 22. Costeo del catalizador y la cal.

Material	Cantidad mensual requerida (kg)	Costo por kilogramo	Costo anual
Catalizador (kg)	4,500.0	\$18.00	\$972,000.00
Cal (kg)	250.0	\$1.40	\$4,200.00
Total	4,750.0	\$19.40	\$976,200.00

El rubro de obtención de los desechos sólidos, solamente está compuesto por el costo de obtener los desechos sólidos municipales de la ciudad de Guatemala. Este se calculó en base a los cuadros 23 y 24, a continuación.

Cuadro 23. Costo promedio del combustible consumido por un camión recolector en base a una cierta distancia.

Concepto	Valor
Eficiencia promedio de un camión recolector (millas por galón)	5.13
Eficiencia promedio de un camión recolector (km por galón)	8.26
Distancia promedio ida y vuelta (km)	30
Galones promedios necesarios ida y vuelta	3.63
Precio promedio del galón de combustible el 6 de octubre de 2011	Q 32.20
COSTO PROMEDIO TOTAL POR COMBUSTIBLE CONSUMIDO	Q 116.95

(FUENTE: Anderson, J.; Gaines, L.; Vyas, A., 2006)

Como se puede observar en el Cuadro 23, para determinar el costo promedio de combustible consumido por un camión recolector de desechos, en base a la distancia promedio que recorrería desde el basurero de la zona 3 hasta el

kilómetro 17 de la ruta al atlántico, y de regreso, se tuvo que determinar la eficiencia promedio de estos en kilómetros por galón, la distancia promedio y el precio promedio del galón de combustible. Para determinar este último precio, se obtuvo un promedio entre el galón de la gasolina superior, la regular y el diesel, ya que no se sabe qué tipo utiliza.

A este valor, se le puede adicionar algún otro costo, por lo que se estimó que por camión se pagarían cerca de Q.200.00 lo cual, al tipo de cambio mencionado, equivale a alrededor de US\$25.60. Esta estimación se considera adecuada, puesto que incluso se podría llegar a un arreglo de la municipalidad para que el lugar de disposición de la basura fuera directo en la ubicación de la planta, en vez de que se haga en la zona 3. Sin embargo, esos son arreglos futuros que se deberían hablar.

En base a este valor y a la cantidad necesaria de desechos sólidos municipales que se mostró en el Cuadro 16, se estimó el número promedio de camiones requeridos, así como el costo total anual por la obtención de los desechos. Esto se muestra en el Cuadro 24, a continuación.

Cuadro 24. Costo total anual de obtención de desechos sólidos municipales.

Cantidad de desechos sólidos al día	Capacidad de un camión recolector	Número de camiones	Costo por camión por día	Costo por camión mensual	Costo total anual
350 ton	10 ton	35	\$25.60	\$768.00	\$322,560.00

Como se puede observar en el Cuadro 24, a partir del número de camiones requeridos y del monto del costo por camión por día, se determinó el costo mensual y, luego, el costo total anual. En cuanto al rubro de mantenimiento, el Cuadro 25, a continuación, muestra sus componentes, así como su costo total.

Cuadro 25. Costo total anual de mantenimiento.

Planta	Valor total de la planta	Porcentaje anual del valor total destinado a mantenimiento	Costo anual de mantenimiento
Centro KDV 2000	\$18,315,790.00	2.80%	\$512,842.12
Planta de pretratamiento	\$5,413,600.00	10%	\$541,360.00
Total			\$1,054,202.12

Como se puede observar en el Cuadro 25, el mantenimiento se divide en el que se realiza en el centro KDV 2000 y el que se lleva a cabo en la planta de pretratamiento. Para determinar sus costos anuales, los proveedores recomiendan utilizar los porcentajes mostrados en la tercera columna del cuadro y multiplicarlos sobre el valor total de cada planta. La suma de estos costos representa el costo total anual de mantenimiento.

El rubro de mano de obra se compone de todo el personal que se requiere en la planta de pretratamiento y en el centro KDV 2000. El Cuadro 26, a continuación, detalla qué puestos deben ser ocupados, el número de trabajadores por cada uno de estos, su salario base mensual, la cuota patronal más las prestaciones laborales y el Bono 14 más el Aguinaldo. En base a estos datos, se calculó el costo total anual de mano de obra.

Cuadro 26. Costo total anual de mano de obra.

Personal	No.	Salario base mensual unitario	Cuota patronal (12.67%) y prestaciones (29.62%) mensuales unitarias	Salario total anual unitario	Bonos unitarios (Aguinaldo y Bono 14)	Costo total anual
Operadores planta KDV	8	\$761.42	\$322.01	\$13,001.12	\$1,522.84	\$116,191.68
Operadores planta pretratamiento	4	\$761.42	\$322.01	\$13,001.12	\$1,522.84	\$58,095.84
Supervisores planta KDV	2	\$1,269.04	\$536.68	\$21,668.53	\$2,538.07	\$48,413.20
Supervisores planta pretratamiento	2	\$1,269.04	\$536.68	\$21,668.53	\$2,538.07	\$48,413.20

Continuación Cuadro 26. Costo total anual de mano de obra.

Personal	No.	Salario base mensual unitario	Cuota patronal (12.67%) y prestaciones (29.62%) mensuales unitarias	Salario total anual unitario	Bonos unitarios (Aguinaldo y Bono 14)	Costo total anual
Técnicos mantenimiento P. KDV	2	\$1,078.68	\$456.17	\$18,418.25	\$2,157.36	\$41,151.22
Técnicos mantenimiento P. pretratamiento	2	\$1,078.68	\$456.17	\$18,418.25	\$2,157.36	\$41,151.22
Asistente mantenimiento P. KDV	2	\$761.42	\$322.01	\$13,001.12	\$1,522.84	\$29,047.92
Asistente mantenimiento P. pretratamiento	2	\$761.42	\$322.01	\$13,001.12	\$1,522.84	\$29,047.92
Personal administrativo	2	\$1,269.04	\$536.68	\$21,668.53	\$2,538.07	\$48,413.20
Personal financiero	2	\$1,522.84	\$644.01	\$26,002.23	\$3,045.69	\$58,095.84
Gerente de planta	1	\$2,284.26	\$966.02	\$39,003.35	\$4,568.53	\$43,571.88
COSTO TOTAL						\$561,593.10

Los salarios base se calcularon en base a lo que en promedio se está pagando por puestos similares en Guatemala. Los valores fueron convertidos de quetzales a dólares en base a la tasa de cambio que ya se había mencionado. La cuota patronal y las prestaciones laborales se calcularon de acuerdo a lo que estipula la ley en Guatemala.

El rubro de diverso está compuesto por el monto anual que se debe pagar por seguros del centro KDV, seguros de la planta de pretratamiento, control de calidad, otros costos administrativos y la energía eléctrica consumida. El Cuadro 27 muestra los costos de los primeros cuatro elementos.

Cuadro 27. Costo total anual de seguros, control de calidad y otros costos administrativos.

Concepto	Base del cálculo	Porcentaje de costo	Costo total anual
Seguro centro KDV	\$18,315,790.00	1.25%	\$228,947.38
Seguro planta pretratamiento	\$5,413,600.00	0.45%	\$24,361.20
Control de calidad	\$23,729,390.00	0.10%	\$23,729.39
Otros costos de administración			\$12,000.00
Total			\$289,037.97

Los porcentajes mostrados en el cuadro 27 son sugeridos por el proveedor de la tecnología, y las bases del cálculo corresponden al valor total del centro KDV, al valor total de la planta de pretratamiento, y a la suma de ambos, respectivamente. Entre otros costos administrativos está incluida el agua que pueda usarse y algún imprevisto que pueda surgir. En el Cuadro 28, a continuación se muestran los cálculos para el costo de la energía eléctrica.

Cuadro 28. Costo total anual de la energía eléctrica consumida.

	Potencia requerida (kW)	Tiempo de uso al año (h)	Energía consumida al año (kWh)	Costo del kWh con IVA (12%) y tasa municipal (10%)	Costo anual de energía consumida (Q)	Costo anual energía consumida (US\$)
Funcionamiento adecuado (emergencia)	240	800	192,000	Q 2.24	Q 431,001.60	\$54,695.63
Iluminación externa y bomba de vacío	10	800	8,000	Q 2.24	Q 17,958.40	\$2,278.98
Total						\$56,974.62

(Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2011)

Como ya se había mencionado anteriormente, el proceso KDV es autosostenible; hace uso del 10% del diesel que produce para abastecerse de la energía que requiere. Sin embargo, por cualquier emergencia, debe tenerse una

fuentes de alimentación de energía disponible para garantizar el adecuado funcionamiento de toda la planta. El dato de la potencia requerida fue suministrado por el proveedor de la tecnología, y se hizo con base en el 10% de horas totales en que la planta se encuentra en funcionamiento. Al sumar el total del Cuadro 27 con el del 28, se obtiene un valor de \$346,012.58, que corresponde al costo total anual del rubro “diverso”.

En cuanto al rubro de depreciación, este se compone de las depreciaciones del centro KDV, de la planta de pretratamiento y de sus respectivas obras civiles. Del valor total del centro KDV, un 5% corresponde a obras civiles y el 95% a la maquinaria de éste; y en el caso de la planta de pretratamiento, el 0.95% corresponde a obras civiles y el resto al equipo y maquinaria. Estos porcentajes fueron proporcionados por el proveedor. A partir de estos valores y de los porcentajes correspondientes de depreciación según las leyes, se construyó el Cuadro 29, a continuación.

Cuadro 29. Costo total anual de depreciaciones.

