

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO,  
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**“PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE  
MEZCLADO DE DIESEL Y BIODIESEL,  
CONSIDERANDO  
LA DENSIDAD COMO PARAMETRO DE CONTROL”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO PETROQUIMICO**

**ELABORADO POR:**

**MISHEL EFRAIN ESPINOZA RAMOS**

**PROMOCION 2004-I**

**LIMA – PERU**

**2013**

**Dedicatoria**

Dedicado a mis sobrinos, Yardely,  
Samuel, Ría, Robinson y en  
especial a mí esposa Silvia.

## **Agradecimiento**

A mis padres Felicita, Guillermo y  
a mis hermanos Rosa, Juliana,  
Reynaldo, Jaime y Lola.

## SUMARIO

La presente tesis, se encuentra direccionada a complementar y mejorar las operaciones de mezclado, que se desarrollan a escala industrial para la obtención de mezclas homogéneas de Diesel Nº 2 y Biodiesel B100, denominadas mezclas Diesel BX, las cuales cumplan con las especificaciones técnicas de calidad vigente<sup>1</sup> y los estándares de calidad ambiental<sup>2</sup>. El presente estudio, consta de los siguientes capítulos:

En el primer capítulo, se plantea la problemática actual de los agentes productores de las mezclas Diesel Nº 2 y Biodiesel B100 (mezclas Diesel BX), los cuales requieren implementar operaciones eficientes de mezclas homogéneas y métodos de ensayos para cuantificar ó verificar el contenido de Biodiesel B100 (FAME) en el producto terminado. En este capítulo se plantea también, la justificación y los objetivos del caso de estudio, incluyendo la hipótesis con la cual se desarrolla la propuesta de solución, que complementa la determinación del contenido de FAME en las mezclas Diesel BX, la cual se basa en la determinación y el control de la densidad resultante de la mezcla Diesel BX, empleando un Densímetro Digital de

---

<sup>1</sup>Mediante la Resolución Ministerial Nº 165-2008 MEM-DM, con fecha de publicación 07/04/2008, se establece las disposiciones relativas a la calidad y los métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel BX.

<sup>2</sup> Mediante el DS Nº 044-98-PCM, se aprobó el Reglamento Nacional de vehículos, referido a los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles. El 12/05/2001, mediante el DS Nº 047-2001-MTC, se establece los límites máximos permisibles (LMPs) para las emisiones contaminantes de los vehículos automotores. Actualizado por el DS Nº 026 2006-MTC.

Precisión<sup>3</sup> y un modelo constituido por funciones dependientes de la densidad,

En el segundo capítulo, se expone el marco teórico, el cual describe los antecedentes de la investigación, basado en la evolución de la normativa peruana de los combustibles y la incorporación del Biodiesel B100 en la matriz energética. En el aspecto técnico se describen las operaciones de mezclas a escala industrial para obtener Diesel BX. Así como también, se menciona los reportes de calidad del OSINERGMIN de los años 2010 y 2011, emitidos por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) referido al contenido de Biodiesel B100 (FAME) en las mezclas Diesel BX. También, se hace referencia a la demanda nacional de Diesel BX proyectada hasta el año 2015 estimado por OSINERGMIN, con el cual se calcula la demanda nacional de Biodiesel B100. Luego, basado en la desviación de la precisión del método de ensayo empleado para cuantificar FAME en Diesel BX, se establece el intervalo de variación del consumo nacional de Biodiesel como componente del Diesel BX. También, se determina la relación de la densidad de las mezclas Diesel BX con su respectiva demanda nacional.

Como base teórica, se describe los métodos de ensayos empleados para determinar el porcentaje de Biodiesel en las mezclas Diesel BX (ASTM D7371 y UNE EN 14078), así como también, se menciona la técnica<sup>4</sup> para determinar la densidad con gran precisión, la cual se basa en la frecuencia de oscilación. Adicionalmente, según las especificaciones técnicas de calidad vigentes, se describen las principales propiedades físicas y químicas de las mezclas Diesel BX y las de sus componentes, Biodiesel B100 y Diesel N° 2.

---

<sup>3</sup> Densímetro digital con repetitividad  $\pm 0.0001$  gr/cm<sup>3</sup>, requisito necesario para aplicar el método estándar ASTM D4052 para determinar la densidad.

<sup>4</sup> Patente USA 5,477,726 Aparatos para determinar la densidad de líquidos y gases, a partir del periodo de un tubo oscilador que contiene en su interior la muestra de prueba. Publicado en diciembre 1995.

En el tercer capítulo, se describe el procedimiento experimental desarrollado en laboratorio y los métodos de cálculos empleados, con el cual se establece la relación entre el porcentaje de volumen de Biodiesel (FAME) y la densidad resultante de la muestra Diesel BX. Al conjunto de funciones establecidas para determinar indirectamente, el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX se le denomina modelo experimental del método alternativo. Adicionalmente, se considera el criterio de repetitividad establecido por los métodos estándares UNE EN 14078 y ASTM D7371, para calcular la precisión y el alcance de aplicación del método alternativo.

También, en este capítulo se verifica la aplicación del método alternativo, mediante la comparación de resultados de contenido de FAME, frente a los métodos convencionales que se basan en las técnicas de infrarrojo (UNE EN 14078 y ASTM D7371).

En el cuarto capítulo, se realiza la interpretación de los resultados que se obtuvieron durante el desarrollo de la metodología experimental del método alternativo denominado DDPX, método indirecto<sup>5</sup> establecido en la presente tesis.

En el quinto capítulo, se plantea las conclusiones obtenidas.

Finalmente en el sexto capítulo, se menciona las recomendaciones respectivas del presente estudio.

---

<sup>5</sup> DDPX: Método indirecto para cuantificar FAME (X) en mezclas Diesel BX, mediante un densímetro digital de precisión (DDP) y un modelo desarrollado en la presente tesis, basado en la regresión lineal para determinar la función de la densidad.

## INDICE

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Sumario	iii
Lista de Símbolos	ix
Lista de tablas	xii
Lista de figuras	xiv
Lista de esquemas	xvi
Lista de anexos	xvii
<b>CAPITULO I.- PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA</b>	
1.1 Problemática	1
1.2 Formulación del problema	1
1.3 Justificación de la tesis	2
1.4 Objetivo del caso de estudio	2
1.5 Hipótesis y variables	3
1.5.1 Hipótesis general	3
1.5.2 Hipótesis específica	4
1.5.3 Identificación de variables	4
1.5.4 Operacionalización de variables	12
1.5.5 Matriz de consistencia	14
<b>CAPITULO II.- MARCO TEORICO</b>	
2.1 Antecedentes de la investigación	16
2.1.1 Base legal	16

2.1.2 Operaciones para mezclar Diesel N° 2 y Biodiesel B100 a escala industrial	17
2.1.3 OSINERGMIN y el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX	18
2.1.4 Variación del contenido de FAME en el Diesel BX y su impacto en la demanda nacional	30
2.1.5 Mezcla Diesel BX y su relación con la densidad	43
2.1.6 Reportes de calidad del OSINERGMIN y la densidad de las mezclas Diesel BX	44
2.2 Bases teóricas	
2.2.1 Técnicas empleadas para determinar el porcentaje de Biodiesel (FAME) en mezclas Diesel BX	48
2.2.2 Medición de la densidad mediante densímetro digital	53
2.2.3 Especificaciones técnicas de las mezclas Biodiesel B100 y Diesel N° 2	56
2.3 Marco conceptual	
2.3.1 Producción de biodiesel	42
2.3.2 Concepto de las mezclas de Diesel N° 2 y Biodiesel B100	57
2.3.3 Propiedades físicas y químicas del Biodiesel B100 y el Diesel N° 2	58

### **CAPITULO III.- METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA CUANTIFICAR FAME EN MEZCLAS DIESEL BX**

3.1 Descripción del método experimental	67
3.2 Elaboración de las muestras Diesel BX de referencia	71
3.2.1 Población y muestras	71
3.2.2 Muestras Diesel BX de referencia	73
3.2.3 Determinación experimental de la densidad de los componentes de la mezcla Diesel BX	73
3.2.4 Determinación experimental de la masa de los componentes de la mezcla Diesel BX	74
3.3 Determinación de la densidad de las muestras de referencia	
3.3.1 Cálculo de la densidad teórica de las muestras Diesel BX de referencia	78



3.3.2 Determinación experimental de la densidad de las muestras Diesel BX de referencia	83
3.3.3 Escenarios experimentales de mezclas Diesel BX de referencia	84
3.4 Determinación del modelo alternativo y su precisión	
3.4.1 Regresión lineal en los sub-intervalos de medición	85
3.4.2 Precisión del modelo DDPX	88
3.5 Verificación del método alternativo mediante comparación con los métodos convencionales de espectroscopia Infrarroja	93
3.5.1 Verificación del contenido de FAME en las muestras de referencia	
3.5.2 Verificación del contenido de FAME en Diesel B5 en tanques de mezclas.	94
<b>CAPITULO IV.- CALCULOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1 Contenido de FAME mediante funciones de densidad	96
4.1.1 Escenario experimental I	97
4.1.2 Escenario experimental II	99
4.1.3 Escenario experimental III	101
4.2 Comparación grafica del contenido de FAME en el Diesel BX mediante funciones respecto la densidad resultante de la mezcla	103
4.3. Intervalo de trabajo del método DDPX ó alcance de aplicación en mezclas Diesel B5	116
4.4 Verificación del Intervalo de trabajo	
4.4.1 Contenido de FAME en muestras de referencia	118
4.4.2 Contenido de FAME en Diesel B5 - mezcla en tanque	122
<b>CAPITULO V.- CONCLUSIONES</b>	126
<b>CAPITULO VI.- RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES</b>	129
<b>CAPITULO VII.- BIBLIOGRAFIA</b>	132
<b>CAPITULO VIII.- ANEXOS</b>	135
<b>GLOSARIO</b>	259

## LISTA DE SIMBOLOS

- $DBX_{(X, Y) i}$ : Denominación de Muestra  $i$  de mezcla Diesel BX, mezcla binaria, con componente Biodiesel B100 en porcentaje volumétrico equivalente a  $X_i$  y componente de Diesel Nº 2 equivalente a  $Y_i$ .  
Donde se cumple en el caso teórico  $X_i + Y_i = 100\% \text{ Vol.}$   
 $i$ : 1,2,3,...n: Ordinal de muestras, toma valores desde a 1 hasta n, n es el número total de muestras.  
Ejemplo: Muestra1:  $DBX_{(X, Y)1}$ ; Muestra 2:  $DBX_{(X, Y)2}$ ; Muestra n:  $DBX_{(X, Y)n}$
- $\Delta (d_{B100} - d_{D2})$ : Es la diferencia de densidades de los componentes de la mezcla Diesel BX, la cual debe estar expresada en unidades de gramo por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).
- $d$ : Densidad determinada a la temperatura de 60 °F, en unidades de gramo por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).
- $d_{B100}$ : Densidad del Biodiesel B100 a la temperatura de 60 °F
- $d_{D2}$ : Densidad de Diesel Nº 2 a la temperatura de 60 °F
- $d_{DBX}$ : Densidad de la mezcla Diesel BX a la temperatura de 60 °F.
- $d_{DB10}$ : Densidad de la mezcla Diesel B10 a la temperatura de 60 °F
- $d_{DB30}$ : Densidad de la mezcla Diesel B30 a 60 °F
- $d_{B100-p}$ : Densidad teórica del Biodiesel puro a 60 °F, obtenido por extrapolación
- $d_{DBX-e}$ : Densidad experimental de la mezcla Diesel BX a 60 °F de temperatura, obtenido mediante el densímetro digital
- $d_{DBX-t}$ : Densidad teórica de la mezcla Diesel BX a 60 °F de temperatura, obtenido mediante cálculo.

- $d_{DDPX}$ : Densidad de la mezcla Diesel BX a 60 °F de temperatura, obtenido al desarrollar el método DDPX.
- $f(d_{DBX})$ : Función de la densidad del Diesel BX.
- LS: Limite superior permisible de los resultados de contenido de FAME en el Diesel BX
- LI: Limite Inferior permisible de los resultados de contenido de FAME en el Diesel BX
- MBPD: Miles de barriles/día
- MG: miles de galones, MBPD: Miles de barriles/día
- $m_X$ : Masa del componente Biodiesel B100 en la mezcla Diesel BX.
- $m_Y$ : Masa del componente Diesel N° 2 en la mezcla Diesel BX
- $m_{B100}$ : Masa del componente Biodiesel B100 en la mezcla Diesel BX.
- $m_{D2}$ : Masa del componente Diesel N° 2 en la mezcla Diesel BX.
- $m_{DBX}$ : Masa total de la mezcla Diesel BX. Definido teóricamente y determinado experimentalmente mediante balanza analítica.
- $m_{B100-p}$ : masa de Biodiesel B100, afectado por el factor de pureza
- P: Pureza referido a la masa de Biodiesel B100 en porcentaje másico,  $96.5 \leq P \leq 100$  (m/m)
- PR1 Diesel BX: Precio de Referencia de Importación del Diesel BX en el Callao, en US\$/Bl.
- PR1 Diesel N°2: Precio de Referencia de Importación del Diesel 2 en el Callao, en US\$/Bl.
- PR1 Biodiesel B100: Precio de Referencia de Importación del Biodiesel B100 en el Callao, en US\$/Bl.
- $r_d$ : Repetitividad respecto a los resultados de los ensayos de Densidad del Diesel BX
- $r_x$ : Repetitividad respecto a las mediciones de FAME en Diesel BX mediante los métodos estándares ASTM D 7371 y UNE EN 14078, en unidades de porcentaje volumétrico (%v/v).
- $r_{DDPX}$ : Repetitividad del porcentaje volumétrico de Biodiesel B100 (X: FAME) obtenido por el método alternativo DDPX.
- Tang  $\alpha$ , a: constantes de cada intervalo de medición del modelo determinado por regresión lineal. Tang  $\alpha_i$ : Tangente del ángulo  $\alpha$ ,

- ( $\alpha_1 \leq \alpha_i < 90^\circ$ ) expresa la pendiente de la función  $f_i$  respecto al eje x (densidad del Diesel BX).  $\alpha$ : Angulo de la pendiente de la función de la densidad respecto al eje de densidad.  $a$ : Constante independiente de la ecuación de la recta  $f_{(d \text{ DBX})}$
- $V_{X_i}$ : Volumen del componente Biodiesel B100 en la mezcla Diesel BX.
- $V_{Y_i}$ : Volumen del componente Diesel N° 2 en la mezcla Diesel BX.
- $V_{\text{DBX}}$ : Volumen total de la mezcla Diesel BX.
- $V_{\text{D2}}$ : Volumen del componente Diesel N° 2 en la mezcla Diesel BX.
- $V_{\text{B100}}$ : Volumen de Biodiesel B100 en la mezcla DBX.
- $V_{\text{B100-p}}$ : Volumen de Biodiesel B100 sin considerar las impurezas
- $V_{\text{DBX-p}}$ : Volumen de Diesel BX sin considerar el volumen de las impurezas provenientes del Biodiesel B100.
- $V_{\text{I-B100}}$ : Volumen de las impurezas contenidas en el Biodiesel B100
- $X$ : Representa el porcentaje en base volumétrico del combustible Biodiesel B100 contenido en la mezcla.
- $X_{\text{DDPX}}$ : representa el porcentaje volumétrico de Biodiesel B100 ( $X$ : FAME) obtenido por el método alternativo DDPX
- $X_p$ : Porcentaje en volumen del Biodiesel B100 considerando su pureza
- $Y$ : Representa el porcentaje en base volumétrico del combustible Diesel N° 2 contenido en la mezcla.

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1	Países productores de Biodiesel-America Latina y el Caribe, 2009	6
Tabla N° 1.2	Contenidos de esteroides vegetales en alimentos	7
Tabla N° 1.3	Operacionalización de variables	12
Tabla N° 1.4	Matriz de consistencia	14
Tabla N° 2.1	FAME en Diesel BX inspección OSINERGMIN 2010-2011	22
Tabla N° 2.2	Contenido de FAME en Diesel BX inspección OSINERGMIN-2010	23
Tabla N° 2.3	Contenido de FAME en Diesel BX inspección OSINERGMIN-2011	25
Tabla N° 2.4	Demanda promedio de Diesel BX y Biodiesel B100	32
Tabla N° 2.5	Importador de Biodiesel	33
Tabla N° 2.6	La importación acumulada de Biodiesel y su país de procedencia	34
Tabla N° 2.7	A) Importación anual de Biodiesel B) Importación anual de Biodiesel y precio FOB C) Cálculo del precio de Biodiesel por tonelada	37
Tabla N° 2.8	Tipos de densidad del Biodiesel	38

Tabla N° 2.9	Precio de Diesel BX y Biodiesel B100	39
Tabla N° 2.10	Proyección del consumo nacional de Biodiesel B100 y su relación con la precisión del método EN 14078	40
Tabla N° 2.11	Grados API de Diesel BX, inspección OSINERGMIN 2010/Plantas de almacenamiento y refinerías	46
Tabla N° 2.12	Precisión del método de ensayo ASTM D7371	51
Tabla N° 2.13	Precisión del método de ensayo EN 14078	52
Tabla N° 2.14	Relación del punto de obstrucción del filtro, en flujo en frío y el clima ambiental	59
Tabla N° 3.1	Densidad de los componentes de las mezclas de referencia, Diesel N° 2 y Biodiesel B100.	72
Tabla N° 3.2	Intervalo de medición de las muestras de referencia Diesel BX	73
Tabla N° 3.3	Masa de los componentes del escenario I, II y III	76
Tabla N° 3.4	Densidad experimental de las mezclas Diesel BX de referencia	83
Tabla N° 3.5	Escenarios de mezclas Diesel BX	84
Tabla N° 3.6	Precisión del Diesel B5	91
Tabla N° 3.7	Verificación de las muestras de referencia	93
Tabla N° 3.8	Mezcla en tanque Diesel B5 (Marzo-2012)	94
Tabla N° 4.1	Contenido de biodiesel en escenario I	98
Tabla N° 4.2	Contenido de biodiesel en escenario II	100

Tabla N° 4.3	Contenido de biodiesel en escenario III	102
Tabla N° 4.4	Escenario experimental I, Diesel BX: Diesel N° 2 (0.8389 g/cm <sup>3</sup> ) y Biodiesel (0.8851 g/cm <sup>3</sup> )	104
Tabla N° 4.5	Escenario experimental II, Diesel BX: Diesel N° 2 (0.8389 g/cm <sup>3</sup> ) y Biodiesel (0.8751 g/cm <sup>3</sup> )	105
Tabla N° 4.6	Escenario experimental III, Diesel BX: Diesel N° 2 (0.8565 g/cm <sup>3</sup> ) y Biodiesel (0.8751 g/cm <sup>3</sup> )	106
Tabla N° 4.7	Comparación de la repetitividad de los resultados de FAME en las muestras de referencia, mediante el método ASTM D 7371 y el método alternativo DDPX	119
Tabla N° 4.8	Resultados de FAME de las mezclas Diesel B5 y la comparación de repetibilidad del método alternativo DDPX y el método convencional EN 14078, en la Planta de Abastecimiento y Producción de Diesel BX (PAP)	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1-1	Principales productores de Biodiesel	9
Figura N° 2-1	Inspección OSINERGMIN 2010, repetitividad de FAME según EN 14078 Diesel B2	24
Figura N° 2-2	Inspección OSINERGMIN 2010, reproducibilidad de FAME según EN 14078 Diesel B2	34
Figura N° 2-3	Inspección OSINERGMIN 2011, repetitividad de FAME según EN 14078 Diesel B5	26
Figura N° 2-4	Inspección OSINERGMIN 2011, reproducibilidad de FAME según EN 14078 Diesel B5- 2011	27
Figura N° 2-5	Inspección de FAME en Diesel BX-2010/2011 repetitividad EN 14078-10	28
Figura N° 2-6	Inspección FAME en Diesel BX-2010/2011 reproducibilidad EN 14078-10	29
Figura N° 2-7	Proyección de la demanda nacional de Diesel BX al Año 2015	31
Figura N° 2-8	Proyección de la demanda nacional de Biodiesel B100 al Año 2015	33
Figura N° 2-9	Cuadro comparativo de la importación y la demanda del Biodiesel B100	34
Figura N° 2-10	Comparación de precios del Diesel N° 2 (US GC) y Biodiesel B100 (US GC)	36
Figura N° 2-11	Rango de API- demanda Diesel BX	47
Figura N° 2-12	Rango de API del Diesel BX afectado por la demanda nacional	47



Figura N° 2-13	Espectros infrarrojo del Diesel y Biodiesel método ASTM D7371	49
Figura N° 2-14	Tubo en forma de “U” para medir la densidad	54
Figura N° 2-15	Densímetro estacionario, modelo SVM 3000	55
Figura N° 2-16	Densímetro en línea, modelo L-DENS 427	55
Figura N° 2-17	Reacción de trans-esterificación	56
Figura N° 2-18	Comportamiento del punto de obstrucción del filtro, en flujo en frío (CFPP), en mezclas de Biodiesel de palma (PME) y Biodiesel de soya (SME)	60
Figura N° 3-1	Densidad del Diesel N° 2	74
Figura N° 3-2	Densidad del Biodiesel B100	74
Figura N° 3-3	Densidad del Diesel BX versus el porcentaje Volumétrico de Biodiesel B100	86
Figura N° 3-4	Repetitividad de la densidad del Diesel BX versus la repetitividad del porcentaje volumétrico del B100	88
Figura N° 4-1	Escenario experimental I-A) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo bajo	107
Figura N° 4-1	Escenario experimental I-B) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo medio	108
Figura N° 4-1	Escenario experimental I-B) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo alto	109
Figura N° 4-2	Escenario experimental li-A) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo bajo	110
Figura N° 4-2	Escenario experimental li-B) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo medio	111
Figura N° 4-2	Escenario experimental II-B) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo alto	112

Figura Nº 4-3	Escenario experimental III-A) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo bajo	113
Figura Nº 4-3	Escenario experimental III-B) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo medio	114
Figura Nº 4-3	Escenario experimental III-B) Densidad @60 °F del Diesel BX en intervalo alto	115
Figura Nº 4-4	A) Precisión del método DDPX y del método ASTM D7371 escenario I-muestras DB2, DB5 y DB10 B) Precisión del método DDPX y del método ASTM D7371 escenario I- muestras DB10 y DB2	120
Figura Nº 4-5	A) y B) Mezcla Diesel B5 en tanque-comparación del método UNE EN 14078 y el método alternativo DDPX	125

**LISTA DE ESQUEMAS**

Esquema N° 3-1 Estructura del escenario experimental de mezclas Diesel	70
Esquema N° 3-2 Mezcla Diesel BX en tanque	71

## LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1:	Modificación del DS N° 025-2005-EM que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Decreto Supremo N° 013-2005-EM (actualizado por el DS N° 092-2009- EM)	135
Anexo N° 2:	Ley N° 28054, ley de promoción del mercado de biocombustibles	138
Anexo N° 3	Decreto Supremo N° 021- 2007 EM, actualizado por el DS 064-2008-EM	142
Anexo N° 4:	Resolución Ministerial N° 165-2008 MEM-DM, disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20	156
Anexo N° 5:	Tipificación y escala de multas y sanciones de hidrocarburos de OSINERGMIN	159
Anexo N° 6:	Procedimiento de control de calidad actualizado por la Resolución de Consejo Directivo N° 144-2011-OS/CD, Resolución de Consejo Directivo N° 206-2009-OS/CD	160
Anexo N° 7:	Propuesta de metodología para el cálculo del precio de referencia del Diesel B2, por <i>World Products Trading SAC.</i>	174
Anexo N° 8	Especificaciones técnicas de calidad del Diesel N° 2 y el Biodiesel B100, según las normas técnicas	

	peruanas: NTP 321.003 y NTP 321.125 respectivamente	193
Anexo N° 9:	Resumen de los métodos ASTM D7371 y EN 14078, especificaciones e incertidumbre	197
Anexo N° 10:	Inspecciones de calidad del año 2010 realizadas por el organismo supervisor de la Inversión en energía y minería (OSINERGMIN)	198
Anexo N° 11:	Análisis situacional de la comercialización de combustibles líquidos en el Perú-Marzo 2011	202
Anexo N° 12:	Importación de biodiesel, datos obtenidos del reporte de ADUANET, desde 2009 hasta el 2011	216
Anexo N° 13:	Precios reportado por price- OSINERGMIN- 2012, precio mayorista de Diesel BX	205
Anexo N° 14:	Patente de SVM 3000, por Anton Paar	209
Anexo N° 15:	Características de los equipos desarrollados por Anton Paar	213
Anexo N° 16:	Espectros Infrarrojo de las muestras de referencia	217
Anexo N° 17:	Procedimiento de mezcla en Planta de Abastecimiento y Producción de Diesel BX (PAP)	222
Anexo N° 18:	Reportes de mezcla de Diesel B5 en tanque, Planta de Abastecimiento y Producción de Diesel BX (PAP)	225
Anexo N° 19:	Simulación del método alternativo DDPX- escenario I	226
Anexo N° 20:	Decreto Supremo N° 047-2001-MTC, límites máximos permisibles (LMPs) de las emisiones contaminantes para vehículos automotores en circulación.	239
Anexo N° 21:	Emisión nacional de gases de efecto invernadero	257

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Problemática**

A nivel global, el incremento continuo de la demanda de los combustibles derivados de petróleo y el control de la contaminación del medio ambiente, conlleva a un planeamiento de producción sostenible. Una de las alternativas al respecto, es diversificar la matriz energética para reducir la dependencia del petróleo, mediante el empleo de los combustibles provenientes de fuentes renovables, tales como el Biodiesel (FAME: mezcla de esteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga) y sus mezclas<sup>1</sup> con el combustible Diesel, los cuales se denominan Diesel BX (DBX).

Por tanto, la incorporación del Biodiesel en el mercado de los combustibles, conlleva a establecer e implementar nuevos esquemas de control de calidad, para generar mezclas DBX que cumplan con las especificaciones técnicas de calidad y las normas medioambientales.

#### **1.2 Formulación del problema**

Un deficiente proceso de mezclado a escala industrial de la mezcla Biodiesel B100 y Diesel N° 2, puede generar estratificación de sus componentes ó mezclas no homogéneas.

---

<sup>1</sup> Mezcla DBX: según el reglamento comercialización de biocombustibles DS N° 021-2007-EM, publicado el 20/04/2007, la abreviatura BX representa la mezcla que contiene Diesel N° 2 y Biodiesel B100, donde el valor X representa el porcentaje en base volumétrica del combustible biodiesel B100 contenido en la mezcla; siendo el diferencial volumétrico el porcentaje de Diesel N° 2.

Por tanto, los productores<sup>2</sup> de Diesel BX requieren implementar operaciones eficientes de mezclado, para obtener mezclas homogéneas y así cumplir con los rangos permisibles del contenido de FAME, establecidos y exigidos por las especificaciones técnicas de calidad vigentes<sup>3</sup>. También, requieren implementar métodos de ensayos estándares para cuantificar o verificar el contenido de Biodiesel en el producto terminado. El contenido de FAME en las mezclas Diesel BX se encuentra regulado por entes gubernamentales mediante el DS N° 021-2007-EM, publicado el 20/04/2007.

### **1.3 Justificación de la tesis**

Con el objetivo de obtener mezclas Diesel BX homogéneas, el presente estudio se encuentra direccionado en plantear una solución alternativa, para optimizar y complementar el proceso de mezclado de Diesel N° 2 y Biodiesel B100 a escala de producción industrial, que se vienen realizando en las Plantas de Abastecimiento y Refinerías. Para ello, se plantea como variable de control a la densidad resultante de la mezcla binaria Diesel BX. Propiedad física determinada por un densímetro digital de precisión, empleada para cuantificar indirectamente el contenido de FAME de las mezclas Diesel BX. Mediante el cual, se obtiene resultados comparables dentro del Intervalo de precisión definido por los métodos de ensayos estándares, que son exigidos por las especificaciones técnicas de calidad vigentes.

### **1.4 Objetivo del caso de estudio**

#### **1.4.1 Objetivo general**

La presente tesis tiene como objetivo, desarrollar un método alternativo para complementar y optimizar el proceso del mezclado de Biodiesel B100 y Diesel N° 2, considerando la densidad como parámetro de control del contenido de Biodiesel y así obtener mezclas Diesel BX homogéneas, las

---

<sup>2</sup> Referido a los agentes de comercialización de combustibles de líquidos, las refinerías y plantas de abastecimiento, según artículo 13 del Decreto Supremo N° 021-2007 EM, actualizado el 27/12/2008 por el DS N° 064-2008-EM.

<sup>3</sup> Se establece las disposiciones relativas a la calidad del Diesel N° 2, mediante el DS N° 092-2009 publicado el 31/12/2009 y la Resolución Ministerial N° 165-2008 MEM-DM con fecha de publicación 07/04/2008, el cual recurre a la aplicación del DS N° 025-2005-EM (actualizado el 07/10/2005 por el DS N° 041-2005-EM).

cuales cumplan con las especificaciones técnicas de calidad referido al contenido de FAME en el Diesel BX.

#### **1.4.2 Objetivo específico**

Determinar el contenido de FAME de las mezclas Diesel N° 2 y Biodiesel B100, basado y limitado por la precisión de la densidad resultante de la mezcla Diesel BX y las de sus componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100, la cual cumpla con las especificaciones técnicas de calidad vigentes del Diesel BX

#### **1.4.3 Objetivo específico**

Establecer un intervalo de precisión del método alternativo desarrollado, mediante los resultados de la densidad de la mezcla Diesel BX, en función de la precisión definida por los métodos de ensayos estándares, empleados para cuantificar el contenido de FAME.

### **1.5 Hipótesis y variables**

En la presente sección, se establece la hipótesis del estudio, con la cual se plantea la propuesta de solución, mediante la determinación y el control de la densidad resultante de la mezcla Diesel BX. La que se basa en el empleo de un Densímetro Digital de Precisión con regulación de temperatura y un modelo experimental constituido por funciones dependientes de la densidad, para determinar indirectamente el contenido de FAME ( $X$ ) en las mezclas Diesel BX

#### **1.5.1 Hipótesis general**

Para complementar y optimizar las operaciones de mezclado de Diesel N° 2 y Biodiesel B100, se realizará mediante el monitoreo y la medición de la densidad resultante del Diesel BX durante el proceso<sup>4</sup> de mezcla, con el cual se cuantificará indirectamente el contenido de FAME ( $X$ ), hasta obtener una mezcla homogénea.

---

<sup>4</sup> El artículo 13 del DS N° 021-2007 EM, actualizado por el DS 064-2008-EM emitido el 27/12/2008, menciona que las Refinerías y las Plantas de Abastecimiento deben realizar las operaciones de mezclas Diesel BX en línea de despacho o en Tanques.



### 1.5.2 Hipótesis específica

Se plantea que el contenido de Biodiesel en la mezcla Diesel BX es determinado mediante una función dependiente de la densidad de la mezcla resultante y las de sus componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100.

$$\%FAME = f_{(DENSIDAD)}$$

### 1.5.3 Identificación de variables

Durante el proceso de producción de las mezclas Diesel BX, se tienen diferentes variables que influyen en una distribución no homogénea ó estratificación entre sus componentes (Diesel N° 2 y Biodiesel B100); por tanto, el contenido de FAME en el producto terminado puede ser diferente al esperado, lo que conlleva al incremento del tiempo estimado del proceso de mezcla, hasta obtener un Diesel BX con un contenido de FAME homogéneo.

Se han identificado variables que no dependen del proceso de mezcla, a las cuales se les ha denominado variables independientes, tales como:

- La naturaleza de la materia prima de los componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100 (características físicas y químicas)
- La temperatura medio ambiental del lugar donde se realiza las operaciones de mezcla, etc.

También, se tiene variables que son dependientes del proceso de mezcla, a los cuales se les clasifica como variables dependientes, tales como:

- El tiempo de contacto del Diesel N° 2 y el Biodiesel B100 durante la mezcla.
- La densidad de la mezcla Diesel BX resultante.
- La temperatura de almacenamiento del Diesel N° 2 y del Biodiesel B100 previo al proceso de mezclado.
- El contenido final de FAME en la mezcla Diesel BX.
- La infraestructura y equipos empleados en el proceso de mezcla disponibles para el productor etc.

Por lo tanto, en la presente tesis se considera las siguientes variables:

### 1.5.3.1 Variables independientes

Entre las variables independientes que relacionan la densidad resultante de la mezcla y el contenido de FAME durante el proceso de mezcla Diesel BX, se considera las siguientes:

#### a) Pureza de los componentes

Para el caso del Biodiesel B100, dado que las especificaciones técnicas de calidad ASTM D6751 y la NTP 321.125 no mencionan la pureza del Biodiesel B100 FAME, en el presente estudio se considera el límite establecido por las especificaciones técnicas de la Unión Europea (UNE EN 14214), mediante la norma UNE EN 14103, la cual plantea una pureza mínima de 96.5 % (porcentaje en masa). Esta norma se ha diseñado en función del biodiesel obtenido a partir de aceite de colza, la oleaginosa de mayor productividad en la zona centroeuropea. También, algunos países mediterráneos donde, por ejemplo, el girasol es la principal oleaginosa, han introducido determinadas modificaciones en la norma para estimular la producción de biodiesel a partir de sus propias materias primas. Pero, en la actualidad<sup>5</sup>, con el objetivo de emplear materia prima que no influya con la demanda del mercado de los alimentos, se está produciendo Biodiesel a partir de materias primas alternativas de composición no muy bien definida, tales como el aceite vegetal reciclado (*frying oil*), micro algas. En la Tabla N° 1.1 se detalla los países de América Latina y el Caribe con sus respectivas fuentes de materia prima, las cuales están asociadas con impurezas que no pueden ser evidentes hasta la operación del motor. Tales como los esterol-glucósidos<sup>6</sup>, que son compuestos que contienen, por un lado, azúcares (glucosa) y por otro fitoesteroles<sup>7</sup> (esteroles), provenientes de las

---

<sup>5</sup> Última actualización del presente estudio, diciembre del 2012

<sup>6</sup> "Sterol Glucoside Content in Vegetable Oils as a Risk for the Production of Biodiesel", 2010, [www.agqm.de](http://www.agqm.de)

<sup>7</sup> Síntesis de esteroides a partir de los esterol-glucósidos, Instituto de Química Rosario (IQUIR-CONICET). <http://www.rosario-conicet.gov.ar/noticias2.php?id=166>

oleaginosas (aceite), los cuales permanecen en el Biodiesel en forma de mezcla homogénea, durante todo el proceso de producción.

Tabla N° 1.1 PAISES PRODUCTORES DE BIODIESEL-AMERICA LATINA Y EL CARIBE, 2009

País	Materia Prima
Argentina	Soya, Girasol, Colza, Cártamo, Maní, Ricino, Jatropha, Coco mbocayá, Grasa Animal, Aceites vegetales reciclados
Bolivia	Soya
Brasil	Soya, Girasol, Colza, Algodón, Ricino, Jatropha, Palma aceitera, Babasú, Nabo forrajero, Grasa animal, Aceites vegetales reciclados
Chile	Girasol, Colza, Cártamo, Ricino, Jatropha, Grasa animal, Aceites vegetales reciclados, Algas
Colombia	Palma africana, Maíz
Costa Rica	Palma africana
Ecuador	Palma africana
Guatemala	Palma africana
Honduras	Palma africana
Paraguay	Soya, Girasol, Colza, Maní, Algodón, Sésamo, Ricino, Jatropha, Coco mbocayá, Tung, Grasa animal, Aceites vegetales, reciclados
Perú	Palma africana
Uruguay	Soya, Girasol, Colza, Algodón, Ricino, Grasa animal, Aceites vegetales reciclados

Fuente: Estudio regional sobre economía de los biocombustibles 2010: Temas claves para los países de América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 28 y 29 de marzo, 2011.

En la Tabla N° 1.2 se muestra ejemplos de oleaginosas con su contenido de esteroides vegetales.

TABLA N° 1.2 CONTENIDO DE ESTEROLES VEGETALES EN ALIMENTOS

Alimento	Esteroides vegetales (mg/100 g)
Aceite de maíz	952
Aceite de girasol	725
Aceite de semilla de soja	221
Aceite de oliva	176
Almendras	143
Alubias	76
Maíz	70
Trigo	69
Aceite de palma	49

Fuente: El libro blanco de los esteroides vegetales, pag. 77. Departamento de Biología Fundamental y Ciencias de la Salud, Facultad de Ciencias, *Universitat de les Illes Balears*, Palma de Mallorca

En cuanto al Diesel, generalmente contiene aditivos químicos (antiespumantes, biocidas, marcadores, mejoradores de cetano, etc.) empleados para mejorar sus propiedades físicas o químicas, los cuales pueden interactuar<sup>8</sup> con el Biodiesel durante la elaboración de la mezcla Diesel BX. Pero, en el presente estudio, no se está considerando ningún factor por pureza, por tratarse de la sustancia matriz de la mezcla Diesel BX o sustancia de mayor porcentaje en el producto terminado.

### **b) Operaciones de mezclado de Diesel BX**

En el Perú, de acuerdo a lo establecido por Decreto Supremo N° 021-2007 EM (actualizado por el DS 064-2008-EM, emitido el 27/12/2008), los agentes comercializadores de diesel BX, sólo pueden efectuar dos modalidades de mezclas, tales como, las operaciones de mezclas en línea de despacho o las operaciones de mezclas en tanque. Por lo tanto, la aplicación de dichas operaciones por el agente comercializador, dependerá de la implementación y aprobación de su Informe Técnico Favorable (ITF) para elaborar mezclas Diesel BX, el cual es aprobado por el OSINERGMIN. Pero, en el presente estudio, solo enfocaremos las operaciones de mezclas en tanque.

<sup>8</sup> Experiencias en Colombia, Extraído del Foro Nacional de Buenas prácticas de manejo de Biodiesel y sus mezclas. Marzo 2011

### **c) Densidad de los componentes de la mezcla, Diesel Nº 2 y Biodiesel B100**

Dado que las especificaciones técnicas de calidad ASTM 6751 (Biodiesel), ASTM 975 (Diesel), NTP 321.125 (Biodiesel) y la NTP 321.003 (Diesel) no mencionan intervalos de densidad, en el presente estudio se consideran los límites establecidos por las especificaciones técnicas de la Unión Europea UNE EN 14214 (Biodiesel) y EN 590 (Diesel), el cual se detalla en la sección 2.1.5 (Capítulo II), por tanto, el intervalo de densidad considerado para los componentes de la mezcla Diesel BX, presenta la siguiente clasificación:

La densidad del Biodiesel B100, según la norma EN 14214, se encuentra en un intervalo comprendido desde 860 Kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 33) hasta 890 Kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 27.5)

La densidad para el Diesel, según la norma EN 590-10, se encuentra en un intervalo comprendido desde 820 kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 41.1) hasta 845 kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 36). Se debe tener en cuenta, que la medición de las densidades se realiza a la temperatura de 60° F.

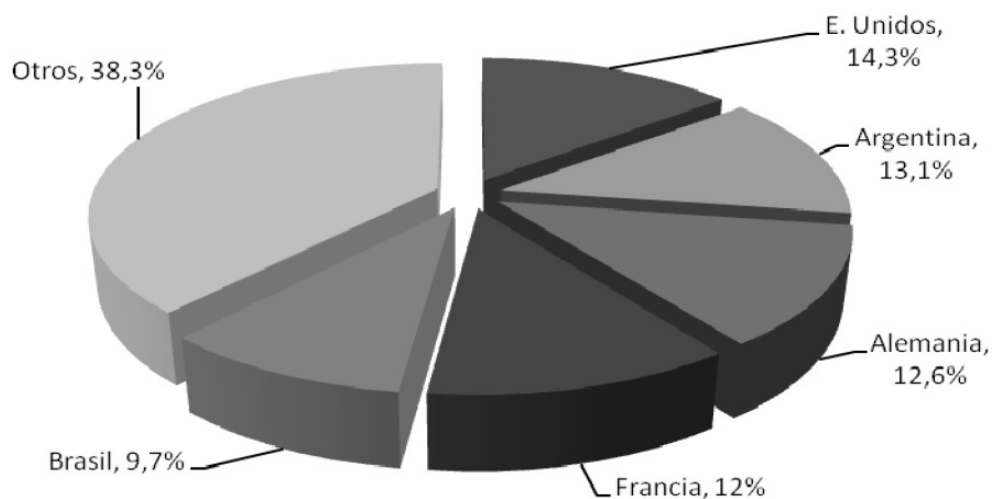
### **d) Tipos de Diesel Nº 2 y Biodiesel B100**

Cada agente comercializador de Diesel BX, adquiere y mezcla Diesel Nº 2 y Biodiesel B100 de diferentes procedencias, tales como los de origen nacional o importado, en la Figura Nº 1-1 se muestran los principales productores de Biodiesel a nivel global. El Diesel o el Biodiesel se clasifican según sus propiedades físicas y químicas más relevantes, los cuales están ligados a los efectos nocivos al medio ambiente o al desempeño en el motor en climas fríos. Como por ejemplo:

- Para el caso del Diesel Nº 2, según la especificación técnica de calidad NTP 321.003, clasifica al Diesel según el contenido de Azufre; por ejemplo, se tiene el Diesel Nº 2 S50 con contenido máximo de azufre 50 ppm.

- Para el caso del Biodiesel B100, según Rotterdam FOB<sup>9</sup> clasifican al Biodiesel B100 según la propiedad “Punto de Obstrucción del Filtro para Flujo en Frío” (CFPP), propiedad que se determina mediante el método de ensayo UNE EN 116. Estableciéndose así, la diferencia de precios; por tanto, el Biodiesel de mayor precio es el cual tenga menor CFPP. Por ejemplo, se tiene Biodiesel con CFPP de 0°C (FAME 0°C CFPP) y el Biodiesel con CFPP de -10°C (FAME -10°C CFPP).

FIGURA N° 1-1 PRINCIPALES PRODUCTORES DE BIODIESEL



Fuente: Estudio regional sobre economía de los biocombustibles 2010: Temas claves para los países de América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 28 y 29 de marzo, 2011

En el presente estudio enfocado a las mezclas Diesel BX, se clasificará los tipos de Diesel N°2 y Biodiesel B100 según su densidad, propiedad que será determinada mediante el método de ensayo estándar ASTM D4052, denominándolos livianos a los combustibles de baja densidad y pesados a los combustibles de alta densidad. La referencia del intervalo de densidad para cada componente, serán los establecidos por las especificaciones técnicas de calidad UNE EN 14214 y UNE EN 590.

<sup>9</sup> *Daily international market prices and commentary, ARGUS BIOFUELS, www.argusmedia.com*

### **1.5.3.2 Variables dependientes**

Entre las variables más importantes que dependen del proceso de mezcla Diesel BX, las cuales relacionan la densidad resultante de la mezcla y el contenido de FAME, se considera las siguientes:

#### **a) Densidad de la mezcla resultante.**

El valor de la densidad del Diesel BX durante el proceso de mezcla, variará desde la densidad del componente más ligero, correspondiente a la densidad del Diesel N° 2, hasta la densidad del componente más pesado, correspondiente a la densidad del Biodiesel B100. También, se observa que en las mezclas en tanque, el componente más pesado o el de mayor densidad, siempre tenderá a permanecer en la parte inferior de la mezcla. Comportamiento físico de los componentes de mezcla, que se debe de tener en cuenta para lograr una mezcla homogénea. En el desarrollo de las pruebas de campo del presente estudio, se empleara un densímetro de precisión, con el cual se realizará el monitoreo de la variación de la densidad, bajo el método de ensayo estándar ASTM D 4052.

#### **b) Tiempo del proceso de mezcla.**

Cada operación de mezcla Diesel BX, empleará un determinado tiempo de contacto entre los componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100, para lograr una mezcla homogénea, la cual dependerá de la rapidez de difusión del Biodiesel B100 en el Diesel N° 2, también dependerá del régimen y la capacidad de recirculación ó agitación, de las infraestructuras o características físicas del tanque que el productor tenga a disposición, etc. Por tanto, se está considerando el término del proceso de mezcla en tanque, al verificar la homogenización de la mezcla Diesel BX, mediante el muestreo por niveles basado en el método estándar ASTM D 4057 y la caracterización de la densidad de cada muestra empleando el densímetro digital de precisión basado en el método de ensayo estándar ASTM D 4052.

#### **c) Contenido de biodiesel en la mezcla Diesel N°2 y Biodiesel B100**

El contenido de Biodiesel en el Diesel BX se encuentra establecido por disposiciones gubernamentales (DS 092 2009 EM), en el país a la fecha del

2012, le corresponde el 5 % Vol. (cinco por ciento en volumen). Por tanto, los productores de Diesel BX deben implementar operaciones de mezcla, con los cuales se obtengan mezclas homogéneas con dicho porcentaje. Pero, durante el proceso de mezclado, el contenido de Biodiesel varía según la precisión de dichas operaciones de mezcla.

Por tanto, para medir el contenido de FAME durante las operaciones de mezclas Diesel BX, se empleará los métodos de ensayos estándares (UNE EN 14078 y ASTM D7371) y el método alternativo desarrollado en el presente estudio. Los resultados se detallan en la Tabla N° 4.8 del capítulo IV.