Activo	Porcentaje de depreciación anual	Valor total del activo	Costo de depreciación anual del activo
Maquinaria y equipo centro KDV	10%	\$17,400,000.50	\$1,740,000.05
Maquinaria y equipo planta de pretratamiento	10%	\$4,899,308.00	\$489,930.80
Obras civiles planta KDV	5%	\$915,789.50	\$45,789.48
Obras civiles planta pretratamiento	5%	\$514,292.00	\$25,714.60
Total			\$2,301,434.93

El Cuadro 30, a continuación, muestra un resumen del costo total anual de la operación, así como el costo total anual por litro de diesel producido.

Cuadro 30. Costo total anual de la operación y costo por litro de diesel producido.

	Costo anual (\$)
Catalizador	\$972,000.00
Cal	\$4,200.00
MATERIALES	\$976,200.00
COSTO DE OBTENCIÓN DESECHOS SÓLIDOS	\$322,560.00
Mantenimiento KDV	\$512,842.12
Mantenimiento planta pretratamiento	\$541,360.00
MANTENIMIENTO	\$1,054,202.12
Operadores planta KDV	\$116,191.68
Operadores planta pretratamiento	\$58,095.84
Supervisores planta KDV	\$48,413.20
Supervisores planta pretratamiento	\$48,413.20
Técnicos mantenimiento P. KDV	\$41,151.22
Técnicos mantenimiento P. pretratamiento	\$41,151.22
Asistente mantenimiento P. KDV	\$29,047.92
Asistente mantenimiento P. pretratamiento	\$29,047.92
Personal administrativo	\$48,413.20
Personal financiero	\$58,095.84
Gerente de planta	\$43,571.88
MANO DE OBRA	\$561,593.10
Seguro centro KDV	\$228,947.38
Seguro planta pretratamiento	\$24,361.20
Control de calidad	\$23,729.39
Otros costos de administración	\$12,000.00
Energía requerida por toda la planta	\$56,974.62
DIVERSO	\$346,012.58
Depreciación maquinaria y equipo centro KDV	\$1,740,000.05
Depreciación maquinaria y equipo planta de pretratamiento	\$489,930.80
Depreciación obras civiles centro KDV	\$45,789.48
Depreciación obras civiles planta pretratamiento	\$25,714.60
DEPRECIACIÓN	\$2,301,434.93
COSTO TOTAL ANUAL	\$5,562,002.73
Producción neta de diesel (litros)	14,400,000
COSTO TOTAL ANUAL POR LITRO	\$0.39

El costo total anual por litro se hizo en base a los 14,400,000 litros, que se considera como la producción de diesel disponible para la venta.

C. Precio de venta del diesel

Para determinar el precio de venta del diesel se determinó un margen de ganancia bruto de 40%. Este margen se decidió ya que al comparar el precio resultante, con el precio actual del galón del diesel, aún se le podría ganar alrededor de un 30% más al venderlo al consumidor final. Con base en este margen y al costo por litro se hicieron los cálculos que se muestran en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Precio de venta del diesel producido y margen bruto de ganancia.

MARGEN DE GANANCIA BRUTO	40%	
Precios	Precio por litro	Precio por galón
Precio de venta sin IVA y sin impuesto de diesel	\$0.64	\$2.44
(+) Impuesto de diesel (Q1.30/gal)	\$0.04	\$0.16
Precio de venta sin IVA	\$0.69	\$2.60
(+) IVA (12%)	\$0.08	\$0.31
Precio de venta final (US\$)	\$0.77	\$2.91
Precio de venta final (Q)	Q 6.07	Q 22.96

Como se observa en el Cuadro 31, utilizando el margen de ganancia bruto y el costo total anual por litro, se obtuvo un precio de venta preliminar sin considerar el IVA y el impuesto que establece la “Ley de impuesto a la distribución de petróleo crudo y combustibles derivados del petróleo”, de la que se habló anteriormente. Finalmente, haciendo la consideración se muestra el precio unitario de venta por galón y por litro. Estos también se presentan en quetzales para tener una idea más clara y comparar con los precios usados en el país.

Asimismo, se puede observar que el precio de venta final es igual a la proyección de costo de importación por litro de diesel para el año 2012, que se mostró en el Cuadro 10. Esto respalda la afirmación de que sí se podría ser competitivo en el mercado gracias a los bajos costos de producción.

D. Flujo de efectivo

Para determinar si el proyecto es viable o no, se utilizó el método del Valor Presente Neto (VPN), con el cual se puede establecer cuál es el valor en el presente de un cierto número de flujos de efectivo en el futuro. Asimismo, se obtuvo el valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto, para compararla con la tasa de descuento y ver si el proyecto se acepta o se rechaza.

Para poder desarrollar el flujo de efectivo, fue necesario considerar la inflación acumulada que se ha tenido en Guatemala desde el año 2000 hasta el 2010. A partir de esta información, que se muestra en el cuadro 32, se obtuvo un promedio.

CUADRO 32. Inflación acumulada.

Período	Inflación (%)
2000	5.08
2001	8.91
2002	6.33
2003	5.85
2004	9.23
2005	8.57
2006	5.79
2007	8.75
2008	9.4
2009	-0.28
2010	5.39
PROMEDIO	6.64

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

En base a este promedio se variaron los costos, gastos y, por consiguiente, precios de venta del diesel. Se pensó en no variar el precio de venta, ya que como se mencionó con anterioridad, éste puede fluctuar en cualquier dirección, puesto que está sujeto a muchos factores. No obstante, considerando que:

- el petróleo es un producto finito;
- según varios estudios las reservas se están agotando;
- las economías emergentes demandan cada vez más petróleo;
- y que en Guatemala, como muestra el Cuadro 2, el precio del petróleo ha incrementado a lo largo del tiempo;

se decidió variarlo conforme los costos cambiaron y según el margen bruto deseado. Además, de no modificarlo, el margen de ganancia hubiera disminuido conforme las proyecciones de los 10 años.

Los cuadros 33, 34, 35 y 36 muestran el flujo de caja del proyecto para 10 años.

Cuadro 33. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 0 - 2.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2
SALDO INICIAL DE EFECTIVO		\$-	\$329,388.38
INGRESOS			
Producción neta anual		12,240,000	14,400,000
Precio de venta sin IVA		\$0.69	\$0.71
(+) Ingresos de ventas		\$8,412,945.33	\$10,256,245.20
IVA de ventas		\$1,009,553.44	\$1,230,749.42
INGRESOS TOTALES		\$9,422,498.77	\$11,486,994.62
EGRESOS			
Planta de pretratamiento	\$5,413,600.00		
Centro KDV 2000	\$18,315,790.00		
Terreno	\$128,700.00		
Mobiliario y equipo	\$4,241.44		
(-) Inversiones	\$23,862,331.44		
Materiales		\$871,607.14	\$929,133.21
Obtención de desechos		\$288,000.00	\$307,008.00
Mantenimiento		\$941,251.89	\$1,003,374.52
Mano de obra		\$561,593.10	\$598,658.24
Diverso		\$308,939.81	\$329,329.83
(-) Costos operativos		\$2,971,391.94	\$3,167,503.81
(-) Gastos de operación y admón.		\$26,785.71	\$28,553.57
(-) IVA de costos y gastos		\$327,476.96	\$349,090.44
(-) Diferencial del IVA		\$682,076.48	\$881,658.98
Intereses		\$1,336,290.56	\$1,112,690.56
(-) Servicio de deuda		\$1,336,290.56	\$1,112,690.56
Impuesto sobre la renta (5%)		\$420,647.27	\$512,812.26
Impuesto de Diesel		\$533,441.47	\$627,578.20
(-) Impuestos		\$954,088.74	\$1,140,390.46
EGRESOS	\$23,862,331.44	\$6,298,110.39	\$6,679,887.82
			\$-188,035,171.78
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERIODO SIN CRÉDITO BANCARIO, CONSIDERANDO INTERESES			
	\$-23,862,331.44	\$3,124,388.38	\$4,807,106.80
(+) Capital socios	\$7,158,699.43		
(+) Préstamo bancario	\$16,703,632.01		
(-) Amortización al préstamo		\$2,795,000.00	\$4,440,000.00
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO			
	\$-	\$329,388.38	\$367,106.80
FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO			
	-	\$329,388.38	\$696,495.18
Saldo del préstamo	\$16,703,632.01	\$13,908,632.01	\$9,468,632.01
Tasa de interés anual		8%	

Cuadro 34. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 3 - 5.

	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
SALDO INICIAL DE EFECTIVO	\$696,495.18	\$1,061,079.67	\$2,415,360.15
INGRESOS			
Producción neta anual	14,400,000	14,400,000	14,400,000
Precio de venta sin IVA	\$0.74	\$0.77	\$0.80
(+) Ingresos de ventas	\$10,638,579.38	\$11,046,147.62	\$11,480,615.36
IVA de ventas	\$1,276,629.53	\$1,325,537.71	\$1,377,673.84
INGRESOS TOTALES	\$11,915,208.91	\$12,371,685.33	\$12,858,289.20
EGRESOS			
Planta de pretratamiento			
Centro KDV 2000			
Terreno			
Mobiliario y equipo			
(-) Inversiones			
Materiales	\$990,456.01	\$1,055,826.10	\$1,125,510.63
Obtención de desechos	\$327,270.53	\$348,870.38	\$371,895.83
Mantenimiento	\$1,069,597.24	\$1,140,190.65	\$1,215,443.24
Mano de obra	\$638,169.68	\$680,288.88	\$725,187.95
Diverso	\$351,065.60	\$374,235.93	\$398,935.51
(-) Costos operativos	\$3,376,559.06	\$3,599,411.96	\$3,836,973.15
(-) Gastos de operación y admón.	\$30,438.11	\$32,447.02	\$34,588.53
(-) IVA de costos y gastos	\$372,130.41	\$396,691.02	\$422,872.63
(-) Diferencial del IVA	\$904,499.11	\$928,846.69	\$954,801.21
Intereses	\$757,490.56	\$361,490.56	\$-
(-) Servicio de deuda	\$757,490.56	\$361,490.56	\$-
Impuesto sobre la renta (5%)	\$531,928.97	\$552,307.38	\$574,030.77
Impuesto de Diesel	\$627,578.20	\$627,578.20	\$627,578.20
(-) Impuestos	\$1,159,507.17	\$1,179,885.58	\$1,201,608.97
EGRESOS	\$6,600,624.42	\$6,498,772.83	\$6,450,844.48
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERIODO SIN CRÉDITO BANCARIO, CONSIDERANDO INTERESES			
	\$5,314,584.49	\$5,872,912.50	\$6,407,444.72
(+) Capital socios			
(+) Préstamo bancario			
(-) Amortización al préstamo	\$4,950,000.00	\$4,518,632.01	\$-
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO			
	\$364,584.49	\$1,354,280.49	\$6,407,444.72
FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO			
	\$1,061,079.67	\$2,415,360.15	\$8,822,804.87
Saldo del préstamo	\$4,518,632.01	\$-	\$-
Tasa de interés anual			

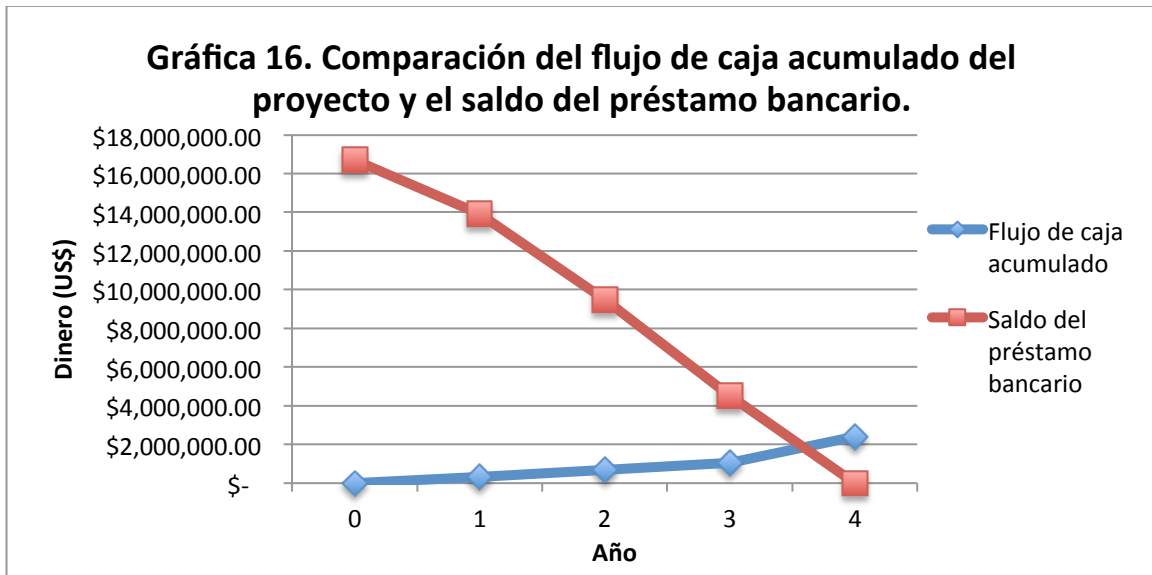
Cuadro 35. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 6 - 8.

	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8
SALDO INICIAL DE EFECTIVO	\$8,822,804.87	\$15,414,712.00	\$22,203,256.05
INGRESOS			
Producción neta anual	14,400,000	14,400,000	14,400,000
Precio de venta sin IVA	\$0.83	\$0.86	\$0.90
(+) Ingresos de ventas	\$11,943,757.97	\$12,437,467.99	\$12,963,762.88
IVA de ventas	\$1,433,250.96	\$1,492,496.16	\$1,555,651.55
INGRESOS TOTALES	\$13,377,008.92	\$13,929,964.15	\$14,519,414.42
EGRESOS			
Planta de pretratamiento			
Centro KDV 2000			
Terreno			
Mobiliario y equipo			
(-) Inversiones			
Materiales	\$1,199,794.33	\$1,278,980.75	\$1,363,393.48
Obtención de desechos	\$396,440.95	\$422,606.06	\$450,498.06
Mantenimiento	\$1,295,662.49	\$1,381,176.21	\$1,472,333.84
Mano de obra	\$773,050.35	\$824,071.68	\$878,460.41
Diverso	\$425,265.25	\$453,332.76	\$483,252.72
(-) Costos operativos	\$4,090,213.37	\$4,360,167.46	\$4,647,938.51
(-) Gastos de operación y admón.	\$36,871.37	\$39,304.88	\$41,899.00
(-) IVA de costos y gastos	\$450,782.22	\$480,533.85	\$512,249.08
(-) Diferencial del IVA	\$982,468.73	\$1,011,962.31	\$1,043,402.46
Intereses	\$-	\$-	\$-
(-) Servicio de deuda	\$-	\$-	\$-
Impuesto sobre la renta (5%)	\$597,187.90	\$621,873.40	\$648,188.14
Impuesto de Diesel	\$627,578.20	\$627,578.20	\$627,578.20
(-) Impuestos	\$1,224,766.10	\$1,249,451.60	\$1,275,766.34
EGRESOS	\$6,785,101.80	\$7,141,420.09	\$7,521,255.40
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERIODO SIN CRÉDITO BANCARIO, CONSIDERANDO INTERESES			
	\$6,591,907.13	\$6,788,544.06	\$6,998,159.02
(+) Capital socios			
(+) Préstamo bancario			
(-) Amortización al préstamo	\$-	\$-	\$-
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO			
	\$6,591,907.13	\$6,788,544.06	\$6,998,159.02
FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO			
	\$15,414,712.00	\$22,203,256.05	\$29,201,415.08
Saldo del préstamo	\$-	\$-	\$-
Tasa de interés anual			

Cuadro 36. Proyección de Flujos de Caja (US\$) años 9 - 10.

	AÑO 9	AÑO 10
SALDO INICIAL DE EFECTIVO	\$29,201,415.08	\$36,423,023.65
INGRESOS		
Producción neta anual	14,400,000	14,400,000
Precio de venta sin IVA	\$0.94	\$0.98
(+) Ingresos de ventas	\$13,524,793.22	\$14,122,851.57
IVA de ventas	\$1,622,975.19	\$1,694,742.19
INGRESOS TOTALES	\$15,147,768.41	\$15,817,593.76
EGRESOS		
Planta de pretratamiento		
Centro KDV 2000		
Terreno		
Mobiliario y equipo		
(-) Inversiones		
Materiales	\$1,453,377.45	\$1,549,300.36
Obtención de desechos	\$480,230.93	\$511,926.17
Mantenimiento	\$1,569,507.88	\$1,673,095.40
Mano de obra	\$936,438.80	\$998,243.76
Diverso	\$515,147.40	\$549,147.12
(-) Costos operativos	\$4,954,702.45	\$5,281,712.81
(-) Gastos de operación y admón.	\$44,664.33	\$47,612.18
(-) IVA de costos y gastos	\$546,057.52	\$582,097.32
(-) Diferencial del IVA	\$1,076,917.66	\$1,112,644.87
Intereses	\$-	\$-
(-) Servicio de deuda	\$-	\$-
Impuesto sobre la renta (5%)	\$676,239.66	\$706,142.58
Impuesto de Diesel	\$627,578.20	\$627,578.20
(-) Impuestos	\$1,303,817.86	\$1,333,720.78
EGRESOS	\$7,926,159.83	\$8,357,787.96
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERIODO SIN CRÉDITO BANCARIO, CONSIDERANDO INTERESES		
	\$7,221,608.58	\$7,459,805.80
(+) Capital socios		
(+) Préstamo bancario		
(-) Amortización al préstamo	\$-	\$-
FLUJO DE EFECTIVO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO		
	\$7,221,608.58	\$7,459,805.80
FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO DEL PERÍODO CONSIDERANDO EL PRÉSTAMO BANCARIO		
	\$36,423,023.65	\$43,882,829.45
Saldo del préstamo	\$-	\$-
Tasa de interés anual		

En el flujo de caja se puede observar que en todos los periodos, a partir del primer año, se tiene un flujo de caja positivo tanto antes como después de amortizar el préstamo. Asimismo, cabe mencionar y según se observa con claridad en la Gráfica 16, que con las amortizaciones del préstamo que se proyectaron, antes del año 4 se tiene la cantidad de efectivo disponible para realizar el pago completo de la deuda. Sin embargo, hasta finalizar dicho año se estima hacerlo.



La cantidad de amortización del préstamo se decidió en base al flujo de efectivo de cada período y al flujo acumulado. Se tuvo como referencia que el “flujo de efectivo del período considerando el préstamo bancario”, fuera alrededor de un 5-6% del rubro de egresos del período, en caso de cualquier inconveniente.

Cabe hacer notar que los gastos de operación y de administración corresponden a gastos de teléfono, agua y de algún gasto adicional que se tenga en el área de oficina y no sea considerado como costo de producción. Asimismo, como se mencionó anteriormente, se estima vender toda la producción neta de diesel, aunque en el primer año se calculó una producción 15% menor que los otros años, por motivos de falta de práctica, problemas

técnicos iniciales, etc. Aunque estos deberían ser mínimos por las capacitaciones y ayuda que proporciona el proveedor.