#### **1.5.4 Operacionalización de variables**

La operacionalización de variables se describe en la Tabla N° 1.3

#### **1.5.5 Matriz de consistencia**

La matriz de consistencia del presente estudio se describe en la Tabla N° 1.4



TABLA N° 1.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

## a) Variables independientes

VARIABLES	TIPO	DEFINICION	OPERACIONALIZACION	INDICADOR	NIVEL DE MEDICION	UNIDAD
Pureza del Biodiesel B100	Variable independiente	Componentes del Biodiesel, diferentes a los esteres metilicos, los cuales afectan el buen desempeño del motor.	Análisis por espectroscopía Infrarroja y cromatografía de gases, por el método EN 14103.	Cuantificación de Ester.	Límites permisibles establecidos por la norma UNE EN 14214 (mínimo 96.5 % de pureza)	Porcentaje en peso de Biodiesel (FAME)
Operaciones de mezcla Diesel BX	Variable independiente	Proceso de mezclado de Diesel N° 2 y Biodiesel B100, hasta obtener una mezcla Diesel BX homogéna	Procedimiento de mezcla Diesel BX establecido por el agente productor según su ITF aprobado.	Monitoreo de las propiedades físicas y químicas de mezcla en tanque, Muestreo por niveles y por lote de mezcla.	Disposiciones técnicas de mezclas Diesel BX, establecido por el DS 021-2007 EM (actualizado por el DS 092-2009 EM), mezcla en línea o mezcla en tanque	En línea ó en Tanque.
Tipo de Diesel N°2 y Biodiesel B100 y sus respectivas densidades	Variable independiente	Las Especificaciones Técnicas definen el tipo de combustible según sus propiedades físicas y químicas. Para el Biodiesel NTP 321.125, UNE EN 14214, ASTM D6751 y para el Diesel NTP 321.003, UNE EN 590, ASTM D975.	Caracterización inicial de los componentes de la mezcla, empleando equipos y métodos de ensayo normados, densímetro digital, equipos de espectroscopía Infrarroja, balanza analítica, .	Diferencia de densidades de los combustibles	La referencia de los rangos de densidad, establecidos por las especificaciones técnicas UNE EN 14214 y UNE EN 590. Liviano, pesado,	Densidad g/cm <sup>3</sup> , gravedad API @60 °F

Fuente: elaboración propia

TABLA N° 1.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

## b) Variables dependientes

VARIABLES	TIPO	DEFINICION	OPERACIONALIZACION	INDICADOR	NIVEL DE MEDICION	UNIDAD
Densidad resultante de la mezcla Diesel BX	Variable dependiente	Propiedad física de la mezcla resultante, lo define las densidades de los componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100 y las operaciones de mezclado.	Determinación mediante equipos de laboratorio, densímetro digital de precisión con regulación de temperatura y por métodos de cálculo para estimar la gravedad específica.	Densidad promedio de la mezcla Diesel BX	Desviación de la precisión del método de ensayo ASTM D4052.	Densidad en g/cm <sup>3</sup> , gravedad API
Tiempo de mezcla, Recirculación ó agitación de la mezcla	Variable dependiente	Tiempo prudencial de contacto entre el diesel y biodiesel durante el proceso de mezclado, hasta obtener una mezcla homogénea.	Monitoreo de propiedades físicas y químicas, FAME, densidad, muestreo por niveles y por lote de mezcla.	Tiempo promedio requerido hasta verificar mezcla homogénea	Límites establecidos por la norma EN 14078 y D7371	Porcentaje en volumen de FAME, densidad resultante g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Biodiesel en la mezcla Diesel BX	Variable dependiente	Cantidad de Biodiesel B100 que se adiciona al Diesel N°2 para obtener una mezcla Diesel BX, (FAME:X) regulado por disposiciones gubernamentales.	Determinación mediante equipos de laboratorio: Densímetro digital de precisión, Equipos de Espectroscopia Infrarroja, Balanza analítica, Muestreo por niveles y por lote.	Porcentaje en volumen de FAME en muestras de mezclas Diesel BX, Densidad resultante de Diesel BX	Desviación estandar de las normas ASTM D7371, EN14078, Esp. Técnicas de Diesel BX según RM N°165-2008 MEM-DM	Porcentaje en volumen de Biodiesel (FAME) % Vol.

Fuente: elaboración propia

TABLA N° 1.4 MATRIZ DE CONSISTENTE CIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGIA
<p>Un deficiente mezclado a escala industrial de Diesel N° 2 y Biodiesel B100, puede generar estratificación entre sus componentes. Por tanto, los productores de Diesel BX requieren implementar operaciones eficientes de mezclado, para obtener mezclas homogéneas y así cumplir con los rangos permisibles del contenido de FAME, establecidos por las especificaciones técnicas de calidad vigentes</p>	<p><b>Objetivo General:</b> desarrollar un método alternativo para complementar y optimizar el proceso del mezclado de Biodiesel B100 y Diesel N° 2.</p> <p><b>Obj. Específico 1</b> Determinar el contenido de FAME de las mezclas Diesel BX, basado y limitado por la precisión de la densidad resultante</p> <p><b>Obj. Específico 2</b> Establecer un intervalo de precisión del método alternativo desarrollado, mediante los resultados de la densidad de la mezcla Diesel BX</p>	<p>La densidad resultante de una mezcla Diesel BX guarda relación directa con el contenido de FAME, contenido que se puede determinar a partir de la densidad.</p>	Variable independiente		<p>Empleo de equipos de laboratorio y métodos de ensayos estándares para cuantificar las propiedades fisicoquímicas de la mezcla. Para el procesamiento, análisis e interpretación de datos, se aplicará técnicas estadísticas para contrastar la hipótesis. Se considerará los intervalos de precisión del contenido de FAME establecidos por las especificaciones técnicas de calidad vigentes.</p>	<p><b>Tipo</b> Investigación aplicada</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental</p> <p><b>Universo:</b> Diesel BX, Mezcla Biodiesel B100 y Diesel N° 2.</p> <p><b>Muestra:</b> Se realizará escenarios de mezclas, Biodiesel B100 y Diesel N° 2 a escala de laboratorio para demostrar la relación de densidad y FAME. Se realizará muestreo aleatorio a escala de producción industrial.</p>
			Pureza del Biodiesel	Porcentaje en masa de Biodiesel		
			Operaciones de mezclado	Mezcla en línea ó en tanque		
			Densidad de los componentes de la mezcla, Diesel N° 2 y Biodiesel B100	Densidad en g/cm <sup>3</sup> @ 60 °F		
			Tipos de Diesel o Biodiesel empleados en la mezcla	Límites permisibles por especificaciones técnicas, densidad		
			<b>Variable dependiente</b> Densidad de la mezcla resultante.	Densidad en g/cm <sup>3</sup> @ 60 °F		
			Tiempo del proceso de mezcla	Densidad resultante, contenido de FAME con muestra por niveles		
Contenido de Biodiesel en la mezcla Diesel BX	Porcentaje en volumen de Biodiesel					

Fuente: elaboración propia

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

En el presente capítulo, se menciona los antecedentes de la investigación, basado en la evolución del marco legal de la normativa peruana de los biocombustibles. En el aspecto técnico se describe los métodos establecidos para mezclar a escala industrial los combustibles Biodiesel B100 y Diesel N° 2, así como también, se hace referencia los reportes de calidad de los años 2010 y 2011 de las mezclas Diesel BX, realizadas por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), referido al contenido de Biodiesel B100 (FAME) y la densidad<sup>1</sup> (Gravedad API).

También, se menciona la demanda nacional de Diesel BX proyectada hasta el año 2015 estimado por OSINERGMIN, con el cual se estima la demanda del Biodiesel B100. Basado en la precisión del método estándar de inspección empleado para cuantificar FAME, se estima el impacto en la demanda nacional como componente de Diesel BX.

Considerando como referencia los reportes de calidad del OSINERGMIN y la demanda del Diesel BX, se estima el rango de densidad de Diesel BX de mayor consumo a nivel nacional.

Como base teórica, se detalla el principio de las dos técnicas estándares empleadas para cuantificar Biodiesel en Diesel N° 2 y la técnica moderna para determinar la densidad con gran precisión<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Mediante la gravedad API y el empleo de la norma ASTM D 1298, se estima los valores de gravedad específica, los cuales serán considerados como Densidad.

<sup>2</sup> Densímetro digital con repetitividad  $\pm 0.0001$  gr/cm<sup>3</sup>, requisito establecido para aplicar el método estándar ASTM D4052 para determinar la densidad.

En el marco conceptual se define el método empleado para la producción de Biodiesel basado en la trans-esterificación catalítica. Finalmente se describe las propiedades físicas y químicas de las mezclas Diesel BX y sus componentes.

## **2.1 Antecedentes de la investigación**

### **2.1.1 Base legal**

En el Perú, el 08/08/2003 se establece la ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, el cual plantea como objetivo básico lo siguiente: *diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas.*

También, el 31/03/2005 mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se establece el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, estableciéndose así, el marco general para promover el mercado de los Biocombustibles, basado en la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica.

Luego el 20/04/2007, mediante el Decreto Supremo N° 021-2007-EM, se establece el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, el cual menciona los requisitos para la comercialización de los Biocombustibles. Entre los principales aspectos relacionados al presente estudio, se menciona las siguientes disposiciones:

**Primero**, en el artículo 10 se establece el cronograma de comercialización de Biodiesel B100 y las mezclas Diesel BX, el cual menciona que a partir del 01 de enero del 2009 se debe reemplazar el Diesel N° 2 por el Diesel B2. También menciona, que a partir del 1 enero del 2011 se debe iniciar la comercialización de la mezcla<sup>3</sup> Diesel B5, composición que se encuentra vigente en la actualidad<sup>4</sup>. Adicionalmente, también plantea que se puede incrementar el contenido de Biodiesel B100 en forma gradual, según lo

---

<sup>3</sup> Diesel B5: Mezcla de 5 por ciento en volumen de Biodiesel B100 y el diferencial volumétrico correspondiente al 95 por ciento de Diesel N° 2.

<sup>4</sup> Última actualización del presente estudio, diciembre del 2012.

establezca el Ministerio de Energía y Minas (MEM), mediante Resolución Ministerial, teniendo en cuenta el incremento de la producción nacional de la materia prima (oleaginosas) empleada en la producción de Biodiesel B100, la cual sea suficiente para abastecer al mercado nacional.

**Segundo**, en relación a la calidad del Biodiesel B100 y el Diesel BX, en el artículo 11 se especifica, que la calidad de estos productos debe ser garantizada por el productor mediante un certificado de calidad.

Las especificaciones técnicas de calidad se establecieron mediante la Resolución Ministerial N° 165-2008 MEM-DM, el cual fue actualizado por el Decreto Supremo N° 092-2009 EM emitido el 31/12/2009, las referencias mencionadas se adjuntan en los Anexos N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4, respectivamente.

### **2.1.2 Operaciones para mezclar Diesel N° 2 y Biodiesel B100 a escala industrial**

El artículo 13 del Decreto Supremo N° 021-2007 EM, actualizado por el DS 064-2008-EM emitido el 27/12/2008, menciona que las Refinerías y las Plantas de Abastecimiento deben realizar las operaciones de mezclas Diesel BX en línea de despacho o en Tanques, según corresponda su Informe Técnico Favorable (ITF) aprobado por OSINERGMIN. A continuación se define los métodos mencionados:

#### **a) Mezcla en línea de despacho- *Inline blending***

El proceso de Mezclado en Línea, consiste en el suministro de los componentes de dos tanques del almacenamiento, el primero con contenido de Diesel N° 2 y el segundo con Biodiesel B100. Ambos combustibles concurren en la línea de despacho, el cual contiene incorporado un sistema de mezclado que es prefijado para mezclar los dos combustibles dinámicamente a una proporción específica.

### **b) Mezcla en tanque -*Inyection mixing***

Este proceso se realiza en plantas donde se cuenta con tanques de almacenamiento exclusivos para mezclas. El proceso de mezclado se inicia desde la transferencia ó trasiego de ambos componentes hacia un mismo tanque, para luego aplicar un determinado tiempo de recirculación ó agitación de la mezcla. El proceso finaliza con la verificación de su homogenización a través de la cuantificación de Biodiesel (FAME) en el Diesel BX, para ello, se puede emplear los métodos de ensayos estándares ASTM D7371 o UNE EN 14078.

El tiempo de recirculación de la mezcla, dependerá de cada agente productor y su disposición de equipos en planta. Por ejemplo para el caso de aplicación de mezcla en tanque en planta PAP (Planta de abastecimiento y productora de Diesel BX) se empleó un régimen de bombeo de 500 barriles/hr por un periodo de 4 horas, para mezclar 2000 barriles de Diesel B5 en un tanque de 17 metros de diámetro, tal como se menciona en el Anexo N° 17.

Para llevar a cabo ambas técnicas mencionadas, se debe de tener en cuenta las propiedades físicas y químicas de los componentes de la mezcla Diesel BX, tales como la temperatura del punto nube o punto de escurrimiento del Biodiesel B100 y su relación con la temperatura del medio ambiente, la miscibilidad con el agua, etcétera.

### **2.1.3 OSINERGMIN y el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX**

En el artículo 6 del Decreto Supremo N° 021-2007-EM emitido el 20/04/2007, se dispone que el OSINERGMIN sea el órgano competente para la supervisión y fiscalización de la comercialización, del transporte y de la calidad de los Biocombustibles y sus respectivas mezclas con Diesel N° 2.

Los agentes<sup>5</sup> de la cadena de comercialización de biocombustibles que se encuentran sujetos a ser inspeccionados por el OSINERGMIN son los siguientes: las refinerías, las plantas de abastecimiento, los distribuidores

---

<sup>5</sup> Artículo 5 de la Resolución de consejo directivo N° 206-2009-OS/CD.

mayoristas y los establecimientos de venta al público de combustibles líquidos.

Por tanto, el OSINERGMIN, mediante la Resolución de Consejo Directivo N° 206-2009-OS/CD aprobó el Procedimiento<sup>6</sup> de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas. En el cual se menciona las disposiciones técnicas operativas que se deben de tener en cuenta durante las inspecciones.

Entre las principales regulaciones que menciona el *Procedimiento de control de calidad de los biocombustibles y sus mezclas*, relacionados con el presente estudio, se menciona lo siguiente:

**Primero**, respecto a los ensayos de calidad de los combustibles y sus mezclas, plantea que serán efectuados por una entidad el cual tenga dichos métodos de ensayo acreditados. Sin embargo, en el caso que sea necesario la ejecución de uno o más ensayos, que no se encuentren acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), el análisis podrá ser efectuado en cualquier laboratorio registrado ante OSINERGMIN, donde su procedimiento de ensayo cumpla con el estándar ASTM correspondiente o norma Internacional actualizada.

**Segundo**, plantea que los métodos ensayos de calidad empleados, serán los establecidos en las correspondientes Normas Técnicas Peruanas vigentes<sup>7</sup>, aprobadas por INDECOPI, o mientras estas normas no sean aprobadas ante INDECOPI, se aplicarán las normas ASTM o las normas internacionales pertinentes.

---

<sup>6</sup> Procedimiento de control de calidad de biocombustibles y sus mezclas actualizado por la Resolución de consejo directivo N° 144-2011- OS/CD.

<sup>7</sup> Las Especificaciones de Técnicas de calidad del Diesel N°2 y el Biodiesel B100 se detallan según las Normas Técnicas Peruanas: NTP 321.003 EM (actualizado por el DS N° 092-2009) y la NTP 321.125 del 2008 respectivamente



### **2.1.3.1 Reportes de calidad OSINERGMIN y el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX**

Para analizar los resultados obtenidos respecto al contenido de FAME en las mezclas Diesel BX, empleando los reportes de calidad del OSINERGMIN, se debe tener en cuenta lo siguiente:

En relación a la incorporación del Biodiesel en las mezclas Diesel BX, el presente estudio considera al periodo 2009, como etapa de adecuación de los agentes de la cadena de comercialización, dado que inicialmente se consideró un periodo de transición de 60 días, por tanto, no se tiene información representativa para realizar un análisis detallado.

Por lo expuesto, solo se está considerando la información emitida mediante los reportes de calidad de los periodos 2010 y 2011.

Según el Decreto Supremo N° 092-2009 EM emitido el 31/12/2009, en su artículo primero se actualiza las especificaciones técnicas de calidad del Diesel BX (establecido por el Decreto Supremo N° 041-2005) en el cual menciona, los métodos de ensayos que deben ser empleados para cuantificar el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX, los cuales pueden ser, el método normado UNE-EN 14078 o el método ASTM D7371. De acuerdo a lo establecido por el OSINERGMIN, en el procedimiento de control de calidad de los biocombustibles y sus mezclas, estos métodos de ensayo deben ser llevados a cabo por un laboratorio que tenga aprobada su competencia técnica, para ello mediante la norma ISO-IEC 17025, el laboratorio debe de poseer la acreditación de dichos métodos de ensayos ante INDECOPI.

Dado que en la actualidad<sup>8</sup>, la normativa vigente exige el 5% Vol. (cinco por ciento en volumen) de FAME como contenido en las mezclas Diesel BX, pero no establece los límites permisibles de máximo y mínimo, en el presente estudio, se considera la desviación de la precisión del método de

---

<sup>8</sup> Última actualización del presente estudio, diciembre del 2012. El cronograma de comercialización del Diesel BX se estableció por el DS N° 021-2007 EM, en el cual se plantea que a partir del 01/01/2011 se inicia la comercialización del Diesel B5.

ensayo, como el criterio para establecer los límites permisibles del intervalo de confianza, donde se pueda evaluar los resultados obtenidos. Por tanto para realizar un análisis detallado, se plantea la siguiente consideración:

❖ **Primera consideración:**

*Se está considerando que la desviación de la precisión en términos de repetitividad (r) y reproducibilidad (R) del método EN 14078-10 adopta los valores de 0.2% Vol. y 0.8% Vol. respectivamente (ver Anexo N° 9, Pág. 209). Esta consideración se cumple para las mezclas Diesel DBX, con un contenido máximo de FAME de 10% Vol. (Diez por ciento en volumen).*

En la Tabla N° 2.1 se muestra los agentes comercializadores de Diesel BX y la cantidad de inspecciones que fueron realizadas por el OSINERGMIN referidos al contenido de FAME, efectuados durante los años 2010 y 2011. En el Anexo N° 10 se adjunta el reporte<sup>9</sup> anual de calidad publicado por el OSINERGMIN.

---

<sup>9</sup> Anexo N°10, Datos obtenidos del reporte anual de calidad publicado por el OSINERGMIN: [http://6iserver.osinerg.gob.pe/pls/osinerg/osinerg.Hidro\\_Calidad](http://6iserver.osinerg.gob.pe/pls/osinerg/osinerg.Hidro_Calidad)

TABLA N° 2.1 FAME EN DIESEL BX,  
INSPECCION OSINERGMIN 2010 Y 2011

Orden (*)	Demanda 2010		Refinería, Terminal, Planta de Abastecimiento	N° muestras	
	MBD	%		2010	2011
1	16.57	18.94	Ref. y Plta. La Pampilla	16	4
2	10.36	11.84	Terminal Mollendo	1	2
3	9.18	10.5	Terminal Callao (Vopak Peru)	26	6
4	8.76	10.01	Ref. y Plta. Conchán	17	3
5	7.61	8.7	Terminal Eten	4	2
6	6.19	7.08	Terminal Salaverry	2	2
7	5.19	5.93	Terminal Pisco	3	2
8	3.94	4.5	Plta. Cusco	3	2
9	3.54	4.05	Terminal Supe	4	2
10	2.77	3.17	Plta. Piura	3	2
11	2.43	2.78	Terminal Chimbote	3	2
12	2.36	2.7	Terminal Ilo	2	2
13	1.67	1.91	Terminal Juliaca	2	2
14	1.36	1.55	Ref. y Plta. Talara	4	4
15	1.04	1.19	Plta. Pucallpa	2	2
16	0.95	1.09	Ref. y Plta. Iquitos	2	5
17	0.85	0.97	Plta. El Milagro	1	1
18	0.77	0.88	Plta. Tarapoto	2	2
19	0.55	0.63	Ref. y Plta. Maple	4	6
20	0.48	0.55	Plta. Herco	8	1
21	0.3	0.34	Plta. Yurimaguas	1	2
22	0.28	0.32	Plta. Pasco		1
23	0.2	0.23	Plta. Pure BioFuels	6	2
24	0.12	0.14	Plta. EMCOPE SAC	8	3
Total	87.47	100		124	61

(\*) Orden según demanda nacional de Diesel BX

Demanda: Datos del curso Mercado Nacional: Diesel – 2010 (CAREC)

Ref: Refinería, Plta: Planta de abastecimiento.

Fuente: elaboración propia, del reporte de calidad OSINERGMIN

#### a) Mezclas Diesel BX en el periodo 2010

Durante el periodo 2010 el OSINERGMIN reportó el contenido de FAME de 124 muestras de Diesel B2 obtenidos de las Refinerías y Plantas de Abastecimiento. Con esta información y considerando el criterio de precisión del método EN 14078-10, basado en la primera consideración del presente estudio, se calculó los límites permisibles del contenido de FAME para el Diesel B2. En cuanto a repetitividad se obtuvo 1.8% Vol. como límite inferior

del contenido de FAME y 2.2% Vol. como límite superior. Respecto a la reproducibilidad se obtuvo 1.2% Vol. y 2.8% Vol. como límite inferior y límite superior, respectivamente. En la Tabla N° 2.2 se muestran los resultados:

TABLA N° 2.2 CONTENIDO DE FAME EN DIESEL BX  
INSPECCION OSINERGMIN-2010

Producto	Diesel B2	
Inspección	Nº	Porcentaje
Método EN 14078-10	124	100 %
(*)Repetitividad $\pm$ 0.2% Vol.		
Resultados < 1.8 % Vol.	23	19 %
Resultados > 2.2 % Vol.	12	10 %
(*) Reproducibilidad $\pm$ 0.8% Vol.		
Resultados < 1.2% Vol.	1	1 %
Resultados > 2.85 Vol.	3	2 %

Nº: numero de inspecciones

(\*) Precisión, repetitividad y reproducibilidad considerando en la primera consideración

Fuente: elaboración propia

Estableciendo estos límites permisibles como rango de control (intervalo de confianza), mediante las gráficas Shewhart<sup>10</sup> se puede apreciar el comportamiento de los resultados del contenido de FAME en el Diesel BX, tal como se muestra en la Figura N° 2-1 y Figura N° 2-2, donde se presenta la tendencia general de las inspecciones que se encuentran dentro del rango permisible establecido.

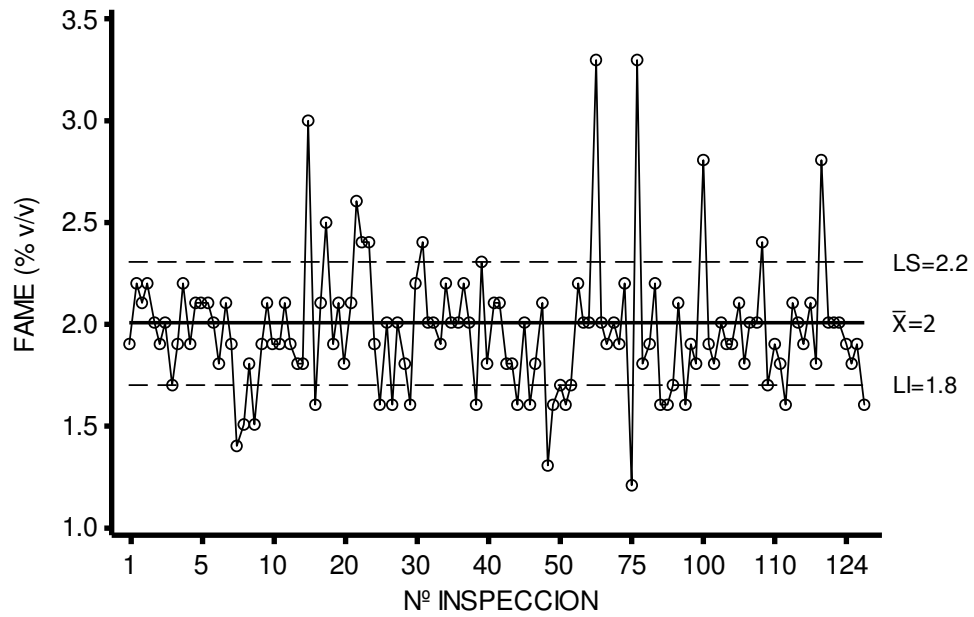
En la Figura N° 2-1, respecto al rango de repetitividad se puede observar que el 19% (23 resultados) se encuentran ubicados debajo del límite inferior permisible con contenido de Biodiesel menor a 1.8 % Vol.

También, se puede observar que aproximadamente el 10% (11 resultados) se encuentran ubicados sobre el límite máximo de repetitividad de 2.2 % Vol.

<sup>10</sup> Representación de una característica de la calidad, medida o calculada a partir de una muestra, en función del número de muestra (Inspección) o del tiempo, planteado por Walter Andrew Shewhart

FIGURA N° 2-1 INSPECCION 2010, REPETITIVIDAD FAME EN 14078

DIESEL B2



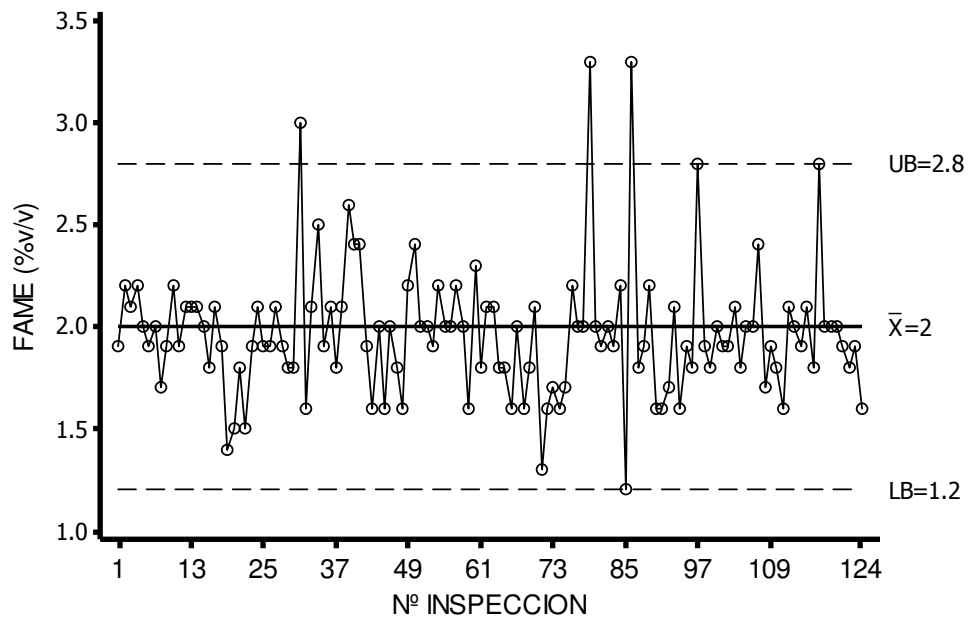
L S: Límite superior permisible 2.2%Vol.

L I: Límite Inferior permisible 1.8%.Vol.

Fuente: elaboración propia, mediante MINITAB

FIGURA N° 2-2 INSPECCION 2010 REPRODUCIBILIDAD FAME EN 14078

DIESEL B2



L S: Límite superior permisible 2.8%.Vol.

L I: Límite Inferior permisible 1.2% Vol.

Fuente: elaboración propia, mediante MINITAB

Respecto al rango de reproducibilidad, en la Figura N° 2-2 se observa que solo el 1% (1 resultado) se encuentra en el límite del área delimitado por el mínimo permisible (1.2% Vol.). También, se puede observar que aproximadamente el 2% (3 resultados) se encuentra sobre el límite máximo de reproducibilidad (2.8% Vol.).

#### **b) Mezclas Diesel BX en el periodo 2011**

En el año 2011, se reportó el contenido de FAME de las mezclas Diesel B5, mediante 61 inspecciones provenientes de las Refinerías y Plantas de Abastecimiento a nivel nacional, de manera análoga al periodo 2010 se esta considerando el criterio de precisión del método EN 14078-10 basado en la primera consideración del presente estudio, con el cual se calculó los límites permisibles de precisión.

En cuanto a la repetitividad del resultado, se obtuvo como límite inferior y límite superior, 4.8% Vol. y 5.2% Vol. respectivamente.

Respecto a la reproducibilidad se obtuvo 4.2% y 5.8% Vol. como límite inferior y límite superior, respectivamente.

Los resultados de las inspecciones efectuadas por el OSINERGMIN se muestran en la Tabla N° 2.3

**TABLA N° 2.3 CONTENIDO DE FAME EN DIESEL BX  
INSPECCION OSINERGMIN - 2011**

Producto	Diesel B5	
Inspección	Nº	Porcentaje
Método EN 14078-10	61	100 %
(*)Repetitividad $\pm$ 0.2% Vol		
Resultados < 4.8 Vol.	42	69 %
Resultados > 5.2 Vol.	7	11 %
(*) Reproducibilidad $\pm$ 0.8% vol.		
Resultados < 4.2 Vol.	26	43 %
Resultados > 5.8 Vol.	3	5 %

Nº: numero de inspecciones

(\*) Precisión, repetitividad y reproducibilidad considerando en la primera consideración

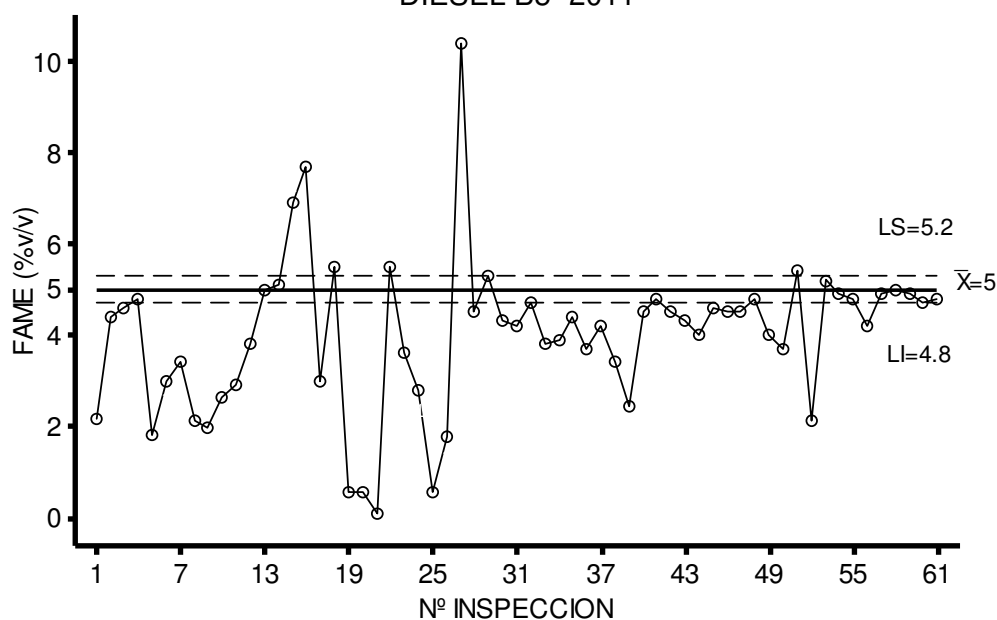
Fuente: elaboración propia

Mediante las gráficas Shewhart y el rango de control para el Diesel B5 en la Figura N° 2-3 y Figura N° 2-4 se describe la tendencia general de los resultados de las inspecciones que cumplen el rango permisible establecido.

En la Figura N° 2-3 se puede observar que el 69% (42 inspecciones) se encuentran ubicados debajo del mínimo permisible respecto al rango de repetitividad (muestras de mezclas Diesel BX con contenido de Biodiesel menor a 4.8% Vol.) Respecto al máximo permisible de repetitividad se observa que el 11% (7 inspecciones) se encuentran ubicados sobre el límite permisible de 5.2% Vol.

Analizando respecto a la reproducibilidad en la Figura N° 2-4, se observa que el 43% (26 inspecciones) se encuentran ubicados debajo del contenido mínimo de Biodiesel (muestras de mezclas Diesel BX con contenido de FAME menor a 4.2% Vol). También, se puede se observar que el 5% (3 inspecciones) se encuentran ubicados sobre el límite permisible máximo de 5.8% Vol. de contenido de FAME en Diesel BX.

FIGURA N° 2-3 REPETITIVIDAD FAME EN 14078  
DIESEL B5- 2011

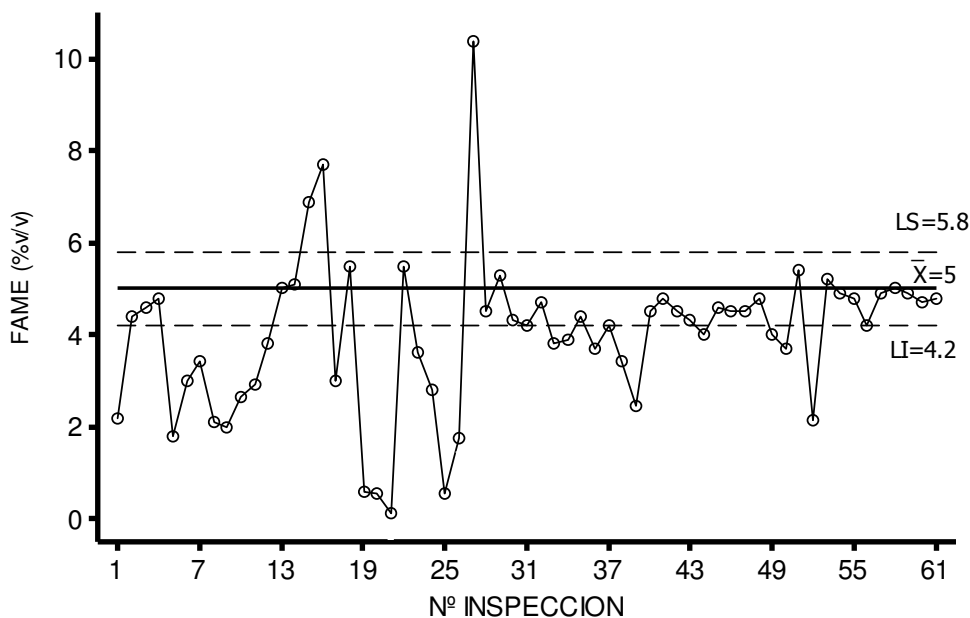


L S: Límite superior permisible 5.2 % Vol.

L I: Límite Inferior permisible 4.8 %Vol.

Fuente: elaboración propia mediante MINITAB

FIGURA N° 2-4 REPRODUCIBILIDAD FAME EN 14078  
DIESEL B5- 2011



L S: Límite superior permisible 5.8 % Vol.

L I: Límite Inferior permisible 4.2 % Vol.

Fuente: elaboración propia mediante MINITAB

### c) Análisis situacional de los resultados del contenido de FAME en las mezclas Diesel BX

Considerando el total de las inspecciones realizadas por el OSINERGMIN de las mezclas Diesel B2 y Diesel B5 de los años 2010 y 2011, se puede definir la tendencia de los resultados obtenidos referidos al contenido de FAME, donde se considera como intervalo de confianza de los resultados, al rango definido por la desviación de la precisión del método normado EN 14078, tal como se menciona en la primera consideración planteada en el presente estudio; pero, también se debe de tener en cuenta otro factor no despreciable, el cual se basa en el porcentaje de participación de cada agente comercializador en la demanda nacional del Diesel BX; por tanto, se establece una segunda consideración:

#### ❖ Segunda consideración:

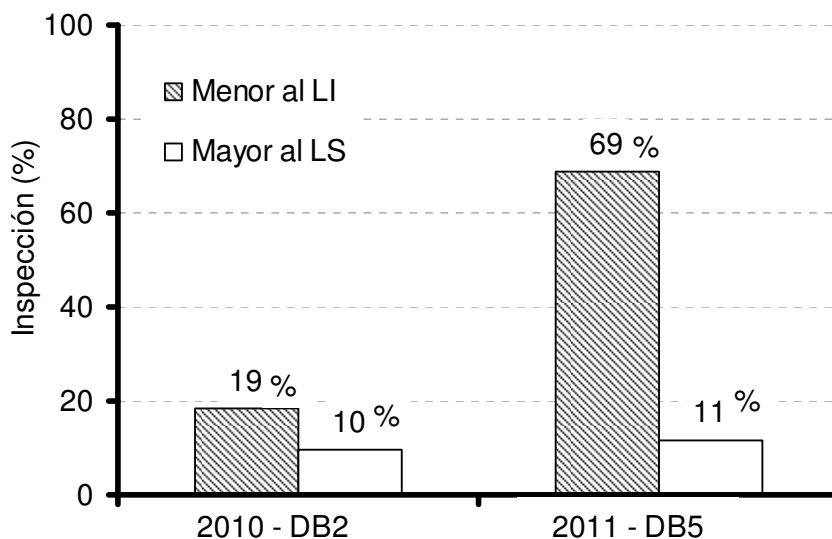
*Dado que no se tiene la cantidad representativa de muestras por cada agente comercializador (resultado de FAME) relacionado con la demanda nacional del Diesel BX, no se puede estimar la tendencia de su*



comportamiento. Por tanto, en el presente análisis no se considera el porcentaje de participación de cada agente comercializador.

En las Figuras N° 2-5 y 2-6 se muestra la tendencia general de los dos años, basado en la precisión del método de ensayo empleado.

FIGURA N° 2-5 FAME EN DIESEL BX- PERIODO 2010 Y 2011  
REPETITIVIDAD UNE-EN 14078-10



Fuente: elaboración propia

### **Análisis de FAME mediante la repetitividad (r)**

Analizando en la Figura N°2-5 los resultados de FAME de las mezclas Diesel B5 de los años 2010 y 2011, se puede observar que la cantidad de los resultados que se encuentran por debajo del límite inferior permisible de contenido de FAME en el Diesel BX, asciende desde 19% (23 inspecciones) hasta 69% (42 inspecciones).

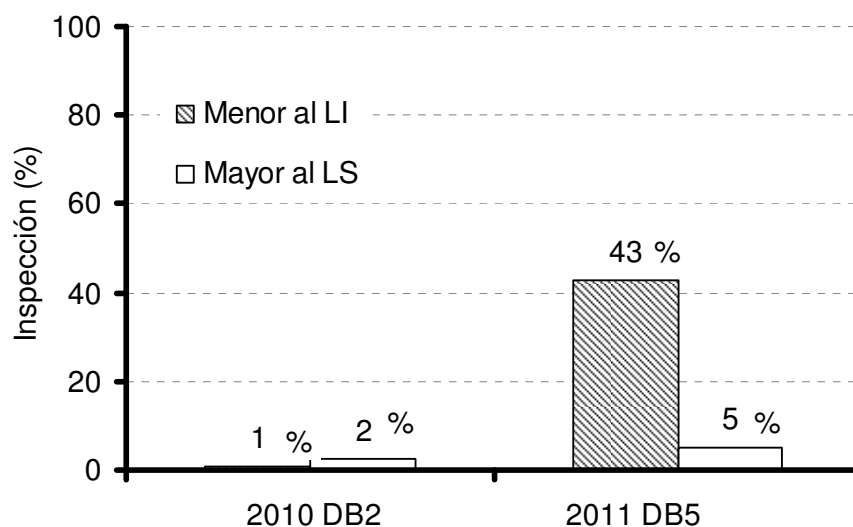
Respecto a las muestras con contenido de FAME que sobrepasan el máximo permisible, también se puede apreciar un ligero incremento desde 10% (12 inspecciones) hasta 11 % (7 inspecciones).

### **Análisis de FAME mediante reproducibilidad (R)**

Analizando los resultados respecto al rango de reproducibilidad en la Figura N°2-6, se puede observar que la cantidad de muestras de Diesel BX con

contenido inferior al límite mínimo permisible de FAME, asciende desde 1% (1 inspección) hasta 43%.(26 inspecciones). También se observa un incremento desde 2% (3 inspecciones) hasta 5 % (3 inspecciones) en las muestras Diesel BX que sobrepasan el máximo permisible.

FIGURA N° 2-6 FAME EN DIESEL BX – PERIODO 2010 Y 2011  
REPRODUCIBILIDAD UNE-EN 14078-10



Fuente: elaboración propia

Basado en los límites permisibles del contenido de FAME en el Diesel BX, establecido en el presente estudio, el cual se plantea en la primera consideración (Pág. 21) y las tendencias definidas en las Figura N° 2-5 y la Figura N° 2-6, se estima, que aproximadamente el 50% de las mezclas Diesel B10 del año 2011, se encuentran fuera del rango permisible exigido por los límites de reproducibilidad del método de ensayo UNE EN 14078-10. Por consecuencia para el caso del Diesel B5, se estima que la tendencia de las mezclas que se encuentran fuera del rango permisible establecido por la reproducibilidad, será mayor al 50%. Tal como se detalla en la Tabla N° 2-3.

Determinada la tendencia se puede concluir lo siguiente:

- Para asegurar el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX, es necesario implementar y especificar un rango permisible referido al

contenido de FAME, en las especificaciones técnicas de calidad<sup>11</sup> del Diesel BX.

- Para contrarrestar la creciente tendencia, de la producción de mezclas con contenido de FAME fuera del rango permisible, se requiere mejorar y optimizar el proceso de mezclado de Diesel BX que vienen efectuando los agentes<sup>12</sup> comercializadores, ya sea mezcla en línea o mezcla en tanque.

#### **2.1.4 Variación del contenido de FAME en el Diesel BX y su impacto en la demanda nacional**

Para comprender el impacto económico de la variación del contenido de FAME en las mezclas Diesel BX, se relacionará con la demanda nacional de Biodiesel B100 y el consumo nacional de Biodiesel en soles.

Primero, se estima la demanda nacional del Biodiesel B100 hasta el año 2015, basado en las cifras de Diesel BX proyectadas por OSINERGMIN. Con los datos obtenidos se realizará una comparación con la cantidad de Biodiesel importado que se ha comercializado desde el año 2009 hasta el año 2011.

Luego, se analizará la base de la estructura de precios del Diesel BX para estimar el precio promedio anual del galón de Biodiesel, en relación con el precio de referencia de importación.

Finalmente, basado en la desviación de la precisión del método de ensayo para cuantificar FAME en Diesel BX, se determinará el impacto en la demanda nacional de Biodiesel.

---

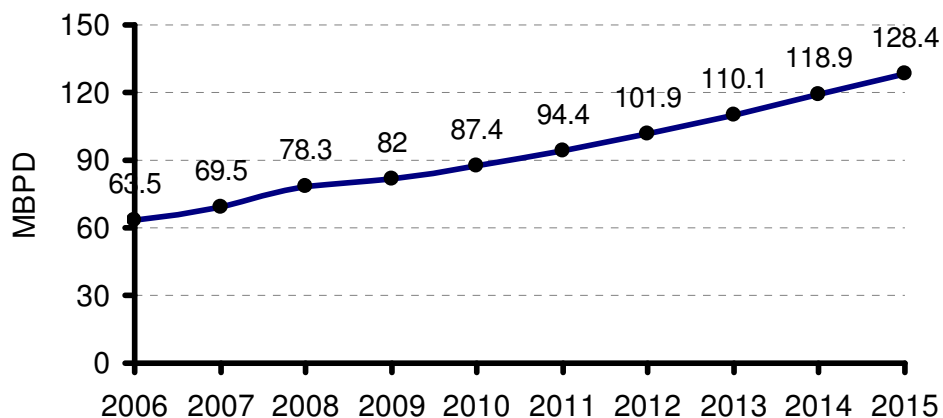
<sup>11</sup> Se establece las disposiciones relativas a la calidad del Diesel N° 2, mediante el DS N° 092-2009 publicado el 31/12/2009 y la Resolución Ministerial N° 165-2008 MEM-DM con fecha de publicación 07/04/2008, el cual recurre a la aplicación del DS N° 025-2005-EM (actualizado el 07/10/2005 por el DS N° 041-2005-EM).

<sup>12</sup> Referido a los agentes de comercialización de combustibles de líquidos, las Refinerías y Plantas de Abastecimiento, según artículo 13 del Decreto Supremo N° 021-2007 EM, actualizado el 27/12/2008 por el DS N° 064-2008-EM.

### 2.1.4.1 Proyección de la demanda de Diesel BX y del Biodiesel B100

La tendencia de la demanda nacional de Diesel BX y su proyección<sup>13</sup> hasta el 2015 se muestra en la Figura 2-7, proyección estimada por OSINERGMIN<sup>14</sup> empleando la base de datos del SPIC y SCOP, donde se considera cifras proyectadas desde el año 2010.

FIGURA 2-7 PROYECCION DE LA DEMANDA NACIONAL DE DIESEL BX AL AÑO 2015



MBPD: miles de barriles/Día

Fuente: OSINERGMIN, SCOP, SPIC-JUNIO 2012.

En base a los valores proyectados de la demanda nacional de Diesel BX, en el presente estudio se estima la demanda nacional de Biodiesel B100 hasta el año 2015, el cual es requerido para generar las mezclas Diesel BX (5% de Biodiesel en el Diesel B5), para ello, se tuvo en cuenta los siguientes factores:

**Primero**, para obtener cifras referenciales de Biodiesel expresado en masa, se está considerando la densidad  $0.8851 \text{ g/cm}^3$  para el cambio de unidad de volumen (galones) a masa (toneladas). Este valor corresponde a la densidad del Biodiesel proveniente de aceite de Soya a  $60 \text{ }^\circ\text{F}$ .

<sup>13</sup> Elaborado por OSINERGMIN-Marzo 2011, Análisis Situacional de la Comercialización de Combustibles Líquidos en el Perú.

<sup>14</sup> SCOP, SPIC: Sistema de Control de Ordenes de Pedido y Sistema de Procesamiento de Información Comercial, respectivamente.