Para poder calcular el valor presente neto, se hizo de primero el cálculo del WACC (costo promedio ponderado de capital), para utilizar como tasa de descuento de los flujos. Éste se calculó en base a la ecuación:

$$WACC = W_d K_d + W_e K_e$$

En donde W_d y W_e son: el porcentaje de la inversión inicial que corresponde al préstamo bancario (70%) y el porcentaje que corresponde al capital de los socios (30%), respectivamente; K_d es la tasa de interés requerida por el banco (8%) multiplicada por (1-Tasa de ISR); y K_e se define por la ecuación:

$$K_e = R(r) + \beta * (\text{Prima de riesgo del mercado})$$

En donde $R(r)$ es el retorno esperado y se calcula en base al modelo CAPM (Modelo de fijación de precios de activos de capital), que se define como:

$$R(r) = R_f + \beta(r_m - R_f) + Cr$$

En este caso, R_f es la tasa libre de riesgo, para la cual se utilizó el rendimiento de un bono del tesoro de los Estados Unidos a 10 años, la cual estaba a 2% a inicios de octubre del presente año (U. S. Department of the Treasury, 2011). El valor de β muestra la volatilidad del mercado, el cual se estimó en base a un promedio de los datos que muestran otras empresas de la misma industria, en la bolsa de valores de Estados Unidos, y se obtuvo un valor de 1.68. Finalmente, r_m que es el rendimiento del mercado, se estimó en un valor de 5.75%, y Cr que es el riesgo país, con un valor de 4.88% (OECD, 2011), obteniendo así un valor de 13.18% para $R(r)$.

Por lo tanto, para el cálculo de K_e se utilizó como *prima de riesgo del mercado* el valor de r_m , y se obtuvo un valor de K_e de 22.84%. Con estos componentes, el valor del WACC fue de 12.17%, por lo que se aproximó a 12.5% como la tasa de descuento de los flujos.

El Cuadro 37, a continuación, muestra el monto obtenido del valor presente neto, así como los porcentajes de la TIR del proyecto, la TIR del capital y la tasa de descuento.

Cuadro 37. VPN, TIR del proyecto y TIR del capital.

Tasa de descuento (WACC)	12.5%
VPN	\$7,422,493.71
TIR del proyecto	18.81%
TIR del capital	63%

Como se puede observar, el valor presente neto obtenido es positivo, lo cual indica que el proyecto es rentable. Asimismo, que la TIR del proyecto es de 18.81%, la cual es mayor a la tasa de descuento, 12.5%. Esto quiere decir que la rentabilidad del proyecto es mayor a la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad) y, por ende, sí se acepta el proyecto. Para calcular este porcentaje, se utilizaron los siguientes valores de flujos de efectivo y se introdujeron en la fórmula para obtener la TIR en Excel.

Cuadro 38. Valores utilizados para calcular la TIR del proyecto.

Año	Flujo de efectivo del período, sin crédito bancario, considerando intereses
0	-\$23,862,331.44
1	\$3,124,388.38
2	\$4,807,106.80
3	\$5,314,584.49
4	\$5,872,912.50
5	\$6,407,444.72
6	\$6,591,907.13
7	\$6,788,544.06
8	\$6,998,159.02
9	\$7,221,608.58
10	\$7,459,805.80
TIR proyecto	18.81%

Asimismo, se observa en el Cuadro 37 el valor de la TIR del capital, el cual es importante para los inversionistas, ya que les muestra la tasa de retorno que el proyecto ofrece sobre su capital invertido. En este caso fue de 63%, el cual es considerado un alto retorno a la cantidad de dinero invertida, aunque éste es un parámetro que puede variar de inversionista a inversionista, en cuanto a ser considerado adecuado o no. Para su cálculo, sólo se varió el valor de la inversión en el año cero; en este caso se consideró igual al capital de los socios.

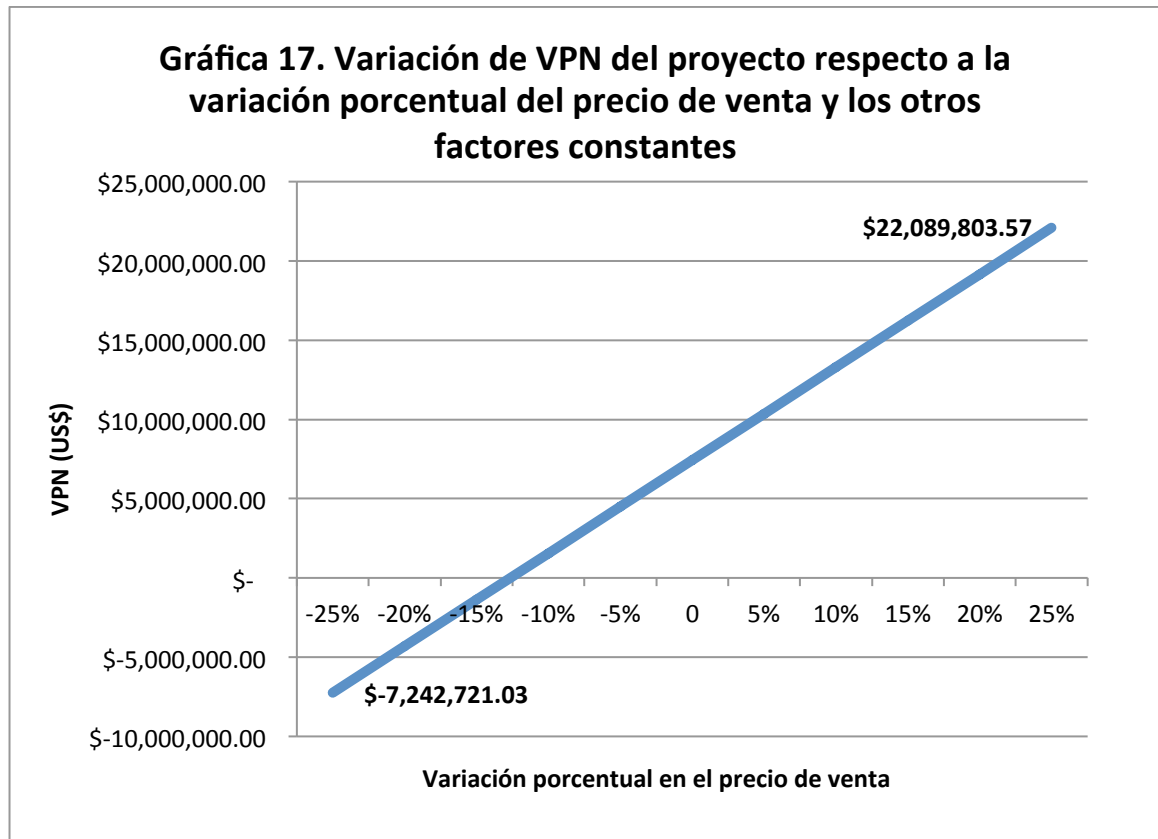
Cuadro 39. Valores utilizados para calcular la TIR del capital.

Año	Flujo de efectivo del período, sin crédito bancario, considerando intereses
0	-\$7,158,699.43
1	\$3,124,388.38
2	\$4,807,106.80
3	\$5,314,584.49
4	\$5,872,912.50
5	\$6,407,444.72
6	\$6,591,907.13
7	\$6,788,544.06
8	\$6,998,159.02
9	\$7,221,608.58
10	\$7,459,805.80
TIR capital	63%

1. Análisis de sensibilidad. Para llevar a cabo el análisis de sensibilidad, se variaron los dos principales factores que tienen el mayor impacto sobre el flujo de efectivo del proyecto: el precio de venta y el costo de venta (costo operativo sin depreciación). La cantidad de unidades vendidas (litros), no se varió, puesto que como se analizó anteriormente, se estima que sí se puede vender la cantidad máxima neta de diesel que se puede producir con la planta, además de que sólo representa alrededor de un 1% de market share.

La Gráfica 17, a continuación, muestra la sensibilidad del valor presente neto del proyecto a la hora de que el precio de venta varíe porcentualmente, ya sea incrementando o disminuyendo. Cabe mencionar que las variaciones en los

factores estudiados en el análisis de sensibilidad se hicieron dejando los otros elementos sin variar.

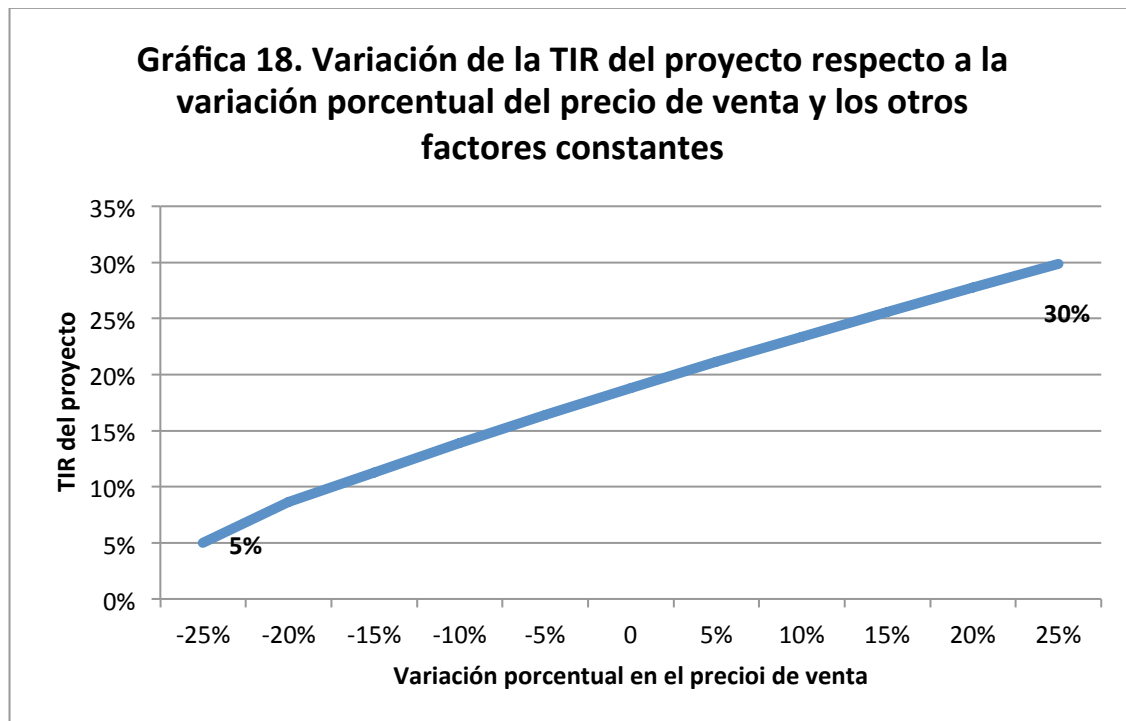


Como se puede observar, la gráfica muestra variaciones porcentuales en el precio de venta, desde -25% hasta 25%. Como es de esperarse, a menor precio de venta, se obtendrá un menor flujo de efectivo y, por lo tanto, un menor valor presente neto para los 10 años proyectados; y viceversa, en caso de un mayor precio de venta. Lo importante es ver qué tan sensible es dicho valor ante las oscilaciones. Desde un -25% hasta alrededor de un -12% en el precio de venta, el VPN del proyecto tiene un valor negativo, lo cual llevaría a rechazarlo, ya que no sería rentable y el costo de oportunidad sería mayor que su rentabilidad.

Por el otro lado, a partir de este -12% más o menos, hasta el 25% que se observa, el VPN adquiere un monto positivo, lo cual llevaría a aceptar el proyecto. Por lo que se analizó anteriormente, se ve que el precio de mercado tiene una tendencia al alza, en lugar de a la baja, por lo que no se tendría una

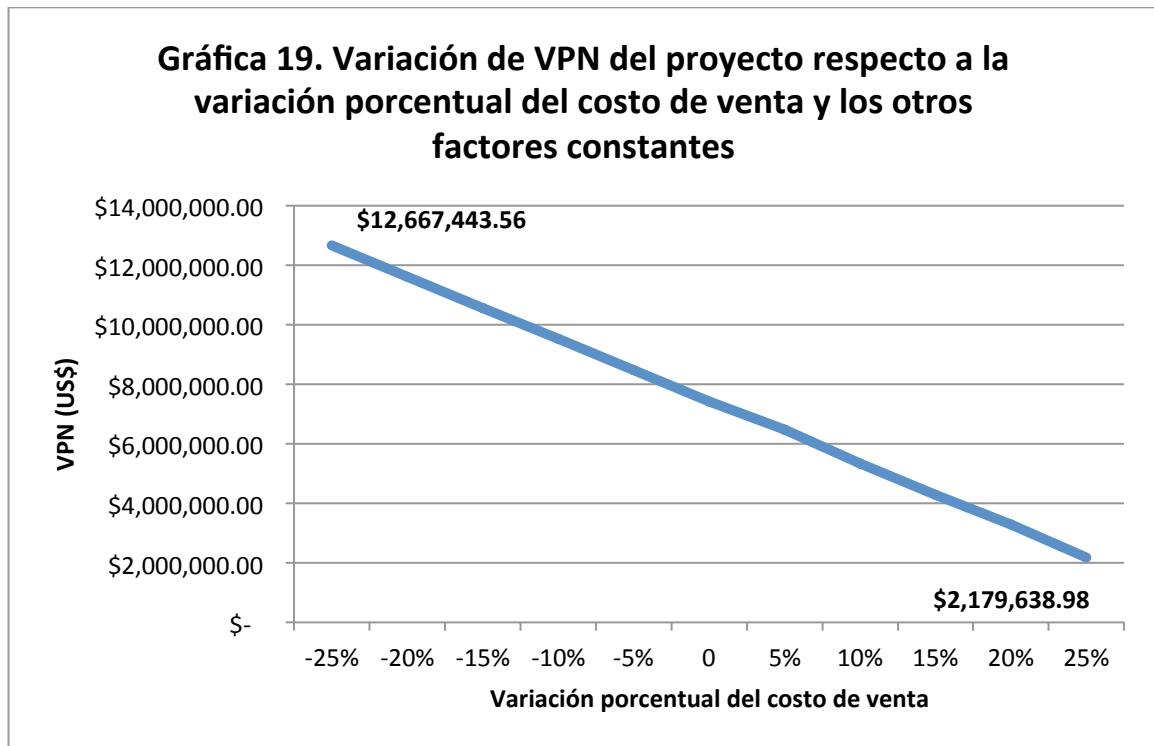
preocupación tan grande de que este valor decayera. Sin embargo, de hacerlo, el proyecto seguiría siendo rentable si no se sobrepasa de un decremento del 12%.

Esto también se puede apreciar en la Gráfica 18, a continuación, la cual muestra cómo varía la TIR del proyecto conforme existen variaciones porcentuales en el precio de venta.



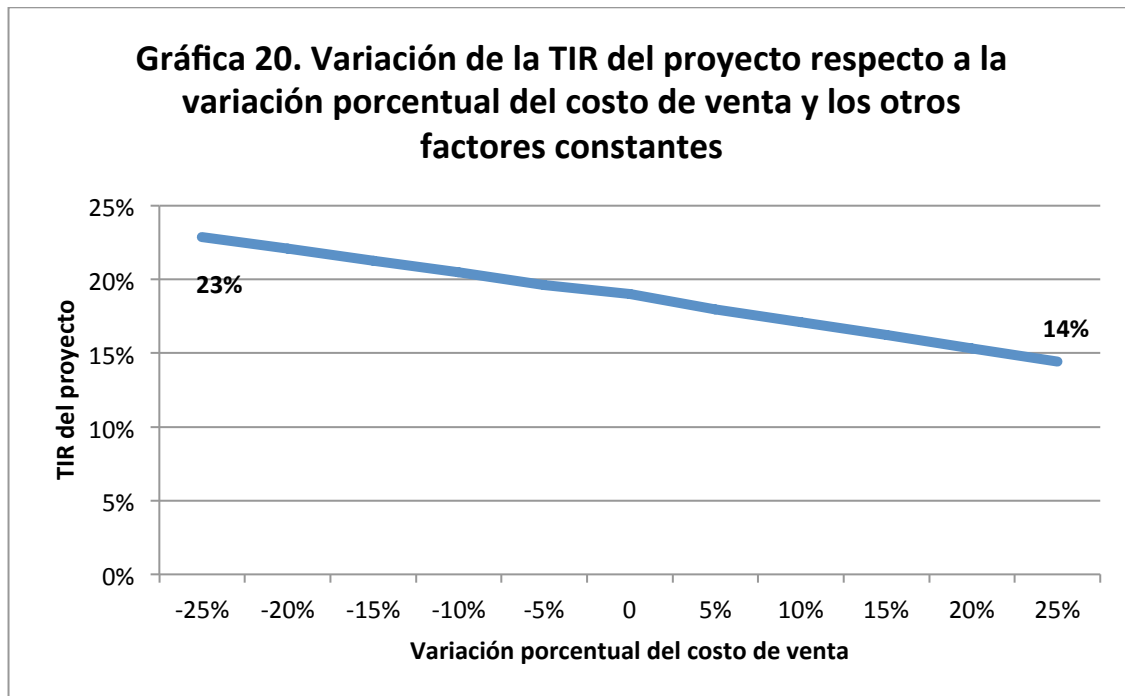
Como se puede observar, el valor de la TIR del proyecto, en este caso, es siempre positivo; sin embargo, en alrededor del un decremento de 12% en el precio de venta, dicho valor iguala a la tasa de descuento, 12.5%, que es la tasa mínima aceptable del proyecto. Esto quiere decir, nuevamente, que si el precio de venta disminuye más de un 12%, el proyecto dejaría de ser rentable, ya que no estaría retornando lo mínimo esperado por los accionistas. Por el contrario, cualquier otra variación que signifique un menor decremento o un aumento en el precio de venta, sí haría rentable el proyecto.

Del mismo modo, se variaron en los mismo porcentajes el costo de venta, dejando los demás factores constantes, para determinar la sensibilidad en el VPN y la TIR del proyecto. La Gráfica 19, a continuación, muestra la variación del valor presente neto.



Como se puede observar, dentro del rango de variación porcentual establecido, el VPN del proyecto siempre es positivo cuando el valor del costo de venta sufre algún cambio. Claro está que mientras mayor es el aumento porcentual en dicho valor, más cerca estará el VPN de ser menor que cero. No obstante, en este caso, el proyecto seguiría siendo rentable, aunque el costo de venta disminuya o aumente un 25%, siempre y cuando el resto de factores permanezca como se estableció. Se estima que entre un aumento de 35%-40%, el valor del VPN ya no sería positivo, lo cual haría que el proyecto no fuera rentable.

Un análisis similar se puede realizar para la Gráfica 20, que muestra las mismas variaciones en el costo de venta, pero ahora impactando el valor de la TIR del proyecto.