**Segundo**, dado que el cronograma de comercialización establecido por el DS 021-2007 EM (artículo 10) plantea, que dependiendo del incremento de la demanda nacional de los biocombustibles en los próximos años, también se incrementaría el porcentaje de FAME en el Diesel BX. Por tanto, en el presente estudio, para descartar esta posibilidad, se plantea la siguiente consideración:

❖ **Tercera consideración:**

*Se considera que desde el año 2012 hasta el año 2015 no se incrementará el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX. Considerando como contenido el valor de 5 % Vol. (cinco por ciento en volumen).*

Tal como se muestra en la Tabla N° 2.4, en miles de barriles de Biodiesel por día (MBPD)

TABLA N° 2.4 DEMANDA PROMEDIO DE DIESEL BX Y BIODIESEL B100

Demanda Año	Diesel BX MBPD	Biodiesel B100 d: 0.8851				
		% Vol.	MBPD	MG/ Día	MG/ año	TM/año
2009	82	2	1.6	68.88	24797	83 081
2010	87.4(*)	2	1.7	73.416	26430	88 553
2011	94.4(*)	5	4.7	198.24	71366	239 109
2012	101.9(*)	5	5.1	213.99	77036	258 106
2013	110.1(*)	5	5.5	231.21	83236	278 879
2014	118.9(*)	5	5.9	249.69	89888	301 166
2015	128.4(*)	5	6.4	269.64	97070	325 229

(\*) Proyección del OSINERGMIN, en miles de barriles/ día (MBPD)

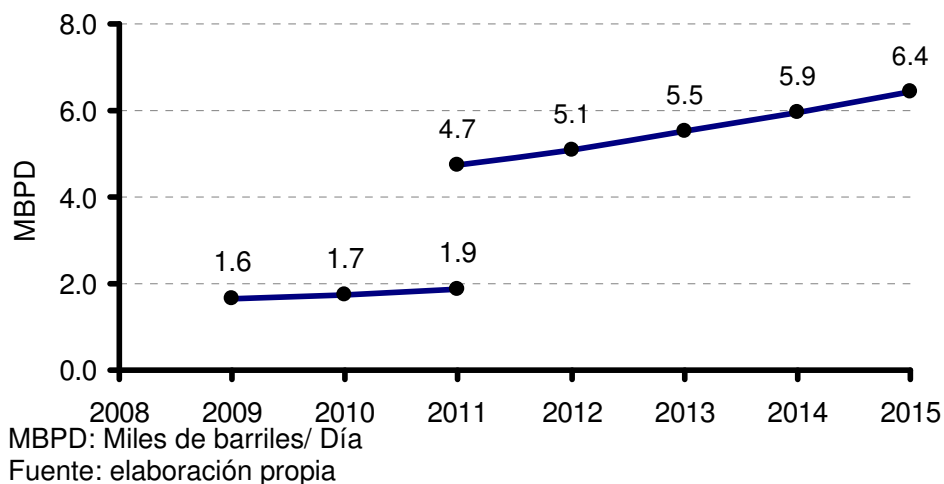
d: Densidad de Biodiesel, proveniente de aceite de Soya a 60 °F (gr/cm<sup>3</sup>)

Fuente: elaboración propia MG: Miles de Galones

En la Figura N° 2-8 se muestra las cifras proyectadas hasta el año 2015. De la proyección obtenida en la Figura N° 2-8, se puede estimar que mediante el consumo de Diesel B5, a nivel nacional en la actualidad<sup>15</sup>, se consume aproximadamente 5 MBPD de Biodiesel B100.

<sup>15</sup> Fecha de actualización del presente estudio diciembre del 2012.

FIGURA 2-8 PROYECCION DE LA DEMANDA NACIONAL DE BIODIESEL B100 AL AÑO 2015



#### 2.1.4.2 Demanda nacional de Diesel BX y la importación del Biodiesel B100

Comparando la demanda estimada del Biodiesel B100 en unidades de toneladas métricas (TM) determinado en la Tabla N° 2.4, respecto a la cantidad de Biodiesel B100 importado<sup>16</sup> durante los años 2009, 2010 y 2011, se observa que la demanda de Biodiesel en el PERU es cubierto casi en su totalidad por las importaciones. En la Figura N° 2-9 se detalla la comparación mencionada. Según el registro de ADUANET desde el año 2009 hasta el año 2011, en el Perú se ha tenido cuatro importadores de Biodiesel a escala industrial, los cuales son, la Refinería la Pampilla SAA, Petróleos del Perú Petroperu SA, La Fabril Perú SAC y Pure Biofuels del Perú SAC. En el presente estudio, para detallar mejor la información obtenida de cada Importador, se les ha asignado un código, tal como se muestra en la Tabla N° 2.5.

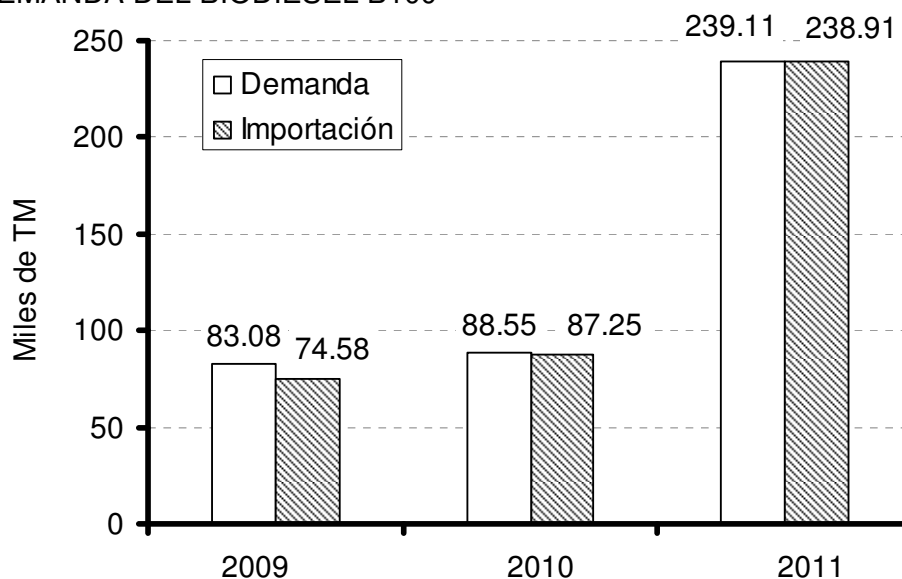
TABLA N° 2.5 IMPORTADOR DE BIODIESEL

IMPORTADOR	Código
LA FABRIL PERU SAC	1
PETROLEOS DEL PERU PETROPERU SA	2
PURE BIOFUELS DEL PERU S.A.C.	3
REFINERIA LA PAMPILLA S.A.A	4

Fuente: elaboración propia, con datos de ADUANET

<sup>16</sup> Datos obtenidos del reporte de ADUANET desde el año 2009 hasta el año 2011.

FIGURA N° 2-9 CUADRO COMPARATIVO DE LA IMPORTACION Y LA DEMANDA DEL BODIESEL B100



Fuente: elaboración propia, con datos de ADUANET

En la Tabla N° 2.6 se aprecia, que las importaciones tienen procedencia de diferentes países, siendo el Biodiesel de origen argentino el de mayor demanda, con un porcentaje de participación de 59%, seguido por el Biodiesel de origen de estadounidense con un porcentaje de participación de 20%, de los cuales, en muchos casos no se especifica la naturaleza de la materia prima de procedencia.

TABLA N° 2.6 PAIS DE PROCEDENCIA DE BODIESEL Y LA IMPORTACION ACUMULADA DE BODIESEL

Código	PESO NETO ( TONELADAS METRICAS)							
	Importador	Argentina	Canadá	Ecuador	Indonesia	España	USA	Total
1			5 338					5 338
2		98 271	24 821	869	18 251	34 381	42 393	218 986
3		973					1 992	2 965
4		138 073					35 376	173 449
Total		237 317	24 821	6 207	18 251	34 381	79 761	400 738
Participación		59.2%	6.2%	1.5%	4.6%	8.6%	19.9%	100%

Fuente: datos de ADUANET, importación acumulada desde 2009 hasta 2011

### 2.1.4.3 El precio del Diesel BX por el OSINERGMIN y la estimación del precio del galón de Biodiesel B100

Desde el inicio de la comercialización de los biocombustibles en el año 2009, el OSINERGMIN estableció la siguiente metodología para el cálculo del **precio de referencia**<sup>17</sup> del Diesel BX:

$$\text{PR1 Diesel BX} = ((\text{PR1 Diesel N}^\circ 2) * (100 - X)) + ((\text{PR1 Biodiesel B100}) * X)$$

Donde:

**PR1 Diesel BX:** precio de referencia de importación del Diesel BX en el Callao, en US\$/Bl.

**PR1 Diesel N°2:** precio de referencia de importación del Diesel N° 2 en el Callao, en US\$/Bl.

**PR1 Biodiesel B100:** precio de referencia de importación del Biodiesel B100 en el Callao, en US\$/Bl.

**X:** porcentaje volumétrico de Biodiesel B100 o FAME en la mezcla Diesel BX.

Por ejemplo, para el caso del Diesel B2, el precio de referencia de importación del Diesel B2, está compuesto por el 98% del precio de referencia de importación del Diesel N° 2 y un 2% del precio de referencia de importación del Biodiesel B100.

Según el OSINERGMIN el precio referencial de importación, es un valor teórico que refleja los costos en los que se incurren en una importación hasta colocar el producto en el puente de despacho de la planta de abastecimiento Callao. Se calcula adicionando al valor FOB (libre sobre barco en puerto de origen) la totalidad de costos, gastos y tasas necesarias, tales como flete, seguro, *Ad Valorem*, gastos de importación, almacenamiento y despacho, Ley 27332 (Ley marco de los organismos reguladores de la inversión privada en los servicios públicos).

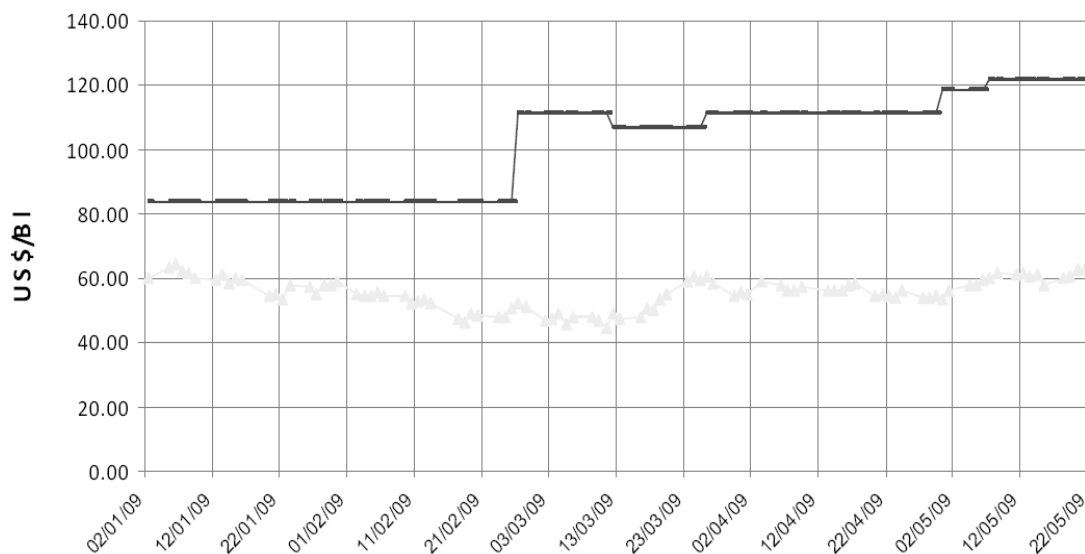
---

<sup>17</sup> El OSINERGMIN otorgó a World Products Trading SAC, el encargo de realizar el servicio de cálculo del precio de referencia del Diesel B2. El informe presentado por el OSINERGMIN, se adjunta en el Anexo N° 7 del presente estudio.



Teniendo en cuenta, que la tendencia del precio del Biodiesel B100 es superior al Diesel N° 2, tal como se observa en la Figura N° 2-10 y analizando la expresión del cálculo del precio de referencia, se observa, que la adición del Biodiesel B100 en el Diesel N° 2, nos dará como resultado, un Diesel BX con un precio mayor respecto al precio del Diesel N° 2.

FIGURA N° 2-10 COMPARACION DE PRECIOS DEL DIESEL N° 2 (US GC) Y BIODIESEL B100 (US GC)



----- Precio Biodiesel

Δ-Δ-Δ Precio Diesel

US GC: precio en dólares por barril en la Costa del Golfo (ver anexo N° 7)

Fuente: cálculo del precio de referencia del Diesel B2- OSINERGMIN.

**Precio del galón de biodiesel**, tomando como referencia los datos reportados por ADUANET de los años 2009 al 2011, tales como la cantidad de Biodiesel Importado en toneladas (TM) y el precio FOB en dólares (US\$), se calculó el precio FOB por tonelada de Biodiesel, los cuales se muestran en la Tabla N° 2.7, parte A, parte B y parte C, respectivamente.

Para estimar el precio del Biodiesel en unidades de volumen (Barril o galón), se requiere el cambio de unidad de masa a volumen, dado que ADUANET registra las importaciones de Biodiesel en unidades de masa (Toneladas). De manera análoga a la sección 2.1.4.1 del presente estudio, para efectos de cálculo del precio promedio anual de Biodiesel en dólares por galón, se

empleó el factor de conversión relacionado a la densidad del Biodiesel B100; por tanto, se está considerando la densidad promedio del Biodiesel proveniente del aceite de soya, el cual adopta el valor característico de 885.1 Kg/m<sup>3</sup> a la temperatura de 60 °F.

TABLA N° 2.7 A) IMPORTACION ANUAL DE BIODIESEL

IMPORTADOR	Año			unidad
	2009	2010	2011	
1	5 338			TM
2	33 863	44 619	140 504	TM
3		1 992	973	TM
4	35 376	40 636	97 437	TM
Total Anual	74 577	87 247	238 914	TM

Fuente: ADUANET

TABLA N° 2.7 B) PRECIO FOB DEL BIODIESEL IMPORTADO

IMPORTADOR	Año			unidad
	2009	2010	2011	
1	4 418 922			US \$
2	20 279 701	38 112 904	183 491 789	US \$
3		1 333 944	1 245 796	US \$
4	27 288 540	40 929 027	134 195 104	US \$
Total Anual	51 987 164	80 375 875	318 932 689	US \$

Fuente: ADUANET

TABLA N° 2.7 C) CALCULO DEL PRECIO FOB DE B100 POR TONELADA

IMPORTADOR	Año			unidad
	2009	2010	2011	
1	828			US \$/ TM
2	599	854	1 306	US \$/ TM
3		670	1 280	US \$/ TM
4	771	1 007	1 377	US \$/ TM
Promedio Anual	733	844	1321	US \$/ TM
<b>PRECIO FOB EN UNIDAD DE VOLUMEN</b>				
Consideraciones:				unidad
Tipo de cambio(*)	3.011	2.824	2.754	S/. / US \$
Densidad	885.1	885.1	885.1	Kg/m <sup>3</sup>
IMPORTADOR	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	
Promedio Anual	2.46	2.83	4.43	US \$/ gal
	103.15	118.77	185.89	US \$/ BI
Aproximado	7.39	7.99	12.19	S/. gal

(\*) Tipo de cambio obtenido del reporte de SUNAT (promedio anual).

TM: Toneladas métricas

Fuente: elaboración propia de datos reportados en ADUANET

Cabe mencionar que la densidad del Biodiesel es una propiedad que varía según la naturaleza de la materia prima empleada para su respectiva producción. En la Tabla N° 2.8 se presentan ejemplos de la densidad del Biodiesel B100, con su respectiva fuente de origen de la materia prima de producción.

TABLA N° 2.8 TIPOS DE DENSIDAD DE BIODIESEL

Materia prima proveniente de:	Densidad g/cm <sup>3</sup>	API @60°F
Soya	0.885	28.4
Jatropha	0.88	29.3
Palma	0.875	30.2
Colza	0.874	30.4
Girasol	0.86	33

Fuente: modelado del efecto de la viscosidad en la combustión de la mezcla B20 de Biodiesel de palma africana en motores de combustión interna encendidos por compresión. Tesis presentada para optar al título de: Magíster en Ingeniería Mecánica 2010- Universidad Nacional de Colombia, Bogota (Pág. 20)

Por tanto, asumir una densidad general como factor de conversión para estimar el precio promedio anual del galón de Biodiesel importado, puede conllevar a un mayor error, en relación a su valor real y sus fluctuaciones durante el año. En la Tabla N° 2.7 parte C, se corrobora lo mencionado al observar la variación del precio FOB promedio del Biodiesel B100, el cual varía desde 103.15 US\$/Bl (7.39 s/. gal.) en el año 2009 y 185.89 US \$/Bl. (12.19 S/.gal.) en el año 2011.

Por tanto, en el presente estudio, para establecer el precio anual promedio de Biodiesel, se plantea la siguiente consideración:

❖ **Cuarta consideración:**

*Se considera el precio de venta primario<sup>18</sup> (promedio anual) del galón de Diesel BX como precio referencial del galón de Biodiesel B100, y para efectos de cálculo de la proyección del consumo de Biodiesel desde el año 2012 hasta el año 2015, se está considerando constante el precio del galón*

<sup>18</sup> Precios reportados por PRICE- OSINERGMIN- 2012, precio mayorista de Diesel BX, precio de venta primario y precio de venta al público.

de Diesel BX, de tal manera que la tendencia real del consumo promedio del Biodiesel B100 expresado en soles, se encontrará por encima de la cifra estimada. Estimación que se detalla en la sección 2.1.4.4.

Mediante la cuarta consideración del presente estudio, nos permitirá estimar el precio promedio anual del Biodiesel B100, considerando su mínimo valor que adopta como componente en la estructura de precios del Diesel BX (ver sección 2.1.4.3).

En la Tabla N° 2.9 se puede observar el precio del Diesel BX (ver Anexo N° 13) y el precio FOB del Biodiesel B100 calculado de los datos de ADUANET.

TABLA N° 2.9 PRECIO DE DIESEL BX Y BIODIESEL B100

Año	Diesel BX Precio de venta público (soles/ Galón)	Diesel BX Precio mayorista (soles/ Galón)	Diesel BX Precio de venta primario (soles/ Galón)	Biodiesel B100 Precio FOB (soles/ Galón)
2009	9.39	7.89	5.73	7.39 (**)
2010	10.64	9.14	6.77	7.99 (**)
2011	12.39	10.89	8.23	12.19 (**)
2012	13.44	11.94	9.11	
2013	13.44 (*)	11.94 (*)	9.11 (*)	
2014	13.44 (*)	11.94 (*)	9.11 (*)	
2015	13.44 (*)	11.94 (*)	9.11 (*)	

(\*) Precio constante, cuarta consideración del caso de estudio

(\*\*) Valores estimados a partir de datos ADUANET (ver Tabla N° 2.7, parte C)

FOB: *free on board* Callao, libre sobre barco en puerto de origen

Fuente: precio del Diesel BX, obtenido de PRICE- OSINERGMIN- 2012.

#### 2.1.4.4 El consumo nacional de Diesel BX y la precisión del método de ensayo de cuantificación de FAME

Basado en la proyección de la demanda de Biodiesel estimada en la Tabla N° 2.4 (Pág. 26) que se detalla en la Figura N° 2-8 y el precio referencial establecido para el Biodiesel B100, según la cuarta consideración (precio de venta primario del Diesel BX, Tabla N° 2.9), se estima la proyección del consumo nacional de Biodiesel B100 en soles, como componente del Diesel BX, a si como también, su variación por el efecto de la precisión del método de inspección EN 14078-10.

Por tanto, considerando el precio de venta primario de Diesel BX, en la Tabla N° 2.10, se muestra la proyección del consumo nacional expresada en millones de soles por año (MMS/. Año).

TABLA N° 2.10 PROYECCION DEL CONSUMO NACIONAL DE BIODIESEL B100 Y SU RELACION CON LA PRECISION DEL METODO EN 14078-10

Año	consumo de Biodiesel B100 en soles			-ΔBR	+ΔBr
	(- BR)	Consumo promedio	(+ Br)	0.8%	0.2%
	MMS/. año	MMS/. año	MMS/. año	MMS/. año	MMS/. año
2009	85.3	142.1	156.3	56.8	14.2
2010	107.4	178.9	196.8	71.6	17.9
2011	493.4	587.3	610.8	94.0	23.5
2012	589.5	701.8	729.9	112.3	28.1
2013	637.0	758.3	788.6	121.3	30.3
2014	687.9	818.9	851.6	131.0	32.8
2015	742.8	884.3	919.7	141.5	35.4

BR: consumo afectado por el factor de Reproducibilidad (R)-EN 14078

Br : consumo afectado por el factor de Repetitividad (r)-EN 14078

Valores de 0.2% y 0.8% de la 1<sup>ra</sup> consideración, Pág. 21

MMS/.: millones de soles

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla N° 2.10 también se detalla, el consumo promedio anual en soles afectado por la desviación de la precisión del método de ensayo<sup>19</sup> empleado para cuantificar el contenido de FAME (R: Repetitividad, r: reproducibilidad) el cual presenta una variación que se encuentra comprendido entre dos bandas, “Br” respecto a la repetitividad y “BR” respecto a la reproducibilidad, las cuales están limitadas por la calidad de la mezcla referido al contenido de FAME, a dichas bandas la denominaremos “Bandas de Precisión por contenido de FAME”. Por tanto, para el presente estudio definiremos lo siguiente:

**Banda Br:** consumo anual de Biodiesel en soles, obtenido al afectar el resultado de FAME de la mezcla Diesel BX, por el valor de la repetitividad del método empleado para cuantificar FAME.

<sup>19</sup> Según las disposiciones relativas a la calidad del Diesel N° 2, mediante el DS N° 092-2009 publicado el 31/12/2009, especifica que los métodos estándares para cuantificar el Biodiesel B100 en el Diesel BX son el ASTM D7371 y el UNE EN 1478.

**Banda BR:** consumo anual de Biodiesel en soles, obtenido al afectar el resultado de FAME de la mezcla Diesel BX por el valor de la Reproducibilidad del método empleado para cuantificar FAME.

Basándonos en las bandas de precisión definidos en la Tabla N° 2-10, se establece el rango de la variación del consumo anual promedio de Biodiesel, como componente en el Diesel BX. En el cual se obtiene el menor consumo anual de Biodiesel B100 al afectarlo por el factor “-BR” y el mayor valor de consumo de Biodiesel B100 al afectarlo por el factor “+Br”.

Por tanto, el escenario optimo del consumo de Biodiesel B100 y su variación en soles, está definido por las mezclas Diesel BX que cumplen las especificaciones técnicas de calidad referido al contenido de FAME, las cuales se encuentran en el rango establecido por las bandas de precisión desde -BR hasta +Br.

**Ejemplo de aplicación,** para explicar lo definido como “las Bandas de Precisión por contenido de FAME”, tomaremos como ejemplo de aplicación al periodo 2011, periodo en el cual se consumió Diesel B5. Donde, se debe de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Primero**, las 62 inspecciones referidos al contenido de FAME realizadas por OSINERGMIN durante el periodo del 2011, son considerados como el universo representativo de los agentes comercializadores (Plantas de abastecimiento y refinerías mencionados en la Tabla N° 2.1) involucrados en la venta del Diesel BX.
- **Segundo**, referido a la demanda nacional de Diesel BX, no se está considerando el porcentaje de participación de cada agente comercializador.
- **Tercero**, la tendencia obtenida en la sección 2.1.3.1 parte c (Pág. 27) del periodo 2011, se considera como resultado del contenido de FAME en las mezclas Diesel BX. En el cual se sabe que el 43% (cuarenta y tres por ciento) de las inspecciones de Diesel B5, no satisfacen el mínimo permisible de 4.2% Vol. (considerando R: -0.8)

en contenido de FAME, y el 11 % (11 por ciento) de las inspecciones de Diesel B5 sobrepasaron el máximo permisible de 5.2% Vol. (considerando r: +0.2) en contenido de FAME.

Con estas tres consideraciones y la definición de las bandas -BR y +Br, se estima los siguientes resultados para el periodo 2011, expresado en soles:

- Las mezclas Diesel B5, que no satisficieron el mínimo permisible de 4.2% en contenido de FAME, exigido por las especificaciones técnicas de calidad, no se consumió Biodiesel B100 en la producción del Diesel B5, valorizado en el 43% de 94 millones de soles, correspondiente a la Banda BR del año 2011, detallado en la Tabla N° 2.10, lo que equivale a una cifra mayor de 40.4 millones de soles.
- Analizando el caso de las mezclas Diesel B5 que sobrepasaron el contenido máximo permisible de 5.2 % en contenido de FAME, se observa, que se consumió un exceso de Biodiesel B100 en la producción de mezclas Diesel B5, valorizado en el 11% de 23.5 millones de soles, lo que equivale a una cifra mayor a 2.6 millones de soles.

Con lo cual, en el periodo del 2011, se obtiene una fluctuación total aproximada de 43 millones de soles, por consumo de Biodiesel B100 como componente de Diesel BX.

Basado en el ejemplo de aplicación, se observa que para estimar con mayor precisión, la variación del consumo nacional de Biodiesel B100 en soles por año, se deben conocer los siguientes datos:

- a) Un universo representativo de muestras Diesel BX por cada agente comercializador, el cual debe ser proporcional a su respectiva demanda.
- b) El porcentaje de participación en la demanda nacional de Diesel BX, por cada agente comercializador.
- c) Las bandas de precisión del método empleado para la cuantificación del contenido de FAME en las mezclas Diesel BX.

### **2.1.5 La densidad como parámetro de control en las mezclas Diesel BX**

Considerando como referencia lo establecido por las especificaciones técnicas de calidad, mencionaremos una descripción situacional general, de la aplicación de la densidad como parámetro de control en las mezclas Diesel BX y sus componentes Diesel y Biodiesel B100:

#### **Densidad del Diesel N° 2**

En el Perú, las especificaciones técnicas de calidad del Diesel (NTP 321.003) no establecen la densidad como parámetro de control de calidad. En las especificaciones técnicas de calidad ASTM D975 del Diesel, tampoco especifican detalles referidos a la densidad, pero en las especificaciones técnicas de calidad UNE EN590-10, se exige un valor mínimo de  $820 \text{ kg/m}^3$  (aprox. API: 41.1), en la densidad para el Diesel automotor, con lo cual se limita la incorporación de componentes muy ligeros o de muy bajo índice de cetano; a su vez, la densidad máxima está limitada por el valor de  $845 \text{ kg/m}^3$  (aprox. API: 36)

#### **Densidad del Biodiesel B100**

En las especificaciones técnicas de calidad del Biodiesel en el Perú, denominada NTP 321.125 con versión vigente del año 2008, la densidad no es considerada como parámetro de control. El cual plantea el siguiente argumento:

*“En su nota B.3, se menciona que la densidad de un Biodiesel, el cual cumpla las especificaciones técnicas de calidad (NTP 321.125-2008), generalmente se encuentra en el rango comprendido desde  $860 \text{ kg/m}^3$  hasta  $900 \text{ kg/m}^3$ , con valores típicos comprendidos entre  $880 \text{ Kg/m}^3$  y  $890 \text{ Kg/m}^3$ . Por tanto, no se requiere especificar esta propiedad en la norma técnica, dado que la densidad de los aceites y las grasas crudas de las cuales provienen, mantienen densidades comprendidas en el mismo rango. Por tanto, el uso de la densidad para verificar rápidamente la calidad del combustible no es tan útil, como lo es en el caso de los derivados del petróleo”.*

Para el caso de las especificaciones técnicas de calidad ASTM D6751, tampoco considera a la densidad como parámetro de control, pero dado que



la densidad del Biodiesel es una propiedad que varía según la naturaleza de la materia prima empleada para su producción, tal como se muestra en la Tabla N° 2.8, la Comunidad Europea establece en sus especificaciones técnicas de calidad (UNE EN 14214) un rango referido a la densidad, el cual esta comprendido, desde una densidad de 860 Kg/m<sup>3</sup> (API: 33) hasta una densidad de 890 Kg/m<sup>3</sup> (API: 27.5).

### **Densidad de las mezclas Diesel BX**

En el Perú se considera que al agregar el Biodiesel B100 hasta las proporciones del 5% en volumen, la calidad del Diesel N° 2 no se altera considerablemente. Por lo expuesto, para las mezclas Diesel B5 se considera las mismas especificaciones técnicas de calidad del Diesel N° 2, tal como se menciona en el RM 165-2008-MEM/DM, implementándose ciertas consideraciones para la cuantificación del contenido de FAME en su composición. Pero, no se especifica ninguna consideración respecto a la densidad de la mezcla Diesel BX.

Las especificaciones técnicas de calidad ASTM D7467, la cual es aplicable para mezclas Diesel BX con contenido de Biodiesel desde 6% Vol. (Diesel B6) hasta 20% Vol. (Diesel B20), no considera a la densidad como parámetro de control de calidad.

Las especificaciones técnicas de calidad del Diesel automotor, establecido por la norma EN 590, considera el contenido de FAME hasta un contenido de 7% Vol. (Diesel B7), también establece, que la densidad de la mezcla Diesel BX es un parámetro de calidad, comprendido en un rango que se extiende desde una densidad de 820 Kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 41.1) hasta una densidad de 845 Kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 36)

### **2.1.6 Inspección OSINERGMIN y la densidad de las mezclas Diesel BX**

Considerando los resultados del reporte de calidad de las inspecciones del OSINERGMIN, analizaremos la variedad de densidades de Diesel BX que se comercializa a nivel nacional en las Plantas de abastecimiento y Refinerías. Para ello, se analizará los resultados de API de las mezclas Diesel B2 del

reporte de calidad del periodo 2010, luego relacionaremos esta información con la demanda nacional de Diesel BX de cada agente comercializador, para estimar el rango de densidad del Diesel N° 2 de mayor demanda a nivel nacional.

Del reporte OSINERGMIN que se adjunta en el Anexo N° 10, se identifica que el rango de la densidad del Diesel BX que se consume a nivel nacional, varía desde un valor de 784 Kg/m<sup>3</sup> (API 49) hasta un valor de 860 kg/m<sup>3</sup> (API 33). En la Tabla N° 2.11 se detalla el rango de variación de las densidades en unidades de Grados API y Gravedad Especifica a nivel de Plantas de Almacenamiento y Refinerías. También se detalla sus respectivos porcentajes de participación en la demanda nacional de comercialización del Diesel B2<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Datos considerados del Curso del CAREC 2012, Mercado Nacional: Diesel-2010

TABLA N° 2.11 GRADOS API DE DIESEL BX - INSPECCION OSINERGMIN  
2010 / PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y REFINERIAS

Orden	Terminal, Plantas y Refinerías	Demanda		N°	Gravedad API/SpGr	
		MBD	%		API min.	API máx.
1	Ref. y Plta. La Pampilla	16.57	18.94	17	33.1 (0.8662)	47.5 (0.7905)
2	T. Mollendo	10.36	11.84	-		
3	T. Callao (Vopak)	9.18	10.50	28	34.4 (0.8529)	41.6 0.8174)
4	Ref. y Plta. Conchán	8.76	10.01	25	35.3 (0.8483)	44.3 (0.8049)
5	T. Eten	7.61	8.70	-		
6	T. Salaverry	6.19	7.08	-		
7	T. Pisco	5.19	5.93	-		
8	Plta. Cusco	3.94	4.50	-		
9	T. Supe	3.54	4.05	2	34.4 (0.8529)	35.2 (0.8488)
10	Plta. Piura	2.77	3.17	1	33.8 (0.8560)	33.8 (0.8560)
11	T. Chimbote	2.43	2.78	-		
12	T. Ilo	2.36	2.70	-		
13	Plta. Juliaca	1.67	1.91	-		
14	Ref. y Plta. Talara	1.36	1.55	1	35 (0.8498)	35 (0.8498)
15	Plta. Pucallpa	1.04	1.19	-		
16	Ref. y Plta. Iquitos	0.95	1.09	2	34.2 (0.8540)	34.5 (0.8524)
17	Plta. El Milagro	0.85	0.97	1	34.3 (0.8534)	34.3 (0.8534)
18	Plta. Tarapoto	0.77	0.88	-		
19	Ref. y Plta. Maple	0.55	0.63	3	44 (0.8063)	49 0.7839)
20	Plta. Herco	0.48	0.55	8	33 (0.8602)	40.4 0.7839)
21	Plta. Yurimaguas	0.3	0.34	-		
22	Plta. Pasco	0.28	0.32	-		
23	Plta Oil Tanking	0.2	0.23	9	35.5 (0.8473)	38.7 (0.8314)
24	Plta. Emcopesac	0.12	0.14	5	33 (0.8602)	39.2 (0.8289)
Total		87.47	100	102	33	49

Plta.: plantas de abastecimiento, T: Terminal, Ref.: Refinería

N° : número de muestras tomadas durante el año 2010

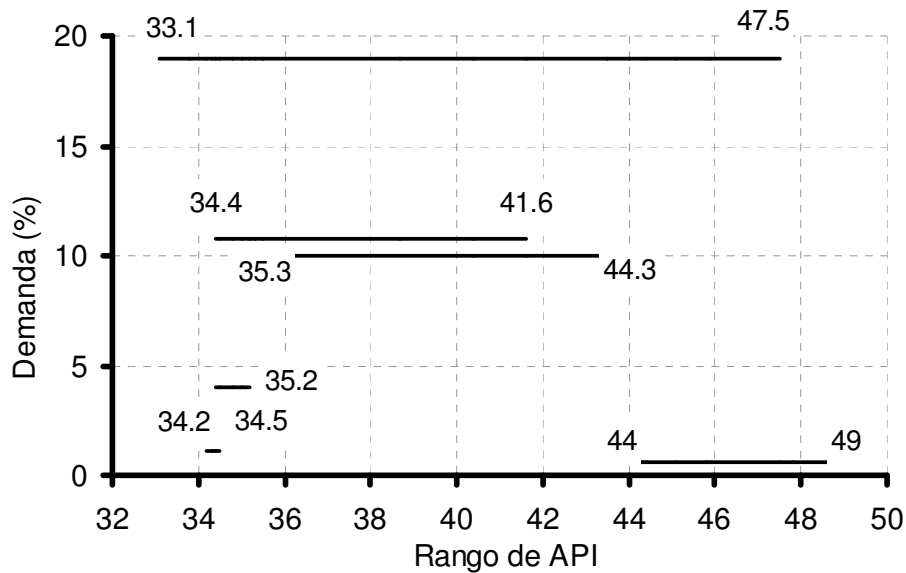
Demanda: datos del curso Mercado nacional: Diesel – 2010 (CAREC-2012)

Gravedad API (60°F): Datos de inspección de calidad OSINERGMIN 2010

Fuente: elaboración Propia de los reportes de calidad del OSINERGMIN

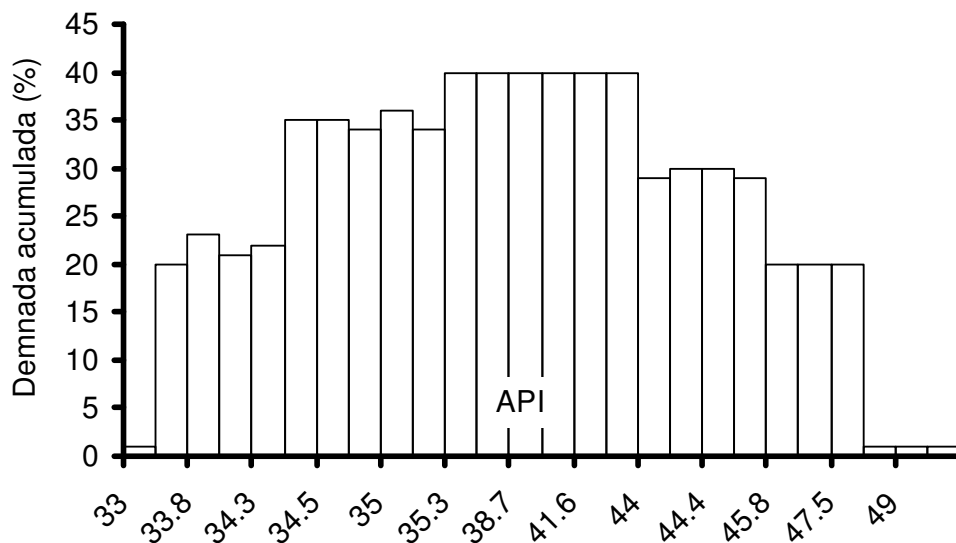
En la Figura N° 2-11 se representa las Plantas de mayor demanda en función de su API y en la Figura N° 2-12 se representa los rangos de API considerando la demanda acumulada a nivel nacional.

FIGURA N° 2-11 RANGO DE API - DEMANDA DIESEL BX



Fuente: elaboración propia, de los reportes de calidad del OSINERGMIN

FIGURA N° 2-12 RANGO DE API DEL DIESEL BX AFECTADO POR LA DEMANDA NACIONAL



Fuente: elaboración propia

Analizando la tendencia de la Figura N° 2-12, se puede decir que en el año 2010, a nivel nacional el mayor porcentaje (entre 30% y 40%) de Diesel B2 que se comercializó, corresponde a una densidad que varía en un rango que se extiende desde una densidad de 806 Kg/m<sup>3</sup> (API: 44) hasta una densidad de 853 Kg/m<sup>3</sup> (API: 34.4).

También se puede observar que el rango obtenido, incluye al rango establecido por las especificaciones técnicas de calidad de la comunidad europea, según la norma EN 590-09, el cual comprende Diesel BX con densidades desde 820 Kg/m<sup>3</sup> (API: 41.1) hasta 845 (API: 36) Kg/m<sup>3</sup>

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Técnicas empleadas para determinar el porcentaje de Biodiesel (FAME) en mezclas Diesel BX**

Las especificaciones técnicas de calidad exigidas en el Perú para el Diesel BX, mediante el Decreto Supremo N° 092-2009 EM, plantea dos métodos estándares para cuantificar el porcentaje de FAME.

- El método de ensayo ASTM D7371
- y el método de ensayo UNE EN 14078.

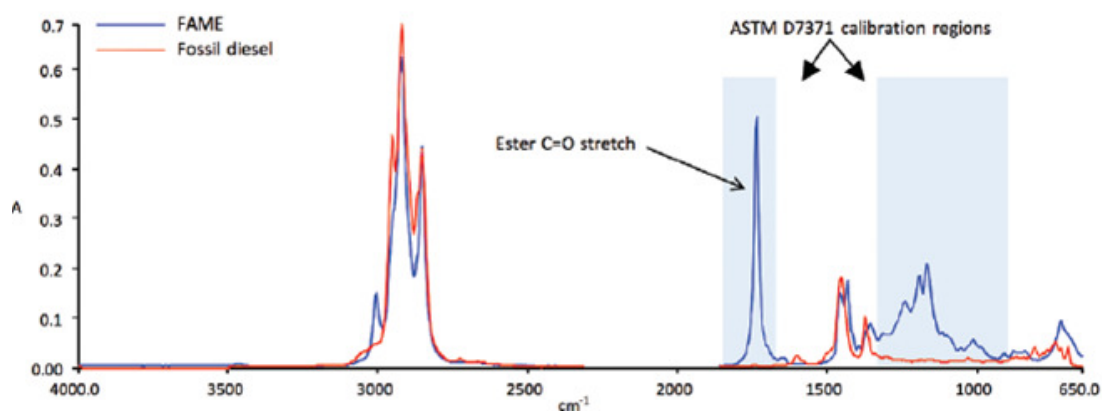
Ambos métodos establecen un rango permisible del contenido de FAME, los cuales se diferencian y varían según sus respectivas desviaciones de precisión, tal como se muestra en las Tablas N° 2.12 y 2.13 (ver Pág. 51 y 52, respectivamente).

#### **2.2.1.1 Principio de la técnica de cuantificación del porcentaje de biodiesel**

Para cuantificar el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX ambos métodos de ensayo ASTM D7371 y EN 14078, emplean la técnica de Espectroscopia Infrarroja, dado que el Biodiesel contiene en su estructura molecular el grupo carbonilo, el cual presenta una absorción infrarroja diferente a la estructura molecular del Diesel, presentándose así diferencias en sus espectros, tal como se muestra en la Figura N° 2-13. Por tanto, la

cantidad de energía infrarroja absorbida por la mezcla Diesel BX, es proporcional a la cantidad de Biodiesel que contiene la mezcla Diesel BX. La técnica infrarroja presenta resultados cuantitativos fidedignos de FAME, cuando las muestras no contienen cantidades significativas de compuestos que interfieran en el análisis, tales como los compuestos que contienen el grupo carbonilo en su estructura, dado que presenten bandas de absorción en la misma región del espectro que se emplea para la cuantificación.

FIGURA N° 2-13 ESPECTROS INFRARROJO DEL DIESEL Y BIODIESEL METODO ASTM D7371



Línea Azul, espectro infrarrojo del Biodiesel

Línea Roja, espectro infrarrojo del Diesel

Región sombreada, espectro del Carbonilo, área para cuantificar FAME.

Fuente: *Biodiesel Blend Analysis by ASTM D7371 and EN 14078*, Authors, Ben Perston, Nick Harris, PerkinElmer, Inc.

### 2.2.1.2 Resumen del método ASTM D7371

**Alcance**, El método ASTM D7371-12, puede cuantificar Biodiesel B100 en mezclas de Diesel BX, con contenido de FAME desde 1% Vol. (uno por ciento en volumen) hasta 20 % vol. (veinte por ciento en volumen). El método también puede cuantificar hasta el 100% Vol. de FAME, pero su precisión ha sido establecida sólo para mezclas que contienen como máximo 20% Vol. de FAME en su contenido.

**Equipo**, el método recurre al empleo de un espectrómetro infrarrojo con transformadas de Fourier, el cual se aplica en el rango medio del espectro infrarrojo, con una celda de reflectancia total atenuada (ATR) para las

muestras. También, emplea el espectro de absorción para calcular un algoritmo de calibración mediante mínimos cuadrados parciales.

**Descripción**, una muestra de combustible Biodiesel o mezcla de Biodiesel y Diesel es introducido dentro de una celda ATR de muestra líquida. Un rayo de luz infrarroja es proyectado a través de la muestra sobre un detector y la respuesta del detector es determinado. Las interferencias o longitudes de onda del espectro de absorción que son correlacionados con el Biodiesel son seleccionadas para análisis. Mediante un análisis matemático multivariante, el conjunto de áreas seleccionadas del espectro por el detector, son convertidas a una concentración conocida de Biodiesel.

**Calibración del equipo**, el espectrofotómetro debe cubrir la región de frecuencia de  $4000\text{ cm}^{-1}$  hasta  $650\text{ cm}^{-1}$ . El método plantea que debe desarrollarse dos calibraciones separadas de mínimos cuadrados parciales y una tercera calibración opcional.

- La primera calibración o calibración de intervalo bajo, cubre contenidos de Biodiesel desde 0% Vol. hasta 10% Vol., considera datos de la región desde  $1800\text{ cm}^{-1}$  hasta  $1692\text{ cm}^{-1}$  y  $1327\text{ cm}^{-1}$  hasta  $940\text{ cm}^{-1}$ .
- La segunda calibración o calibración de intervalo medio, cubre contenidos de Biodiesel desde 10% Vol. hasta 30% Vol., considera datos de la región desde  $1800\text{ cm}^{-1}$  hasta  $1700\text{ cm}^{-1}$  y desde  $1399\text{ cm}^{-1}$  hasta  $931\text{ cm}^{-1}$ .
- La tercera calibración o calibración de intervalo alto, cubre contenidos de Biodiesel desde 30% Vol. hasta 100% Vol., la cual considera datos de la región desde 1851 hasta 1670 y desde 1371 hasta  $1060\text{ cm}^{-1}$ .

### Desviación de la precisión

En la Tabla N° 2-12 se detalla las respectivas expresiones de repetitividad (r) y la reproducibilidad (R).

TABLA N° 2.12 PRECISIÓN DEL METODO DE ENSAYO ASTM D7371

Resultado FAME (% Vol) en Diesel BX	Repetitividad $\pm r$ (% Vol)	Reproducibilidad $\pm R$ (% Vol)	Versión D7371
Desde 1 hasta 20	$0.01505(X + 14.905)$	$0.04770(X + 14.905)$	2012
Aplicación			
Diesel B2	0.25	0.81	2012
Diesel B5	0.30	0.95	2012
Diesel B10	0.37	1.19	2012
Diesel B20	0.53	1.66	2012
(*)Diesel B30	0.68	2.14	2012

X: media de los resultados a comparar, con dos dígitos significativos

(\*) Cálculo por fines del caso de estudio

Fuente: norma ASTM D7371

En la Tabla N° 2.12, también se detalla ejemplos de aplicación para el Diesel B5, el Diesel B10 y el Diesel B20.

#### 2.2.1.3 Resumen del método EN 14078

**Alcance**, método de ensayo para determinar el contenido de ester metílico de ácido graso (FAME), en el combustible Diesel o en el combustible de calefacción doméstica por espectrometría de infrarroja medio, que es aplicable para mezclas Diesel BX con contenidos de FAME comprendido en dos rangos de mediciones, tales como

- Rango A: para contenidos de FAME desde aproximadamente 0.05% (Vol.) hasta un valor aproximado de 3 % (Vol.)
- Rango B: para contenidos de FAME desde aproximadamente 3% (Vol.) hasta un valor aproximado de 20% (Vol.)

En principio, contenido altos de FAME también pueden ser analizados aplicando dilución de las muestras, sin embargo, el método no reporta información respecto a la precisión de los resultados obtenidos, de las mezclas con contenido de Biodiesel mayor al 20% Vol. (veinte por ciento en volumen).



Este método de ensayo fue verificado para ser aplicado en muestras que contienen FAME conforme a las normas EN 14214 y EN 14213

**Descripción**, previo a realizar los análisis, la muestra es diluida con un solvente libre de FAME, luego se registra el espectro de absorción en el infrarrojo medio. Se mide la absorbancia del pico máximo de la banda típica de absorción de ésteres, aproximadamente a la frecuencia de  $1745 \text{ cm}^{-1} \pm 5 \text{ cm}^{-1}$ . Los resultados se obtienen mediante una función de calibración.

### Desviación de la precisión

En la Tabla N°2.13 se muestra las expresiones de cálculo que el método emplea para determinar la repetitividad (r) y la reproducibilidad (R), cabe mencionar que desde el año 2003, el método EN 14078 ha presentado actualizaciones en el criterio del cálculo de la precisión, las cuales se muestran en la Tabla N° 2-13. También se detalla ejemplos de aplicación para el Diesel B5, el Diesel B10 y el Diesel B20.

TABLA N° 2.13 PRECISIÓN DEL METODO DE ENSAYO EN 14078

Resultado FAME (% Vol.) en Diesel BX	Repetitividad $\pm r$ (% Vol.)	Reproducibilidad $\pm R$ (% Vol.)	Versión EN 14078
Desde 1.7 hasta 11.4	0.3	0.9	2003
Desde 11.4 hasta 22.7	0.3	1.4	2003
Desde 0.05 hasta 3	$0.0126X - 0.0079$	$0.0499X + 0.0231$	2010
Desde 3 hasta 20	$0.0166X - 0.0195$	$0.0793X - 0.0413$	2010
Aplicación			EN 14078
Diesel B2	0.03	0.1	2010
Diesel B5	0.1	0.4	2010
Diesel B10	0.2	0.8	2010
Diesel B20	0.4	1.6	2010
(*) Diesel B30	0.5	2.4	2010

X: media de los resultados a comparar, con un dígito significativo

(\*) Cálculo por fines del caso de estudio

Fuente: norma UNE EN 14078

## 2.2.2 Medición de la densidad mediante un tubo oscilador en forma U

### Principio de medición<sup>21</sup>,

Un tubo capilar de metal o vidrio en forma de U es sometido a un proceso de oscilación armónica. El periodo de oscilación depende de la densidad de la muestra que contiene el tubo. Por consiguiente, mediante la medición del periodo de oscilación es posible calcular la densidad o los valores relativos a la densidad con gran precisión.

A continuación, se muestra las ecuaciones básicas de cálculo que emplea el método.

Ecuación de la frecuencia de oscilación:

$$\omega = \left( \frac{K}{M} \right)^{1/2} \quad \frac{1}{T} = f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{M} \right)^{1/2}$$

Donde:

M, es la Masa total del tubo oscilador e incluye masa de la muestra "m".

$$M = m + m_0$$

La masa de la muestra, se determina a partir de la ecuación general de la densidad para líquidos:

$$m = d * V$$

Donde:

W: frecuencia de resonancia

K: constante de elasticidad del tubo

T: periodo de oscilación

f: frecuencia de oscilación

d: densidad de la muestra

m: masa de la muestra

m<sub>0</sub>: masa del tubo en U

V: volumen de la muestra en el interior del tubo en U

---

<sup>21</sup> Patente USA 5,477,726 Aparatos para determinar la densidad de Líquidos y Gases a partir del periodo de un tubo oscilador que contiene en su interior la muestra de prueba - Diciembre 1995.

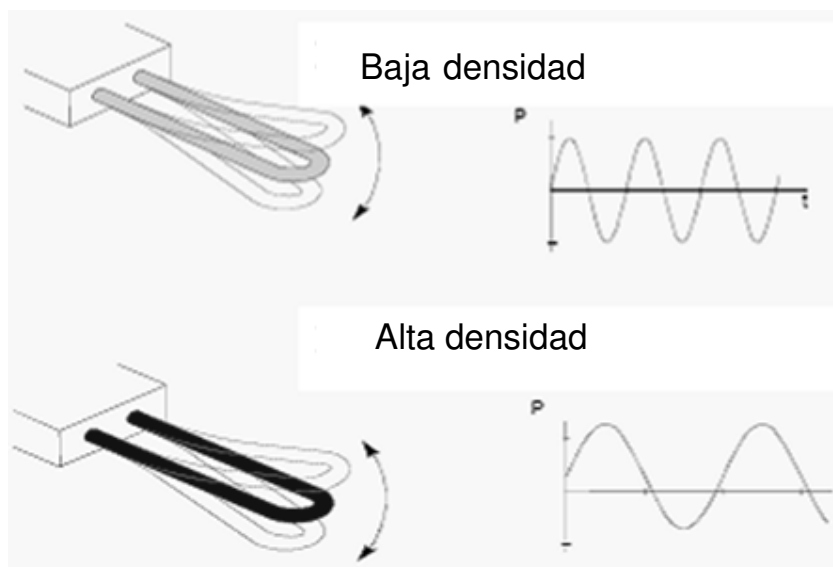
En la ecuación de la frecuencia de oscilación, al reemplazar el valor de la masa total del tubo oscilador (M), se despeja la densidad (d) de la muestra que contiene en su interior, la cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$d = \frac{1}{w^2} * \frac{c}{V} - \frac{m_0}{V}$$

Donde se observa que la densidad de la muestra depende de la frecuencia de oscilación ó el periodo de oscilación. En la etapa de calibración del equipo el periodo de oscilación puede ser determinado mediante el empleo de dos patrones de referencias, la elección de estos patrones de referencia es importante ya que fijan el intervalo dentro del cual podremos realizar las medidas. Los cocientes de  $c / V$  y  $m_0 / V$  son considerados constantes del equipo de medición.

**Descripción**, la muestra fluye continuamente a través del tubo oscilante en forma de U, se mide la frecuencia de vibración característica y la Unidad de Evaluación (transductor) traduce instantáneamente la señal en un valor de densidad o de concentración. Mediante un sensor de temperatura integrado se logra la compensación de temperatura.

FIGURA N° 2-14 TUBO EN FORMA DE "U" PARA MEDIR LA DENSIDAD



Fuente: manual Anton Paar

### Desviación de la precisión

La precisión de las mediciones de la densidad expresado en repetitividad se mantienen el orden de  $1 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ . En el Anexo N°15 se presenta las características de algunos equipos desarrollados por Anton Paar y sus aplicaciones, incluyendo su precisión. En las figuras N° 2-15 y 2-16 se aprecia los densímetros digitales Anton Paar.

FIGURA N° 2-15 DENSIMETRO ESTACIONARIO, MODELO SVM 3000



Fuente: manual Anton Paar (ver Anexo N° 15)

FIGURA N° 2-16 DENSIMETRO EN LINEA, MODELO L-DENS 427



Fuente: manual Anton Paar (ver Anexo N° 15)

### 2.2.3 Especificaciones técnicas de calidad de las mezclas biodiesel y diesel

Las propiedades físicas y químicas del Diesel N° 2 o Diesel BX y del Biodiesel B100 se detallan según las especificaciones técnicas de calidad NTP 321.003 y NTP 321.125 respectivamente, las cuales se adjuntan en el Anexo N° 8, la versión vigente de las especificaciones técnicas de calidad del Diesel B5 S50 se presenta en el Anexo N° 1, establecida por el decreto supremo N° 092-2009 EM, publicado el 31/12/2009.

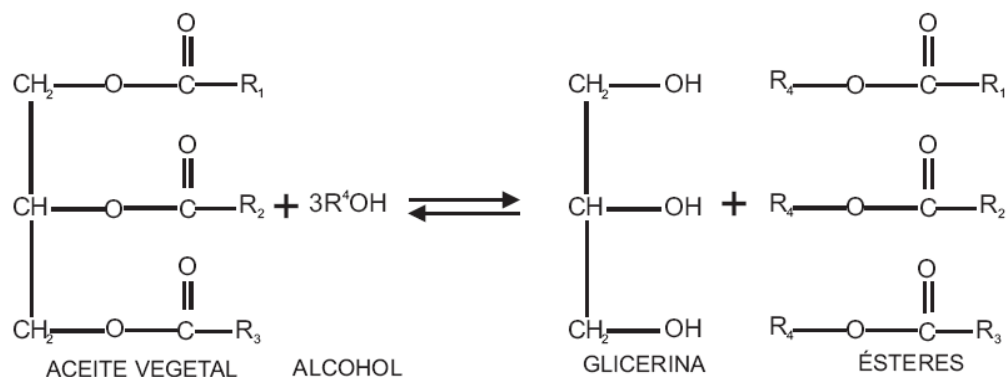
## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Producción de biodiesel

En el presente estudio, la técnica que se menciona para la producción de Biodiesel, se basa en la trans-esterificación del aceite ó triglicéridos con un alcohol en presencia de catálisis ácida ó básica, obteniéndose productos como Biodiesel y glicerina. Las propiedades del combustible Biodiesel dependen del proceso de refinación y de la naturaleza de la materia prima que se emplea. El Biodiesel puede producirse, a partir de una gran variedad de aceites vegetales o grasas animales.

En la Figura N° 2-17, se muestra la reacción de trans-esterificación que se experimenta para la producción de Biodiesel.

FIGURA N°2-17 REACCION DE TRANS-ESTERIFICACION



R1, R2 y R3 son cadenas largas de átomos de carbono e hidrogeno, conocidos como cadenas de ácidos grasos.

Fuente: *Biodiesel Analytical Methods-* pag.2, August 2002–January 2004 J. Van Gerpen, B. Shanks, and R. Pruszko Iowa State University

**Biodiesel (FAME):** combustible compuesto por una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales. Cuando cumple las especificaciones técnicas de calidad es designado como Biodiesel B100.

En la actualidad<sup>22</sup> el Biodiesel mantiene una demanda creciente a nivel mundial, entre los más comercializados se tiene los siguientes:

Metil éster de colza (RME), éster metílico de soja (SME), metil éster del aceite de palma (PME) y sus respectivas mezclas.

### **2.3.2 Concepto de las mezclas de Diesel N° 2 y Biodiesel B100**

A nivel global se tiene diferentes nomenclaturas para clasificar las mezclas Diesel N° 2 y Biodiesel B100, a continuación se mencionan algunas:

Según “las especificaciones técnicas de calidad del combustible Biodiesel B100 y sus mezclas con destilados medios, ASTM D6751-11” y las “especificaciones técnicas de calidad del Biodiesel, NTP 321.125-08”, la nomenclatura para describir las mezclas de Diesel de origen fósil y Biodiesel B100 tiene la abreviación de “BXX”, donde XX representa el porcentaje en volumen del combustible Biodiesel en la mezcla. Por ejemplo, el combustible B20 es una mezcla de 20% en volumen Biodiesel y 80% en volumen de Diesel.

Según el “Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles” aprobado por el Decreto Supremo N° 021-2007-EM, La abreviatura Diesel BX representa la mezcla que contiene Diesel N° 2 y Biodiesel B100, donde el valor X representa el porcentaje en base volumétrica del combustible Biodiesel B100 contenido en la mezcla; siendo el diferencial volumétrico el porcentaje de Diesel N° 2.

Por tanto, tomando en referencia lo especificado por el DS N° 021-2007-EM, en el presente estudio se considerará el nombre “Diesel BX” para las mezclas de Diesel N° 2 y Biodiesel B100.

---

<sup>22</sup> Última actualización del presente estudio, diciembre del 2012.

### **2.3.3 Propiedades físicas y químicas del Biodiesel y el Diesel**

Las tendencias exigidas en la calidad del combustible Diesel, están afectando algunas propiedades físicas y químicas básicas que se requieren para su buen desempeño en los motores. Por ejemplo, el Hidro-tratamiento, que se emplea en las refinerías para eliminar el azufre, también afecta y reduce el contenido de compuestos que favorecen en las propiedades antioxidantes y de lubricidad, comúnmente conocidos como, estabilidad a la oxidación y lubricidad. También se debe tener en cuenta que el Diesel y Biodiesel son propensos a la formación de estructuras sólidas (ceras), cuando son sometidos a bajas temperaturas o climas fríos. Para describir el comportamiento de las mezclas Diesel y Biodiesel B100, a continuación mencionaremos las propiedades que se encuentran relacionadas con el presente estudio, las cuales son definidas por las especificaciones técnicas de calidad:

#### **2.3.3.1 Contenido de éster (FAME) en Biodiesel**

Este parámetro es una herramienta importante para medir la pureza del Biodiesel. Un Biodiesel de baja pureza se origina por condiciones inapropiadas de la reacción de trans-esterificación o de impurezas propias del aceite empleado como materia prima. Por lo tanto, las altas concentraciones de material no saponificable como los esteroides (esterol-glucósidos), el alcohol residual de la reacción, los glicéridos y el glicerol que no han sido separado adecuadamente, pueden dar origen a un biodiesel con un valor de pureza debajo del límite permisible. El método empleado para cuantificar la pureza del biodiesel, es el método UNE-EN 14103, la unión europea (UNE) plantea el límite inferior de pureza de 96.5% (porcentaje en masa), este parámetro intenta excluir aceites de baja calidad empleados como materia prima, aceites con alto contenido de material insaponificable y de polímeros. Pero también, cabe mencionar, que las especificaciones técnicas de calidad ASTM 6751, no aplican ningún límite permisible referido al contenido de FAME en el Biodiesel.

### 2.3.3.2 Punto de nube (*cloud point*) - punto de fluidez (*pour point*)

La temperatura en la cual se presenta la formación de las primeras estructuras sólidas de cera en la superficie del combustible, se conoce como el Punto de Nube. Su determinación se realiza acorde a la norma ASTM D2500. Dicha propiedad del combustible, permite conocer la temperatura a la cual se puede presentar el taponamiento del inyector o del filtro de combustible, debido a la obstrucción generada por estas estructuras. De manera análoga, el Punto de Fluidez determina la temperatura más baja en la cual se presenta movimiento del combustible. Esta propiedad, define la temperatura en la cual el combustible no puede ser bombeado por el sistema de alimentación del motor. Se determina según la norma ASTM D97. El Biodiesel generalmente tiene un punto de nube mayor que el combustible Diesel.

### 2.3.3.3 El punto de obstrucción del filtro, en flujo en frío

*Cold filter plugging point* (CFPP), indica la temperatura más baja en la cual el combustible Diesel, todavía puede atravesar un dispositivo de filtración estandarizado. Esta propiedad nos indica el rendimiento de Diesel en climas de invierno. Su determinación se realiza mediante la norma UNE EN 116. Una aplicación de esta propiedad, es el caso aplicado por la comunidad europea, regidas por la norma UNE EN 590 para el Diesel BX, el cual separa al Diesel en dos grupos, definidos por las diferentes temperaturas medioambientales de las zonas. Tal como se observa en la Tabla N° 2.14:

TABLA N° 2.14 RELACION DEL PUNTO DE OBSTRUCCIÓN DEL FILTRO, EN FLUJO EN FRÍO Y EL CLIMA AMBIENTAL

#### ZONAS DE CLIMAS TEMPLADO

Propiedad	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase E	Clase F	
CFPP	+5	0	-5	-10	-15	-20	°C

#### ZONA DE CLIMAS ÁRTICO

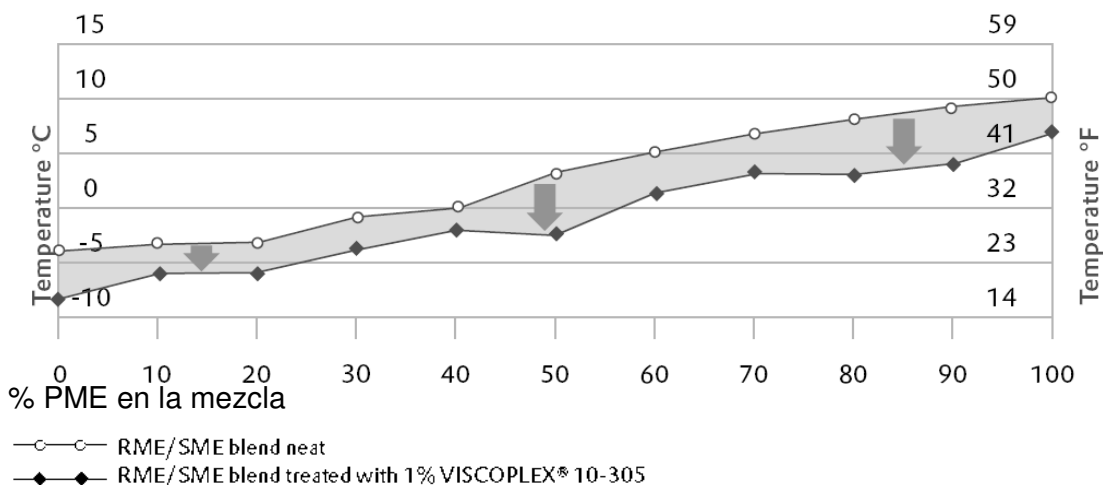
Propiedad	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	
CFPP	-20	-26	-32	-38	-44	°C

Fuente: norma EN14214



Para las zonas de climas templados define 6 clases, desde A hasta F. Para la zona con climas ártico la norma define 5 clases, desde 0 hasta 4.

FIGURA N° 2-18 COMPORTAMIENTO DEL PUNTO DE OBSTRUCCIÓN DEL FILTRO, EN FLUJO EN FRÍO (CFPP), EN MEZCLAS DE BIODIESEL DE ACEITE DE PALMA (PME) Y BIODIESEL DE ACEITE DE SOYA (SME)



Fuente: aditivo mejorador de CFPP, VISCOPLEX, industrias EVONIK

#### 2.3.3.4 Lubricidad

Es esencial que la lubricidad del combustible, medida por el método de ensayo "Diámetro rasgado de uso corregido a 60°C (HFRR) especificado por la norma ISO 12156" cumpla con el requisito de una marca de desgaste con diámetro no mayor de 460 micras. Además, los fabricantes de motor recomiendan, que "el primer llenado" del depósito de combustible, debe ser llenado con un combustible con características de buena lubricidad (HFRR <400 micras) con el fin de garantizar un buen comportamiento de los componentes del sistema de inyección.

Las especificaciones técnicas de calidad del Diesel (ASTM D975) incluyen un valor máximo de lubricidad de 520 micras, empleando el método de ensayo ASTM D6079. Pero se sabe que el tiempo de vida útil de funcionamiento de cualquier componente mecánico, se verá afectado

negativamente por los combustibles con una lubricidad superior a 460 micras.

### **2.3.3.5 Estabilidad oxidativa**

La estabilidad del combustible determinado como el período de inducción (IP), según el método de ensayo EN 15751, con un IP mayor o igual a 20 horas para un Diesel B5, se ha demostrado que es suficientemente estable para las condiciones de uso estándar en el mercado Europeo.

Las especificaciones técnicas de calidad, según la norma ASTM D975 para un Diesel (B0 a B5) no especifican ningún requisito referido a la estabilidad. Las normas para mezclas desde de B6 hasta B20 (ASTM D7467) y para Biodiesel puro (ASTM D6751) no plantean suficiente garantías respecto a la estabilidad definida por las normas Europeas EN 590 y EN 14214. Dado que la norma para Biodiesel ASTM D6751 exige un IP mínimo de 3 horas, la cual es la mitad de lo requerido por la norma EN 14214:2009, y la norma ASTM D7467 para mezclas desde B6 hasta B20, plantea solo un período de inducción de 6 horas, en comparación con 20 horas que exige la norma EN 590:2009. Por tanto, se espera que el rendimiento operativo y vida útil del sistema de inyección de combustible sea afectado negativamente por el uso de combustibles con estabilidad reducida.

El Biodiesel que no cumpla el límite permisible de la Estabilidad Oxidativa, puede contener ácidos orgánicos, como ácido fórmico y productos de polimerización. Los ácidos pueden afectar los componentes internos, y los polímeros pueden producir obstrucción de los filtros, los sedimentos pueden adherirse en las partes móviles reduciendo drásticamente la vida útil de los motores. Los equipos que permanecen inactivos por largos periodos de tiempo, pueden verse afectados, tales como los generadores de emergencia y los vehículos de origen de exportación. Por esta razón es recomendable emplear en el "Primer llenado" combustibles sin contenido de Biodiesel que cumplan con la norma EN 590.

#### **2.3.3.6 Punto de inflamación**

El punto de inflamación, como está especificado, no está directamente relacionado al desempeño de la máquina. Si embargo, es de importancia su conexión con requerimientos legales y precauciones de seguridad envueltos en la manipulación y en el almacenamiento del combustible que son normalmente especificados para cumplir con regulaciones de seguros e incendios.

#### **2.3.3.7 Viscosidad**

Puede ser ventajosa para algunos motores la especificación de un mínimo en viscosidad debido a la pérdida de potencia a causa de las pérdidas en las bombas de inyección y en los inyectores. Por otra parte, la máxima viscosidad permisible está limitada por consideraciones que involucran el diseño y el tamaño del motor, y las características del sistema de inyección. El límite superior para la viscosidad del Biodiesel (6,0 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C) es mayor que la máxima viscosidad permitida en la NTP 321.003. La mezcla de Biodiesel con combustible Diesel cercano a su límite alto, podría resultar en una mezcla Biodiesel con viscosidad mayor al límite superior considerado en la NTP 321.003.

#### **2.3.3.8 Cenizas sulfatadas**

El Biodiesel puede contener materiales formadores de cenizas bajo tres formas: (1) sólidos abrasivos, (2) jabones metálicos solubles y (3) catalizador no removido. Los sólidos abrasivos y el catalizador pueden contribuir a incrementar los depósitos en el motor y al desgaste del pistón, anillos, inyectores, bomba de inyección. Los jabones metálicos solubles tienen poco efecto en el desgaste pero pueden contribuir al taponamiento de filtros y los depósitos en el motor.

#### **2.3.3.9 Azufre**

El efecto del contenido de azufre en el desgaste del motor y en la generación de depósitos en el motor parece ser que varía considerablemente en importancia y depende grandemente de las condiciones operativas. El azufre en el combustible puede también afectar el comportamiento del sistema de

control de emisiones y se han impuesto varios límites en azufre por razones ambientales. El Biodiesel B100 es esencialmente libre de azufre.

#### **2.3.3.10 Corrosión a la lámina de cobre**

Este ensayo sirve como una medida de las posibles dificultades con las partes de cobre o bronce del sistema de combustible. La presencia de ácidos o compuestos que contienen azufre mancha la lámina de cobre, y por tanto indicar la posibilidad de corrosión. La NTP 321.003 establece el índice de corrosión a la lámina de cobre de 1. Este mismo valor está establecido en la Norma EN 14214:2003 y la Norma Técnica Brasileira ANP 255:2003.

#### **2.3.3.11 Número de cetano**

El número de cetano es una medida de la calidad de ignición del combustible e influencia el humo blanco y la robustez de la combustión. El requerimiento del número de cetano depende del diseño del motor, de su tamaño, de las variaciones de velocidad y carga y de las condiciones atmosféricas y de arranque.

El índice de cetano calculado, método ASTM D 976 o ASTM D 4737 no debe ser utilizado para aproximar el número de cetano con Biodiesel o sus mezclas. Dado que no se tiene data representativa que sustente el cálculo del índice de cetano para Biodiesel o sus mezclas.

#### **2.3.3.12 Residuo de carbón**

El residuo de carbón proporciona una medición de la tendencia a depositar carbón de un combustible. Aunque no está directamente relacionado con el depósito en los motores, esta propiedad es considerada una aproximación. A pesar de que el Biodiesel está dentro del rango de ebullición, muchos Biodiesel hierven a aproximadamente la misma temperatura y es difícil dejar el 10 % de residuo de la destilación. Por tanto, se utiliza un 100 % de muestra para reemplazar el 10 % de residuo y los cálculos se realizan como si fuera el 10 % de residuo.

### **2.3.3.13 Número de acidez**

El número de acidez es utilizado para determinar el nivel de ácidos grasos libres o ácidos del proceso que pueden estar presentes en el Biodiesel. Se ha demostrado que Biodiesel con número de acidez alto incrementan los depósitos en el sistema de combustible e incrementan la potencialidad de corrosión.

El número de acidez del Biodiesel mide un fenómeno diferente que para combustibles Diesel derivados del petróleo. El número de acidez de Biodiesel mide los ácidos grasos libres o subproductos de la degradación no encontrados en combustibles Diesel derivados del petróleo. Los nuevos diseños de sistemas de combustibles con mayores temperaturas de reciclo pueden incrementar la degradación lo cual puede resultar en valores de acidez elevados e incrementar el potencial de taponamiento de filtros.

### **2.3.3.14 Glicerina libre y glicerina total**

Se utiliza para determinar el nivel de glicerina en el combustible. Altos niveles de glicerina pueden causar depósitos en los inyectores, así como taponamiento de los sistemas de combustible. También, contribuye a una acumulación de glicerina en los fondos del sistema del almacenamiento de combustible. El contenido de Glicerina Total se emplea para determinar el nivel de glicerina en el combustible e incluye la porción de glicerina de cualquier aceite no reaccionada o parcialmente reaccionada (gliceridos). Bajos niveles de glicerina total aseguran que se han logrado altos niveles de conversión de aceites o grasas a su ésteres mono-alquílicos. Altos niveles de mono- di- y triglicéridos causan depósitos en los inyectores y afectan negativamente la operación en climas fríos y taponar los filtros.

### **2.3.3 14 Contenido de fósforo**

El fósforo puede dañar los convertidores catalíticos utilizados en los sistemas de control de emisiones y sus niveles deben mantenerse bajos. Los convertidores catalíticos son cada vez más comunes en los equipos que utilizan combustible Diesel en la medida en que los estándares de emisión se hacen más estrictos, de tal forma que será importante mantener niveles

bajos de fósforo. El Biodiesel producido a partir de fuentes disponibles en EEUU ha demostrado tener bajo contenido de fósforo (por debajo de 1 ppm) y, por lo tanto, el valor especificado de 10 ppm máximo no debería ocasionar efectos nocivos.

Biodiesel de otras fuentes no muy estudiadas, pueden o no contener niveles mayores de fósforo por lo que esta especificación se ha agregado para asegurar que todos los Biodiesel tengan bajo contenido de fósforo sin importar su origen.

### **2.3.3. 15 Destilación a presión reducida**

El Biodiesel tiene un intervalo de punto de ebullición muy estrecho, en lugar de una curva de destilación. Las cadenas de ácidos grasos de los aceites y grasas crudas a partir de los cuales se produce el Biodiesel están constituidas de cadenas de hidrocarburos de 16 a 18 átomos de carbono que tienen temperaturas de ebullición similares. El punto de ebullición atmosférico de los Biodiesel usualmente está en el rango de 330 °C a 357 °C, por tanto el valor especificado de 360 °C no es problemático. Esta especificación en el Biodiesel se ha incorporado como una precaución adicional para asegurar que el combustible no ha sido adulterado con contaminantes de alto punto de ebullición.

### **2.3.3.16 Control de alcohol**

El control de alcohol es para limitar el nivel de alcohol no reaccionado en el combustible terminado. Esto puede ser medido directamente por el volumen porcentual de alcohol o indirectamente a través de un alto valor de punto de inflamación.

La especificación de punto de inflamación, cuando se usa para control de alcohol, es esperada ser de 100° C como mínimo, lo cual puede ser correlacionada con 0,2 % de volumen de alcohol. Los valores típicos están sobre los 160 °C. Debido a la alta variabilidad con el método de ensayo ASTM D93, la especificación del punto de inflamación ha sido puesta a 130 °C como mínimo para asegurar un valor real de 100 °C como mínimo.

### **2.3.3.17 Contenido de calcio y magnesio**

El calcio y el magnesio pueden estar presentes en el Biodiesel como sólidos abrasivos o jabones metálicos solubles. Los sólidos abrasivos pueden contribuir a incrementar el desgaste de los inyectores, bomba de combustible, pistones y anillos, y a generar depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen poco efecto en el desgaste, pero pueden contribuir al taponamiento de los filtros y los depósitos en el motor.

Altos niveles de compuestos de calcio y magnesio también podrían acumularse en los equipos de remoción de partículas de los gases de escape, los cuales generalmente no son removidos durante las operaciones de regeneración activa o pasiva, y pueden generar incremento de contrapresión y reducir el periodo de servicio entre mantenimiento de tales equipos.

### **2.3.3.18 Contenido de sodio y potasio**

El sodio y el potasio pueden estar presentes en el Biodiesel como sólidos abrasivos o jabones metálicos solubles. Los sólidos abrasivos pueden contribuir a incrementar el desgaste de los inyectores, bomba de combustible, pistones y anillos, y a generar depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen poco efecto en el desgaste, pero pueden contribuir al taponamiento de los filtros y los depósitos en el motor.

Altos niveles de compuestos de sodio y potasio también podrían acumularse en los equipos de remoción de partículas de los gases de escape, los cuales generalmente no son removidos durante las operaciones de regeneración activa o pasiva, y pueden generar incremento de contrapresión y reducir el periodo de servicio entre mantenimiento de tales equipos.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

En el presente capítulo, se describe el procedimiento experimental desarrollado en laboratorio y los métodos de cálculos empleados, con el cual se establece la relación entre el porcentaje de volumen de Biodiesel (FAME) y la densidad resultante de las muestras Diesel BX. Método alternativo denominado con la abreviación “**DDPX**”, dado que emplea un Densímetro Digital de Precisión (**DDP**) con regulación de temperatura y un modelo experimental, constituido por funciones dependientes de la densidad, con el cual se determina indirectamente el contenido de Biodiesel (FAME: **X**) en las mezclas Diesel BX.

#### **3.1 Descripción del método experimental para cuantificar el contenido de Biodiesel B100 en las mezclas Diesel BX**

Para establecer el método alternativo DDPX de cuantificación de Biodiesel B100 en mezclas Diesel BX, basado en la densidad, se elaboraron mezclas Diesel BX a escala de laboratorio, con las cuales se plantea la relación entre los resultados de la densidad y el contenido de FAME, a dichas muestras se les denominó muestras Diesel BX de referencia, dado que son mezclas binarias con composición conocida de Diesel N° 2 y Biodiesel B100, las cuales fueron caracterizadas empleando una balanza de precisión y un densímetro digital de precisión.

Al conjunto de muestras Diesel BX de referencia, provenientes de un mismo par binario de Biodiesel B100 y Diesel N° 2, pero se diferencian en su composición por contener diferente distribución en porcentajes



volumétricos, se les denomina familia de muestras Diesel BX de referencia, las cuales conforman un Escenario Experimental de Mezclas Diesel BX.

Con el objetivo de establecer un intervalo de medición de FAME en el escenario experimental de las mezclas Diesel BX, el cual comprenda contenidos de FAME desde 0% hasta 100%, se subdivide al intervalo de medición total, en tres sub-intervalos de composición de FAME.

- Para mediciones desde 0% hasta 10%, se le clasifica como Sub-intervalo de composición bajo,
- Para mediciones de desde 10% hasta 30%, se le clasifica como Sub-intervalo de composición medio,
- Para mediciones desde 30% hasta 100%, se le clasifica Sub-intervalo de composición alto.

Luego, basado en el método de calculo por regresión lineal para cada sub intervalo de medición, se establece las relaciones entre el porcentaje de volumen de Biodiesel (FAME) y la densidad resultante de la muestra Diesel BX de referencia. Al conjunto de funciones de densidad, por cada sub intervalo de medición, las cuales se determinan para cuantificar la composición de Biodiesel (FAME), se le denomina Modelo Experimental.

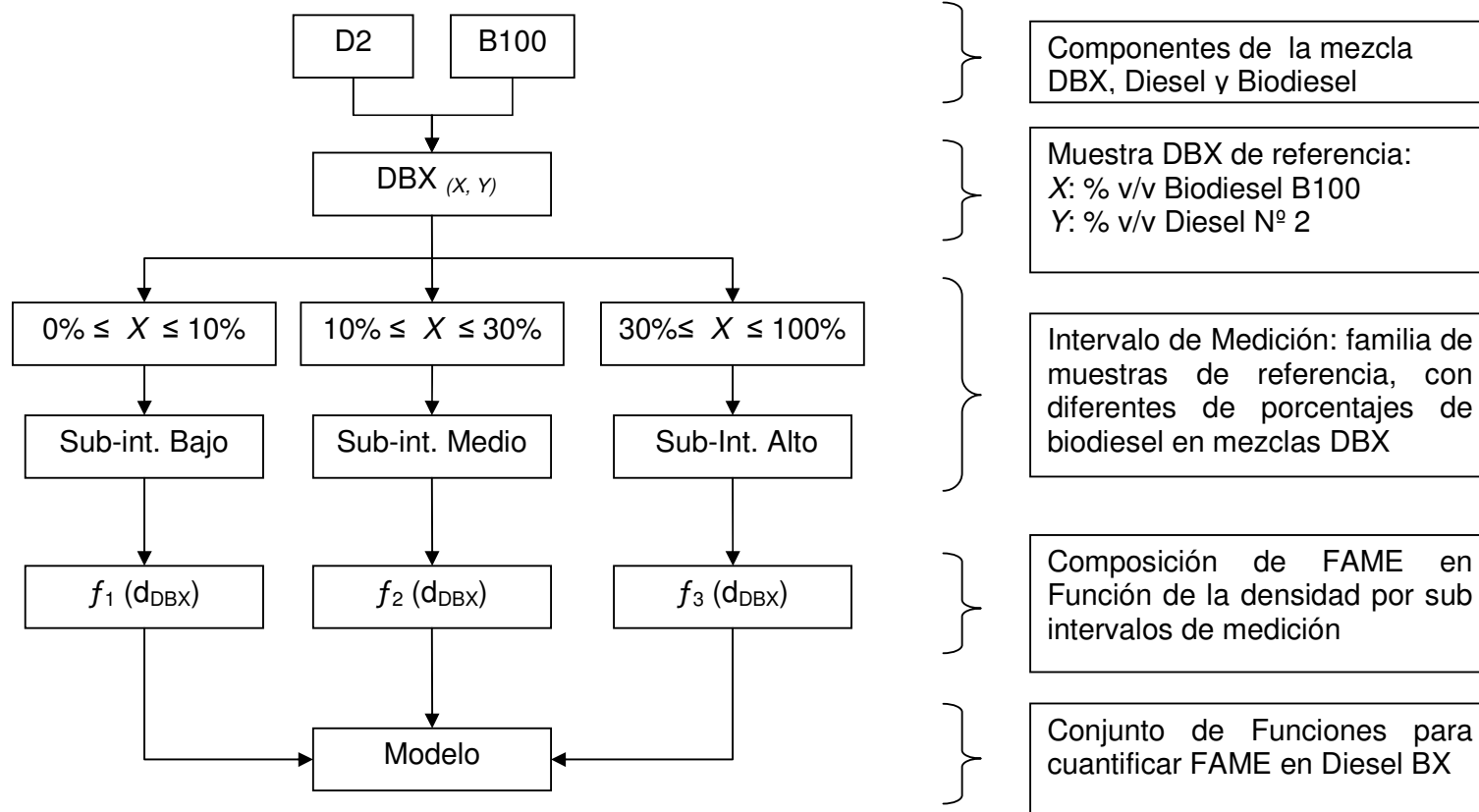
Tomando de referencia el intervalo de confianza establecido por la precisión (criterio de repetitividad) de los resultados de FAME de los métodos estándares EN 14078 y ASTM D7371, se calcula la precisión del método alternativo DDPX. También se establece el alcance de aplicación del método alternativo, el cual se basa en la diferencia de densidades de los componentes de la mezcla.

El desarrollo del procedimiento se aplica para tres pares de mezclas binarias Diesel BX, a los cuales se les denomina Escenarios de mezclas I, II y III respectivamente, la diferencia principal de cada escenario es la diferencia de densidades de sus componentes. Con los resultados obtenidos de la aplicación del método DDPX para cada escenario, se comprueba el alcance del método alternativo.

Finalmente, durante la producción de Diesel B5 a escala industrial en Planta, se verifica la aplicación del método alternativo DDPX mediante la comparación de los resultados de cuantificación de contenido de FAME, los cuales son comparados frente a la precisión de los métodos de ensayos estándares (EN 14078, ASTM D7371) establecidos por las especificaciones técnicas de calidad, según el Decreto supremo N° 092-2009 EM, tal como se detalla en el Anexo N° 1

En el Esquema N° 3-1 se detalla la estructura general del Escenario Experimental elaborado en laboratorio para una mezcla Diesel BX (par binario) compuesto de Diesel N° 2 y Biodiesel B100.

ESQUEMA Nº 3-1.- ESTRUCTURA DEL ESCENARIO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS DIESEL  
DBX



Sub-int.: Sub-intervalo  
Fuente: elaboración propia

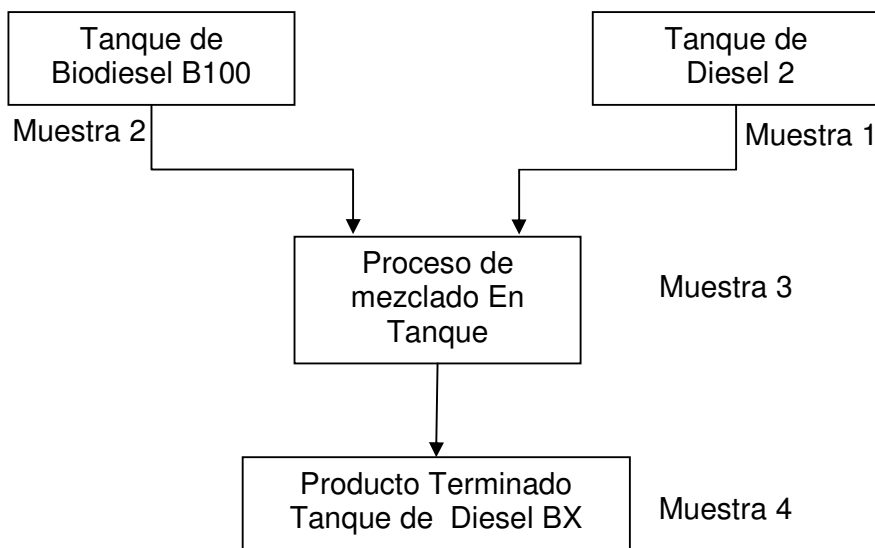
## 3.2. Elaboración de las muestras Diesel BX de referencia en laboratorio

### 3.2.1 Población y muestras

Para generar los escenarios experimentales de muestras Diesel BX de referencia, se emplearon dos tipos de Diesel N° 2 y dos tipos de Biodiesel B100, los cuales difieren en su densidad, tal como se muestra en la Tabla N° 3.1. Se empleó Biodiesel B100 de aceite de soya considerado como Biodiesel Pesado, Biodiesel B100 de aceite de Palma como Biodiesel Ligero y dos tipos de Diesel N°2 S50.

El muestreo de estos combustibles fue realizado bajo el método normado ASTM D4057<sup>1</sup> en una planta de abastecimiento y producción de Diesel BX (PAP). Las muestras de los componentes puros, muestra 1 y muestra 2, son tomados de los tanques de suministro de Biodiesel B100 y de Diesel N° 2, como se muestra en el Esquema N° 3-2, en el Anexo N° 17, se describe el procedimiento de las operaciones de mezcla en tanque de la planta PAP.

#### ESQUEMA N° 3-2.- MEZCLA DIESEL BX EN TANQUE



Fuente: elaboración propia

<sup>1</sup> ASTM D4057: método normado para tomar muestras de derivados de petróleo.

TABLA N° 3.1 DENSIDAD DE LOS COMPONENTES DE LAS MEZCLAS DE REFERENCIA, DIESEL N° 2 Y BIODIESEL B100.

N° Determinaciones	Densidad @ 60°F (g/cc)		Densidad @ 60°F (g/cc)		Desviación Equipo SVM 3000
	Diesel N° 2 Liviano	Diesel N° 2 Pesado	Biodiesel Pesado	Biodiesel Liviano	
1	0.8389	0.8565	0.8850	0.8751	+/- 0.0001
2	0.8388	0.8564	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
3	0.8390	0.8566	0.8851	0.8750	+/- 0.0001
4	0.8389	0.8565	0.8850	0.8750	+/- 0.0001
5	0.8389	0.8565	0.8852	0.8752	+/- 0.0001
6	0.8390	0.8566	0.8850	0.8751	+/- 0.0001
7	0.8389	0.8565	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
8	0.8389	0.8564	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
9	0.8390	0.8565	0.8852	0.8751	+/- 0.0001
10	0.8390	0.8565	0.8851	0.8750	+/- 0.0001
11	0.8389	0.8566	0.8851	0.8750	+/- 0.0001
12	0.8389	0.8565	0.8851	0.8752	+/- 0.0001
13	0.8389	0.8565	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
14	0.8389	0.8565	0.8852	0.8751	+/- 0.0001
15	0.8390	0.8565	0.8852	0.8750	+/- 0.0001
16	0.8389	0.8565	0.8852	0.8750	+/- 0.0001
17	0.8388	0.8564	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
18	0.8389	0.8565	0.8851	0.8752	+/- 0.0001
19	0.8390	0.8564	0.8852	0.8751	+/- 0.0001
20	0.8390	0.8565	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
21	0.8388	0.8565	0.8850	0.8751	+/- 0.0001
22	0.8390	0.8564	0.8851	0.8750	+/- 0.0001
23	0.8389	0.8565	0.8851	0.8750	+/- 0.0001
24	0.8389	0.8565	0.8852	0.8752	+/- 0.0001
25	0.8390	0.8566	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
26	0.8389	0.8565	0.8851	0.8751	+/- 0.0001
27	0.8389	0.8565	0.8851	0.8750	+/- 0.0001
28	0.8390	0.8565	0.8852	0.8750	+/- 0.0001
29	0.8390	0.8565	0.8852	0.8752	+/- 0.0001
30	0.8389	0.8564	0.8852	0.8751	+/- 0.0001
Promedio	0.8389	0.8565	0.8851	0.8751	
(*) API @ 60°F	37	33.3	28.4	30.2	

Fuente: elaboración propia, empleando el Densímetro Digital SVM3000 Anton Paar basado en el método ASTM D4052.

(\*) obtenido por cálculo, según la norma ASTM D1298

### 3.2.2 Muestras Diesel BX de referencia

En la Tabla N° 3.2 se detalla las muestras de referencia y la distribución de su contenido de Biodiesel B100 en porcentaje volumétrico, con los cuales se establece su respectivo intervalo de medición.

Cada escenario experimental de mezcla Diesel BX se rige con la misma distribución de composición de sus componentes, donde se considera que el contenido volumétrico de Diesel N° 2 se obtiene por la diferencia con el cien por ciento del volumen de la muestra.

Tabla N° 3.2 INTERVALO DE MEDICION DE LAS MUESTRAS DE REFERENCIA DIESEL BX

Intervalo de medición	Biodiesel B100						
	Porcentaje volumétrico X (%Vol)						
Sub-Intervalo bajo	0	2	4	5	6	8	10
Sub-intervalo medio	10	11	13	15	20	25	30
Sub-intervalo Alto	30	35	45	65	85	95	100

Fuente: elaboración propia

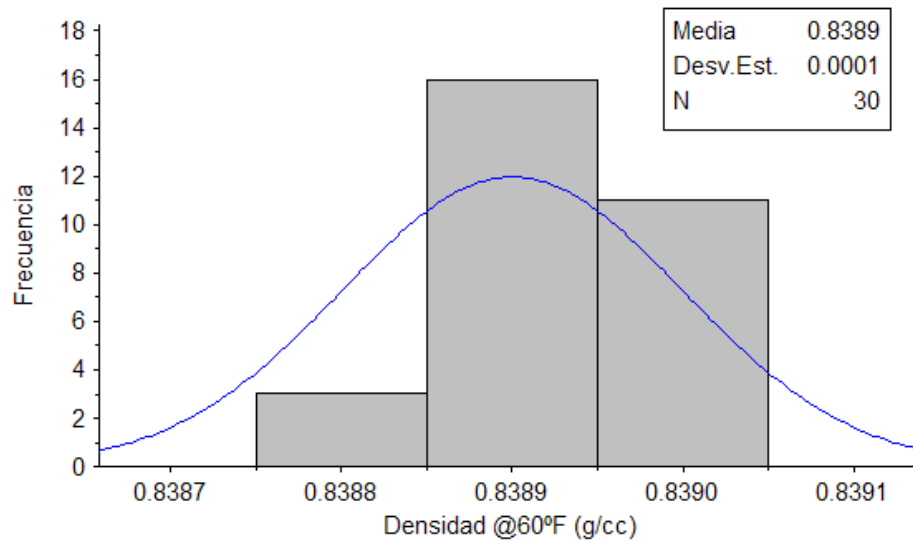
### 3.2.3 Determinación experimental de la densidad de los componentes de la mezcla Diesel BX de referencia

La densidad experimental se determinó mediante el Densímetro digital de precisión (DDP) Anton Paar y el método<sup>2</sup> de ensayo ASTM D4052, con el cual se realizan 30 determinaciones a 60°F, para cada componente Diesel N° 2 y Biodiesel B100, luego se calcula la densidad promedio de los productos puros. El resultado promedio de las densidades a 60°F se detalla en la Tabla N° 3-1.

En las Figura 3-1 y la Figura 3-2, se muestran los histogramas de las determinaciones de las densidades de las muestras 1 correspondiente al Diesel N° 2 y la muestra 2 correspondiente al Biodiesel 100, según el Esquema N° 3-2 de mezclas Diesel BX en tanque.

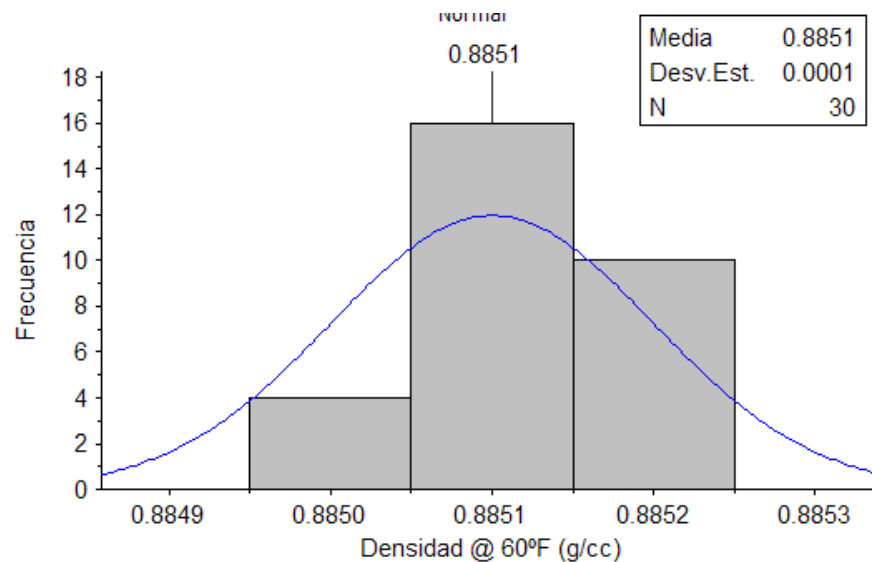
<sup>2</sup> ASTM D4052: método de ensayo normado para determinar la densidad, con repetibilidad 0.0001 g/cm<sup>3</sup>.

FIGURA N° 3-1 DENSIDAD DEL DIESEL N°2- DENSIMETRO ANTON PAAR



Fuente: elaboración propia, mediante MINITAB 16

FIGURA N° 3-2 DENSIDAD DEL BIODIESEL B100- DENSIMETRO ANTON PAAR



Donde:

Media: promedio aritmético de las determinaciones en laboratorio.

Desv. Est.: Desviación estándar

N: número de determinaciones realizadas en laboratorio mediante DDP.

Fuente: elaboración propia, mediante MINITAB 16

### 3.2.4 Determinación experimental de la masa de los componentes de la mezcla DBX

Para determinar la masa de los componentes de cada muestra de referencia, partimos de la ecuación de la densidad para líquidos (Eq.-1) y se considera los volúmenes predefinidos a 60°F mencionados en la Tabla N° 3.2. Por lo tanto, se tiene como datos lo siguiente:

Valor de densidad determinado en la Tabla N° 3.1:

$d_{B100}$  : Densidad del componente Biodiesel B100 a 60 °F  
 $d_{D2}$  : Densidad del componente Diesel N° 2 a 60 °F

Valor de volumen considerado de la Tabla N° 3.2:

$V_{D2}$  : Volumen de Diesel N° 2 en la mezcla DBX.  
 $V_{B100}$  : Volumen de Biodiesel B100 en la mezcla DBX.