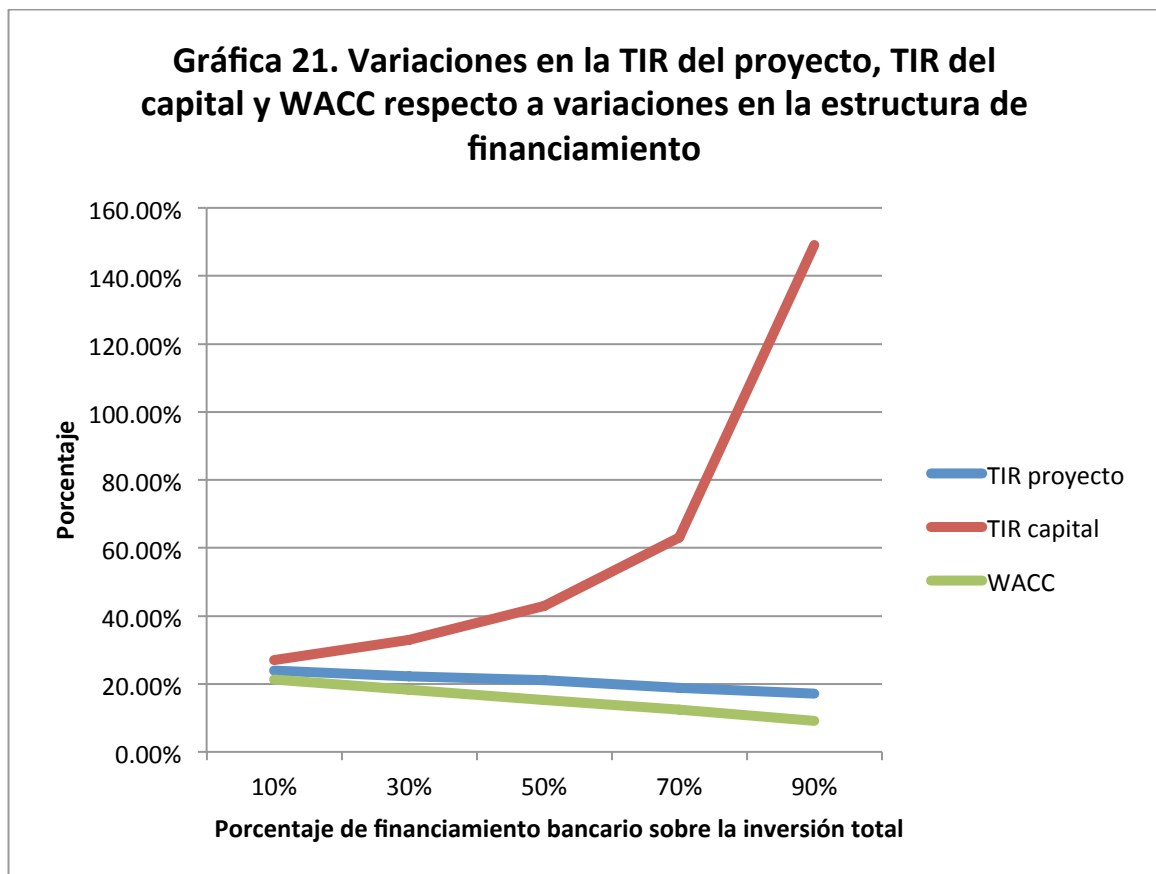
Como se puede observar, el valor de la TIR del proyecto es positiva para todas las variaciones en el costo de venta. Cabe resaltar que con un aumento de 25% en el costo de venta la TIR del proyecto alcanza un valor de 14%, el cual es aún superior que la tasa mínima aceptable para que el proyecto siga considerándose rentable.

Eventualmente, un aumento mayor de 25% en el costo de venta, haría que el costo de oportunidad de llevar a cabo el proyecto fuera mayor que la rentabilidad esperada para el mismo, por lo que no se llevaría a cabo o no seguiría siendo rentable.

Es importante resaltar que se tiene un mayor impacto sobre el VPN y la TIR del proyecto con las variaciones en el precio de venta, ya que los únicos

ingresos contemplados son los correspondientes a la venta del diesel producido. Mientras que el costo de venta no representa la totalidad de los egresos del proyecto.

Asimismo, se realizó un análisis de sensibilidad sobre el WACC, la TIR del proyecto y la TIR del capital, pero esta vez en función de la estructuración del financiamiento del proyecto. La estructura establecida se muestra en el Cuadro 21, en donde el 30% de la inversión proviene de capital de los socios y el 70% de un préstamo bancario. Sin embargo, al modificar estos valores, se impactan las variables mencionadas.



Como se puede observar en la Gráfica 21, para los diferentes casos planteados sobre la estructuración, la TIR del proyecto es siempre mayor que el WACC; lo cual quiere decir que, aunque se modifique el porcentaje de la deuda de la forma en que se propone, el proyecto continúa siendo rentable. Esto es, en

parte, porque al modificar el porcentaje del préstamo, esta variación también causa un impacto sobre el cálculo del WACC. Si la tasa mínima aceptable no hubiera sido calculada con este modelo, o si se hubiera dejado fija sin importar la variación en la deuda, en algún punto el proyecto dejaría de ser rentable.

No obstante, se puede ver que mientras menor es el porcentaje del préstamo, más cerca está el valor del WACC con el de la TIR del proyecto. Esto es porque, el hecho de que los socios deban invertir un mayor monto de capital, hace que la tasa mínima que esperen de retorno sea más alta, puesto que existe un mayor riesgo asociado a ellos. Por el otro lado, si el banco proporciona un mayor préstamo, se deberán pagar más intereses, pero el riesgo correspondiente al capital de los socios disminuye, lo cual hace que la tasa mínima aceptable sea menor.

Respecto a la TIR del capital, se observa que mientras mayor es el monto adquirido a través del préstamo bancario, mayor es también este porcentaje. La razón recae en que al invertir menos capital de los socios en el negocio, su riesgo asociado disminuye y los elevados flujos de efectivo generados se asocian con una inversión baja, por lo que el valor de la tasa interna de retorno aumenta.

E. Estados de resultados

Los cuadros 40 y 41, a continuación, muestran las proyecciones de los estados de resultados para cada uno de los 10 años del proyecto.

Cuadro 40. Proyección de Estados de Resultados de Resultados (US\$) años 1 – 5.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Producción neta anual	12,240,000	14,400,000	14,400,000	14,400,000	14,400,000
Precio de venta	\$0.64	\$0.67	\$0.70	\$0.72	\$0.75
(+) Ingresos de ventas	\$7,879,503.86	\$9,628,667.00	\$10,011,001.18	\$10,418,569.42	\$10,853,037.16
Materiales	\$871,607.14	\$929,133.21	\$990,456.01	\$1,055,826.10	\$1,125,510.63
Obtención de desechos	\$288,000.00	\$307,008.00	\$327,270.53	\$348,870.38	\$371,895.83
Mantenimiento	\$941,251.89	\$1,003,374.52	\$1,063,576.99	\$1,127,391.61	\$1,195,035.10
Mano de obra	\$561,593.10	\$598,658.24	\$634,577.74	\$672,652.40	\$713,011.54
Diverso	\$308,939.81	\$329,329.83	\$349,089.62	\$370,035.00	\$392,237.10
Depreciación planta KDV	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05
Depreciación planta pretratamiento	\$489,930.80	\$489,930.80	\$489,930.80	\$489,930.80	\$489,930.80
Depreciación obras civiles planta KDV	\$45,789.48	\$45,789.48	\$45,789.48	\$45,789.48	\$45,789.48
Depreciación obras civiles planta pretratamiento	\$25,714.60	\$25,714.60	\$25,714.60	\$25,714.60	\$25,714.60
(-) Costo de venta	\$5,272,826.86	\$5,468,938.73	\$5,666,405.81	\$5,876,210.42	\$6,099,125.13
UTILIDAD BRUTA	\$2,606,677.00	\$4,159,728.27	\$4,344,595.37	\$4,542,359.00	\$4,753,912.03
(-) Gastos de operación y administración	\$26,785.71	\$28,392.86	\$30,096.43	\$31,902.21	\$33,816.35
Intereses	\$1,336,290.56	\$1,112,690.56	\$757,490.56	\$361,490.56	\$-
(-) Gastos financieros	\$1,336,290.56	\$1,112,690.56	\$757,490.56	\$361,490.56	\$-
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$1,243,600.72	\$3,018,644.85	\$3,557,008.38	\$4,148,966.22	\$4,720,095.68
(-) Impuesto sobre la renta (5%)	\$393,975.19	\$481,433.35	\$500,550.06	\$520,928.47	\$542,651.86
UTILIDAD NETA	\$849,625.53	\$2,537,211.50	\$3,056,458.32	\$3,628,037.75	\$4,177,443.82

Cuadro 41. Proyección de Estados de Resultados (US\$) años 6 – 10.

	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Producción neta anual	14,400,000	14,400,000	14,400,000	14,400,000	14,400,000
Precio de venta	\$0.79	\$0.82	\$0.86	\$0.90	\$0.94
(+) Ingresos de ventas	\$11,316,179.77	\$11,809,889.79	\$12,336,184.68	\$12,897,215.02	\$13,495,273.37
Materiales	\$1,199,794.33	\$1,278,980.75	\$1,363,393.48	\$1,453,377.45	\$1,549,300.36
Obtención de desechos	\$396,440.95	\$422,606.06	\$450,498.06	\$480,230.93	\$511,926.17
Mantenimiento	\$1,266,737.21	\$1,342,741.44	\$1,423,305.93	\$1,508,704.29	\$1,599,226.54
Mano de obra	\$755,792.24	\$801,139.77	\$849,208.16	\$900,160.65	\$954,170.28
Diverso	\$415,771.33	\$440,717.61	\$467,160.66	\$495,190.30	\$524,901.72
Depreciación planta KDV	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05	\$1,740,000.05
Depreciación planta pretratamiento	\$489,930.80	\$489,930.80	\$489,930.80	\$489,930.80	\$489,930.80
Depreciación obras civiles planta KDV	\$45,789.48	\$45,789.48	\$45,789.48	\$45,789.48	\$45,789.48
Depreciación obras civiles planta pretratamiento	\$25,714.60	\$25,714.60	\$25,714.60	\$25,714.60	\$25,714.60
(-) Costo de venta	\$6,335,970.98	\$6,587,620.56	\$6,855,001.21	\$7,139,098.54	\$7,440,960.01
UTILIDAD BRUTA	\$4,980,208.79	\$5,222,269.24	\$5,481,183.46	\$5,758,116.48	\$6,054,313.36
(-) Gastos de operación y administración	\$35,845.33	\$37,996.05	\$40,275.81	\$42,692.36	\$45,253.90
Intereses	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
(-) Gastos financieros	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$4,944,363.46	\$5,184,273.19	\$5,440,907.65	\$5,715,424.12	\$6,009,059.46
(-) Impuesto sobre la renta (5%)	\$565,808.99	\$590,494.49	\$616,809.23	\$644,860.75	\$674,763.67
UTILIDAD NETA	\$4,378,554.47	\$4,593,778.70	\$4,824,098.42	\$5,070,563.37	\$5,334,295.80

Como se puede observar en los cuadros 40 y 41, con excepción del primer año, en el resto de períodos la utilidad neta es mayor a un 16.2% de los ingresos totales. Debido a esto, se decidió adoptar el Régimen General del Impuesto sobre la Renta, que en este caso consiste en pagar el 5% de impuestos sobre los ingresos netos de ventas.