Ecuación para calcular la masa de Biodiesel B100y Diesel N° 2 de las muestras de referencia:

$$\boxed{m = d \cdot V} \quad (\text{Eq-1})$$

Donde:

$m$  : masa (g)  
 $V$  : Volumen (cm<sup>3</sup>)  
 $d$  : Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Reemplazando los datos en la Ecuación Eq- 1, para cada mezcla binaria<sup>3</sup> se obtiene como resultado la masa de cada componente:

Masa del componente Diesel N° 2 en la mezcla DBX.

$$d_{D2} \cdot V_{D2} = m_{D2}$$

Masa del componente Biodiesel B100 en la mezcla DBX.

$$d_{B100} \cdot V_{B100} = m_{B100}$$

<sup>3</sup> DBX (X, Y): mezcla Diesel BX donde X: % Vol. de Biodiesel, Y: % Vol de Diesel N°2.



Luego de calcular el valor de la masa de cada componente del par binario, experimentalmente se obtiene el peso de dichos componentes empleando una balanza analítica de precisión. Finalmente ambos componentes son colectados y mezclados en un recipiente de muestra.

En forma análoga se prepara y determina los pesos de las muestras Diesel BX de referencia para cada Escenario Experimental.

En la Tabla N° 3.3 se detalla el cálculo de la masa para cada par binario de los tres Escenarios Experimentales Diesel BX.

TABLA N° 3.3

a) MASA DE LOS COMPONENTES DEL ESCENARIO I

	Diesel N° 2			Biodiesel B100		
	Volumen	masa	% Volumen	Volumen	masa	% Volumen
	$V_{D2}$ ml	$m_{D2}$ gr	Y %Vol.	$V_{B100}$ ml	$m_{B100}$ gr	X %Vol.
Sub-int. bajo	500	419.450	100	0	0	0
	490	411.061	98	10	8.851	2
	480	402.672	96	20	17.702	4
	475	398.478	95	25	22.128	5
	470	394.283	94	30	26.553	6
	460	385.894	92	40	35.404	8
	450	377.505	90	50	44.255	10
Sub-int medio	445	373.311	89	55	48.681	11
	435	364.922	87	65	57.532	13
	425	356.533	85	75	66.383	15
	400	335.560	80	100	88.510	20
	375	314.588	75	125	110.638	25
	350	293.615	70	150	132.765	30
Sub-int. alto	325	272.643	65	175	154.893	35
	275	230.698	55	225	199.148	45
	175	146.808	35	325	287.658	65
	75	62.918	15	425	376.168	85
	25	20.973	5	475	420.423	95
	0	0.000	0	500	442.550	100

Fuente: elaboración propia, se obtiene mediante cálculo, luego por medio de la balanza de precisión.

TABLA N° 3.3

## b) MASA DE LOS COMPONENTES DEL ESCENARIO II

	Diesel N° 2			Biodiesel B100		
	Volumen	masa	% Volumen	Volumen	masa	% Volumen
	V <sub>D2</sub> ml	m <sub>D2</sub> gr	Y % Vol.	V <sub>B100</sub> ml	m <sub>B100</sub> gr	X %Vol.
Sub-int bajo	500	419.450	100	0	0.000	0
	490	411.061	98	10	8.750	2
	480	402.672	96	20	17.500	4
	475	398.478	95	25	21.875	5
	470	394.283	94	30	26.250	6
	460	385.894	92	40	35.000	8
	450	377.505	90	50	43.750	10
Sub-int medio	445	373.311	89	55	48.125	11
	435	364.922	87	65	56.875	13
	425	356.533	85	75	65.625	15
	400	335.560	80	100	87.500	20
	375	314.588	75	125	109.375	25
	350	293.615	70	150	131.250	30
Sub-int alto	325	272.643	65	175	153.125	35
	275	230.698	55	225	196.875	45
	175	146.808	35	325	284.375	65
	75	62.918	15	425	371.875	85
	25	20.973	5	475	415.625	95
	0	0.000	0	500	437.500	100

## c) MASA DE LOS COMPONENTES DEL ESCENARIO III

Sub-int bajo	500	428.250	100	0	0.000	0
	490	419.685	98	10	8.851	2
	480	411.120	96	20	17.702	4
	475	406.838	95	25	22.128	5
	470	402.555	94	30	26.553	6
	460	393.990	92	40	35.404	8
	450	385.425	90	50	44.255	10
Sub-int medio	445	381.143	89	55	48.681	11
	435	372.578	87	65	57.532	13
	425	364.013	85	75	66.383	15
	400	342.600	80	100	88.510	20
	375	321.188	75	125	110.638	25
	350	299.775	70	150	132.765	30
Sub-int alto	325	278.363	65	175	154.893	35
	275	235.538	55	225	199.148	45
	175	149.888	35	325	287.658	65
	75	64.238	15	425	376.168	85
	25	21.413	5	475	420.423	95
	0	0.000	0	500	442.550	100

Fuente: elaboración propia, se obtiene mediante calculo, luego por medio de la balanza de precisión

### 3.3 Determinación de la densidad de las muestras Diesel BX de referencia

La densidad teórica o calculada, se determinó mediante cálculos empleando los valores de porcentaje volumétricos y los valores de la densidad de cada componente.

La densidad experimental de las muestras Diesel BX de referencia, se obtuvo empleando el densímetro digital de precisión Anton Paar. La temperatura considerada para la determinación de la densidad en ambos casos es 60 °F.

#### 3.3.1 Calculo de la densidad teórica de las muestras Diesel BX de referencia

La densidad teórica se puede obtener mediante el balance de materia de los componentes de la mezcla binaria y la ecuación general de la densidad para líquidos, Ecuación Eq.-1. Por tanto, la densidad se puede calcular a partir de los datos de masa de los componentes, mediante lo siguiente:

##### 3.3.1.1 Calculo de la densidad teórica en función del porcentaje volumétrico

Del balance de materia en mezclas binarias, se observa que la masa del Diesel BX es igual a la suma de las masas de sus componentes:

$$m_{DBX} = m_{D2} + m_{B100}$$

Donde

$m_{DBX}$  : masa de Diesel BX  
 $m_{D2}$  : masa de Diesel N° 2  
 $m_{B100}$  : masa de Biodiesel B100

Aplicando la Ecuación Eq-1 de la densidad para líquidos, se tiene:

$$d_{DBX} V_{DBX} = d_{D2} V_{D2} + d_{B100} V_{B100}$$

$d_{DBX} = \frac{d_{D2} * Y}{100} + \frac{d_{B100} * X}{100}$	(Eq- 2)
---	---------

Donde

$d_{DBX}$  : Densidad de Diesel BX a 60°F  
 $d_{B100}$  : Densidad del componente Biodiesel B100 a 60°F  
 $d_{D2}$  : Densidad del componente Diesel N° 2 a 60°F

$$Y : \frac{100 \cdot V_{D2}}{V_{DBX}} : \text{Porcentaje volumétrico de Diesel N}^\circ 2 \text{ en Diesel BX}$$

$$X : \frac{100 \cdot V_{B100}}{V_{DBX}} : \text{Porcentaje volumétrico de Biodiesel B100 en Diesel BX}$$

### 3.3.1.2 Densidad teórica y el factor de pureza del Biodiesel B100.

Basado en las especificaciones técnicas de calidad UNE EN 14214, la pureza del Biodiesel B100 respecto a la masa, debe ser mayor o igual a 96.5% en porcentaje de masa (m/m), el cual es determinado por el método de ensayo UNE EN 14103, tal como se menciona en la sección 2.3.3.1 (Capítulo II, Pág. 58). Por tanto, dado que la densidad guarda relación con la masa, en los cálculos de la densidad de la mezcla Diesel BX, se incorpora la expresión afectada por el factor pureza (P) de su componente Biodiesel B100.

Por lo expuesto, se parte de lo siguiente:

$$m_{B100-p} = P \cdot m_{B100}$$

(Eq-3)

Dónde,

P : pureza de la masa de Biodiesel en porcentaje de masa (m/m)

$m_{B100-p}$  : masa de Biodiesel afectado por el factor de pureza

Según la norma UNE EN 14103, el Valor de P: 100, corresponde a un Biodiesel B100 con 100% de FAME. El valor de P: 96.5, corresponde al mínimo permisible de FAME que puede contener el Biodiesel B100.

### Calculo del porcentaje volumétrico del Biodiesel puro ( $X_p$ )

Se sabe que el porcentaje de volumen del Biodiesel puro ( $X_p$ : %Vol.  $B_{100p}$ ) en la mezcla Diesel BX se da por la siguiente expresión:

$$X_p = \frac{100 \cdot V_{B100-p}}{V_{DBX-p}}$$

Dónde:

$V_{B100-p}$  : Volumen de Biodiesel B100 sin considerar las impurezas

$V_{DBX-p}$  : Volumen de Diesel BX sin considerar impurezas provenientes del Biodiesel B100

Para determinar el volumen ( $V_{DBX-p}$ ) de Diesel BX el cual no considera las impurezas provenientes del Biodiesel B100, en la presente tesis se plantea la siguiente consideración:

❖ **Quinta consideración:**

*Teniendo en cuenta que el Diesel N° 2 es la sustancia matriz de la mezcla binaria, se considera que inicialmente no contiene componentes análogos a los esteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga (FAME), los cuales pueden interferir en la cuantificación del Biodiesel en el Diesel BX.*

Por lo tanto, se plantea el siguiente balance donde se considera, que el volumen de la mezcla total, es igual a la suma de los volúmenes parciales de cada componente de las mezclas Diesel BX:

$$V_{DBX} = V_{D2} + V_{B100-p} + V_{I-B100}$$

$$V_{DBX} - V_{I-B100} = V_{D2} + V_{B100-p}$$

$$V_{DBX-p} = V_{D2} + V_{B100-p}$$

Dónde:

$V_{DBX-p}$  : Volumen del Diesel BX sin considerar el volumen de las impurezas provenientes del Biodiesel B100

$V_{D2}$  : Volumen del Diesel N° 2 en la mezcla Diesel BX

$V_{I-B100}$  : Volumen de las impurezas contenidas en el Biodiesel B100

$V_{DBX}$  : Volumen del Diesel BX

Para determinar el volumen de Biodiesel B100 sin considerar sus impurezas ( $V_{B100-p}$ ) se recurre a la ecuación general de la densidad para líquidos, ecuación Eq-1, con lo cual se tiene:

$$V_{B100-p} = \frac{m_{B100-p}}{d_{B100-p}}$$

Teniendo en cuenta lo mencionado en la sección 1.5.3.1, (capítulo I, Pág. 5), relacionado a la pureza del Biodiesel B100, en el presente estudio se considerará como impureza a los componentes que permanecen en mezcla homogénea con el Biodiesel, los cuales sólo son detectados por los filtros de los motores, tales como los esterol-glucósidos y no a las impurezas que precipitan, tales como la glicerina libre. Por lo tanto, se plantea la siguiente consideración en la presente tesis:

❖ **Sexta consideración:**

*Para el cálculo de la densidad teórica, se considera que la densidad de las impurezas del biodiesel es similar a la densidad del Biodiesel B100. Consecuentemente, la densidad del Biodiesel B100 es similar a la densidad del biodiesel puro.*

Por tanto, se tiene:

$$d_{I-B100} = d_{B100} = d_{B100-p}$$

Con lo cual, para el volumen de Biodiesel B100, sin considerar sus impurezas, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V_{B100-p} = \frac{m_{B100-p}}{d_{B100}}$$

Reemplazando los valores calculados del volumen de Biodiesel B100 ( $V_{B100-p}$ ) y el Volumen de Diesel BX ( $V_{DBX-p}$ ) en la expresión que define el porcentaje de volumen del Biodiesel puro ( $X_p$ ) se tiene:

$$X_p = \frac{100 * P * m_{B100}}{(P * m_{B100} + V_{D2} * d_{B100})} \quad (\text{Eq- 4})$$

Dónde:

$X_p$ : Porcentaje en volumen del Biodiesel B100 considerando su pureza

Por lo tanto, reemplazando el porcentaje de volumen del Biodiesel puro ( $X_p$ ) en la ecuación Eq-2, se tiene la densidad teórica afectada por el factor de pureza del Biodiesel B100, expresada de la siguiente manera:

$$d_{DBX} = \frac{d_{D2} * Y}{100} + \frac{d_{B100} * X_p}{100}$$

$d_{DBX} = \frac{d_{D2} * Y}{100} + \frac{d_{B100} * P * m_{B100}}{(P * m_{B100} + V_{D2} * d_{B100})}$	(Eq-5)
---	--------

Dónde:

- $d_{DBX}$  : Densidad teórica de Diesel BX afectado por su pureza
- $d_{B100}$  : Densidad del componente Biodiesel B100 a 60 °F
- $d_{D2}$  : Densidad del componente Diesel 2 a 60 °F
- $Y$  : Porcentaje volumétrico de Diesel 2 en la mezcla Diesel BX
- $V_{D2}$  : Volumen del Diesel N° 2 de la mezcla Diesel BX
- $P$  : pureza de la masa de Biodiesel
- $m_{B100}$  : masa de Biodiesel

En el presente estudio, con el objetivo de evaluar la máxima variación de la densidad teórica de la mezclas Diesel BX, afectada por la pureza del Biodiesel B100, se plantea la siguiente consideración:

❖ **Séptima consideración:**

*Dado que las ecuaciones desarrolladas no presentan restricción respecto al valor de la pureza del biodiesel, se requiere incorporar un valor límite permisible, el cual ayudará a limitar la divergencia que existe entre el comportamiento real (experimental) y el comportamiento teórico del contenido de FAME en función de la densidad Diesel BX. Por lo tanto, en la aplicación de las ecuaciones, se debe de considerar como referencia, el valor mínimo permisible de pureza del Biodiesel B100 establecido por la norma<sup>4</sup> EN 14214. La cual plantea lo siguiente:  $P \geq 96.5 \%$  (m/m).*

<sup>4</sup> EN 14214: Especificaciones técnicas de calidad del Biodiesel Automotor de la comunidad europea. EN 14103: Método europeo de ensayo normado para cuantificar ésteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga en Biodiesel B100 (FAME) por cromatografía de gases.

### 3.3.2 Determinación de la densidad de las muestras de referencia por método experimental

Mediante el densímetro digital Anton Paar (DDP) y el método de ensayo ASTM D4052, se determina la densidad experimental ( $d_{DBX-e}$ ) de las muestras de referencia Diesel BX, las cuales conforman los escenarios de mezclas. Los resultados se observan en la Tabla N° 3.4.

TABLA N° 3.4.- DENSIDAD EXPERIMENTAL DE LAS MEZCLAS DIESEL BX DE REFERENCIA

Rango	FAME	Escenario I	Escenario II	Escenario III
	en DBX	Densidad	Densidad	Densidad
	X (% Vol.)	$d_{DBX-e}$ g/cm <sup>3</sup>	$d_{DBX-e}$ g/cm <sup>3</sup>	$d_{DBX-e}$ g/cm <sup>3</sup>
Sub-int bajo	0	0,8389	0.8389	0.8565
	2	0,8399	0.8397	0.8572
	4	0,8409	0.8405	0.8577
	5	0,8414	0.8409	0.8581
	6	0,8419	0.8413	0.8584
	8	0,8429	0.8421	0.859
	10	0,8438	0.8428	0.8597
Sub-int. medio	11	0,8443	0.8432	0.8599
	13	0,8452	0.8439	0.8605
	15	0,8463	0.8446	0.8611
	20	0,8486	0.8465	0.8626
	25	0,8511	0.8483	0.864
	30	0,8533	0.8503	0.8655
Sub-int alto	35	0,8556	0.8520	0.8669
	45	0,8602	0.8556	0.8698
	65	0,8694	0.8628	0.8754
	85	0,8785	0.8699	0.8811
	95	0,8829	0.8734	0.8838
	100	0,8851	0.8751	0.8851

Sub- int.: sub- intervalo

$d_{DBX-e}$ : densidad experimental

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos empleando el Densímetro Digital SVM3000 Anton Paar, basado en el método ASTM D4052



### 3.3.3 Escenario experimental de mezclas Diesel BX de referencia

En la Tabla N° 3.5 se detalla los tres escenarios de mezclas Diesel BX elaborados en laboratorio.

TABLA N° 3.5 ESCENARIOS DE MEZCLAS DIESEL BX

Escenario	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
Tipo de Mezcla	DBX $(X, Y)$		DBX $(X, Y)$		DBX $(X, Y)$	
Componente	X Biodiesel	Y Diesel	X Biodiesel	Y Diesel	X Biodiesel	Y Diesel
Tipo de combustible	Pesado	Liviano	Liviano	Liviano	Pesado	Pesado
Densidad @ 60 °F	0.8851	0.8389	0.8751	0.8389	0.8851	0.8565
Intervalo Medición	Porcentaje de volumen de Biodiesel en Diesel BX					
FAME (% vol.)	$0\% \leq X \leq 100\%$		$0\% \leq X \leq 100\%$		$0\% \leq X \leq 100\%$	
Sub Intervalo Bajo	$0\% \leq X \leq 10\%$		$0\% \leq X \leq 10\%$		$0\% \leq X \leq 10\%$	
Sub intervalo Medio	$10\% \leq X \leq 30\%$		$10\% \leq X \leq 30\%$		$10\% \leq X \leq 30\%$	
Sub Intervalo Alto	$30\% \leq X \leq 100\%$		$30\% \leq X \leq 100\%$		$30\% \leq X \leq 100\%$	
<b>Modelo</b>	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	

Fuente: elaboración propia

#### Sub-intervalo de medición

Considerando el criterio empleado por el método ASTM D7371 para calibrar el espectrómetro, mediante intervalos de composición de Biodiesel, tal como se describe en la sección 2.2.1.2 (Capítulo II, Pág. 49), cada intervalo de medición de los escenarios de mezclas, se subdividió en sub-intervalos, con los cuales se puede evaluar hasta el 100% de composición de Biodiesel en las mezclas Diesel BX.

Los sub-intervalos se clasifican en tres categorías según el contenido volumétrico de Biodiesel ( $X$ ). Tales como:

- Sub-intervalo bajo, el cual se extiende desde 0% hasta 10%
- Sub-intervalo medio, el cual se extiende desde 10% hasta 30%
- Sub-intervalo alto, el cual se extiende desde 30% hasta 100%

### 3.4 Determinación del modelo experimental y su precisión

Mediante regresión lineal se determinan la función “ $f$ ”, la cual representa un escenario experimental de mezcla Diesel N° 2 y Biodiesel B100, con el cual se puede cuantificar el porcentaje volumétrico de Biodiesel “ $X$ ” en función de la densidad de la mezcla de Diesel BX.

$$FAME: X = f (d_{DBX})$$

#### 3.4.1 Regresión lineal en los sub-intervalos de medición

De la ecuación general de la recta, como se muestra en la Figura N°4-3

$$f: y = (\text{Tang } \alpha) x + a \quad (\text{Eq-6})$$

Donde

Eje  $y$ : Representa al Biodiesel B100 ( $X$ ), expresado en porcentaje volumétrico, el cual comprende valores desde 0% hasta 100% ( $0\% \leq X \leq 100\%$ )

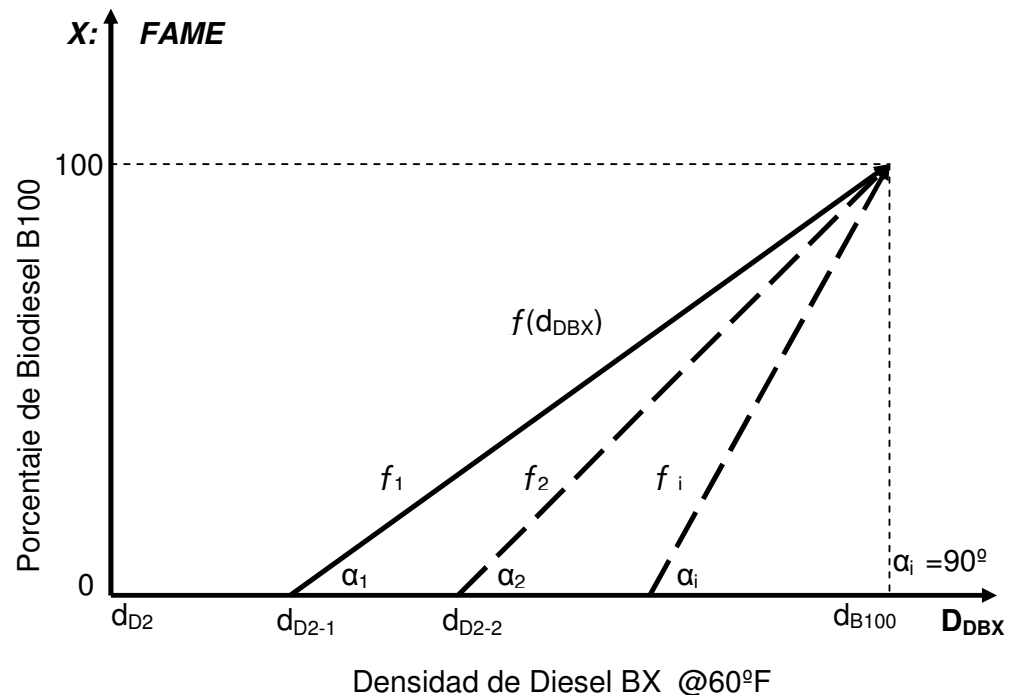
Eje  $x$ : Representa la densidad de la mezcla Diesel BX, el cual comprende valores desde la densidad del Diesel N° 2 hasta la densidad del Biodiesel B100 ( $d_{D2} < d_{DBX} < d_{DB100}$ ).

Tang  $\alpha$ : Tangente del ángulo  $\alpha$ , ( $\alpha_1 \leq \alpha_i < 90^\circ$ ) expresa la pendiente de la función  $f_i$  respecto al eje  $x$ .

La tangente del ángulo  $\alpha$  se forma por la diferencia de las densidades de los componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100, el ángulo  $\alpha$  se extiende hasta un valor de  $90^\circ$  el cual corresponde al escenario de mezcla Diesel BX donde las densidades del Diesel N° 2 es igual a la densidad del Biodiesel B100. Cada escenario de mezcla Diesel BX presenta su propio ángulo  $\alpha$ , el cual permanece constante para todos sus pares binarios que lo conforman. Por tanto, de la Figura N° 4-3, se tiene la pendiente de la función:

$$\text{Tang } \alpha = \frac{100}{d_{B100} - d_{D2}}$$

FIGURA N° 3-3 DENSIDAD DE DIESEL BX VS PORCENTAJE VOLUMETRICO DE BIODIESEL B100



Fuente: elaboración propia

Densidad del Diesel BX @60°F: (gr/cm<sup>3</sup>)

Cálculo del intercepto "a",

En la Ecuación Eq-6 se cumple, cuando  $y=0$ , se tiene  $x= d_{D2}$

Reemplazando estos valores se tiene:

$$0 = \frac{100}{(d_{B100} - d_{D2})} * d_{D2} - a$$

$$a = \frac{-100*d_{D2}}{(d_{B100} - d_{D2})}$$

Reemplazando los resultados de "a" y la "tang  $\alpha$ " en la ecuación Eq-6, se tiene lo siguiente:

$f : FAME = \frac{100*d_{DBX}}{(d_{B100} - d_{D2})} - \frac{100*d_{D2}}{(d_{B100} - d_{D2})}$	(Eq-7)
---	--------

La ecuación Eq-7, satisface el contenido de FAME en las mezclas Diesel BX en función de la densidad. Pero, dado que el biodiesel contiene impurezas que afecta la linealidad de la función, para aproximarnos al comportamiento real (experimental) y corregir la divergencia, se plantea la regresión lineal por intervalos, con lo cual se obtiene las siguientes derivaciones de la ecuación Eq-7:

#### a) Sub-intervalo bajo

Para contenidos de FAME (X) en Diesel BX desde 0%Vol. hasta 10% Vol. se requiere los siguientes datos:

Densidad D2 :  $d_{D2}$   
 Densidad B10 :  $d_{B10}$

$$X = \frac{10}{(d_{B10} - d_{D2})} d_{DBX} - \frac{10*d_{D2}}{(d_{B10} - d_{D2})}$$

#### b) Sub-intervalo medio

Para contenidos de FAME (X) en Diesel BX, desde 10% Vol. hasta 30% Vol. se requiere los siguientes datos:

Densidad B10 :  $d_{B10}$   
 Densidad B30 :  $d_{B30}$

$$X = \frac{20}{(d_{B30} - d_{B10})} d_{DBX} - \frac{20*d_{B10}}{(d_{B30} - d_{B10})} + 10$$

#### c) Sub-intervalo alto

Para mezclas Diesel BX con contenidos de FAME (X), desde 30% hasta el 100% Vol. se requiere los siguientes datos:

Densidad B30 :  $d_{B30}$   
 Densidad Biodiesel puro:  $d_{B100-p}$

para calcular la densidad del Biodiesel puro ( $d_{B100-p}$ ) se emplea el criterio de extrapolación, empleando la pureza (P) del Biodiesel se tiene:

$$\frac{100 - 30}{P - 30} = \frac{d_{B100-p} - d_{B30}}{0.8851 - d_{B30}}$$

Reemplazando el valor de  $d_{B100-p}$  en la Ecuación Eq-7, se tiene:

$$X = \frac{70}{(d_{B100-p} - d_{B30})} d_{DBX} - \frac{70*d_{B30}}{(d_{B100-p} - d_{B30})} + 30$$

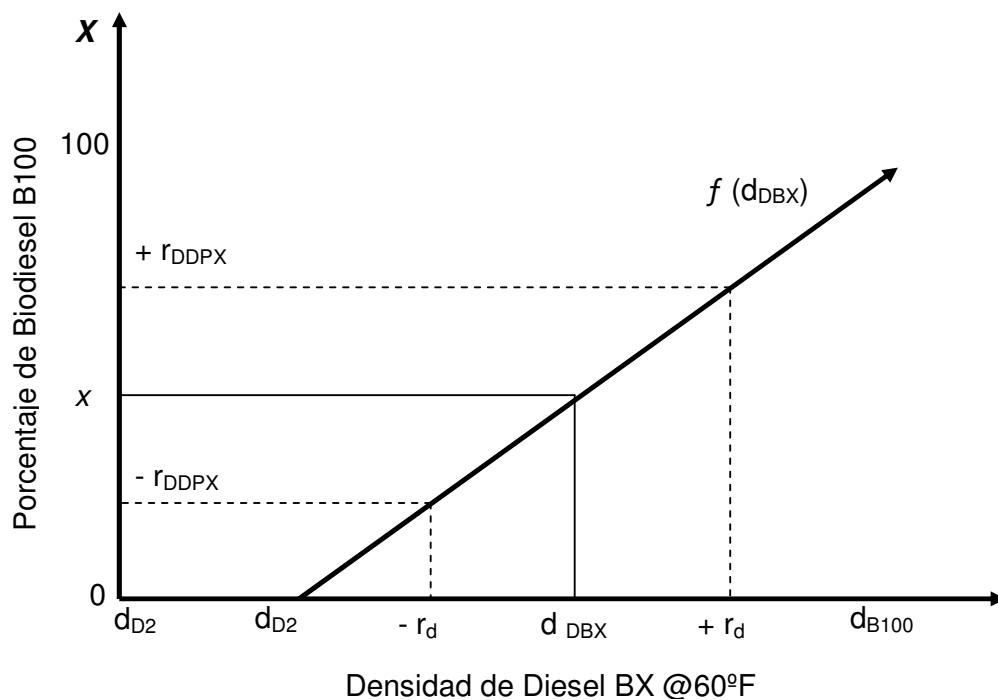
### 3.4.2 Precisión del método DDPX

Dado que el método alternativo DDPX, cuantifica el contenido de FAME en forma indirecta a través de la medición de la densidad, para determinar su precisión se está considerando la relación que existe entre la precisión del método ASTM D4052, el cual se emplea para cuantificar la densidad y la precisión de los métodos EN 14078 y ASTM D7371 que se emplean para cuantificar FAME. Por tanto, se plantea la siguiente consideración:

#### ❖ Octava consideración:

*Para cada sub intervalo de medición de FAME en las mezclas Diesel BX de referencia, se considera que la relación de la densidad y el porcentaje de FAME, obedecen a funciones lineales. Tal como se observa en la Figura 3-4.*

FIGURA N° 3-4 REPETITIVIDAD DE LA DENSIDAD DIESEL BX VERSUS LA REPETITIVIDAD DEL PORCENTAJE VOLUMETRICO DEL B100



Fuente: elaboración propia  
Densidad del Diesel BX @60°F: ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Donde:

$r_{DDPX}$ : Repetitividad del porcentaje volumétrico de Biodiesel B100 (X: FAME) obtenido por el método DDPX.

$r_d$ : Repetitividad de la densidad del Diesel BX

También, se debe de tener en cuenta, que la precisión del resultado de FAME que se obtienen por los métodos de ensayo estándares UNE EN 14078 y ASTM D7371, no permanecen constantes<sup>5</sup> a lo largo del intervalo de medición, donde se observa que el rango de la precisión del resultado de FAME, se incrementa en función del incremento del contenido de Biodiesel en las mezclas Diesel BX. Por lo tanto, para obtener resultados de mayor precisión, los resultados del método alternativo DDPX son comparados frente al menor valor de la precisión de los métodos de ensayos estándares, el cual es representado por la desviación de la repetitividad.

### 3.4.2.1 Repetitividad del método alternativo DDPX

Partiendo de la repetitividad ( $r_d$ ) que cumple el método ASTM D4052 empleado para determinar la densidad, se determina la repetitividad ( $r_{DDPX}$ ) del porcentaje de FAME obtenido por el método DDPX, el cual es comparado con la repetitividad ( $r_x$ ) que exigen los métodos estándares de cuantificación de FAME (método EN 14078 y ASTM D7371).

Aplicando la relación de repetitividad de la densidad ( $r_d$ ) y la repetitividad del porcentaje de FAME ( $r_{DDPX}$ ), la cual se aprecia en la Figura N° 3-4 y reemplazando en la Ecuación Eq-7 se tiene:

$$X \pm r_{DDPX} = (\text{Tang } \alpha)(d_{DBX} \pm r_d) + a \quad (\text{Eq-8})$$

Donde:

$$\text{Tang } \alpha = \frac{100}{(d_{B100} - d_{D2})}$$

$$a = \frac{-100 \cdot d_{D2}}{(d_{B100} - d_{D2})}$$

<sup>5</sup> Mencionado en el presente estudio en las Tablas N° 2.12 y N° 2.13 de la sección 2.2.1 Técnicas empleadas para determinar el porcentaje de Biodiesel (FAME) en mezclas Diesel BX

Mediante la Ecuación Eq-8 se representa la relación entre la repetitividad de la densidad y la repetitividad el contenido de FAME de un Diesel BX, la cual obedece a una función lineal.

### 3.4.2.2 Determinación del intervalo de trabajo o alcance de aplicación del método DDPX

Reemplazando los valores de las constantes en la Ecuación Eq-8 y analizando para el caso “+ r<sub>d</sub>” se tiene lo siguiente:

$$X + r_{DDPX} = \frac{100*(d_{DBX} + r_d)}{(d_{B100} - d_{D2})} - \frac{100*d_{D2}}{(d_{B100} - d_{D2})}$$

Resolviendo, se tiene:

$r_{DDPX} = \frac{100*r_d}{(d_{B100} - d_{D2})}$	(Eq-9)
--	--------

Donde:

r<sub>DDPX</sub>: Repetitividad del porcentaje volumétrico de Biodiesel B100(FAME)

r<sub>d</sub>: Repetitividad de la densidad del Diesel BX

Para que la precisión del método experimental DDPX, cumpla con lo establecido por los métodos estándares de referencia UNE EN 14078 y ASTM D7371, se debe de cumplir que la repetitividad (r<sub>DDPX</sub>) del método DDPX debe ser menor o igual a la repetitividad (r<sub>x</sub>) establecida por los métodos estándares de referencia.

Por lo tanto, reemplazando la repetitividad en la Ecuación Eq-9 se tiene lo siguiente:

$$\frac{100*r_d}{(d_{B100} - d_{D2})} = r_{DDPX} \leq (r_x)$$

$(d_{B100} - d_{D2}) > \frac{100*(r_d)}{(r_x)}$	(Eq-10)
---	---------

En la aplicación del método alternativo DDPX, la determinación de la densidad se obtiene empleando un densímetro digital de precisión, el cual debe de cumplir la repetitividad considerada por del método ASTM D4052. El método ASTM D4052 especifica la siguiente repetitividad:

$$r_d = 0.0001 \text{ g/cm}^3$$

Reemplazando la repetitividad  $r_d$  en la Ecuación Eq-10, se tiene

$$(d_{B100} - d_{D2}) > \frac{0.01}{(r_x)} \quad (\text{Eq-11})$$

Donde:

$r_x$  viene a ser el valor de la repetitividad del método estándar de referencia, en unidades de porcentaje volumétrico (% Vol.)

$(d_{B100} - d_{D2})$  es la diferencia de densidades de los componentes de la mezcla Diesel BX, la cual debe estar expresada en unidades de gramo por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ).

En la Ecuación Eq-11 se observa, que la precisión ( $r_x$ ) se encuentra relacionado con la diferencia de las densidades de los componentes de la mezcla Diesel BX. Por lo tanto, el método alternativo DDPX, podrá ser aplicado para todas las mezclas binarias (mezclas Diesel BX), donde se cumpla, que la diferencia de las densidades de sus componentes sea mayor al cociente  $0.01/(r_x)$ .

### 3.4.2.3 Aplicación del método alternativo DDPX en mezclas Diesel B5

Para un Diesel B5, según la Tabla N° 2.12 y N° 2.13, la cual se menciona en el capítulo II (Pág. 51 y Pág. 52) del presente estudio, los métodos estándares de referencia plantean la siguiente precisión:

TABLA N° 3.6 PRECISION DEL DIESEL B5

repetitividad	reproducibilidad	Método normado
$r_x \leq \pm 0.10 \text{ \% Vol.}$	$R_x \leq \pm 0.4 \text{ \% Vol.}$	EN 14078-10
$r_x \leq \pm 0.30 \text{ \% Vol.}$	$R_x \leq \pm 0.95 \text{ \% Vol.}$	ASTM D7371-12

Fuente: elaboración propia, a partir de la precisión de los métodos EN y ASTM



De la Tabla N° 3.6 se observa que los valores de la precisión del resultado de FAME para un Diesel B5 difieren para los dos métodos de ensayo estándares, por lo tanto, la aplicación del método DDPX se analizará en forma separada para ambos casos:

**a) Caso del Diesel B5, con método de referencia ASTM D7371-12**

Según el método D7371 con versión del año 2007, para mezclas Diesel B5 se tiene la siguiente repetitividad:

$$r_x = 0.3$$

Reemplazando en la Ecuación Eq-11, se tiene:

$$(d_{B100} - d_{D2}) > \frac{0.01}{0.3}$$

$(d_{B100} - d_{D2}) > 0.0333 \text{ g/cm}^3$
---

Donde se observa, que el método alternativo DDPX es aplicable para toda mezcla Diesel B5, siempre y cuando la diferencia de las densidades (expresado en  $\text{g/cm}^3$ ) de sus componentes sea mayor a un valor de  $0.0333 \text{ g/cm}^3$ .

**b) Caso del Diesel B5, con método de referencia EN 14078-10**

Según el método EN 14078 con versión del año 2010, para mezclas Diesel B5 se tiene la siguiente repetitividad

$$r_x = 0.1$$

Reemplazando en la Ecuación Eq-11, se tiene:

$$(d_{B100} - d_{D2}) > \frac{0.01}{0.1}$$

$(d_{B100} - d_{D2}) > 0.1 \text{ g/cm}^3$
--

De donde se observa, que el método alternativo DDPX, es aplicable para toda mezcla Diesel B5, siempre y cuando la diferencia de las densidades (expresado en  $\text{g/cm}^3$ ) de sus componentes sea mayor a un valor de  $0.1 \text{ g/cm}^3$ .

### 3.5 Verificación del método alternativo DDPX frente a los métodos convencionales de espectroscopia infrarrojo

La verificación del método alternativo desarrollado se plantea en dos etapas, dado que en el presente estudio se elaboró muestras Diesel BX de referencia a nivel laboratorio, la primera etapa de verificación, consta en verificar el contenido de Biodiesel de las muestras de referencia, para ello se seleccionó un grupo de muestras del Escenario I y se determinó su contenido mediante el método normado ASTM D7371. En la segunda etapa, para caso de la verificación del método experimental DDPX, se llevó a cabo un monitoreo de las operaciones de producción de mezclas Diesel B5, en una planta de abastecimiento y producción de Diesel BX (PAP), a las cuales se les determinó el contenido de FAME, mediante el método normado EN 14078 y el método experimental DDPX.

#### 3.5.1 Verificación del contenido de FAME en las muestras de referencia

Del escenario I que consta de 19 muestras de referencia, se seleccionaron cinco muestras y mediante el método de ensayo estándar ASTM D7371-12 y un Espectrómetro<sup>6</sup> se determina el contenido de FAME de las muestras Diesel BX. Empleando el criterio de repetitividad ( $r$ ), se calcula el intervalo de confianza para cada resultado de FAME, el cual se encuentra limitado por  $-r$  y  $+r$ , tal como se muestra en la Tabla N° 3.7.

TABLA N° 3.7 VERIFICACION DE LAS MUESTRAS DE REFERENCIA

Reporte	Diesel BX	Método D7371	$r_x = 0.01505(X+14.905)$		
			X: FAME	repetitividad	intervalo de confianza
		(% Vol.)	r	-r	+r
1	B2	1.84	0.25	1.59	2.09
2	B5	5.01	0.30	4.71	5.31
3	B10	9.63	0.37	9.26	10.00
4	B20	19.74	0.52	19.22	20.26
5	B100	96.22	1.67	94.55	97.89

Fuente: elaboración propia, del reporte de un laboratorio externo.

<sup>6</sup> Espectrómetro: Spectrum 100 FT- Infra Rojo ESPECTROMETER, Marca: *Perkin Elmer*. Version 10.03.06

En el intervalo de confianza determinado por la repetitividad del método ASTM D7371, se comparan los resultados de FAME de las muestras de referencia del Escenario I. El contenido de FAME considerado en cada muestra de referencia fue detallado en la Tabla N° 3.3 parte “a” (Pág.76). En el Anexo N° 16 se adjunta los registros de los espectros infrarrojo obtenido en el laboratorio externo.

### 3.5.2 Verificación del contenido de FAME en Diesel B5 en tanques de mezclas

Previo a las operaciones de producción de mezclas en tanques del Diesel B5 en la Planta de Abastecimiento y Producción de Diesel BX (PAP), se ejecutó el muestreo según el método estándar ASTM D4057, donde se obtuvo las muestra 1 y muestra 2, como se detalla en el Esquema N° 3-2 (Pág. 71). Se caracterizó cada componente de la mezcla, se realizaron ensayos tales como la determinación de la densidad a 60 °F mediante el densímetro digital de precisión, se calculó la gravedad API, se verificó la pureza del Biodiesel, etc. El monitoreo se ejecutó durante el mes de marzo del 2012, donde se llevo a cabo doce lotes de mezclas Diesel B5. En la Tabla N° 3.8 se detallan los datos de las operaciones de mezcla en tanque.

TABLA N° 3.8 MEZCLA EN TANQUE DIESEL B5 (Marzo-2012)

N° Lote	Tanque (TK)	Dimensiones D*H	Volumen Diesel 2 (Barriles)	Volumen B100 (Barriles)	Altura DB5 (m)
1	TK B3	17.2*13.5	2001.81	113.59	1.42
2	TK B3	17.2*13.5	842.26	50.45	0.60
3	TK B3	17.2*13.5	2692.97	153.02	1.91
4	TK B2	17.2*13.5	2846.42	163.18	2.02
5	TK B3	17.2*13.5	3383.09	193.23	2.40
6	TK B2	17.2*13.5	1622.02	92.24	1.15
7	TK B3	17.2*13.5	1622.97	92.90	1.15
8	TK B2	17.2*13.5	1702.12	97.94	1.21
9	TK B3	17.2*13.5	1706.78	96.95	1.21
10	TK B2	17.2*13.5	1699.5	99.45	1.21
11	TK B3	17.2*13.5	3822.06	212.4	2.70
12	TK B2	17.2*13.5	1748.71	99.09	1.24

D, H: diámetro y altura del tanque respectivamente (en metros).

Fuente: elaboración propia, datos de reportes de mezcla DB5 - PAP

Las operaciones de mezcla Diesel B5, se detalla en el procedimiento establecido por la planta PAP, el cual se adjunta en el Anexo N° 17.

Concluidas las operaciones de mezcla en tanque, se tomaron muestras por niveles, equivalente a la muestra 4 del Esquema N° 3-2 (Pág. 71), a las cuales se les determinó su densidad, empleando el método ASTM D4052 y el densímetro digital Anton Paar SVM 3000, para luego determinar el contenido de FAME de las mezclas Diesel B5, empleando el Modelo I y su intervalo de medición "Sub-intervalo bajo", tal como lo establece el método alternativo (DDPX). Los resultados obtenidos, se compararon frente al intervalo de confianza establecido por los reportes de calidad emitidos por un laboratorio externo, quien también analizó el contenido de FAME de cada lote; pero, mediante el método de ensayo estándar UNE EN 14078-10.

## CAPITULO IV

### CALCULOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza los cálculos y la interpretación de los resultados, que se obtienen al aplicar la metodología experimental denominada método alternativo DDPX, en los escenarios experimentales de muestras de referencia Diesel BX desarrollados en laboratorio. Adicionalmente, se realiza la interpretación de los resultados obtenidos de la aplicación del método alternativo durante la producción de Diesel B5 en planta.

#### 4.1 Contenido de FAME mediante funciones de densidad

El conjunto de las funciones ( $f$ ) respecto de la densidad del Diesel BX, define el modelo para cada escenario experimental de las muestras diesel DBX, con el cual se determina el contenido de Biodiesel B100 (FAME:  $X$ ) en los intervalos de medición bajo, medio y alto en las mezclas Diesel BX.

El contenido de Biodiesel en función de la densidad Diesel BX ( $d_{DBX}$ ) se obtiene reemplazando la densidad en la Ecuación<sup>1</sup>.Eq-7.

$$f : FAME = \frac{100 \cdot d_{DBX}}{(d_{B100} - d_{D2})} - \frac{100 \cdot d_{D2}}{(d_{B100} - d_{D2})} \quad (Eq-7)$$

Donde:

- $d_{B100}$  : Densidad del componente Biodiesel B100 a 60 °F
- $d_{D2}$  : Densidad del componente Diesel N° 2 a 60 °F
- $d_{DBX}$  : Densidad del Diesel BX a 60 °F

---

<sup>1</sup> Ecuación determinada en la sección 3.4.1, Pág. 85 “Regresión Lineal en los sub intervalo de medición” del capítulo III del presente estudio.

#### 4.1.1 Escenario experimental I

El modelo I, para el par binario Diesel BX, conformado por el Diesel N° 2 con densidad  $0.8389 \text{ g/cm}^3$  y el Biodiesel B100 con densidad  $0.8851 \text{ g/cm}^3$ , a la temperatura de  $60^\circ\text{F}$ , respectivamente, se define por el conjunto de las siguientes funciones:

##### a) Determinación de FAME a partir de la densidad teórica del Diesel BX y regresión lineal

Para contenidos de FAME: X en Diesel BX, desde 0% Vol. hasta 100% Vol.

Datos:

Densidad D2 :  $0.8389 \text{ g/cm}^3$   
 Densidad B100 :  $0.8851 \text{ g/cm}^3$

$$X = \frac{100}{0.8851 - 0.8389} d_{\text{DBX}} - \frac{100 \cdot 0.8389}{0.8851 - 0.8389}$$

$X = 2164.5022 d_{\text{DBX}} - 1815.8009$
--

##### b) Determinación de FAME a partir de la densidad experimental del Diesel BX y regresión lineal por intervalos

Para la estimación de las funciones, se considera las densidades de las muestras Diesel BX descritas en la Tabla N° 3.4 (ver Pág. 83) y el criterio de regresión lineal por intervalos, donde se obtiene lo siguiente:

##### Sub-intervalo bajo

Para contenido de FAME: X en Diesel BX, desde 0% hasta 10% Vol.

Datos:

Densidad D2 :  $0.8389 \text{ g/cm}^3$   
 Densidad B10 :  $0.8438 \text{ g/cm}^3$

$$X = \frac{10}{0.8438 - 0.8389} d_{\text{DBX}} - \frac{10 \cdot 0.8389}{0.8438 - 0.8389}$$

$X = 2040.8163 d_{\text{DBX}} - 1712.0408$
--

### Sub-intervalo medio

Para contenido de FAME: X en Diesel BX, desde 10% hasta 30% Vol.

Datos:

Densidad B10 : 0.8438 g/cm<sup>3</sup>

Densidad B30 : 0.8533 g/cm<sup>3</sup>

$$X = \frac{20}{0.8533 - 0.8438} d_{DBX} - \frac{20 \cdot 0.8438}{0.8533 - 0.8438} + 10$$

$$X = 2105.2632 d_{DBX} - 1766.4211$$

### Sub-intervalo alto

Para mezclas Diesel BX con contenido de FAME: X, desde 30% hasta el 100% Vol.

Datos:

Densidad B30 : 0.8533 g/cm<sup>3</sup>

Pureza inicial del B100 : 96.22%

Dado que la pureza del Biodiesel es 96.22%, se emplea el criterio de extrapolación para determinar la densidad del Biodiesel puro ( $d_{B100-p}$ )

$$\frac{100-30}{96.22-30} = \frac{d_{B100-p} - 0.8533}{0.8851 - 0.8533}$$

De donde se obtiene  $d_{B100-p}$ : 0.8869 g/cm<sup>3</sup>, reemplazando se tiene:

$$X = \frac{70}{0.8869 - 0.8533} d_{DBX} - \frac{70 \cdot 0.8533}{0.8869 - 0.8533} + 30$$

$$X = 2082.3899 d_{DBX} - 1746.9033$$

Por tanto, mediante regresión lineal se obtiene las siguientes expresiones:

TABLA N° 4.1 CONTENIDO DE BODIESEL EN ESCENARIO I

Sub Intervalo de medición	X : FAME (% Vol.)	Modelo 1
Intervalo Bajo	$0\% \leq X \leq 10\%$	$X = 2040.8163 d_{DBX} - 1712.0408$
Intervalo Medio	$10\% \leq X \leq 30\%$	$X = 2105.2632 d_{DBX} - 1766.4211$
Intervalo Alto	$30\% \leq X \leq 100\%$	$X = 2082.3899 d_{DBX} - 1746.9033$

Unidades: X: porcentaje en volumen (% Vol),  $d_{DBX}$ : Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Fuente: elaboración propia, método DDPX

#### 4.1.2 Escenario experimental II

El modelo II, para el par binario Diesel BX, conformado por el Diesel N° 2 con densidad  $0.8389 \text{ g/cm}^3$  y el Biodiesel B100 con densidad  $0.8751 \text{ g/cm}^3$ , a la temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{F}$  respectivamente, se define por el conjunto de las siguientes funciones:

##### a) Determinación de FAME a partir de la densidad teórica del Diesel BX y regresión lineal

Para contenidos de FAME: X en Diesel BX, desde 0% hasta 100% Vol.

Datos:

Densidad D2 :  $0.8389 \text{ g/cm}^3$

Densidad B100 :  $0.8751 \text{ g/cm}^3$

$$X = \frac{100}{0.8751 - 0.8389} d_{\text{DBX}} - \frac{100 \cdot 0.8389}{0.8751 - 0.8389}$$

$X = 2762.4309 d_{\text{DBX}} - 2317.4033$
--

##### b) Determinación de FAME a partir de la densidad experimental del Diesel BX y regresión lineal por intervalos

Para la estimación de las funciones, se considera las densidades de las muestras Diesel BX descritas en la Tabla N° 3.4 (ver Pág. 83) y el criterio de regresión lineal por intervalos, donde se obtiene lo siguiente:

##### Sub-intervalo Bajo

Para contenido de FAME: X en Diesel BX, desde 0% hasta 10% Vol.

Datos:

Densidad D2 :  $0.8389 \text{ g/cm}^3$

Densidad B10 :  $0.8428 \text{ g/cm}^3$

$$X = \frac{10}{0.8428 - 0.8389} d_{\text{DBX}} - \frac{10 \cdot 0.8389}{0.8428 - 0.8389}$$

$X = 2564.1026 d_{\text{DBX}} - 2151.0256$
--



### Sub-intervalo medio

Para contenido de FAME: X en Diesel BX, desde 10% hasta 30% Vol.

Datos:

Densidad B10 : 0.8428 g/cm<sup>3</sup>

Densidad B30 : 0.8503 g/cm<sup>3</sup>

$$X = \frac{20}{0.8503 - 0.8426} d_{DBX} - \frac{20 \cdot 0.8426}{0.8503 - 0.8426} + 10$$

$$X = 2666.6667 d_{DBX} - 2237.4667$$

### Sub-intervalo alto

Para mezclas Diesel BX con contenido de FAME: X, desde 30% hasta el 100% Vol.

Datos:

Densidad B30 : 0.8503 g/cm<sup>3</sup>

Pureza inicial del B100 : 97%

Dado que la pureza del Biodiesel es 97%, se emplea el criterio de extrapolación para determinar la densidad del Biodiesel puro ( $d_{B100-p}$ )

$$\frac{100-30}{97-30} = \frac{d_{B100-p} - 0.8503}{0.8751 - 0.8503}$$

De donde se obtiene  $d_{B100-p}$ : 0.8762 g/cm<sup>3</sup>, reemplazando se tiene:

$$X = \frac{70}{0.8762 - 0.8503} d_{DBX} - \frac{70 \cdot 0.8503}{0.8762 - 0.8503} + 30$$

$$X = 2701.6129 d_{DBX} - 2267.1815$$

Por tanto, mediante regresión lineal se obtiene las siguientes expresiones:

TABLA N° 4.2 CONTENIDO DE BODIESEL EN ESCENARIO II

Sub Intervalo de medición	X : FAME (%v/v)	Modelo 2
Intervalo Bajo	$0\% \leq X \leq 10\%$	$X = 2564.1026 d_{DBX} - 2151.0256$
Intervalo Medio	$10\% \leq X \leq 30\%$	$X = 2666.6667 d_{DBX} - 2237.4667$
Intervalo Alto	$30\% \leq X \leq 100\%$	$X = 2701.6129 d_{DBX} - 2267.1815$

Unidades: X: porcentaje en volumen (% Vol.),  $d_{DBX}$ : Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Fuente: elaboración propia, método DDPX.

### 4.1.3 Escenario experimental III

El modelo III, para el par binario Diesel BX, conformado por el Diesel N° 2 con densidad  $0.8565 \text{ g/cm}^3$  y el Biodiesel B100 con densidad  $0.8851 \text{ g/cm}^3$ , a la temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{F}$  respectivamente, se define por el conjunto de las siguientes funciones:

#### a) Determinación de FAME a partir de la densidad teórica del Diesel BX y regresión lineal

Para contenidos de FAME: X en Diesel BX, desde 0% hasta 100% Vol.

Datos:

Densidad D2 :  $0.8565 \text{ g/cm}^3$   
 Densidad B100 :  $0.8751 \text{ g/cm}^3$

$$X = \frac{100}{0.8751 - 0.8565} d_{\text{DBX}} - \frac{100 \cdot 0.8389}{0.8751 - 0.8565}$$

$X = 3496.5035 d_{\text{DBX}} - 2994.7552$
--

#### b) Determinación de FAME a partir de la densidad experimental del Diesel BX y regresión lineal por intervalos

Para la estimación de las funciones, se considera las densidades de las muestras Diesel BX descritas en la Tabla N° 3.4 (ver Pág. 83) y el criterio de regresión lineal por intervalos, donde se obtiene lo siguiente:

##### Sub-intervalo bajo

Para contenido de FAME: X en Diesel BX, desde 0% hasta 10% vol.

Datos:

Densidad D2 :  $0.8565 \text{ g/cm}^3$   
 Densidad B10 :  $0.8597 \text{ g/cm}^3$

$$X = \frac{10}{0.8597 - 0.8565} d_{\text{DBX}} - \frac{10 \cdot 0.8565}{0.8597 - 0.8565}$$

$X = 3125 d_{\text{DBX}} - 2676.5625$
---------------------------------------

**Sub-intervalo medio**

Para contenido de FAME: X en Diesel BX, desde 10% hasta 30% Vol.

Datos:

Densidad B10 : 0.8597 g/cm<sup>3</sup>

Densidad B30 : 0.8655 g/cm<sup>3</sup>

$$X = \frac{20}{0.8655 - 0.8597} d_{DBX} - \frac{20 \cdot 0.8597}{0.8655 - 0.8597} + 10$$

$$X = 3448.2759 d_{DBX} - 2954.4828$$

**Sub-intervalo alto**

Para mezclas Diesel BX con contenido de FAME: X, desde 30% hasta el 100% Vol.

Datos:

Densidad B30 : 0.8655 g/cm<sup>3</sup>

Pureza inicial del B100 : 96.22%

Dado que la pureza del Biodiesel es 97%, se emplea el criterio de extrapolación para determinar la densidad del Biodiesel puro ( $d_{B100-p}$ )

$$\frac{100-30}{96.22-30} = \frac{d_{B100-p} - 0.8655}{0.8851 - 0.8655}$$

De donde se obtiene  $d_{B100-p}$ : 0.8862 g/cm<sup>3</sup>, reemplazando se tiene:

$$X = \frac{70}{0.8862 - 0.8655} d_{DBX} - \frac{70 \cdot 0.8655}{0.8862 - 0.8655} + 30$$

$$X = 3378.5714 d_{DBX} - 2894.1536$$

Por tanto, mediante regresión lineal se obtiene las siguientes expresiones:

TABLA N° 4.3 CONTENIDO DE BODIESEL EN ESCENARIO III

Sub Intervalo de medición	X : FAME (%Vol.)	Modelo 3
Intervalo Bajo	$0\% \leq X \leq 10\%$	$X = 3125 d_{DBX} - 2676.5625$
Intervalo Medio	$10\% \leq X \leq 30\%$	$X = 3448.2759 d_{DBX} - 2954.4828$
Intervalo Alto	$30\% \leq X \leq 100\%$	$X = 3378.5714 d_{DBX} - 2894.1536$

Unidades: X: porcentaje en volumen (% Vol.),  $d_{DBX}$ : Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Fuente: elaboración propia, método DDPX.

## **4.2 Comparación gráfica del contenido de FAME en el Diesel BX mediante funciones respecto la densidad resultante de la mezcla**

El desarrollo del método empleado para definir la relación de la densidad y el contenido de FAME en el Diesel BX, fue mencionado en el presente estudio en las secciones 3.3.1 (Pág.78) y 3.4.1 (Pág. 85). Los cuales se basan en lo siguiente:

La primera etapa, se basa en función de la densidad teórica, que se obtiene del balance de materia de los componentes de la mezcla, el cual incluye el factor de la pureza de la masa del Biodiesel B100, definido por la Ecuación Eq-5 (ver Pág. 82).

La segunda etapa, el cual emplea la densidad experimental obtenida por un densímetro digital de precisión (DDP) y el modelo DDPX, basado en la regresión lineal de las funciones descritas en tres sub-intervalos, los cuales son definidos por la composición del Biodiesel B100 (FAME) en el Diesel BX y sus respectivas densidades, planteado por la ecuación Eq-7 y sus derivaciones a, b y c (ver Pág. 86)

El resumen de los resultados para los escenarios experimentales I, II y III, se detallan en la Tabla N° 4.4, Tabla N° 4.5 y Tabla N° 4.6 respectivamente.

Adicionalmente, para cada uno de los tres escenarios desarrollados, en las Figuras N° 4-1, 4-2 y 4-3 respectivamente, se grafica el porcentaje volumétrico del Biodiesel B100 (FAME: X) respecto a la densidad del Diesel BX, mediante el cual se puede analizar el comportamiento de las funciones determinadas por densidad teórica ( $d_{DBX-t}$ ) y la densidad experimental ( $d_{DBX-e}$ ), donde se observa, que la función de FAME que define la densidad teórica, siempre será mayor respecto a la función de FAME definida por la densidad experimental, esto es debido a la pureza de FAME que contiene el Biodiesel B100, el cual es uno de los factores que afecta el comportamiento lineal de las funciones.

TABLA N° 4.4 **ESCENARIO EXPERIMENTAL I**, DIESEL BX: DIESEL N° 2 (0.8389 g/cm<sup>3</sup>) Y BIODIESEL (0.8851 g/cm<sup>3</sup>)

	Biodiesel B100		Factor Pureza B100: 1.0378		Densidad Diesel BX		Intervalo de FAME		
	masa	% Volumen	masa	% Volumen	Teórica	Experimental.	bajo	medio	alto
	m <sub>B100</sub> g	X %Vol.	m <sub>B100-p</sub> g	X <sub>p</sub> % Vol.	d <sub>DBX-t</sub> g/cm <sup>3</sup>	d <sub>DBX-e</sub> g/cm <sup>3</sup>	X <sub>DDPX</sub> % Vol.	X <sub>DDPX</sub> %Vol.	X <sub>DDPX</sub> %Vol.
Intervalo Bajo	0	0	0	0,000	0,8389	0,8389	0,000		
	8,851	2	9,186	2,074	0,8398	0,8399	2,041		
	17,702	4	18,371	4,145	0,8407	0,8409	4,082		
	22,128	5	22,964	5,179	0,8412	0,8414	5,102		
	26,553	6	27,557	6,213	0,8417	0,8419	6,122		
	35,404	8	36,742	8,277	0,8426	0,8429	8,163		
	44,255	10	45,928	10,339	0,8435	0,8438	10,000	10,000	
Intervalo Medio	48,681	11	50,521	11,369	0,8440	0,8443		11,053	
	57,532	13	59,706	13,425	0,8449	0,8452		12,947	
	66,383	15	68,892	15,479	0,8458	0,8463		15,263	
	88,510	20	91,856	20,600	0,8481	0,8486		20,105	
	110,638	25	114,820	25,702	0,8505	0,8511		25,368	
	132,765	30	137,784	30,785	0,8528	0,8533		30,000	30,000
intervalo Alto	154,893	35	160,747	35,849	0,8551	0,8556			34,789
	199,148	45	206,675	45,920	0,8597	0,8602			44,368
	287,658	65	298,531	65,839	0,8689	0,8694			63,526
	376,168	85	390,387	85,467	0,8782	0,8785			82,476
	420,423	95	436,314	95,173	0,8828	0,8829			91,639
	442,550	100	459,278	100,000	0,8851	0,8851			96,220
Fuente	Balanza	Dato	Ecuación 3	Ecuación 4	Ecuación 5	DDP	Ecuación 7, a, b, c - Modelo DDPX		

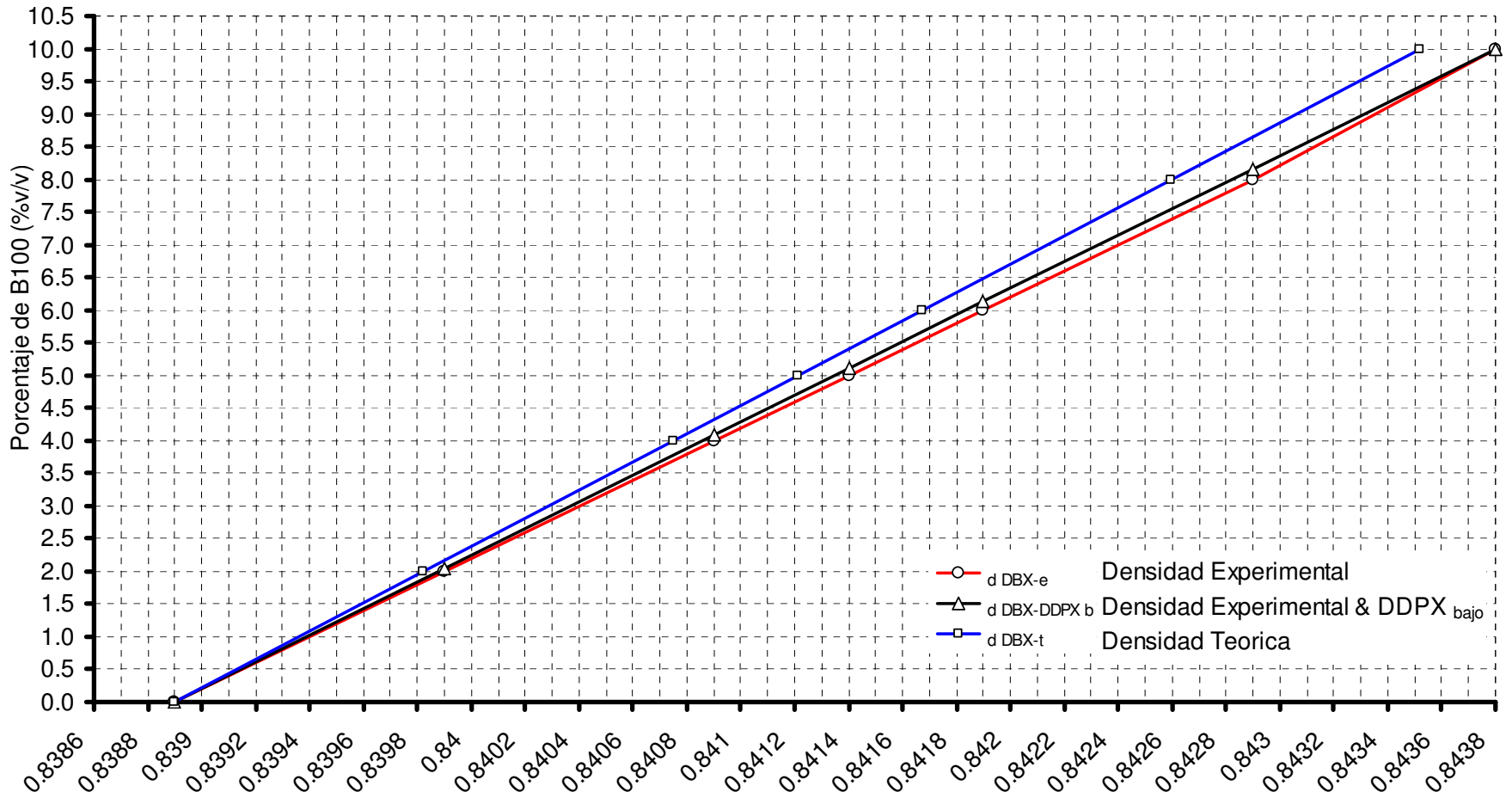
TABLA N° 4.5 **ESCENARIO EXPERIMENTAL II**, DIESEL BX: DIESEL N°2 (0.8389 g/cm<sup>3</sup>) Y BIODIESEL (0.8751 g/cm<sup>3</sup>)

	Biodiesel B100		Factor Pureza B100: 1.035		Densidad Diesel BX		Intervalo de FAME		
	masa	% Volumen	masa corregida	% Vol Corregido	Teórica	Experimental.	bajo	medio	alto
	m <sub>B100</sub> g	X %Vol.	m <sub>B100-p</sub> g	X <sub>p</sub> %Vol.	d <sub>DBX-t</sub> g/cm <sup>3</sup>	d <sub>DBX-e</sub> g/cm <sup>3</sup>	X <sub>DDPX</sub> %Vol.	X <sub>DDPX</sub> %Vol.	X <sub>DDPX</sub> %vol.
Intervalo Bajo	0	0	0	0.000	0.8389	0.8389	0.000		
	8.751	2	9.057	2.069	0.8396	0.8397	2.051		
	17.502	4	18.115	4.134	0.8403	0.8405	4.103		
	21.8775	5	22.643	5.166	0.8407	0.8409	5.128		
	26.253	6	27.172	6.197	0.8411	0.8413	6.154		
	35.004	8	36.229	8.257	0.8418	0.8421	8.205		
	43.755	10	45.286	10.314	0.8425	0.8428	10.000	10.000	
Intervalo Medio	48.1305	11	49.815	11.341	0.8429	0.8432		11.067	
	56.8815	13	58.872	13.394	0.8436	0.8439		12.933	
	65.6325	15	67.930	15.444	0.8443	0.8446		14.800	
	87.51	20	90.573	20.556	0.8461	0.8465		19.867	
	109.3875	25	113.216	25.651	0.8480	0.8483		24.667	
	131.265	30	135.859	30.727	0.8498	0.8503		30.000	30.000
intervalo Alto	153.1425	35	158.502	35.787	0.8516	0.8520			34.593
	196.8975	45	203.789	45.853	0.8552	0.8556			44.318
	284.4075	65	294.362	65.779	0.8624	0.8628			63.770
	371.9175	85	384.935	85.433	0.8697	0.8699			82.952
	415.6725	95	430.221	95.161	0.8733	0.8734			92.407
	437.55	100	452.864	100.000	0.8751	0.8751			97.000
Fuente	Balanza	Dato	Ecuación 3	Ecuación 4	Ecuación 5	DDP	Ecuación 7, a, b, c - Modelo DDPX		

TABLA N° 4.6 **ESCENARIO EXPERIMENTALIII**, DIESEL BX: DIESEL N°2 (0.8565 g/cm<sup>3</sup>) Y BIODIESEL (0.8751 g/cm<sup>3</sup>)

	Biodiesel B100		Factor Pureza B100: 1.0378		Densidad Diesel BX		Intervalo de FAME		
	masa	% Volumen	masa	% Volumen	Teórica	Experimental.	bajo	medio	alto
	m <sub>B100</sub> g	X %Vol.	m <sub>B100-p</sub> g	X <sub>p</sub> %Vol.	d <sub>DBX-t</sub> g/cm <sup>3</sup>	d <sub>DBX-e</sub> g/cm <sup>3</sup>	X <sub>DDPX</sub> %Vol.	X <sub>DDPX</sub> %Vol.	X <sub>DDPX</sub> %Vol.
Intervalo Bajo	0	0	0	0.000	0.8565	0.8565	0.000		
	8.851	2	9.186	2.074	0.8571	0.8572	2.188		
	17.702	4	18.371	4.145	0.8576	0.8577	3.750		
	22.128	5	22.964	5.179	0.8579	0.8581	5.000		
	26.553	6	27.557	6.213	0.8582	0.8584	5.938		
	35.404	8	36.742	8.277	0.8588	0.859	7.813		
	44.255	10	45.928	10.339	0.8594	0.8597	10.000	10.000	
Intervalo Medio	48.681	11	50.521	11.369	0.8596	0.8599		10.690	
	57.532	13	59.706	13.425	0.8602	0.8605		12.759	
	66.383	15	68.892	15.479	0.8608	0.8611		14.828	
	88.510	20	91.856	20.600	0.8622	0.8626		20.000	
	110.638	25	114.820	25.702	0.8637	0.864		24.828	
	132.765	30	137.784	30.785	0.8651	0.8655		30.000	30.000
intervalo Alto	154.893	35	160.747	35.849	0.8665	0.8669			34.730
	199.148	45	206.675	45.920	0.8694	0.8698			44.528
	287.658	65	298.531	65.839	0.8751	0.8754			63.448
	376.168	85	390.387	85.467	0.8808	0.8811			82.706
	420.423	95	436.314	95.173	0.8837	0.8838			91.828
	442.550	100	459.278	100.000	0.8851	0.8851			96.220
Fuente	Balanza	Dato	Ecuación 3	Ecuación 4	Ecuación 5	DDP	Ecuación 7, a, b, c - Modelo DDPX		

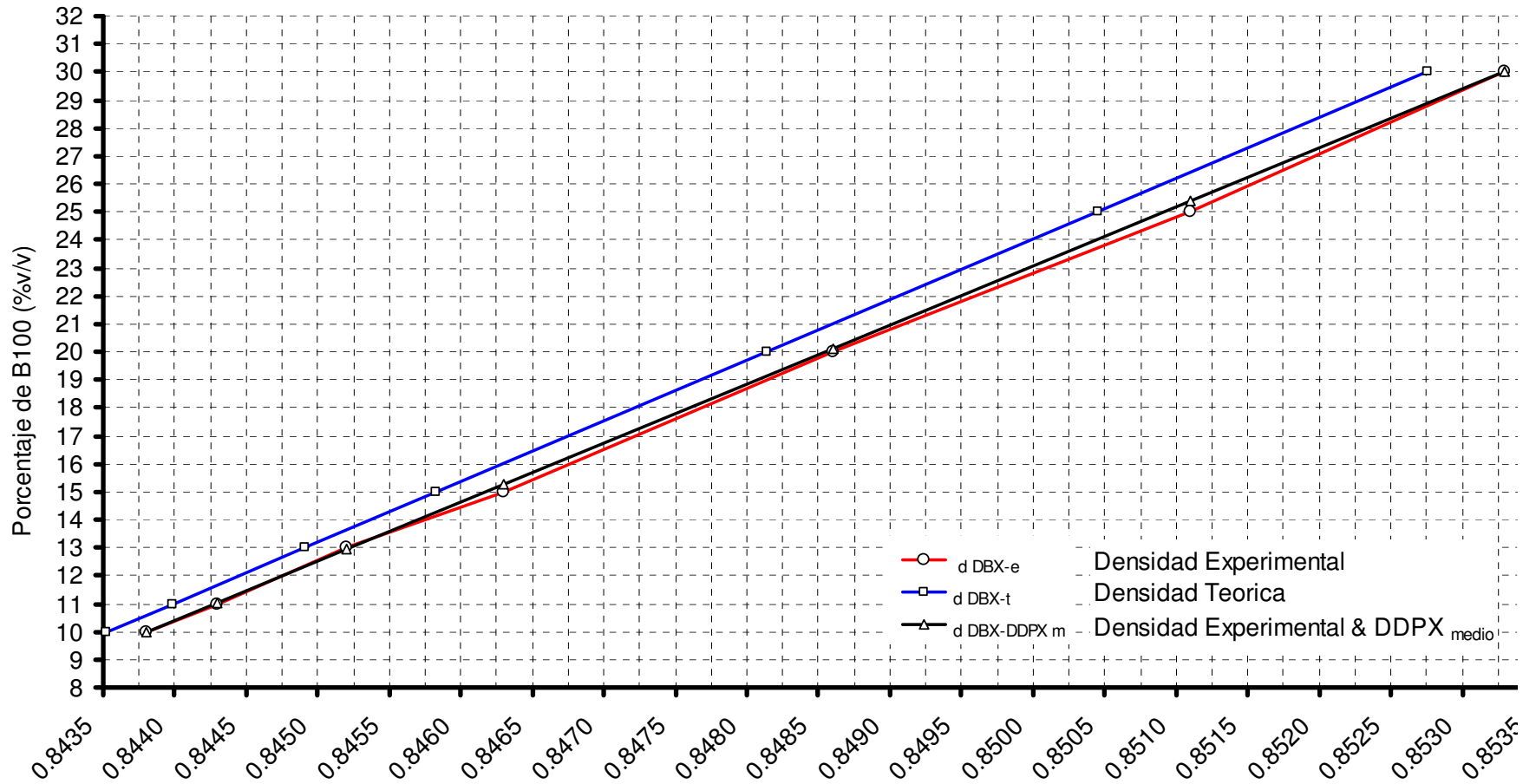
FIGURA N° 4-1 ESCENARIO EXPERIMENTAL I – a) DENSIDAD @60°F DEL DIESEL BX EN INTERVALO BAJO



Fuente: elaboración propia.

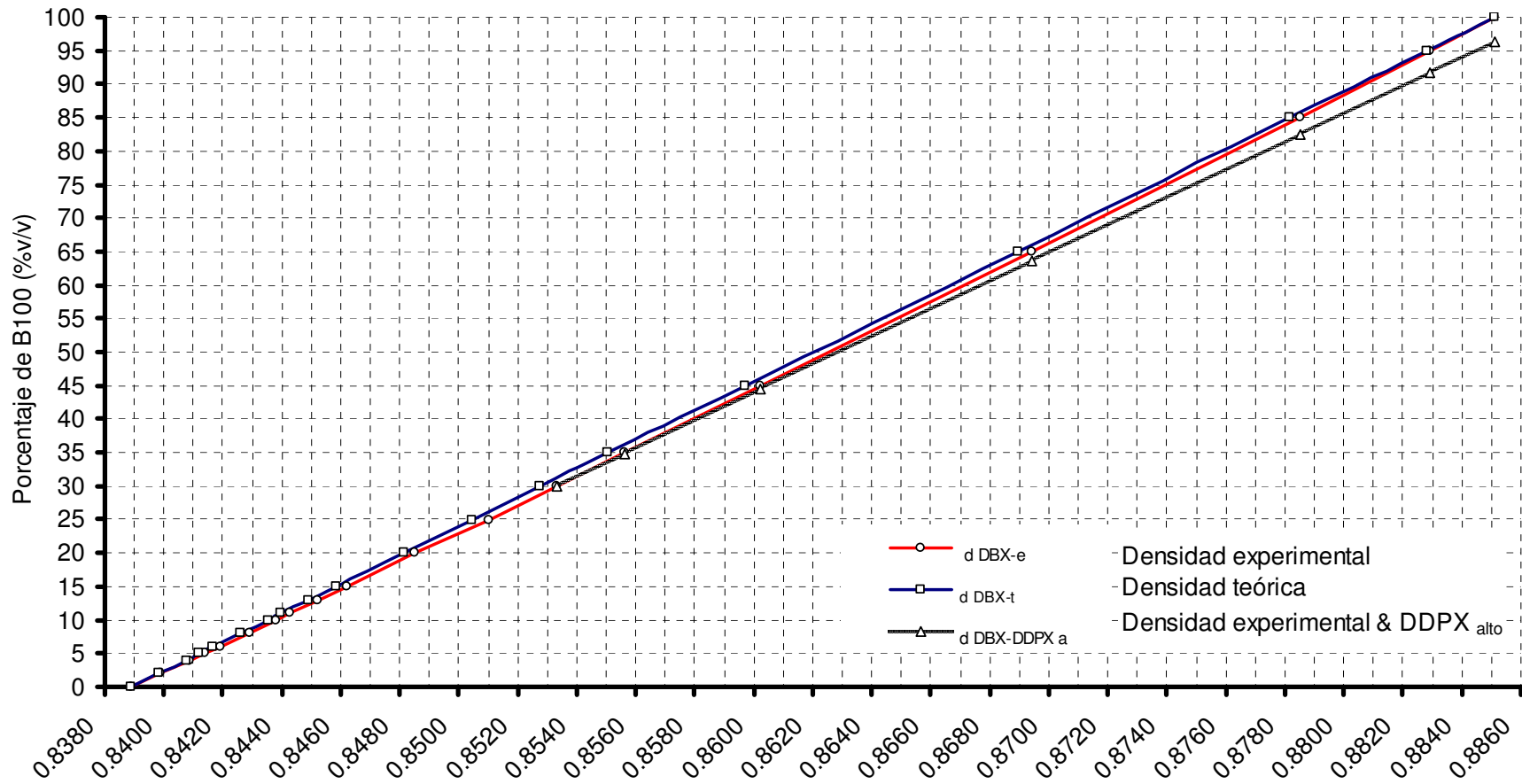


FIGURA N° 4-1 ESCENARIO EXPERIMENTAL I – b) DENSIDAD @60°F DEL DIESEL BX EN INTERVALO MEDIO



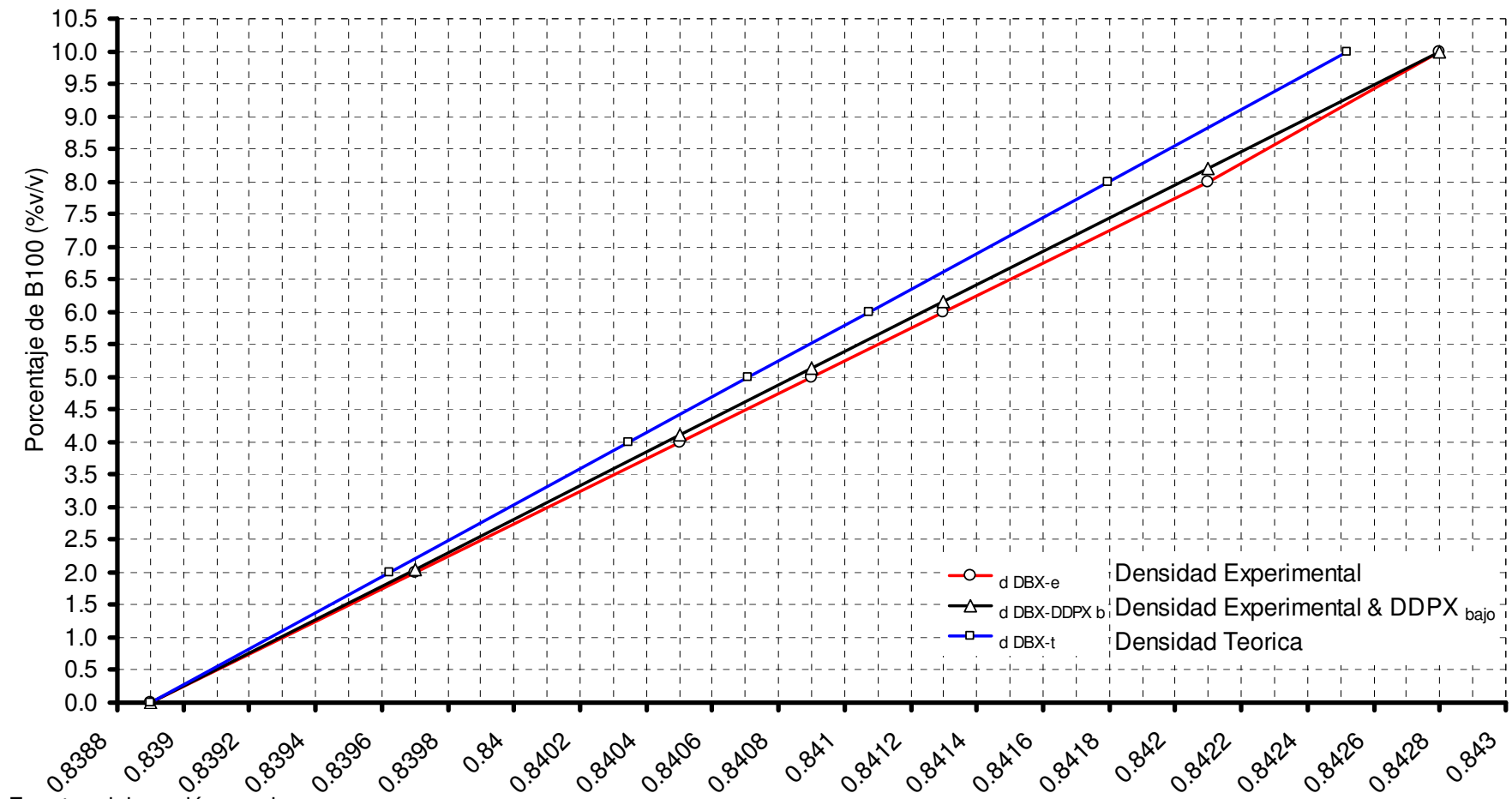
Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-1 ESCENARIO EXPERIMENTAL I – b) DENSIDAD @60°F DEL DIESEL BX EN INTERVALO ALTO



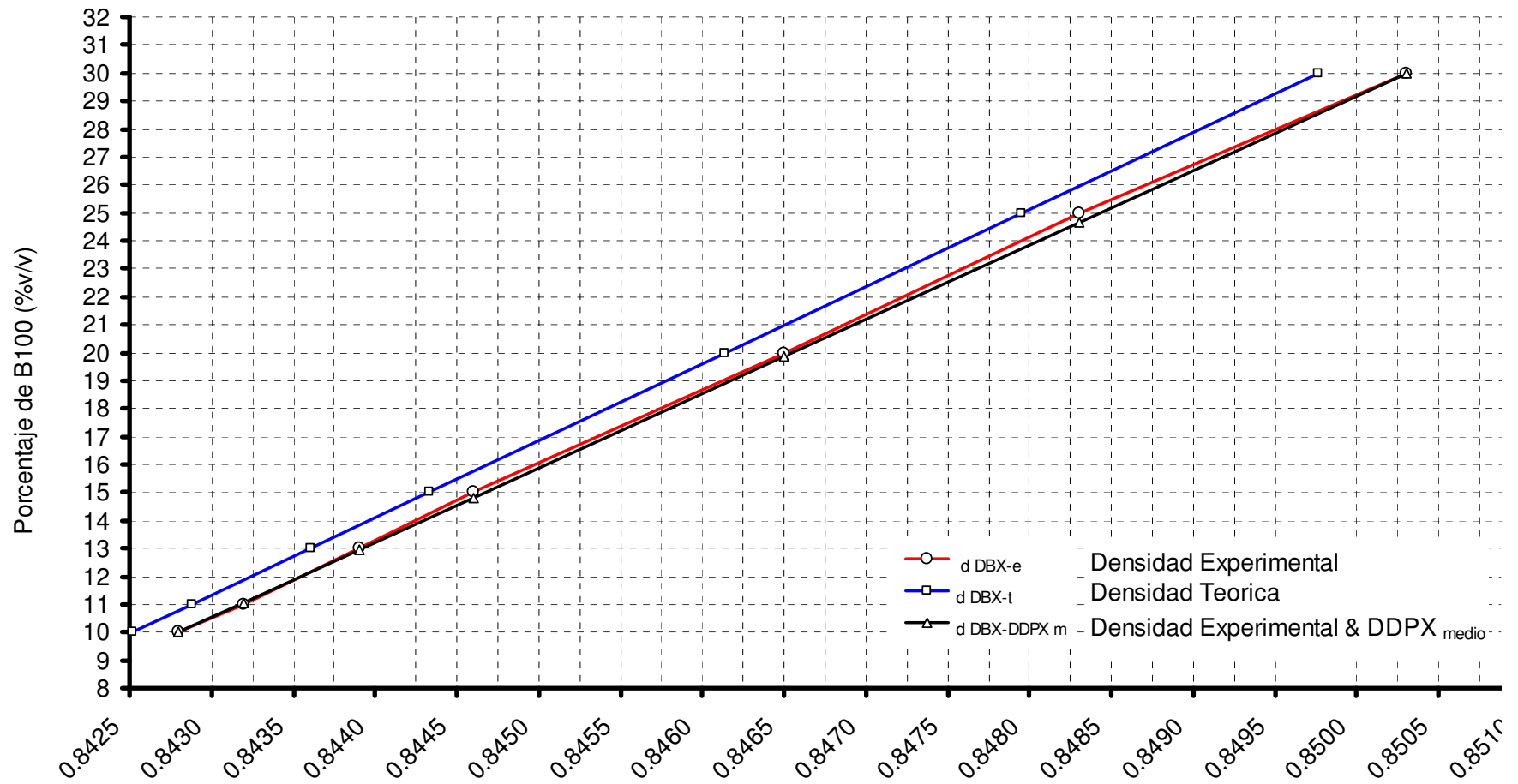
Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-2 ESCENARIO EXPERIMENTAL II - a) DENSIDAD @60 °F DEL DIESEL BX EN INTERVALO BAJO



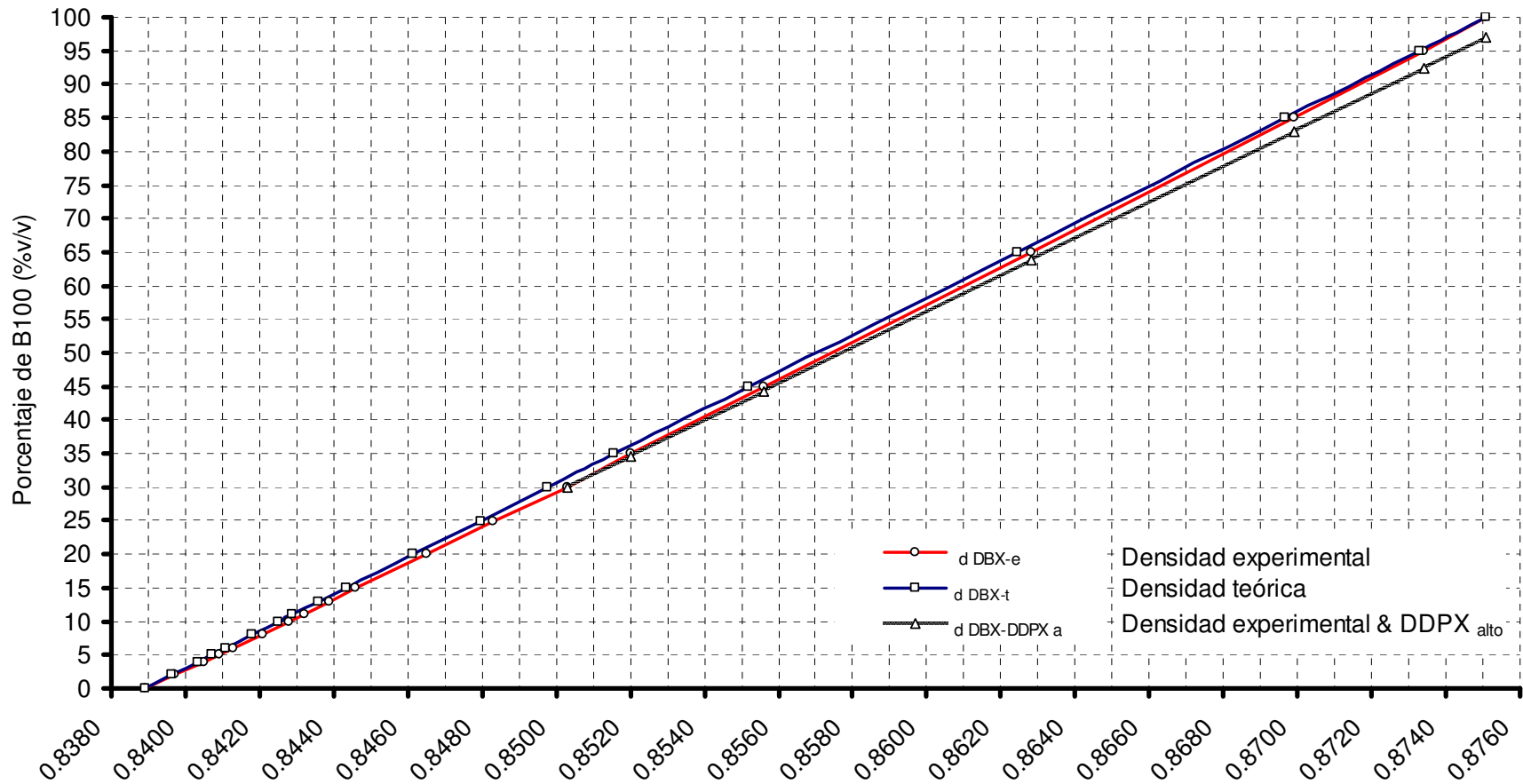
Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-2 ESCENARIO EXPERIMENTAL II - b) DENSIDAD @60 °F DEL DIESEL BX EN INTERVALO MEDIO



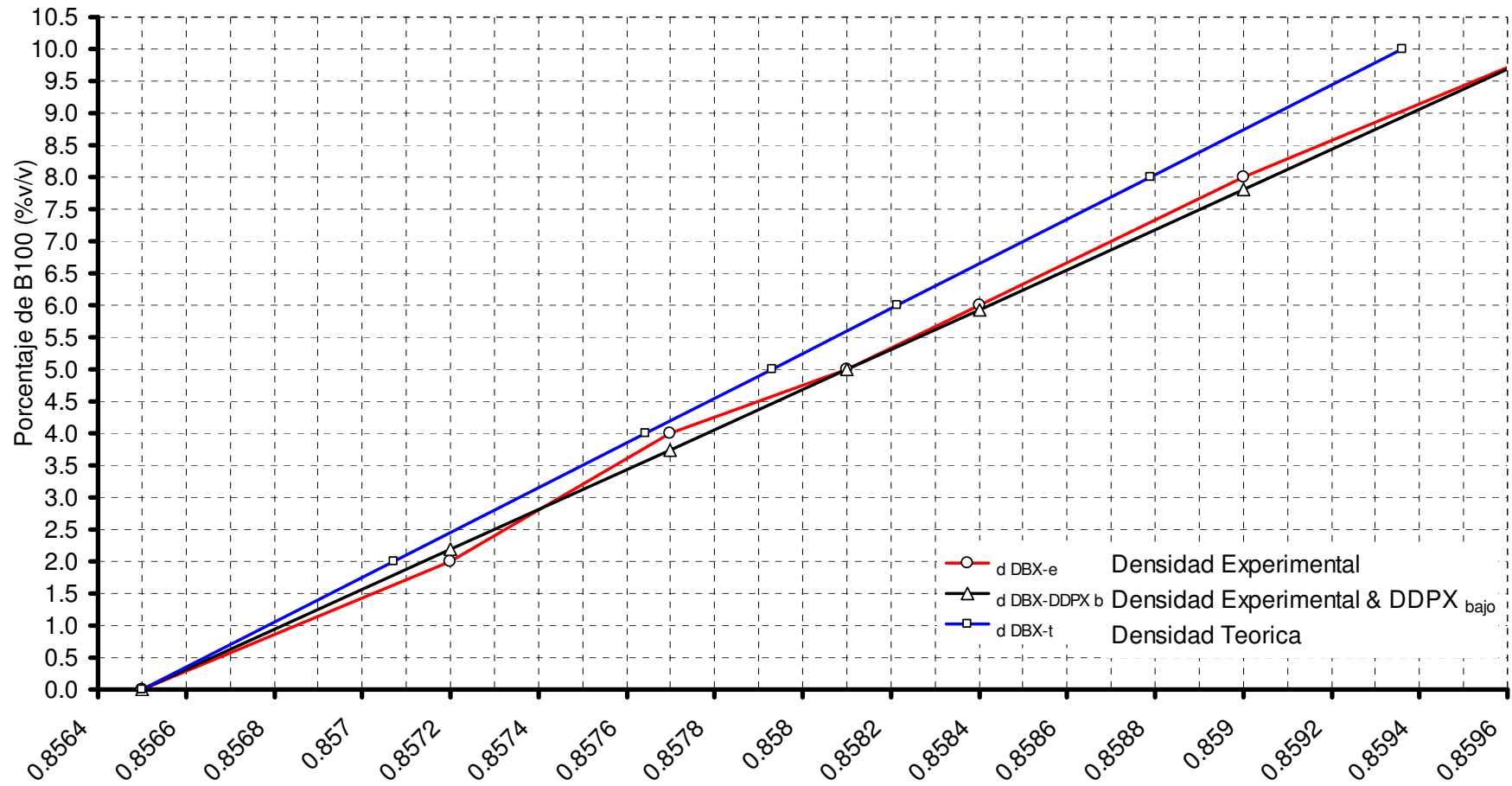
Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-2 ESCENARIO EXPERIMENTAL II - c) DENSIDAD @60 °F DEL DIESEL BX EN INTERVALO ALTO



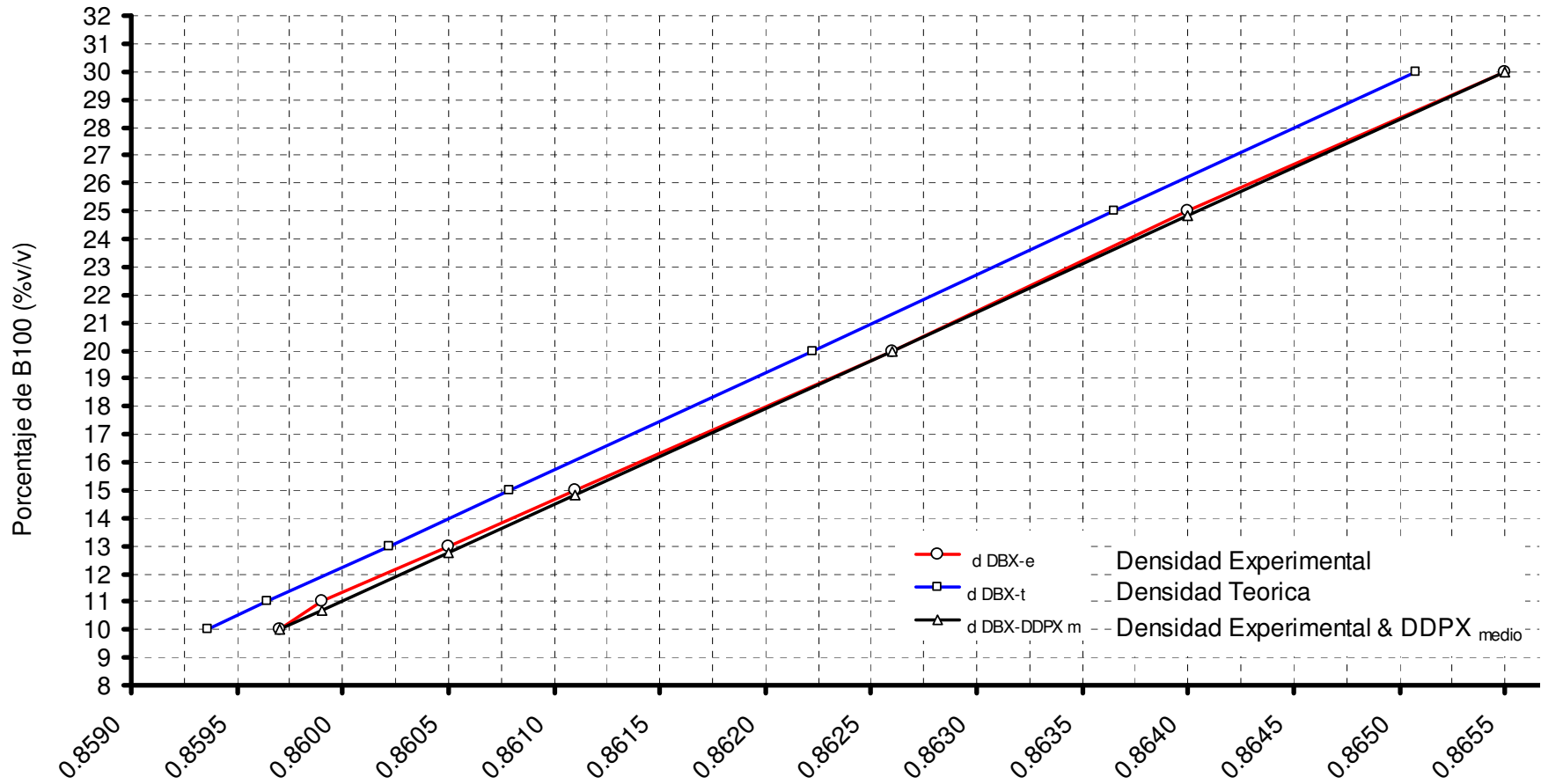
Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-3 ESCENARIO EXPERIMENTAL III – a) DENSIDAD @60 °F DEL DIESEL BX EN INTERVALO BAJO



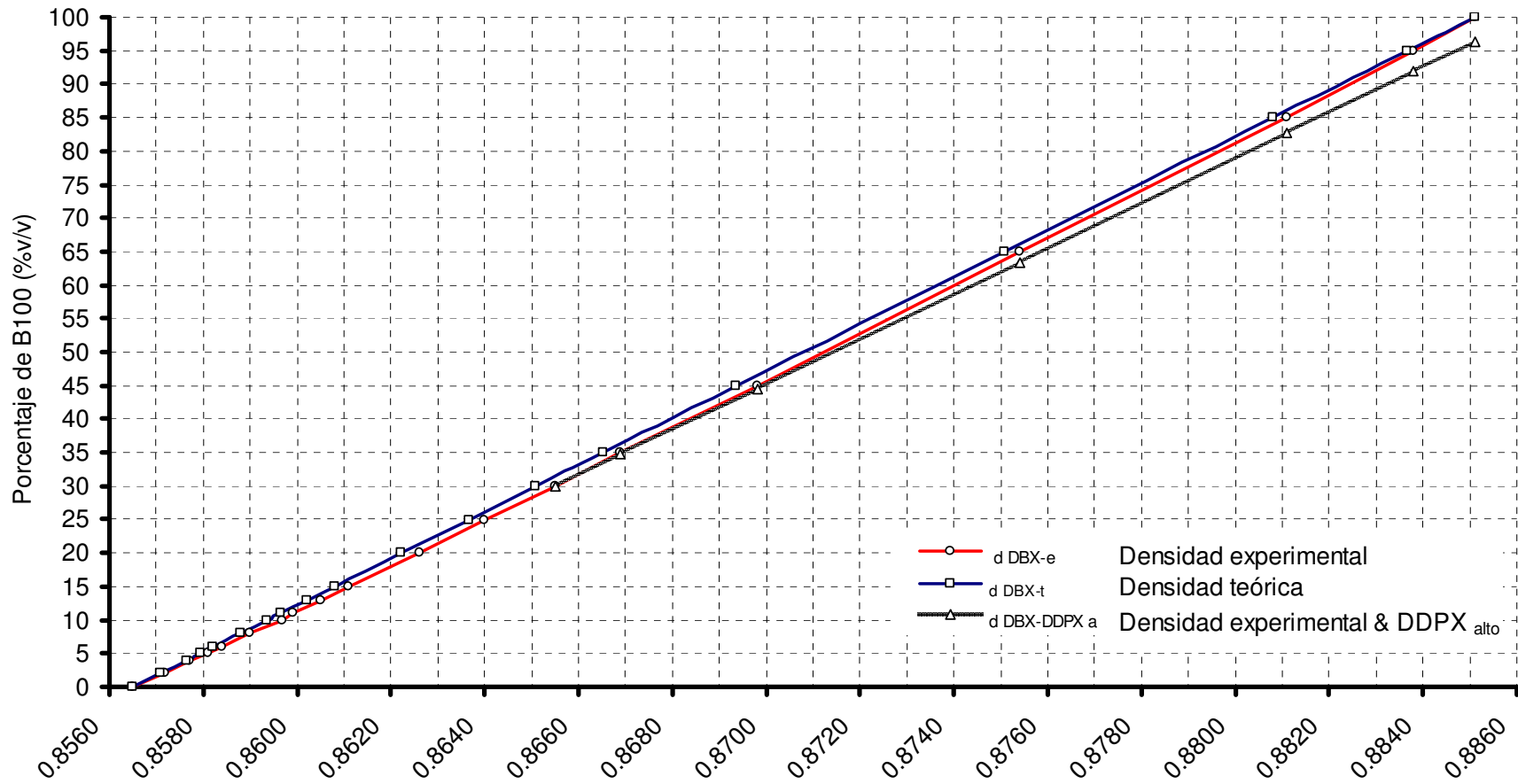
Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-3 ESCENARIO EXPERIMENTAL III – b) DENSIDAD @60 °F DEL DIESEL BX EN INTERVALO MEDIO



Fuente: elaboración propia.