Asimismo, se observa que en el segundo año se tiene un crecimiento de utilidad neta de 199%, respecto al primer año. Esto se debe principalmente a que la cantidad de litros de diesel vendidos en el segundo año es un 15% mayor que la del primero. Después, el tercer año se tiene un crecimiento de 20% respecto al anterior; el cuarto año, un 19%; el quinto año un 15%; y a partir del sexto año, hasta el décimo, un crecimiento de un 5% para cada año, respecto del período anterior.

Además, desde el quinto año ya no se tienen gastos financieros, puesto que en el cuarto se termina de pagar el préstamo, tal como se mencionó anteriormente. A pesar de que los estados de resultados no determinan si la realización de un proyecto es factible o no, conocer las posibles ganancias que se podrían llegar a tener puede servir de incentivo para los socios y para que el banco acceda a dar un préstamo.

VIII. CONCLUSIONES

- La demanda de combustibles derivados del petróleo es cada vez más alta, pero se pronostica que en los próximos años su producción declinará, por lo que buscar alternativas sostenibles es indispensable.
- El diesel es el producto petrolero más consumido en el mercado guatemalteco y se prevé que su demanda siga en aumento conforme la población crece y la economía se desarrolla.
- Actualmente, la demanda de diesel en el mercado guatemalteco es cubierta con importaciones del producto, cuyo costo ha ido aumentando conforme ha pasado el tiempo, y se pronostica que lo seguirá haciendo.
- La tecnología KDV presenta una posible solución para el aprovechamiento de los desechos sólidos municipales en la ciudad de Guatemala, ayudando a contrarrestar algunos problemas de contaminación, salud, entre otros.
- Con la tecnología KDV se logra generar diesel de calidad aceptada mundialmente, que brinda beneficios respecto a otros métodos y productos.
- Para producir los 48,000 litros/día de diesel, se requieren 350 ton/día de desechos, lo cual constituye sólo un 25% de lo que se genera diariamente en la ciudad; teniendo así un market share anual alrededor de 1%.
- En el análisis financiero, se comprobó la rentabilidad del proyecto a 10 años, obteniendo una tasa interna de retorno (18.81%) superior a la tasa de retorno mínima aceptable (12.5%), un valor presente neto positivo (\$7,422,493.71) y ganancias desde el primer año.

- Generar diesel a partir de desechos sólidos municipales en la ciudad de Guatemala es mercadológica, técnica y financieramente factible.

IX. RECOMENDACIONES

- La contaminación proveniente del inadecuado control y manejo de los desechos sólidos municipales es un problema grave que se acrecienta conforme lo hace la población. Por lo tanto, se recomienda considerar esta u otras alternativas para tratar correctamente los desechos y disminuir sus efectos nocivos.
- Como resultado del proceso KDV, se eliminan controladamente todos los metales y sustancias orgánicas contenidas en la materia prima. Por lo que se recomienda estudiar técnicas de posprocesamiento, para ver de que forma estos se pueden recuperar y ser una fuente de ingreso adicional.
- Se recomienda continuar con el estudio y analizar si es factible y rentable colocar más de una planta, o más líneas de producción dentro de la planta, para sacar provecho de una mayor cantidad de desechos sólidos municipales.
- Se recomienda continuar con el estudio de métodos alternativos para la producción de combustibles en general, puesto que los pronósticos de la eventual escasez del petróleo podrían seguir generando grandes fluctuaciones en sus precios y, además, el futuro apunta a tecnologías que utilicen recursos renovables y sean amigables con el ambiente.

X. FUENTES DE CONSULTA

Aguilar, C. (N.d.). Arquinstal. *Glosario: Alquitrán*. Consulta en Línea: <<http://www.arquinstal.com.ar/glosario.html>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Alphakat. (2011). *KDV Technology* Consulta en línea: <<http://alphakat.de/temp/company.php>> [Consultado: 5 de agosto de 2011].

Anderson, J.; Gaines, L.; Vyas, A. (2006). *Estimation of Fuel Use by Idling Commercial Trucks*. Consulta en Línea: <<http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/373.pdf>> [Consultado: 20 de octubre de 2011].

Antiñolo, A. (2010). Universidad de Casilla-La Mancha. *Los Halógenos*. Consulta en Línea: <<http://www.uclm.es/profesorado/afantinolo/docencia/inorganica/Tema6/TransT6IQ%206.pdf>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Asociación para la Defensa de los Recursos Naturales de Cantabria (ARCA). (2004). *Dioxinas y furanos*. Consulta en Línea: <<http://www.iarca.net/pdf/dioxinasyfuranos.pdf>> [Consultado: 10 de septiembre de 2011].

Banco de Guatemala. (2011). *Inflación Subyacente*. Consulta en Línea: <<http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=imm/imm73>> [Consultado: 15 de septiembre de 2011].

Banco de Guatemala. (2011). *Tipo de cambio: Del 05/10/2011 al 06/10/2011*, Consulta en Línea:

<<http://www.banguat.gob.gt/cambio/historico.asp?kmoneda=02&ktipo=5&kdia=05&kmes=10&kanio=2011&kdia1=06&kmes1=10&kanio1=2011&submit1=Consultar>> [Consultado: 6 de octubre de 2011].

Canalda, J. (1999). *Cación*. Consulta en Línea: <<http://www.ciencia-ficcion.com/glosario/c/cation.htm>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Choc, D. (2010). *Vertedero de la zona 3 seguirá dentro de la ciudad*. Consulta en Línea: <<http://www.elperiodico.com.gt/es/20100405/pais/144131/>> [Consultado: 16 de septiembre de 2011].

Ciria, J. I. (2011). *Propiedades y características de combustibles diesel y biodiesel*. Consulta en Línea: <<http://www.wearcheckiberica.es/documentacion/doctecnica/combustibles.pdf>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

COGUANOR, CONACYT, MIFIC, SIC, MEIC. (2011). *Reglamento técnico centroamericano*. Consulta en Línea: <www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/.../HND_33.doc> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2011). *Tarifas*. Consulta en Línea: <<http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/index.php>> [Consultado: 1 de noviembre de 2011].

CompuSys. (2011). *Computadoras de Escritorio*. Consulta en Línea: <http://www.compusys.com.gt/store/shopcart_listCategoriesAndProducts.asp?idCategory=344> [Consultado: 20 de octubre de 2011].

Construmática. (2011). *Electrólisis*. Consulta en Línea: <<http://www.construmatica.com/construpedia/Electrólisis>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Contra Costa Country. (2009). *Glossary: Hydrofining*. Consulta en Línea: <<http://www.co.contra-costa.ca.us/depart/cd/current/ConocoPhillipsDEIR/8%20glossary%20acronyms.pdf>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

El Congreso de la República de Guatemala. (2005). *Ley de impuesto a la distribución de petróleo crudo y combustibles derivados del petróleo, Decreto Número 38-92*. Consulta en Línea: <<http://www.mem.gob.gt/Portal/Home.aspx?tabid=49>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

El Congreso de la República de Guatemala. (2007). *Ley de Comercialización de Hidrocarburos, Decreto Número 109-97*. Consulta en Línea: <http://www.mem.gob.gt/Portal/Documents/Documents/2010-05/1438/756/LEY%20Y%20REGLAMENTO-COMERC-HIDROC_Mod_12Nov.pdf> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Empresa DIMASA. (2011). *Cotización del precio por vara de terreno en el kilómetro 17 de la ruta al Atlántico*. Teléfono de la empresa: 23370067. [Consultado: 10 de octubre de 2011].

Escuela de Educación Técnica N° 4. (1999). *Catalizadores*. Consulta en Línea: <<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/autos-y-polucion/cataliza.htm>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Estrada, L. Z. (2009). *Diagnóstico y estrategia de comunicación para el buen manejo de los desechos sólidos en la aldea Sajcavillá del municipio de San Juan Sacatepéquez*. Consulta en Línea:

<http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/16/16_0645.pdf> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Gasset, M.; Westway, D. (N. d.). *Los Priones y su Biología*. Consulta en Línea:

<<http://svneurologia.org/congreso/priones-1.html>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Greenpeace España. (2002). *Pirólisis, una técnica de tratamiento térmico no tradicional*. Consulta en Línea:

<<http://www.greenpeace.org/espana/es/reports/pir-lisis-una-tecnica-de-trat/>> [Consultado: 10 de septiembre de 2011].

Ibañez, J.; Corroccoli, M. (2002). *Valorización de residuos sólidos urbanos*.

Consulta en Línea: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/valoriza-residuos.pdf>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Jaramillo, J. (2003). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Efectos de la inadecuada gestión de los residuos sólidos*. Consulta en Línea:

<<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=756>>

[Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. (2011). *Lixiviado*. Consulta en Línea:

<<http://www.cricyt.edu.ar/lahv/xoops/html/modules/wordbook/entry.php?entryID=880>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

- Leiva, M.; Rodríguez, N. (2011). *El diesel*. Consulta en línea: <<http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].
- Lesme, R. Universidad de Oriente, Cuba. *Gasificación de Biomasa*. Consulta en Línea: <<http://www.cengicana.org/Portal/SubOtrasAreas/Cogeneracion/Presentaciones/GasificacionPartirBiomasaCanera.pdf>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].
- Marroquín, A. (2011). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Construyen estrategia para el reciclaje de basura en Guatemala*. Consulta en Línea: <http://marnguatemala.blogspot.com/2011_08_16_archive.html> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].
- Martínez, J. F. (1996). Centro de Estudios Urbanos y Regionales. *La situación de la basura en la Ciudad de Guatemala*. Consulta en Línea: <http://ceur.usac.edu.gt/pdf/Boletin/Boletin_CEUR_30.pdf> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].
- Matthews, W.; O'Connor, D. (2006). *Analizar la Aplicabilidad de los Biocombustibles en el Perú*. Consulta en Línea: <http://www.minag.gob.pe/download/pdf/especiales/bioenergia/Biodiesel/Documentos_principales/MEM_DGH_-_Matthews_n_Connor_-_Aplicabilidad_biocombustibles_Peru.pdf> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].
- Méndez, J. (2007). *El coque metalúrgico*. Consulta en Línea: <<http://www.oviedocorreo.es/personales/carbon/coque/coque%20metalurgico.htm>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Miliarium. (2004). *Biodiesel*. Consulta en Línea:

<<http://www.miliarium.com/monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2003). *Perfil del mercado y competitividad exportadora de etanol*. Consulta en Línea:

<<http://www.mincetur.gob.pe/comercio/otros/penx/pdfs/Etanol.pdf>>

[Consultado: 10 de septiembre de 2011].

Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Estadísticas de Hidrocarburos*. Consulta en Línea:

<<http://www.mem.gob.gt/Portal/Home.aspx?sub=Dirección%20General%20de%20Hidrocarburos>> [Consultado: 5 de julio de 2011].

Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Nómina de Especificaciones de Combustibles A.M. 214-2010*. Consulta en Línea:

<<http://www.mem.gob.gt/Portal/DesktopModules/DocumentDetails.aspx?Eid=1439&ItemID=757>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Monreal, J. (2001). *Gestión de Residuos Sólidos*. Consulta en Línea:

<http://www.science.oas.org/ENVIRO/todo_amb.pdf> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Mueblerías Guatemala. (2011). *Escritorios*. Consulta en Línea:

<<http://catalogo.muebleriasguatemala.com/index.php/muebles-de-oficina/escritorios.html>> [Consultado: 20 de octubre de 2011].

Municipalidad de la Ciudad de Guatemala. (2011). *Disposición de la Basura*. Consulta en Línea:

<http://infociedad.muniguate.com/Site/13_recoleccion_basura.html>

[Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Municipalidad de la Ciudad de Guatemala. (2011). *Una ciudad limpia y verde*.

Consulta en Línea:

<<http://www.muniguate.com/index.php/medioambiente/95-notas/9362-limpieza>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

OECD. (2011). *Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits*. Consulta en Línea:

<<http://www.oecd.org/dataoecd/9/12/35483246.pdf>> [Consultado: 28 de octubre de 2011].

QuimiNet. (2006) *El proceso de hidrogenación*. Consulta en Línea:

<<http://www.quiminet.com/articulos/el-proceso-de-hidrogenacion-16542.htm>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

QuimiNet. (2011). *Definiciones y términos utilizados en aire acondicionado*.

Consulta en Línea: <<http://www.quiminet.com/articulos/definiciones-y-terminos-utilizados-en-aire-acondicionado-15037.htm>> [Consultado: 6 de octubre de 2011].

Red Proteger. (2011). *Poder Calorífico*. Consulta en Línea:

<http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].

Reinhart. (2004). *Estimation of Energy Content of Municipal Solid Waste*.

Consulta en Línea: <<http://msw.cecs.ucf.edu/EnergyProblem.pdf>> [Consultado: 10 de agosto de 2011].

Riegoporgoteo. (2009). *Materia Orgánica*. Consulta en Línea:

<<http://www.riegoporgoteo.cl/glosario.html>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

- Schindler, J.; Zittel, W. (2008). Energy Watch Group. *Crude Oil – The Supply Outlook*. Consulta en Línea: <<http://www.energywatchgroup.org/Crude-Oil.56+M5d637b1e38d.0.html>> [Consultado: 16 de septiembre de 2011].
- Seguel, R.; Silva, F. (2011). *Licuefacción*. Consulta en Línea: <<http://www.dcc.uchile.cl/~roseguel/taller2/licuefaccion.htm>> [Consultado: 18 de septiembre de 2011].
- SOSTIERRA S.A.C. (2011). *KDV - El futuro del Combustible*. Consulta en Línea: <<http://www.sostierra.com.pe/dos.html>> [Consultado: 5 de julio de 2011].
- Textos Científicos. (2011). *Emulsiones*. Consulta en Línea: <<http://www.textoscientificos.com/emulsiones/introduccion>> [Consultado: 6 de octubre de 2011].
- U. S. Department of the Treasury. (2011). *Daily Treasury Yield Curve Rates*. Consulta en Línea: <<http://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>> [Consultado: 6 de octubre de 2011].
- Universidad Autónoma de Madrid. (2007). *Sedimentación*. Consulta en Línea: <http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf> [Consultado: 22 de agosto de 2011].
- Vargas, J. E. (2007). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Proyecto Cuenta con Ambiente: Primer Informe sobre Desechos Sólidos Domiciliarios*. Consulta en línea: <<http://www.marn.gob.gt/documentos/informes/desechos.pdf>> [Consultado: 26 de mayo de 2011].

Wikipedia. (2011). *Actuador*. Consulta en Línea: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>> [Consultado: 12 de septiembre de 2011].

Wikipedia. (2011). *Betún*. Consulta en Línea: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Betún>> [Consultado: 1 de septiembre de 2011].

Wikipedia. (2011). *Destilación fraccionada*. Consulta en Línea: <http://es.wikipedia.org/wiki/Destilación_fraccionada> [Consultado: 12 de septiembre de 2011].

Young, G. C. (2010). *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes: Economic, Technical, and Renewable Comparisons*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.

XI. ANEXOS

ANEXOS A. Especificaciones de calidad para Aceite Combustible Diesel No. 2-D (Automotriz)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	VALORES	
Apariencia	-----	D-4176	Claro y Brillante ^(a)	
Aditivos	-----	-----	Reportar ^(b)	
Color ASTM	-----	D-1500	Reportar	
Índice de Cetano Calculado	-----	D-976	45 mín.	
Número de Cetano ^(c)	-----	D-613	45 mín.	
Corrosión tira de cobre, 3 h, 50°C.	-----	D-130	No.2 máx.	
Contenido de cenizas	% masa	D-482	0,01 máx.	
Contenido de azufre total	% masa	D-129	0,5 máx. (Ver nota para todos los países)	
Residuo de carbón Conradson en 10% residuo	% masa	D-189	0,10 máx.	
Residuo de carbón Ramsbottom en 10% residuo		D-524	0,13 máx.	
Agua y sedimentos	% volumen	D-2709	0,05 máx.	
Punto de inflamación (Flash Point)	°C	D-93	52 mín.	
Gravedad API a 15,56 °C (60 °F) o Densidad a 15°C	°API kg/m ³	D-287 D-1298	Reportar	
Punto de escurrimiento	°C	D-97	Reportar	
Punto de enturbamiento	°C	D-2500	10 máx. (Ver nota limitación climática para Guatemala)	
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s ^(d)	D-445	1,9 - 4,1	
Destilación: 10% recuperados 50% recuperados 90% recuperados Punto final de ebullición	°C °C °C °C	D-86	Reportar Reportar 360 máx. Reportar	
Aromáticos.	% volumen		D-1319	Reportar ^(e)

- (a) Si el producto cumple con los valores establecidos en este reglamento, se considerará apto para la venta aún cuando su apariencia no sea claro y brillante.
- (b) La información que se deberá presentar para cada aditivo que se agregó a este producto es la siguiente:
- Hoja de Datos de Seguridad del Material (“Material Safety Data Sheet”)
 - Proporción agregada del aditivo (mezcla)
 - Propiedad del producto que el aditivo genera o mejora en el mismo, ejemplo: antiespumante, antioxidante, detergente, etc.
- Si se mantiene la fuente de suministro, la información se deberá proporcionar únicamente una vez, pero deberá informar al Ente Nacional Competente, cada vez que éste cambia de aditivo y también cuando se cambia de la fuente de suministro.
- (c) Si el valor del Índice de cetano calculado es menor a 45 se deberá realizar la prueba del número de cetano.
- (d) $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$.
- (e) Reportar indicando el resultado obtenido de acuerdo al método, por un período de un año y evaluar en los siguientes tres meses, con el propósito de definir si se mantiene reportar o se define un valor numérico.

Nota 1: Los métodos ASTM indicados son los aprobados como métodos árbitros. Otros métodos aceptables se indican en el numeral 8.

Nota 2: Para los casos de Reportar deberá indicarse el resultado obtenido de acuerdo al método.

Nota 3: Para generación termoeléctrica podrá utilizarse Diesel 2-D o Diesel 2-GT. El Diesel 2-GT debe cumplir las especificaciones correspondientes a la norma ASTM D-2880-00 y sus contenidos máximos deben ser: 0,50 % m/m de azufre, 0,5 mg/kg de Plomo y 0,5 mg/kg de Vanadio.
El Diesel 2-GT no debe ser utilizado en vehículos automotores de ciclo diesel.

Nota 4: Los resultados se deberán reportar con el número de cifras decimales que indica cada método y no necesariamente con el número de decimales que aparecen en esta tabla de especificaciones.

(FUENTE: COGUANOR; CONACYT; MIFIC; SIC; MEIC, 2011)