FIGURA N° 4-3 ESCENARIO EXPERIMENTAL III – c) DENSIDAD @60 °F DEL DIESEL BX EN INTERVALO ALTO



Fuente: elaboración propia.



### 4.3. Intervalo de trabajo del método DDPX ó alcance de aplicación en mezclas Diesel B5

Para verificar el alcance de aplicación del método DDPX en mezclas Diesel B5, se debe de cumplir las siguientes condiciones definidas en la sección 3.4.2.3 (Pág.91), del presente estudio:

#### Caso I

Para Diesel B5 considerando como referencia el método D7371-12

Condición

$$(d_{B100} - d_{D2}) > 0.0333 \text{ g/cm}^3$$

#### Caso II

Para Diesel B5, considerando como referencia al método de EN 14078-10

Condición

$$(d_{B100} - d_{D2}) > 0.1 \text{ g/cm}^3$$

#### 4.3.1 Escenario experimental I

Datos:

$$(d_{B100} - d_{D2}) = 0.8851 - 0.8389$$

$$(d_{B100} - d_{D2}) = 0.0462$$

a) Del caso I, se tiene la siguiente comparación respecto al método D7371

$$0.0462 > 0.0333$$

Resultado:

En referencia al método ASTM D7371, el método alternativo DDPX es aplicable para los pares binario del escenario I.

b) Del caso II, se tiene la siguiente comparación respecto al método EN 14078-10

$$0.0462 < 0.1$$

Resultado:

En referencia al método EN14078, el método alternativo DDPX no es aplicable para los pares binarios del escenario I.

### 4.3.2 Escenario experimental II

Datos:

$$(d_{B100} - d_{D2}) = 0.8751 - 0.8389$$

$$(d_{B100} - d_{D2}) = 0.0362$$

a) Del caso I, se tiene la siguiente comparación respecto al método ASTM D7371-12

$$0.0362 > 0.0333 \text{ g/cm}^3$$

Resultado

En referencia al método ASTM D7371, el método alternativo es aplicable para los pares binario del escenario II.

b) Del caso II se tiene la siguiente comparación respecto al método de referencia EN 14078-10

Comparación

$$0.0362 < 0.1 \text{ g/cm}^3$$

Resultado

En referencia al método EN 14078, el método alternativo no es aplicable para los pares binarios del escenario II.

### 4.3.3 Escenario experimental III

Datos:

$$(d_{B100} - d_{D2}) = 0.8851 - 0.8565$$

$$(d_{B100} - d_{D2}) = 0.0286$$

a) Del caso I, se tiene la siguiente comparación respecto al método de referencia ASTM D7371-12

Comparación

$$0.0286 < 0.0333 \text{ g/cm}^3$$

Resultado

En referencia al método ASTM D7371, el método alternativo no es aplicable para los pares binarios del escenario III.

b) Del caso II, se tiene la siguiente comparación respecto al método de referencia EN 14078-10

Comparación

$$0.0286 < 0.1 \text{ g/cm}^3$$

Resultado

En referencia al método EN 14078, el método alternativo no es aplicable para los pares binarios del Escenario III.

#### **4.4 Verificación del intervalo de trabajo**

Teniendo como referencia los métodos estándares para cuantificar FAME, a los métodos ASTM D7371 y UNE EN 14078, se compara los resultados mediante sus intervalos de confianza definido por la precisión de la repetitividad, donde  $r_x$  se considera para los métodos convencionales y  $r_{DDPX}$  para las aplicaciones del método alternativo DDPX.

##### **4.4.1 Contenido de FAME en muestras de referencia**

La comparación de los resultados del contenido de FAME en las muestras Diesel BX de referencia, se muestran en la Figura N° 5-4, donde se grafica la relación de la precisión del método DDPX y del método estándar ASTM D7371.

Donde se aprecia, que el intervalo de confianza definido por el método ASTM D7371 incluye al intervalo de confianza definido por el método DDPX. Lo que equivale, que los pares binarios pertenecientes al Escenario experimental I, tales como el Diesel B2, Diesel B5, Diesel B10 y Diesel B20, cumplen con el requisito de ser muestras de referencia, los cuales pueden ser empleados para comparar los resultados obtenidos con el método estándar ASTM D7371.

También se observa que la función que subtiende el método DDPX se encuentra ligeramente por encima de la media de los resultados obtenidos por el método ASTM D7371, con lo cual se asegura, que los resultados de FAME obtenidos por el método alternativo DDPX siempre cumplirá con estar sobre el mínimo permisible exigido por el método estándar.

TABLA N° 4.7 COMPARACIÓN DE LA REPETITIVIDAD DE LOS RESULTADOS DE FAME EN LAS MUESTRAS DE REFERENCIA, MEDIANTE EL METODO ASTM D7371 Y EL METODO ALTERNATIVO DDPX

N°	Diesel BX	Método DDPX (Modelo I)		Método ASTM D7371	Repetitividad D7371		Repetitividad DDPX	
		Densidad g/cc	FAME % v/v	FAME % v/v	$r_x = 0.01505(X+14.905)$		$X \pm r_{DDPX} = (d_{DBX-e} \pm r_d) \text{tanga} - b$	
Reporte					$-r_x$	$+r_x$	$-r_d$	$+r_d$
Mar-12		$d_{DBX-e}$	$X_{DDPX}$	$X$				
1	B2	0.8399	2.041	1.84	1.59	2.09	1.84	2.24
2	B5	0.8414	5.102	5.01	4.71	5.31	4.90	5.31
3	B10	0.8438	10.00	9.63	9.26	10.00	9.80	10.20
4	B20	0.8486	20.105	19.74	19.22	20.26	19.89	20.32
5	B100	0.8851	96.22	96.22	94.55	97.89	96.01	96.43

$X_{DDPX}$  : FAME obtenido por aplicación del método experimental DDPX (Tabla N° 4.4)

$X$  : FAME obtenido por el método ASTM D7371-12

$r_x$  : Repetitividad del resultado obtenido por el método ASTM D7371-12

$d_{DBX-e}$  : Densidad experimental, obtenida mediante el densímetro digital de precisión (DDP)

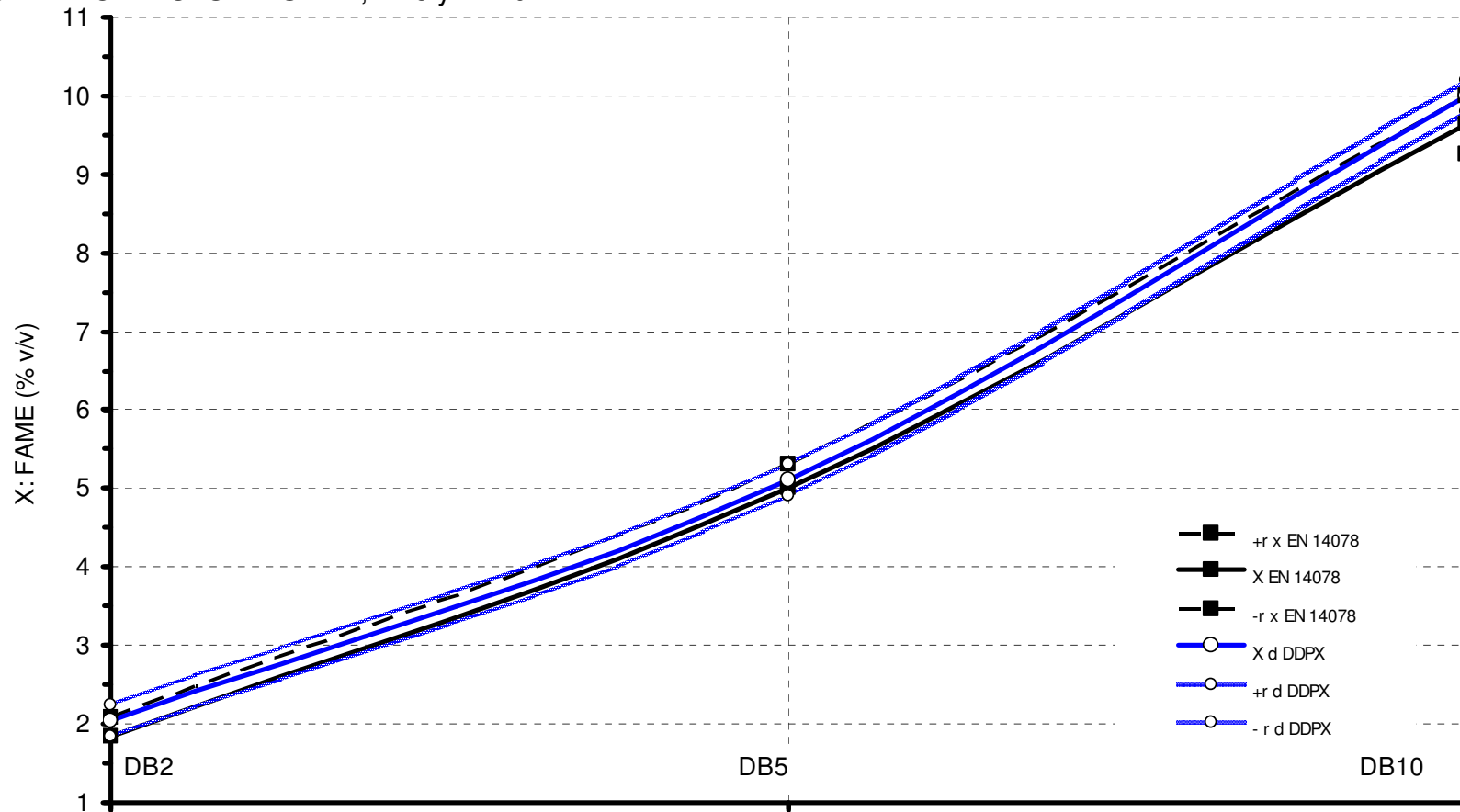
$\text{tanga}$ ,  $b$ : constantes de cada sub- intervalo de medición del escenario experimental I (Tabla N° 4.1), del método DDPX.

$r_{DDPX}$  : Repetitividad del método DDPX

$r_d$  :0.0001 g/cc, repetitividad del resultado de la densidad, obtenido por el método ASTM D4052 y el DDP

Fuente: elaboración propia, muestras de referencia elaboradas en laboratorio (PAP- Marzo 2012)

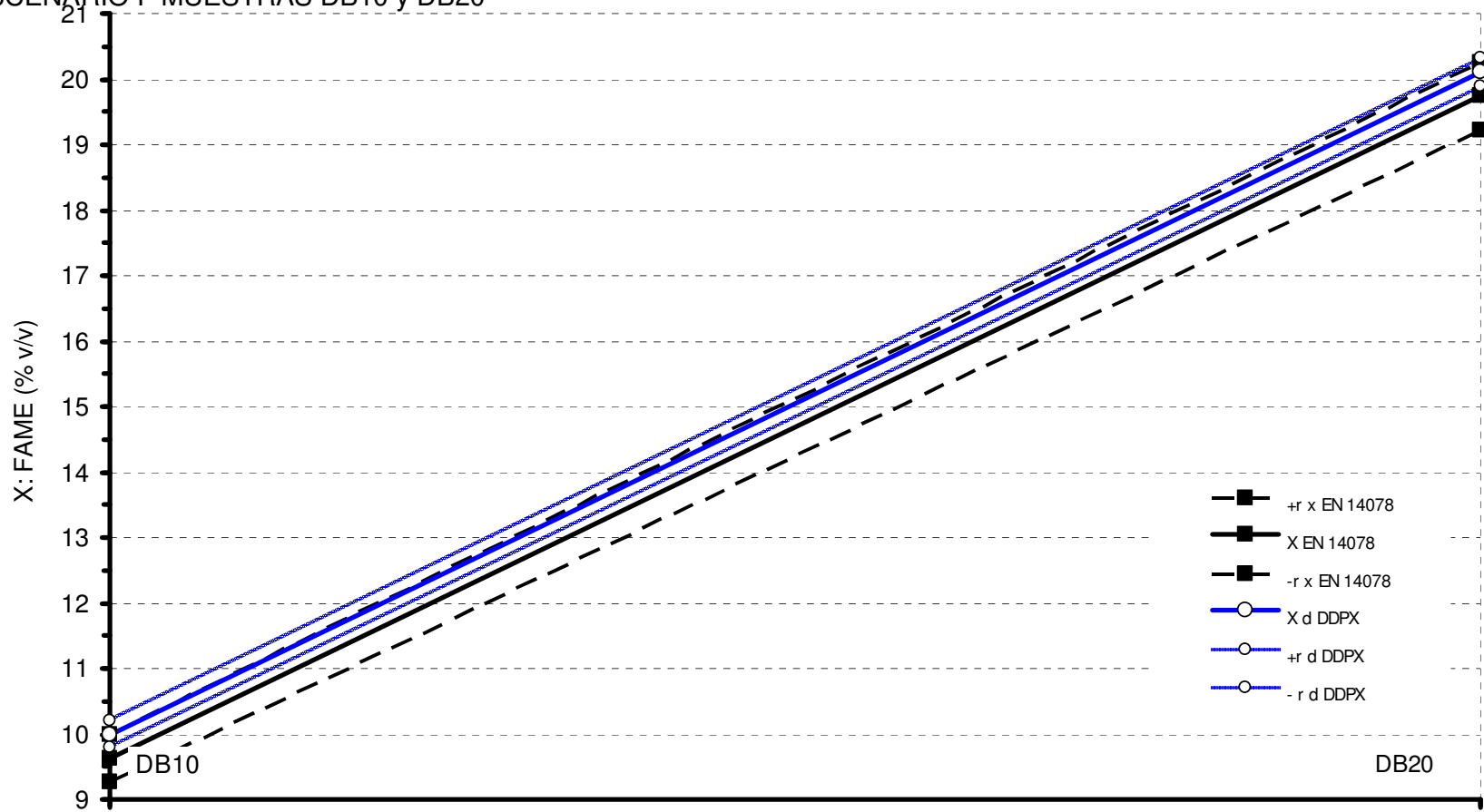
FIGURA Nº 4-4 A) PRECISIÓN DEL MÉTODO DDPX Y DEL MÉTODO ASTM D7371-12  
 ESCENARIO I- MUESTRAS DB2, DB5 y DB10



Fuente: elaboración propia

Muestras de referencia de Diesel BX

FIGURA N° 4-4 B) PRECISIÓN DEL MÉTODO DDPX Y DEL MÉTODO ASTM D7371-12  
 ESCENARIO I- MUESTRAS DB10 y DB20



Fuente: elaboración propia

Muestras de referencia de Diesel BX

#### **4.4.2 Contenido de FAME en Diesel B5 - mezcla en tanque**

El monitoreo del contenido de FAME de los lotes Diesel B5, producidos en la planta de abastecimiento (PAP) se muestran en la Figura N° 4-5, en la cual se comparan los resultados de los métodos DDPX y el método estándar EN 14078-10, respectivamente.

En la Tabla N° 4.8 se detallan los resultados de FAME, incluyendo los límites permisibles establecidos por el cálculo de la repetitividad del método alternativo DDPX y la reproducibilidad del método estándar UNE EN14078.

Donde se observa que el intervalo de confianza de los resultados del método DDPX se encuentran incluidos en el intervalo de confianza definido por el método UNE EN 14078-10. Por lo tanto, el método DDPX es aplicable para mezclas Diesel B5.

TABLA N° 4.8 RESULTADOS DE FAME DE LAS MEZCLAS DIESEL B5 Y LA COMPARACION DE LA PRECISION DEL METODO ALTERNATIVO DDPX Y EL METODO ESTANDAR EN 14078-10

N° Lote	N° Informe	N° Mezcla	Método D4052	Modelo I		N° Informe	Método EN 14078	Método EN 14078		Método DDPX		
				tang $\alpha$	2040.82			Calidad Lab. Acreditado	Reproducibilidad		Repetitividad	
									a	1712.04	% Vol.	-R <sub>x</sub>
Mar-12	Mar-12	Mar-12	d <sub>DB5-e</sub>		X <sub>DDPX</sub>	Mar-12	X	0.4	0.4			
1	49	32	0.8413		4.90	0686H	5.3	4.9	5.7	4.69	5.10	
2	50	33	0.8415		5.31	0690H	5.5	5.1	5.9	5.10	5.51	
3	51	34	0.8414		5.10	0708H	5.3	4.9	5.7	4.90	5.31	
4	54	35	0.8413		4.90	0717H	5.2	4.8	5.6	4.69	5.10	
5	56	36	0.8414		5.10	0760H	5.2	4.8	5.6	4.90	5.31	
6	58	37	0.8414		5.10	0773H	5.3	4.9	5.7	4.90	5.31	
7	59	38	0.8415		5.31	0787H	5.4	5	5.8	5.10	5.51	
8	61	39	0.8414		5.10	0790H	5.3	4.9	5.7	4.90	5.31	
9	62	40	0.8414		5.10	0794H	5.3	4.9	5.7	4.90	5.31	
10	65	41	0.8414		5.10	0803H	5.3	4.9	5.7	4.90	5.31	
11	66	42	0.8413		4.90	0842H	5.2	4.8	5.6	4.69	5.10	
12	68	43	0.8414		5.10	0858H	5.1	4.7	5.5	4.90	5.31	

Tang  $\alpha$ , a: constantes del modelo I del intervalo de medición sub-intervalo bajo, del método experimental DDPX

X<sub>DDPX</sub>: FAME obtenido por aplicación del método experimental DDPX

r<sub>DDPX</sub>: Repetitividad del resultado obtenido por el método experimental DDPX (ecuación Eq-8)

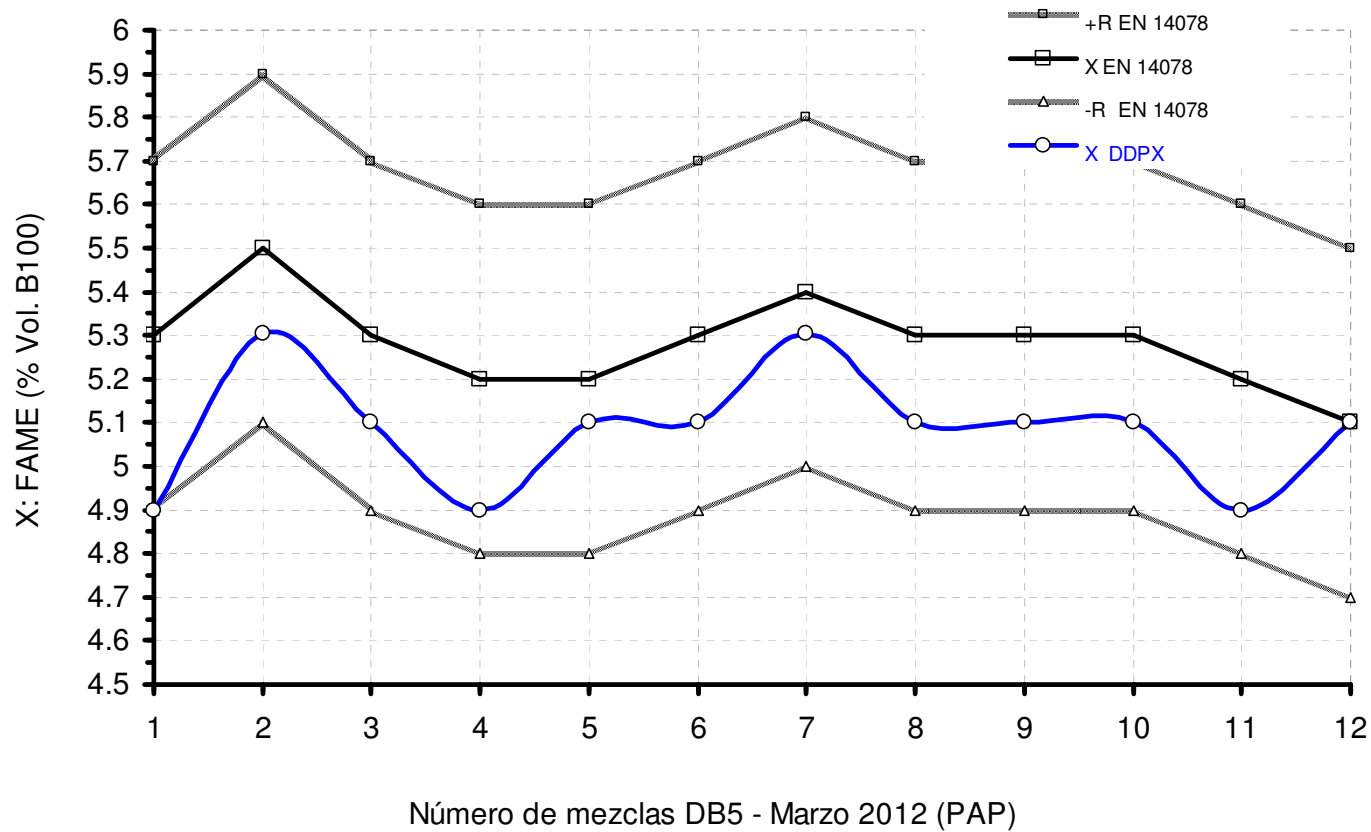
X: FAME obtenido por el método EN 14078-10

R<sub>x</sub>: Reproducibilidad del resultado obtenido por el método EN 14078-12

Fuente: elaboración propia, Mezcla en tanque Diesel B5 (PAP: Planta de abastecimiento y producción- Marzo 2012)

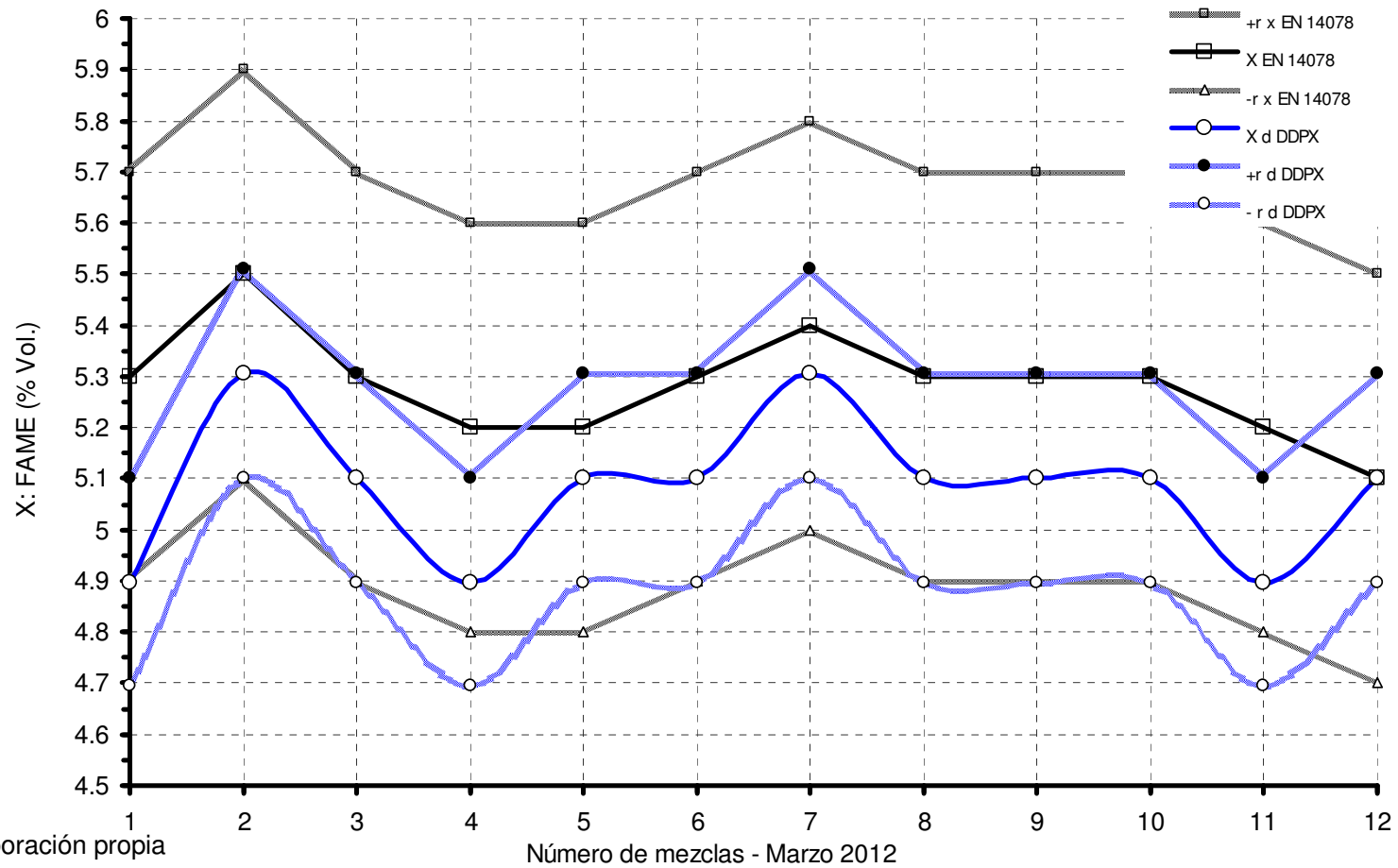


FIGURA N° 4-5 A) MEZCLA DIESEL B5 EN TANQUE-COMPARACION DEL METODO UNE EN 14078-10 Y EL METODO ALTERNATIVO DDPX



Fuente: elaboración propia

FIGURA N° 4-5 B) MEZCLA DIESEL B5 EN TANQUE-COMPARACION DEL METODO UNE EN 14078-10 Y EL METODO ALTERNATIVO DDPX



Fuente: elaboración propia

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES**

- 5.1 se concluye que el método alternativo<sup>1</sup> DDPX es aplicable para complementar y optimizar las operaciones de mezclado de Biodiesel B100 y Diesel N°2 para producir Diesel BX. Dado que, el intervalo de confianza que presentan los resultados de FAME del método alternativo DDPX, se encuentra incluido dentro de los límites permisibles (intervalo de confianza) definidos por el método estándar UNE-EN14078.
- 5.2 Dado que experimentalmente se observa, que la función de FAME que subtiende el método DDPX se encuentra ligeramente por encima de la función establecida por la media de los resultados obtenidos por los métodos estándares ASTM D7371 y UNE EN 14078. Se concluye, que el intervalo de confianza definido por la precisión del método alternativo DDPX, siempre se mantendrá sobre el mínimo permisible ( $-r_x$ ) exigido por los métodos estándares
- 5.3 Se puede determinar indirectamente el porcentaje volumétrico de Biodiesel B100 (FAME) en mezclas Diesel BX, a partir de su densidad resultante y el método alternativo DDPX. Para ello, se debe de emplear un densímetro el cual presente resultados con valores de repetitividad menores o iguales a  $\pm 0.0001 \text{ g/cm}^3$ ,

---

<sup>1</sup> DDPX: Método indirecto para cuantificar FAME (X) en mezclas Diesel BX, mediante un densímetro digital de precisión (DDP) y un modelo desarrollado en la presente tesis, basado en la regresión lineal para determinar la función de la densidad.

- 5.4 El método alternativo DDPX corrige el comportamiento no lineal del contenido de FAME respecto a la densidad. Desviación producida por las impurezas que contiene el Biodiesel B100; por tanto, la función de FAME que define la densidad teórica del Diesel BX, siempre será mayor respecto a la función de FAME definida por la densidad experimental.
- 5.5 El rango precisión del resultado de FAME definido mediante el método alternativo DDPX presenta repetitividad constante, dado que depende de la repetitividad determinada por medición de la densidad. Se debe tener en cuenta que, la precisión del resultado de FAME que se obtiene por los métodos estándares EN 14078 y ASTM D7371, no permanecen constante a lo largo del intervalo de medición en las mezclas Diesel BX, dicho intervalo se hace menos preciso en función del incremento del contenido de Biodiesel B100.
- 5.6 En el presente estudio se define mezcla Diesel BX homogénea o “mezcla de densidad constante”, cuando la de densidad resultante de dos mediciones sucesivas, permanezca en el intervalo definido por la siguiente expresión (ver Eq-8 Pág. 89).

$$X \pm r_{DDPX} = (\text{Tang } \alpha)(d_{DBX} \pm r_d) + a$$

Donde:

a y Tang  $\alpha$ : son constantes, del método experimental denominado DDPX.

$r_d$ : repetitividad que cumple el método ASTM D4052 empleado para determinar la densidad.

$r_{DDPX}$ : repetitividad del porcentaje de FAME obtenido por el método DDPX, el cual se encuentra incluido dentro del intervalo de confianza definido por la repetitividad ( $r_x$ ) que exigen los métodos estándares de cuantificación de FAME (método EN 14078 y ASTM D7371).

- 5.7 Considerando como referencia el método ASTM D7371 con versión del año 2007, para cuantificar FAME en mezclas Diesel B5, se cumple, que el método alternativo DDPX es aplicable para todas las mezclas Diesel B5, que presenten una diferencia mayor a 0.0333 unidades de  $\text{g/cm}^3$  entre las densidades de sus componentes Diesel N° 2 y Biodiesel B100.
- 5.8 Considerando como referencia el método UNE EN14078 con versión del año 2010, para cuantificar FAME en mezclas Diesel B5, se cumple, que el método alternativo DDPX es aplicable para todas las mezclas Diesel B5, que presenten una diferencia mayor a 0.1 unidades de  $\text{g/cm}^3$  entre las densidades de sus componentes Diesel N°2 y Biodiesel B100.
- 5.9 De los reportes de calidad del OSINERMINING del año 2010, se obtiene que, a nivel nacional el mayor porcentaje (entre 30% y 40%) de Diesel N° 2 comercializado en el Perú, corresponde a un Diesel N°2 con una densidad que varía en un rango que se extiende, desde una densidad de  $806 \text{ Kg/m}^3$  (API: 44) hasta una densidad de  $853 \text{ Kg/m}^3$  (API: 34.4). Intervalo de densidad, que se encuentra incluido en lo establecido por la especificación técnica de calidad de la comunidad europea del Diesel automotor, según norma UNE EN 590, el cual comprende mezclas de Diesel BX con densidades, desde  $820 \text{ Kg/m}^3$  (API: 41.1) hasta  $845 \text{ Kg/m}^3$  (API: 36).

## **CAPITULO VI**

### **RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES**

#### **6.1 Recomendaciones**

6.1.1 Se recomienda complementar y mejorar las operaciones de mezclas Diesel BX que se desarrollan a escala industrial, mediante la aplicación del método alternativo DDPX, con el fin de producir mezclas Diesel BX, que se encuentren comprendidas en el rango establecido por las bandas de precisión: entre -BR y +Br, el cual define el escenario óptimo<sup>1</sup> de consumo de Biodiesel B100 en la producción de Diesel BX. Por consecuencia, las mezclas cumplirán las especificaciones técnicas de calidad referido al contenido de FAME, exigidas por el DS 092-2009 EM.

6.1.2 Se recomienda aplicar el método alternativo, instalando el densímetro en las líneas de recirculación de las mezclas en tanque, con el objetivo de reducir el tiempo de residencia del proceso de mezcla. Dado, que los métodos de ensayos estándares, requieren mayor tiempo para el reporte del contenido de FAME del Diesel BX. Donde, se consideraría el término de las operaciones del proceso de mezcla en tanque, al

---

<sup>1</sup> El escenario óptimo de consumo de Biodiesel B100 en la producción de Diesel BX se definió en la sección 2.1.4.4 del capítulo II (Pág.39). BR: consumo afectado por el factor de reproducibilidad, Br: consumo afectado por el factor de repetitividad.

verificar la homogenización de la mezcla Diesel BX al obtener como resultado una “densidad constante”.

6.1.3 Dado que el método alternativo DDPX es un método indirecto de cuantificación de FAME, se recomienda verificar periódicamente los resultados obtenidos por el método alternativo, mediante la comparación de los resultados de FAME, frente a los métodos de ensayos estándares (UNE EN 14078 y ASTM D7371).

6.1.4 Para mejorar la precisión de los resultados del método DDPX, se recomienda un estudio para establecer un modelo de funciones de FAME, con intervalos más cortos del contenido de FAME, en especial en el rango de 0% a 30% de contenido de Biodiesel B100 (FAME) en Diesel BX.

6.1.5 Para elaborar mezclas Diesel BX homogéneas, con contenidos específicos de Biodiesel (FAME: X), se recomienda implementar estándares mínimos de calidad referidos a la pureza del Biodiesel, en las especificaciones técnicas de calidad NTP 321.125. Tales, como el porcentaje de pureza del Biodiesel B100 (FAME) establecida por la norma internacional UNE EN 14103.

A su vez, se recomienda especificar un rango permisible referido al contenido de FAME, en las especificaciones de calidad del Diesel BX, NTP 321.003.

6.1.6 Se recomienda implementar en las especificaciones técnicas de calidad NTP 321.003 correspondiente al Diesel BX, el intervalo de la densidad como parámetro de control de calidad (EN ISO 12185 ó ASTM D4052), análogo a lo establecido por la Unión Europea para las especificaciones técnicas de calidad del Diesel automotor, la cual presenta la siguiente clasificación:

La densidad según la norma UNE EN590-10 para el Diesel automotor, se encuentra en un intervalo comprendido, desde 820 kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 41.1) hasta 845 kg/m<sup>3</sup> (aprox. API: 36), se debe de tener en cuenta, que la medición de las densidades debe ser reportada a la temperatura de 60°F.

## **6.2 Observaciones**

6.2.1 Para determinar el porcentaje de FAME mediante el método alternativo DDPX, se requiere conocer con gran precisión la densidad resultante de la mezcla Diesel BX. Los densímetros de última generación (DDP), que basan la determinación de la densidad en el principio de la frecuencia de oscilación, cumplen con dicho requisito.

6.2.2 Se requiere realizar un monitoreo del contenido de FAME de los agentes comercializadores de Diesel BX a nivel nacional en función de su porcentaje de participación en la demanda nacional de comercialización, con el objetivo de establecer las respectivas tendencias del cumplimiento de los límites permisibles establecidos por los estándares de calidad vigente. Reorganizando el plan de monitoreo de las inspecciones de calidad realizadas por el OSINERGMIN, respecto al contenido de FAME en las mezclas Diesel BX (mediante los métodos de ensayos EN 14078 o ASTM D7371), se podrá obtener la tendencia real del contenido de FAME en las mezclas Diesel BX .

6.2.3 En la actualidad<sup>2</sup> el valor de las fluctuaciones del contenido de Biodiesel B100 que se consume en el Diesel BX a nivel nacional, considerando el precio primario del Diesel BX expresado en soles, podría conllevar a una fluctuación mayor de 43 millones de soles por año, referido al consumo de Biodiesel B100 (ejemplo de aplicación, año 2011, Pág. 41 y Tabla N° 2.10).

---

<sup>2</sup> Fecha de actualización de la tesis, diciembre del 2012.



## CAPITULO VIII

### BIBLIOGRAFIA

- 8.1 Aullon Alcaine A. (2010) ***Biodiesel from Microalgae***, Royal School of Technology-Kungliga Tekniska Högskolan, Chemical Engineering & Technology, Stockholm, Sweden 2010.
- 8.2 Arias G. Fidias, A. G. F. (1999) **El Proyecto de Investigación** Tercera Edición 1999, Editorial Episteme ORIAL EDICIONES Caracas, Venezuela.
- 8.3 Anton Paar (2011) ***Instruction Manual, L-Dens 427, Density Sensors***, Anton Paar GmbH Anton-Paar-Str. 20, A-8054 Graz / Austria – Europe, Web: [www.anton-paar.com](http://www.anton-paar.com), (Visitado: Octubre 2012).
- 8.4 Castro Galván E., Mercader Trejo F. (2000) **Cuantificación de la Incertidumbre en Mediciones Analíticas**, Primera Edición en español 2000, traducción libre, centro nacional de metrología CENAM, México.
- 8.5 Derrégibus M., Somma L., (2010) **Directriz para Validación de Métodos de Ensayo**. [www.organismouruguayodeacreditacion.org](http://www.organismouruguayodeacreditacion.org), (Visitado: Julio 2012).
- 8.6 Duffey A., (2011) **Estudio Regional sobre Economía de los Biocombustibles 2010**: Diálogo de Políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el

Caribe Santiago de Chile, 28 y 29 de marzo, 2011, Unidad de Desarrollo Agrícola, División de Desarrollo Productivo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- 8.7 *Evonik RohMax USA, Inc. (2009) **VISCOPLEX® CFIs Cold Flow Improvers for Biodiesel**, VISCOPLEX Additives GmbH. Pennsylvania 19044-2228 USA, Evonik RohMax Additives GmbH, [www.rohmax.com](http://www.rohmax.com), [www.evonik.com](http://www.evonik.com), (Visitado: Agosto 2012).*
- 8.8 Ganduglia F. (IICA), León J. (ECOPETROL); Gasparini R. y Rodríguez M. (YPF (Grupo RepsolYPF)); Huarte G. (ExxonMobil); Estrada J. (PETROPERU); Filgueiras E. (IBP) (2009) **Manual de Biocombustibles**, Equipo de Proyectos de Biocombustibles de ARPEL-Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural de América Latina y el Caribe.
- 8.9 Maroto Sánchez A., (2002) **Incertidumbre en métodos analíticos de rutina**, Tesis Doctoral, Universitat Rovira I Virgili, FAcultat de Química, Tarragona 2002.
- 8.10 M Cabral – Brazil, G F Cahill – *European Union*, S Howell – *United States of America*, (2007) **White Paper On Internationally Compatible Biofuel Standards**, Tripartite Task Force Brazil, *European Union & United States Of America 2007*.
- 8.11 Ortiz Valenzuela F. (2010) **Modelado del efecto de la viscosidad en la combustión de la mezcla B20 de biodiesel de palma africana tenera en motores de combustión interna encendidos por compresión, tesis presentada como requisito parcial para optar al**

**título de: magíster en ingeniería mecánica**, Universidad Nacional de Colombia, facultad de ingeniería, Bogota, D.C., Colombia.

- 8.12 Palou O., Picó C., Segura M., Bonet Piña P., Oliver Vara F., Serra Vich A., Rodríguez Guerrero J. Ribot Riutort (2005) **El Libro Blanco De Los Esteroles Vegetales**, Segunda Edición Impreso en España, Centro de trabajo: Bioquímica, Biología Molecular, Nutrición y Biotecnología, Departamento de Biología Fundamental y Ciencias de la Salud, Facultad de Ciencias, *Universitat de les Illes Balears*, Palma de Mallorca.
- 8.13 Tamayo y Tamayo M. (1999) **La Investigación**. Tercera Edición 1999, ARFO EDITORES LTDA. Universidad ICESI – Cali, Santa Fe de Bogotá, D.C.
- 8.14 Tat, M.E. and J. H. Van Gerpen, (2000) ***The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel,***” JAOCS, v. 77 (2), pp. 115-119, 2000.
- 8.15 Van Gerpen J.V.G., Shanks B., and Pruszko R., Clements D., Knothe G. (2004) ***Biodiesel Analytical Methods August 2002–January 2004***, Iowa State University, Renewable Products Development Laboratory, USDA/NCAUR, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute.
- 8.16 *World Products Trading* SAC-OSINERGMIN, (2011) **Cálculo del Precio de Referencia del Diesel B2**. Informe presentado por el OSINERGMIN 2009.

## CAPITULO VIII

### ANEXOS

#### ANEXO N° 1

DECRETO SUPREMO N° 041 2005 EM, ESTABLECIDO EI 14/10/2005

#### Especificaciones Diesel N° 1, Diesel N° 2 y Diesel N° 2 Especial

Características	Especificaciones						Métodos de Ensayo		
	Diesel N° 1		Diesel N° 2		Diesel N° 2 Especial		ASTM	ISO	Norma Técnica Peruana
	Min	Máx	Min.	Máx.	Min	Máx.			
<b>VOLATIDAD</b>									
- Densidad a 15°C, kg/m <sup>3</sup>	Reportar		Reportar		Reportar		D 1298:99	3675	
- Destilación, °C (a 760 mm Hg)							D 86:99a	3405:88	PNTD 321.023
90% recuperado a		288	282	360	282	360			
- Punto de inflamación Pensky Martens, °C	38		52		52		D 93: 99b	2719:88	PNTD 321.024
<b>FLUIDEZ</b>									
- Viscosidad Cinemática a 40 °C, cSt	1,3	2,4	1,7	4,1	1,9	4,1	D 445:97	3104:94	PNTD 321.031
- Punto de Escurrimiento, °C (1)		-12		+4		+4	D 97:96a	3016:94	
<b>COMPOSICIÓN</b>									
- Número de Cetano (2)	40		45		50		D 613:95	5165:98	
- Índice de Cetano	40		40		45		D4737.96a D 976.95(3)	4264:95	PNTD 321.130
- Cenizas, % masa		0,01		0,01		0,01	D 482:95	6245:93	
- Residuos Carbón Ramsbottom 10% Fondos, % masa (4)		0,15		0,35		0,35	D 524:97 D 189: 97	4262:93, 6615:93	
<b>CORROSIVIDAD</b>									
Corrosión Lámina de Cobre 3 h. 50 °C, N°		3		3		3	D 130:94	2160:98	PNTD 321.021
Azufre Total % Masa		0,3		0,5		0,05	D 129:95 D 2622:98 D 4294:98	8754:92	
<b>CONTAMINANTES</b>									
Agua y Sedimentos % Vol.		0,05		0,05		0,05	D 1796:97 D 2709:96	3734:97	PNTD 321.029
<b>Notas:</b> (1) Cuando el cliente lo requiere, se determinará el Punto de Niebla o Enturbiamiento por el Método de Ensayo ASTM D 2500-98a (2) En caso de no contar con el equipo del Método de Ensayo ASTM D 613-95 (Número de Cetano), se calculará el Índice de Cetano con el Método de Ensayo ASTM D 4737. 96a (3) Solamente para combustibles Diesel de rango de número de Cetano entre 56,5 a 60,0 se utilizará el método ASTM D 976 para calcular el Índice de Cetano (4) En caso de contar con el equipo, se calculará esta propiedad utilizando el Apéndice XI del Método de Ensayo ASTM D 524 97, que relaciona el ensayo de Carbón Conradson (Método de Ensayo ASTM D 189:97) con el Carbón Ramsbottom									

El DS N° 092 -2009-EM, modifica el artículo 4° del DS N° 041-2005-EM, el cual modifica el DS N° 025-2005-EM, que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N° 1 y 2 respectivamente.

## DECRETO SUPREMO N° 092 -2009-EM, ESTABLECIDO EI 31/12/2009

(Modifica al DS N° 041-2005-EM aplicado para el Diesel N° 2 S50)

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES		MÉTODOS DE ENSAYO		
	Mínimo	Máximo	ASTM	ISO	UNE EN
Densidad a 15 °C, Kg/m <sup>3</sup>	Reportar		D 1298 D 4052	3675	
<b>FLUIDEZ</b>					
Viscosidad Cinemática a 40°C, cSt (A)	1.9	4.1	D 445	3104	
Punto de Escumamiento, °C (B)		4	D 97	3016	
<b>COMPOSICIÓN</b>					
Número de Cetano (C)	45		D 613	5165	
Índice de Cetano	45		D 4737 D 976 (**)	4264	
Cenizas, % masa		0.01	D 482	6245	
Residuo de Carbón Remsbottom, 10%fondos, % masa (D)		0.35	D 524 D 189	4262 6615	
Azufre total, mg/Kg (ppm)		50	D 4294 D 5453 D 2622	14596 4260	
<b>CORROSIVIDAD</b>					
Corrosión a la lamina de Cobre, 3h, 50 °C, N°		3	D 130	2160	
<b>CONTAMINANTES</b>					
Agua y Sedimentos, % Vol		0.05	D 1796 D 2709	3734	
<b>LUBRICIDAD</b>					
Lubricidad, diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60 °C, micron		520	D 6079	12156	
<b>REQUERIMIENTOS DE OPERATIVIDAD</b>					
Punto Obstrucción del Filtro, Flujo en Frío, °C (CFPP) o (POFF)		-8	D 6371		116
<b>CONDUCTIVIDAD</b>					
Conductividad, pS/m (E)	25		D 2624 D 4308		
<b>BIODIESEL 100 (B100)</b>					
Contenido, % Vol	2 (***)		D7371		14078

## NOTAS:

- (A): El resultado del Método de Ensayo de la Viscosidad Cinemática a 40 °C puede ser 1.7 cSt, si se tiene una temperatura de Punto de Nube menor que -12 °C.
- (B): Cuando el cliente lo requiera, se determinara el Punto de Nube por Método de Ensayo ASTM D 2500
- (C): En caso de no contar con el equipo del Método de Ensayo D 631 (Número de Cetano), se calculará el Índice de Cetano con el Método de Ensayo ASTM D 4737
- (D): En caso de no contar con el equipo, se calculará esta propiedad utilizando el Apéndice X1 del Método de Ensayo ASTM D 524, que relaciona el ensayo de Carbón Conradson (Método de Ensayo ASTM D-189) con el Carbón Ramsbottom.
- (E): El resultado del Método de Ensayo de la Conductividad Eléctrica se determinará para cada lote de producto a la temperatura de entrega del combustible. El requerimiento mínimo de conductividad 25 pS/m, aplicará para los casos de transferencias a alta velocidad (7 m/s) y baja velocidad (transportes móviles: sistemas, barcas, etc).
- (\*) Las Especificaciones establecidas en el presente cuadro son válidas para el Diesel N° 2 con contenido máximo de 50 ppm de Azufre, excepto en el contenido de Biodiesel 100 (B100) o FAME (Metil Ester del Ácido Graso), cuya concentración debe ser 0,0 % en volumen.
- (\*\*) El Método de Ensayo ASTM D 976, se usará únicamente para combustibles Diesel de rango Número de Cetano entre 56.5 a 60.
- (\*\*\*) A partir del 01 de enero de 2011, el contenido de B100 será 5 % en volumen.

**DECRETO SUPREMO  
N° 092-2009-EM**

Mediante Oficio N° 022-2010-SCM-PR, la Secretaría del Consejo de Ministros solicita se publique Fe de Erratas del Decreto Supremo N° 092-2009-EM; publicado en la edición del 31 de diciembre de 2009.

En la tabla del artículo 1°:

**DICE:**

"Artículo 4°.- (...)

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES		MÉTODOS DE ENSAYO		
	Mínimo	Máximo	ASTM	ISO	UNE EN
Índice de Cetano	45		D 4737	4264	
			D 976 (**)		

(...)"

**DEBE DECIR:**

"Artículo 4°.- (...)

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES		MÉTODOS DE ENSAYO		
	Mínimo	Máximo	ASTM	ISO	UNE EN
Índice de Cetano	40		D 4737	4264	
			D 976 (**)		

(...)"

En la nota (C) de la tabla del artículo 1°:

**DICE:**

"Artículo 4°.- (...)

(C) En caso de no contar con el equipo del Método de Ensayo D.631 (Número de Cetano), (...)."

**DEBE DECIR:**

"Artículo 4°.- (...)

(C) En caso de no contar con el equipo del Método de Ensayo ASTM D 613 (Número de Cetano), (...)."

En la nota (\*) de la tabla del artículo 1°:

**DICE:**

"Artículo 4°.- (...)

(\*) (...), excepto en el contenido de Biodiesel 100 (B100) o FAME (Metil Ester del Ácido Graso), (...)."

**ANEXO N° 2**

LEY N° 28054, LEY DE PROMOCIÓN DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES

**LEY N° 28054**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

LA COMISIÓN PERMANENTE DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley Siguiente:

**LEY DE PROMOCIÓN DEL  
MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES**

**Artículo 1°.- Objeto de la Ley**

La presente Ley establece el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la Lucha contra las Drogas.

**Artículo 2°.- Definición de biocombustibles**

Se entiende por biocombustibles a los productos químicos que se obtengan de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplan con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes.

**Artículo 3°.- Políticas Generales**

El poder Ejecutivo implementará las políticas generales para la promoción del mercado de biocombustibles, así como designará a las entidades estatales que deben ejecutarlas.

Son políticas generales:

1. Desarrollar y fortalecer la estructura científico-tecnológica destinada a generar la investigación necesaria para el aprovechamiento de los biocombustibles;

2. Promover la formación de recursos humanos de alta especialización en materia de biocombustibles comprendiendo la realización de programas de desarrollo y promoción de emprendimientos de innovación tecnológica;
3. Incentivar la participación de tecnologías, el desarrollo de proyectos experimentales y la transferencia de tecnología adquirida, que permitan la obtención de biocombustibles mediante la utilización de todos los productos agrícolas o agroindustriales o los residuos de éstos;
4. Incentivar la participación privada para la producción de biocombustibles;
5. Incentivar la comercialización de los biocombustibles para utilizarlos en todos los ámbitos de la economía en su condición de puro o mezclado con otro combustible;
6. Promover la producción de biocombustibles en la Selva, dentro de un Programa de Desarrollo Alternativo Sostenible;
7. Otros que determine el Poder Ejecutivo para el logro de lo establecido en el artículo 1° de la presente Ley.

#### **Artículo 4°.- Uso de biocombustibles**

El poder Ejecutivo dispondrá la oportunidad y las condiciones para el Establecimiento del uso del etanol y el biodiesel.

#### **Artículo 5°.- Programa de Cultivos Alternativos**

DEVIDA como Ente Rector en la Lucha Contra las Drogas en el Perú, conjuntamente con los Gobiernos Regionales y PROINVERSIÓN elaborarán Proyectos dentro del Programa de Desarrollo Alternativo, que promoverán la inversión privada, así como fondos de Cooperación Internacional en la zona de ceja de selva orientados a la obtención de biocombustibles. Las entidades estatales dentro del portafolio de combustibles, dispondrán la compra de biocombustibles producidos dentro de los programas vinculados a la Lucha contra las Drogas.



## **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS Y TRANSITORIAS**

**Primera.-** Créase el Programa de Promoción del uso de Biocombustibles – PROBIOCOM, el cual estará a cargo de PROINVERSIÓN, que tendrá por objeto promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles y difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso.

**Segunda.-** Constituyese una Comisión Técnica encargada de proponer y recomendar las normas y disposiciones complementarias para el cumplimiento de la presente Ley, observando los siguientes lineamientos básicos:

- a. Elaborar el cronograma y porcentajes de aplicación y uso del etanol anhidro, como componente para la oxigenación de las gasolinas, así como el uso de biodiesel en el combustible diesel.
- b. Proponer un programa de sensibilización a los usuarios y a las instituciones públicas hacia el uso de etanol anhidro y biodiesel.

**Tercera.-** La Comisión Técnica señalada en la disposición precedente está presidida por un representante del Consejo Nacional del Ambiente – CONAM- e integrada por los representantes de:

- a. Ministerio de Energía y Minas.
- b. Ministerio de Economía y Finanzas.
- c. Ministerio de Agricultura.
- d. Agencia de Promoción de la Inversión PROINVERSIÓN.
- e. Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas – DEVIDA.
- f. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.
- g. Asociación Peruana de Productores de Azúcar y Biocombustibles.

**Cuarta.-** La Comisión Técnica, referida en la disposición segunda, tendrá un plazo de ciento ochenta días desde la entrada en vigencia de la presente Ley, para remitir al Poder Ejecutivo sus propuestas y recomendaciones.

**Quinta.-** El Poder Ejecutivo reglamentará la presente Ley en un plazo no mayor a noventa días de recibida la propuesta de la Comisión Técnica.

Comuníquese al señor Presidente de la República para su promulgación.

En Lima, a los quince días del mes de julio de dos mil tres.

CARLOS FERRERO

Presidente del Congreso de la República

HILDEBRANDO TAPIA SAMANIEGO

Tercer Vicepresidente del Congreso de la República

AL SEÑOR PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA

POR TANTO:

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los siete días del mes de agosto del año dos mil tres.

ALEJANDRO TOLEDO

Presidente Constitucional de la República

BEATRIZ MERINO LUCERO

Presidenta del Consejo de Ministros.

**ANEXO N° 3**

DECRETO SUPREMO N° 021- 2007 EM, ACTUALIZADO POR EL DS 064-2008-EM

Aprueban Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles

DECRETO SUPREMO N° 021-2007-EM

**CONCORDANCIAS:**

R.M. N° 165-2008-MEM-DM (Establecen disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20)

R.D. N° 243-2008-EM-DGH (Establecen período de transición durante el cual los agentes del mercado que cuenten con autorizaciones para recibir, almacenar, despachar, transportar y comercializar Diesel 2, puedan recibir, almacenar, despachar, transportar y comercializar Diesel B2, y los autorizan a mezclar progresivamente existencias de Diesel 2 con Diesel B2)

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

**CONSIDERANDO:**

Que, la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, establece el marco general para promover el mercado de los Biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo y disminuir la contaminación ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se aprobó el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, que contiene normas para la comercialización y promoción de los Biocombustibles;

Que, a efectos de cumplir con el objeto de la Ley N° 28054, se ha visto por conveniente aprobar un reglamento específico para la comercialización de Biocombustibles, con la finalidad de establecer los requisitos para su comercialización y distribución, así como hacer referencia a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos;

De conformidad con la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, y en uso de las atribuciones previstas en los numerales 8 y 24 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú;

#### DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles

Aprobar el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles que contiene dos (2) Títulos, catorce (14) artículos, una (1) Disposición Transitoria y una (1) Disposición Complementaria, que como anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Disposiciones derogatorias

Quedan derogados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo los artículos 3, 4 y 5, el Capítulo I del Título II y las Disposiciones Transitorias del Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM.

Derogar las demás normas que se opongan a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Vigencia

El presente Decreto Supremo entrará en vigencia a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Artículo 4.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros, el Ministro de Energía y Minas, el Ministro de

Economía y Finanzas, el Ministro de la Producción y el Ministro de Agricultura.

Dado en la ciudad de Chiclayo, a los dieciocho días del mes de abril del año dos mil siete.

ALAN GARCÍA PÉREZ

Presidente Constitucional de la República

JORGE DEL CASTILLO GÁLVEZ

Presidente del Consejo de Ministros

JUAN VALDIVIA ROMERO

Ministro de Energía y Minas

LUIS CARRANZA UGARTE

Ministro de Economía y Finanzas

RAFAEL REY REY

Ministro de la Producción

JUAN JOSÉ SALAZAR GARCÍA

Ministro de Agricultura

Reglamento para la comercialización de Biocombustibles

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto

El presente Reglamento establece los requisitos para la comercialización y distribución de los Biocombustibles, así como lo referente a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos.

## Artículo 2.- Contenido

Este Reglamento contiene:

a) Las normas correspondientes a la comercialización y distribución de Biocombustibles puros y sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos tales como las gasolinas y Diesel N° 2, por intermedio de los Distribuidores Mayoristas debidamente autorizados.

b) Las Normas Técnicas de calidad que se deben cumplir.

c) Las normas correspondientes para el registro de las mezclas de Biocombustibles con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos ante la Dirección General de Hidrocarburos.

## Artículo 3.- Referencias

Cuando en el presente Reglamento se haga referencia a la Ley, se entenderá que se está haciendo referencia a la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles. Asimismo, cuando se mencione un artículo sin hacer referencia a norma alguna, estará referido al presente Reglamento.

## Artículo 4.- Definiciones

En el presente Reglamento se utilizarán los siguientes términos cuya definición se detalla a continuación:

**Alcohol Carburante:** Es el Etanol Anhidro Desnaturalizado, obtenido de la mezcla del Etanol Anhidro con la Sustancia Desnaturalizante en una proporción volumétrica no inferior a 2% (dos por ciento) ni superior a 3% (tres por ciento) en el caso de ser gasolina motor sin contenido de plomo.

**Bases de Mezcla:** Son las gasolinas de 97, 95, 90, 84 octanos y otras que se encuentren autorizadas para su comercialización en el país así como el Diesel N° 2, cuyas calidades se establecen en las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. Queda prohibido utilizar el Diesel N° 1 para mezclarlo con el Biodiesel B100.

**Biocombustibles:** Productos químicos que se obtienen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplen con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes para su uso como combustible. Éstos pueden ser sólidos (biomasa), gaseosos (biogás, gas de gasificador u otros tipos de gas manufacturados a partir de residuos, carbón, etc) o líquidos.

Para fines del presente Reglamento entiéndase como Biocombustibles al Alcohol Carburante y al Biodiesel.

**Biodiesel:** Combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de recursos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales, para ser usados en motores de ciclo Diesel.

Para fines del presente Reglamento se entiende como una sustancia oleaginosa obtenida a partir del aceite de palma, higuera, piñón, soya, colza, girasol y otros vegetales oleaginosos, así como grasas animales y aceites comestibles usados.

**Diesel BX:** Es la mezcla que contiene Diesel N° 2 y Biodiesel B100, donde X representa el porcentaje en base volumétrica de Biodiesel B100 contenido en la mezcla; siendo el diferencial volumétrico el porcentaje de Diesel N° 2.

**Biodiesel B100:** Biodiesel puro, sin mezcla alguna, que cumple las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas Peruanas o, mientras éstas no sean aprobadas, la norma ASTM D 6751-06 en su versión actualizada o las correspondientes normas internacionales.

**Etanol:** Es el alcohol etílico cuya fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro, volátil, inflamable y soluble en agua.

Para los efectos de este Reglamento se entiende como el alcohol obtenido a partir de caña de azúcar, sorgo, maíz, yuca, papa, arroz y otros cultivos agrícolas.

Etanol Anhidro: Tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener como máximo 0,5% (cero coma cinco por ciento) de humedad y por ser compatible con las gasolinas con las cuales se puede mezclar para producir un combustible oxigenado para uso motor.

Gasohol: Es la mezcla que contiene gasolina (de 97, 95, 90, 84 octanos y otras según sea el caso) y Alcohol Carburante.

Sustancia Desnaturalizante: Gasolina natural, componentes de gasolina, gasolina sin plomo u otras sustancias añadidas al Etanol Anhidro, en una concentración volumétrica no inferior a 2% (dos por ciento) ni superior a 3% (tres por ciento) para convertirlo en no potable y evitar que sea destinado a usos diferentes al de componente oxigenante de combustibles para uso motor.

#### Artículo 5.- Normas Técnicas

Las características técnicas del Alcohol Carburante (Etanol Anhidro Desnaturalizado) y del Biodiesel B100 se establecen en las correspondientes Normas Técnicas Peruanas aprobadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI; en tanto éstas no sean aprobadas se aplicarán las normas técnicas internacionales correspondientes, para el Etanol Anhidro Desnaturalizado la ASTM D 4806-06 y para el Biodiesel B100 la ASTM D 6751-06 en sus versiones actualizadas.

CONCORDANCIAS: R.M. N° 165-2008-MEM-DM (Establecen disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20)

#### Artículo 6.- Ámbito de aplicación, alcances y órganos competentes

El presente Reglamento se aplica a nivel nacional y establece las normas que deben cumplir los productores y comercializadores de



Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y los comercializadores y distribuidores de Gasohol y Diesel BX.

Los organismos competentes para efectos del presente Reglamento son:

a) El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Hidrocarburos, es competente para otorgar los registros y autorizaciones correspondientes a la comercialización de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2, a través del agente denominado Distribuidor Mayorista, utilizando la cadena de comercialización de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos.

b) El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), es el organismo público encargado de la supervisión y fiscalización del cumplimiento del presente Reglamento, en lo que respecta a la comercialización, transporte y a la calidad de los Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2; así como de la emisión del Informe Técnico Favorable (ITF) correspondiente a las modificaciones y/o ampliaciones de las instalaciones que sean necesarias efectuar para la comercialización de estos productos. (\*)

(\*) Literal modificado por el Artículo 1 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

“b) El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), es el organismo público encargado de la supervisión y fiscalización del cumplimiento del presente Reglamento, en lo que respecta a la comercialización y a la calidad de los Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2; así como de la emisión del Informe Técnico Favorable (ITF) correspondiente a las modificaciones y/o ampliaciones de las instalaciones que sean necesarias efectuar para la comercialización de estos productos. La competencia del OSINERGMIN empieza en las Refinerías y en las Plantas de Abastecimiento, lugares donde se realizarán las mezclas.

La fiscalización de la calidad de los biocombustibles será realizada por el OSINERGMIN en el punto donde las empresas productoras de biocombustibles entregan sus productos.”

CONCORDANCIAS: R.M. N° 165-2008-MEM-DM (Establecen disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20)

c) El Ministerio de la Producción, es competente para otorgar autorizaciones para la instalación y funcionamiento de las plantas productoras de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100). Dado el caso de proyectos que involucren cultivos, el Ministerio de la Producción coordinará con el Ministerio de Agricultura para establecer el procedimiento de la autorización correspondiente.

d) El Ministerio de Agricultura es competente para identificar y promover el desarrollo de las áreas disponibles con aptitud agrícola para la producción de Biocombustibles en el país.

## TÍTULO II

### DE LA COMERCIALIZACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES Y DE SUS MEZCLAS CON LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE LOS HIDROCARBUROS

Artículo 7.- Porcentaje de la mezcla de Alcohol Carburante con gasolinas

El porcentaje en volumen de Alcohol Carburante en la mezcla gasolina - Alcohol Carburante que podrá comercializarse en el país será de 7,8% (siete coma ocho por ciento) y se le denominará Gasohol, según el grado de octanaje: Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus.

### Artículo 8.- Comercialización y cronograma de aplicación del Gasohol

- A partir de la vigencia de la presente norma el Gasohol podrá ser comercializado en todo el país, en las condiciones establecidas en la presente norma.

- A partir del 1 de enero de 2010 el Gasohol será de uso obligatorio en todo el país y reemplazará a todas las gasolinas motor.

### Artículo 9.- Porcentaje de la mezcla de Biodiesel B100 con Diesel N° 2

El porcentaje de Biodiesel B100 en la mezcla de Biodiesel B100 - Diesel N° 2 que se comercialice en el país, será desde 2% (dos por ciento) hasta 20% (veinte por ciento). No está permitida la comercialización de mezclas en proporciones diferentes a las establecidas en la tabla siguiente:

% Vol. Biodiesel B100	% Vol. Diesel N° 2	Denominación
2	98	Diesel B2
5	95	Diesel B5
20	80	Diesel B20

Artículo 10.- Cronograma para la comercialización de Biodiesel B100 y de Diesel BX:

La comercialización del Biodiesel B100 y del Diesel BX será de acuerdo al siguiente cronograma:

- A partir de la vigencia del presente Reglamento el Biodiesel B100 y el Diesel B20 podrán ser comercializados por los Distribuidores Mayoristas solamente a los Consumidores Directos autorizados por la Dirección General de Hidrocarburos para adquirir estos productos.

- A partir de la vigencia del presente Reglamento se podrá comercializar en todo el país el Diesel B2.

- A partir del 1 de enero de 2009 la comercialización de Diesel B2 será obligatoria en todo el país, en reemplazo del Diesel N° 2.

- A partir del 1 de enero de 2011 la comercialización de Diesel B5 será obligatoria en todo el país, en reemplazo del Diesel B2.

Artículo 11.- Calidad del Alcohol Carburante, Biodiesel B100, Gasohol y Diesel BX.

Las características técnicas o especificaciones de calidad del Alcohol Carburante y del Biodiesel B100 se establecen en el artículo 5 del presente Reglamento. La calidad de estos productos debe ser garantizada por el productor mediante un certificado de calidad.

Las características técnicas o especificaciones de calidad que deben cumplir el Gasohol y el Diesel BX serán establecidas por el Ministerio de Energía y Minas mediante Resolución Ministerial.

CONCORDANCIAS: R.M. N° 165-2008-MEM-DM (Establecen disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20)

Artículo 12.- Comercialización Mayorista

Los Distribuidores Mayoristas con inscripción vigente en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas son los únicos autorizados para comprar Alcohol Carburante y Biodiesel B100 de los productores para su comercialización y para su mezcla con gasolinas y Diesel N° 2 respectivamente.

Las empresas productoras de Biodiesel B100 y de Alcohol Carburante que deseen comercializar estos productos, sólo podrán venderlos a los Consumidores Directos y a los Distribuidores Mayoristas. Para venderlos a Consumidores Directos deberán registrarse como Distribuidores Mayoristas y no tendrán la obligación de tener un volumen mínimo de ventas ni mantener una existencia medía mensual mínima de los productos que comercialicen. (\*)

(\*) Artículo modificado por el Artículo 2 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

#### “Artículo 12.- Comercialización Mayorista

Las Refinerías y los Distribuidores Mayoristas con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos son los únicos autorizados para comprar Alcohol Carburante y Biodiesel B100, de las empresas productoras de Biocombustibles, para su mezcla con gasolina y Diesel N° 2 respectivamente.

Las empresas productoras de Biodiesel B100 que deseen comercializar este producto, sólo podrán venderlo a Refinerías, Distribuidores Mayoristas y Consumidores Directos debidamente registrados en la Dirección General de Hidrocarburos - DGH. Para efectuar ventas de Biodiesel B100, deberán registrar en la DGH el referido producto, detallando su clasificación, características y especificaciones de calidad contenida en la norma técnica correspondiente. Para el registro del producto deberán presentar la documentación siguiente:

- a) Solicitud de acuerdo a formato, consignando el número de RUC.
- b) Formato de declaración jurada (por cada producto).
- c) Especificaciones de calidad del producto adjuntando el certificado de análisis químico realizado por un laboratorio mediante ensayos acreditados para el respectivo producto. La vigencia del certificado de análisis será de treinta (30) días desde su fecha de expedición.
- d) Plan de producción anual por mes.”

#### Artículo 13.- Lugares de Mezcla y Expendio

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel B100 con Diesel N° 2 se realizarán únicamente en las Plantas de Abastecimiento, que cuenten con inscripción vigente en el Registro de la Dirección General de Hidrocarburos, para lo cual éstas deberán realizar las adecuaciones correspondientes para las operaciones de mezcla en línea, que estarán a cargo del operador de la Planta de Abastecimiento.

Los Grifos y/o Estaciones de Servicios debidamente inscritos en el Registro de Hidrocarburos podrán vender solamente Diesel B2 o Diesel B5 y Gasohol.

Los surtidores de expendio deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores deberán tener la leyenda “Gasohol 97Plus, Gasohol 95Plus, Gasohol 90Plus y Gasohol 84Plus”. En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores “Diesel B2” o “Diesel B5” según corresponda. (\*)

(\*) Artículo modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

#### “Artículo 13. - Lugares de Mezcla y Expendio

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel B100 con Diesel N° 2, se podrán realizar en las Refinerías o en las Plantas de Abastecimiento que cuenten con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos; para lo cual los operadores de estas instalaciones deben efectuar las adecuaciones necesarias que le permitan realizar las operaciones de mezcla en tanque o en línea, según corresponda, debiendo contar con el respectivo Informe Técnico Favorable (ITF), emitido por el OSINERGMIN.

A partir de las fechas indicadas en los artículos 8 y 10 del Reglamento, los Establecimientos de Venta al Público de Combustibles debidamente inscritos en el Registro de Hidrocarburos, no podrán comercializar Diesel 2 y gasolinas debiendo en su reemplazo comercializar Diesel B2 o Diesel B5 y Gasohol.

Los surtidores o dispensadores de expendio deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores o dispensadores deberán tener la leyenda “Gasohol 98 Plus, Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus”. En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores o dispensadores “Diesel B2” o “Diesel B5” según corresponda.”

#### Artículo 14.- Obligación de informar al usuario

En la comercialización de los Biocombustibles y de sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos, el vendedor

previamente deberá informar al usuario, de manera clara y adecuada, sobre las características, la forma de uso, y toda la información relacionada con el producto. La información que proporcione el vendedor deberá ser por escrito.

### “TÍTULO III DE LOS INFORMES

#### Artículo 15.- Información a proporcionar

Las empresas productoras de Biocombustibles deben presentar a la Dirección General de Hidrocarburos - DGH, en la primera quincena de enero, su plan de producción anual por meses.

Las empresas productoras de Biocombustibles, así como los operadores de Plantas de Abastecimiento, Distribuidores Mayoristas y Consumidores Directos que efectúen actividades de comercialización de Biocombustibles y/o de sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos, están obligados a proporcionar información necesaria para el cumplimiento de las funciones de las autoridades competentes, en la oportunidad, formato y medio tecnológico que éstas determinen.” (\*)

(\*) Título incorporado por el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008.

### DISPOSICIÓN TRANSITORIAS

#### Única.- Actualización del Registro de la DGH

Las ampliaciones o modificaciones que deban realizar los agentes de la cadena de comercialización de Combustibles Líquidos, para almacenar y/o comercializar Gasohol, Diesel BX, Biodiesel B100 y Alcohol Carburante deberán ser puestas en conocimiento de la Dirección General de Hidrocarburos, a fin de actualizar el Registro correspondiente. (\*)

(\*) Disposición modificada por el Artículo 5 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto es el siguiente:

“Única.- Actualización del Registro de la DGH

Las ampliaciones o modificaciones en las instalaciones que corresponden realizar a los agentes de la cadena de comercialización de Combustibles líquidos, para almacenar y/o comercializar Gasohol, Diesel BX, Biodiesel B100 y Alcohol Carburante deberán ser puestas en conocimiento de la Dirección General de Hidrocarburos, a fin de actualizar el Registro correspondiente.

De acuerdo a los cronogramas indicados en los artículos 8 y 10 del Reglamento, en las inscripciones del Registro de Hidrocarburos así como en las respectivas Constancias de Registro, a partir del 1 de enero de 2009, la denominación “Diesel N° 2” se entenderá que se refiere al “Diesel B2” y a partir del 1 de enero de 2011 en reemplazo de este último, se entenderá que se refiere al “Diesel B5”. Asimismo, a partir del 1 de enero de 2010 la denominación “Gasolina 98, 97, 95, 90 y 84” se entenderá que se refiere al “Gasohol 98 Plus, 97 Plus, 95 Plus, 90 Plus y 84 Plus”; sin perjuicio de lo establecido en el tercer párrafo del Art. 13 del presente Reglamento.”

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA

Única.- Excepción en la aplicación del Reglamento

Los Consumidores Directos cuyos motores y equipos no sean compatibles con el Biodiesel podrán seguir consumiendo Diesel N° 2 (NTP 321.003.2005), Diesel Marino (NTP 321.139.2003) y Diesel N° 2 de Uso Militar (NTP 321.135.2002); para lo cual deberán ponerlo en conocimiento de la Dirección General de Hidrocarburos. (\*)

(\*) Disposición derogada por el Artículo 6 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008.



**ANEXO N° 4****RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 165-2008 MEM-DM**

Establecen disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL****N° 165-2008-MEM/DM**

Lima, 7 de abril de 2008

**VISTO** el Informe N° 002-2007-DGH/DPCG de la Dirección de Promoción y Concesiones de Gas Natural y de Biocombustibles de la Dirección General de Hidrocarburos sobre la calidad del Diesel BX indicando que es necesario establecer los parámetros de calidad que debe cumplir este combustible.

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles se establece el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objeto de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, así como disminuir la contaminación ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se aprobó el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, que contiene normas para la comercialización y promoción de los biocombustibles;

Que, mediante Decreto Supremo N° 021-2007-EM, se aprobó el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles; con el fin de establecer los requisitos para su comercialización y distribución, así como hacer referencia a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos;

Que, de acuerdo con lo establecido por el artículo 5° del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, el Biodiesel B100 puro, sin mezcla alguna, debe de cumplir las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas Peruanas o, mientras éstas no sean aprobadas, la norma ASTM D 6751-06 en su versión actualizada;

Que, el literal b) del artículo 6º del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, dispone que el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN es el órgano competente para la supervisión y fiscalización de la comercialización, transporte y calidad de los Biocombustibles, y sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2.

Que, el artículo 11º del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, indica que las características técnicas o especificaciones de calidad que debe cumplir el Diesel BX serán establecidas por el Ministerio de Energía y Minas mediante Resolución Ministerial;

Que, de acuerdo a la definición contenida en el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, el Diesel BX es una mezcla que contiene Diesel N° 2 y Biodiesel B 100, donde X representa el porcentaje, en base volumétrica, de Biodiesel B 100 (2%, 5% y 20%) contenido en la mezcla; siendo el diferencial volumétrico el porcentaje de Diesel N° 2;

Que, según lo establecido por el Decreto Supremo N° 025-2005-EM que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N° 2, modificado por el Decreto Supremo N° 041-2005-EM, la calidad del Diesel N° 2 que se consume en el país debe cumplir con la especificación aprobada en dichos dispositivos;

Que, los volúmenes de 2% y 5% de Biodiesel B100 que se incorporan en el Diesel N° 2, no alteran considerablemente las especificaciones del Diesel N° 2;

Que el volumen del 20% de Biodiesel B100 que se incorpora en el Diesel 2 produce una alteración significativa en el contenido de azufre, disminuyendo el mismo.

Que, la mezcla Diesel BX ve mejorada su calidad en lo que a contenido de azufre se refiere, tomando en cuenta que el Biodiesel B100 no aporta dicho elemento contaminante;

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 11º del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, aprobado mediante Decreto Supremo N° 021-2007-EM; y, el literal h) del artículo 9º del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Energía y Minas, aprobado mediante Decreto Supremo N° 031-2007-EM;

SE RESUELVE:

**Artículo 1º.-** Establecer que la calidad de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20, debe cumplir la especificación del Diesel N° 2 aprobada mediante Decreto Supremo N° 025-2005-EM y sus modificatorias. El organismo competente realizará auditorías a fin de verificar el balance volumétrico entre el Biodiesel B100 adquirido o vendido y las mezclas de Diesel BX adquiridas o vendidas.

**Artículo 2º.-** Establecer que los métodos de ensayo a ser usados para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20, sean aquellos aplicables al Diesel N° 2 que aprueba el Decreto Supremo N° 025-2005-EM y sus modificatorias.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JUAN VALDIVIA ROMERO  
Ministro de Energía y Minas

**ANEXO Nº 5****TIPIFICACIÓN Y ESCALA DE MULTAS Y SANCIONES DE HIDROCARBUROS DE OSINERGMIN**

Aprobada por Resolución de Consejo Directivo Nº 028-2003-OS/CD, modificada mediante Resolución de Consejo Directivo Nº 358-2008-OS/CD, de acuerdo al siguiente detalle:

<b>Rubro</b>	<b>Tipificación de la infracción</b>	<b>Referencia Legal</b>	<b>Sanción</b>	<b>Otras Sanciones</b>
2	2.7 Incumplimiento de las normas de calidad de hidrocarburos u otros productos derivados de los hidrocarburos y de calidad de Biocombustibles y sus mezclas.	6, 36 y 42 del Reglamento aprobado por D.S. Nº 01-94-EM. Arts. 87, 109, 113 y 117 del Reglamento aprobado por D.S. Nº 019- 97-EM. Arts. 70, 86 incisos g) y e), y 7ma. Disposición Complementaria del Reglamento aprobado por D.S. Nº 030- 98-EM. Art. 1 del D.S. Nº 019-98-MTC. Arts. 51, 53 y 55 del Reglamento aprobado por D.S. Nº 045-2001-EM. Arts. 2, 4 y 5 de la Ley Nº 28694. Resolución de Consejo Directivo Nº 400- 2006-OS/CD. Arts. 5, 6 inciso b), 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 del Reglamento aprobado por Decreto Supremo Nº 021-2007- y modificatorias. Decreto Supremo Nº 025-2005-EM. Resolución de Consejo Directivo Nº 206 -2009-OS/CD	Hasta 2000 UIT	CE, STA, SDA, RIE, CB, ITV

**ANEXO N° 6****PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD ACTUALIZADO POR LA RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 144-2011- OS/CD, RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 206-2009-OS/CD**

**Aprueban el "Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas" y modifican Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos**

**RESOLUCION DE CONSEJO DIRECTIVO ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSION EN ENERGIA Y MINERIA OSINERGMIN N° 206-2009-OS-CD**

Lima, 29 de octubre de 2009

VISTO:

El Memorando N° GFHL-DCLQ-3132-2009 de la Gerencia de Fiscalización de Hidrocarburos Líquidos por el cual se somete a aprobación del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN el "Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas".

CONSIDERANDO:

Que, según lo establecido por el inciso c) del artículo 3 de la Ley N° 27332 - Ley Marco de los Organismos Reguladores de la Inversión Privada en los Servicios Públicos, modificado por la Ley N° 27631, la función normativa de los Organismos Reguladores, entre ellos, OSINERGMIN, comprende la facultad exclusiva de dictar, entre otros, en el ámbito y en materia de su respectiva competencia, los reglamentos, normas que regulen los procedimientos a su cargo, normas de carácter general y mandatos u otras normas de carácter particular referidas a intereses, obligaciones o derechos de las entidades o actividades supervisadas o de sus usuarios;

Que, de acuerdo con lo dispuesto por el artículo 3 de la Ley N° 27699 - Ley Complementaria de Fortalecimiento Institucional de OSINERGMIN, el Consejo Directivo está facultado para aprobar procedimientos administrativos especiales que norman los procesos administrativos vinculados, entre otros, con la función supervisora;

Que, el artículo 22 del Reglamento General de OSINERGMIN, aprobado mediante Decreto Supremo N° 054-2001-PCM, establece que la función normativa de carácter general es ejercida de manera exclusiva por el Consejo Directivo de OSINERGMIN a través de resoluciones;

Que, mediante Decreto Supremo N° 021-2007-EM, modificado por el Decreto Supremo N° 064-2008-EM, se aprobó el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, cuyo literal b) del artículo 6 dispone que el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN es el órgano competente para la supervisión y fiscalización de la comercialización, transporte y calidad de los Biocombustibles, y sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2;

Que, con la finalidad de cumplir de forma eficiente la supervisión y fiscalización de la calidad de los biocombustibles y sus mezclas resulta necesario establecer un procedimiento específico para su control, que recoja y responda a las características propias de nuevos productos referidos en el párrafo precedente, así como la modificación de la Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos contenida en la Tipificación de Infracciones y Escala de Multas y

Sanciones de OSINERGMIN, aprobada por Resolución de Consejo Directivo N° 028-2003-OS/CD, modificada mediante Resolución de Consejo Directivo N° 358-2008-OS/CD;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 433-2007-OS/CD se aprobó el Procedimiento para el Control del Peso Neto de Cilindros de Gas Licuado de Petróleo (GLP) para los Medios de Transporte, Locales de Venta y Distribuidores de GLP en Cilindros y la Guía de Instrucciones para la Supervisión de Peso Neto en cilindros en Locales de Venta, Medios de Transporte y Distribuidores de GLP en Cilindros;

Que, sobre la base de lo establecido por el principio de razonabilidad, recogido en el numeral 3 del artículo 230 de la Ley de Procedimiento Administrativo General, Ley N° 27444, resulta conveniente modificar el numeral 2.11.4 del Rubro 2 de la Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos, contenida en la Tipificación de Infracciones y Escala de Multas y Sanciones de OSINERGMIN, aprobada por Resolución de Consejo Directivo N° 028-2003-OS/CD, modificada por Resolución de Consejo Directivo N° 358-OS/CD, e incluir como supuesto de sanción la amonestación ante la verificación de las infracciones relacionados a la comercialización de cilindros llenos con variaciones de peso que excedan los límites establecidos;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 del Reglamento de la Ley N° 29091, las entidades de la Administración Pública se encuentran obligadas a publicar en el Portal del Estado Peruano y en sus portales Institucionales, entre otras, las disposiciones legales que aprueben directivas, lineamientos o reglamentos técnicos relacionados con la aplicación de sanciones administrativas;

Que, en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 25 del Reglamento General de OSINERGMIN, aprobado por Decreto Supremo N° 054-2001-PCM, OSINERGMIN prepublicó el 12 de julio de 2009 en el Diario Oficial El Peruano, el proyecto de "Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles";

De conformidad con lo dispuesto por la Ley Marco de los Organismos Reguladores, Ley N° 27332, y por los artículos 22, 23 literal c) y artículo 25 del Reglamento General de OSINERGMIN, aprobado por Decreto Supremo N° 054-2001-PCM, y;

Con la opinión favorable de la Gerencia General, de la Gerencia Legal y de la Gerencia de Fiscalización de Hidrocarburos Líquidos del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN.

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas.

Aprobar el "Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas", y su anexo, el mismo que forma parte integrante de la presente resolución.

Los agentes comprendidos en el presente reglamento son las Refinerías, Plantas de Abastecimiento y Terminales, sus operadores, Grifos y Estaciones de Servicio.

#### Artículo 2.- Infracción Administrativa Sancionable

Toda acción u omisión por parte de las Refinerías, Plantas de Abastecimiento, Terminales, sus operadores, Grifos y Estaciones de Servicio que vulnere las especificaciones técnicas de calidad de los biocombustibles y sus mezclas constituye ilícito administrativo sancionable.

#### Artículo 3.- Tipificación y Escala de Multas.

Modificar el numeral 2.7 de la Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos contenida en la Tipificación de Infracciones y Escala de Multas y Sanciones de OSINERGMIN, aprobada por Resolución de Consejo Directivo N° 028-2003-OS/CD, modificada mediante Resolución de Consejo Directivo N° 358-2008-OS/CD, de acuerdo al siguiente detalle:

Rubro	Tipificación de la infracción	Referencia Legal	Sanción	Otras Sanciones
2	2.7 Incumplimiento de las normas de calidad de hidrocarburos u otros productos derivados de los hidrocarburos y de calidad de Biocombustibles y sus mezclas.	6, 36 y 42 del Reglamento aprobado por D.S. N° 01-94-EM. Arts. 87, 109, 113 y 117 del Reglamento aprobado por D.S. N° 019- 97-EM. Arts. 70, 86 incisos g) y e), y 7ma. Disposición Complementaria del Reglamento aprobado por D.S. N° 030- 98-EM. Art. 1 del D.S. N° 019-98-MTC. Arts. 51, 53 y 55 del Reglamento aprobado por D.S. N° 045-2001-EM. Arts. 2, 4 y 5 de la Ley N° 28694. Resolución de Consejo Directivo N° 400- 2006-OS/CD. Arts. 5, 6 inciso b), 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 del Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 021-2007-EM y modificatorias. Decreto Supremo N° 025-2005-EM. Resolución de Consejo Directivo N° 206 -2009-OS/CD	Hasta 2000 UIT	CE, STA, SDA, RIE, CB, ITV

#### Artículo 4.- Tipificación y Escala de Multas.

Modificar el numeral 2.11.4 del Rubro 2 de la Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos, contenida en la Tipificación de Infracciones y Escala de Multas y Sanciones de

OSINERGMIN, aprobada por Resolución de Consejo Directivo N° 028-2003-OS/CD, modificada por Resolución de Consejo Directivo N° 358-OS/CD; de acuerdo al siguiente detalle:

Rubro	Tipificación de la infracción	Referencia Legal	Sanción	Otras Sanciones
2.11	2.11.4 Comercializar Cilindros llenos con variaciones de peso que exceden los límites establecidos.	Art. 40, 41, 42 y 65 del Reglamento aprobado por D.S. N° 019-94-EM	Hasta 300 UIT	Amonestación, STA, SDA.

Artículo 5.- Autorícese a la Gerencia General a dictar las disposiciones técnico operativas así como las medidas complementarias que se requieran para la aplicación del “Procedimiento de Control de Calidad de Biocombustibles y sus Mezclas” en las Refinerías, Plantas de Abastecimiento y Terminales, sus operadores, Grifos y Estaciones de Servicio.

Artículo 6.- Publicar la presente norma en el Diario Oficial “El Peruano” y en la página Web de OSINERGMIN.

ALFREDO DAMMERT LIRA

Presidente del Consejo Directivo

OSINERGMIN

#### PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES Y SUS MEZCLAS

Artículo 1.- Ámbito de aplicación.

El presente procedimiento resulta aplicable a nivel nacional en las Refinerías, Plantas de Abastecimiento, Terminales, sus operadores, Grifos y Estaciones de Servicio.

Artículo 2.- Definiciones aplicables al procedimiento.

Para el caso de las definiciones no comprendidas en el siguiente listado serán de aplicación, en lo que corresponda, las contenidas en el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles aprobado mediante Decreto Supremo N° 021-2007-EM, en el Glosario, Siglas y Abreviaturas del Subsector Hidrocarburos aprobado mediante Decreto Supremo N° 032-2002-EM y en sus respectivas modificatorias.



#### 2.1. Biocombustibles.

Para fines del presente Procedimiento, entiéndase como Biocombustibles, al Alcohol Carburante y al Biodiesel B100 en estados puros.

#### 2.2. Ensayo Acreditado.

Es el método de ensayo de laboratorio que se encuentra acreditado ante el INDECOPI.

#### 2.3. Ensayo de Entidad Acreditada.

Es el análisis a las muestras de Biocombustibles en las que se siguen métodos y procedimientos según normas nacionales o internacionales realizados por una entidad especializada.

#### 2.4. Entidad Acreditada.

Laboratorio de Ensayo, Organismo de Inspección u Organismo de Certificación acreditado ante el INDECOPI.

#### 2.5. Especificaciones Técnicas.

Son los requisitos de calidad mínimos que figuran en la Norma Técnica Peruana vigente y que sirven de parámetros para determinar si un combustible está dentro del rango permitido.

#### 2.6. Lote.

Cantidad de Biocombustible con características definidas producida bajo condiciones uniformes, que se somete a inspección como un conjunto unitario.

#### 2.7. Muestra.

Cantidad de Biocombustible extraída de un lote, que sirve para obtener información necesaria que permita apreciar una o más características de dicho lote, sirviendo de base para una decisión sobre el mismo o sobre el proceso que lo produjo.

#### 2.8. Muestra dirimente.

Cantidad de Biocombustible extraída del mismo lote del producto utilizado en el ensayo de laboratorio realizado por una entidad acreditada. La muestra dirimente se debe mantener almacenada en condiciones controladas para la conservación de sus características iniciales, para que de ser el caso se realice un ensayo de dirimencia sobre la misma.

#### 2.9. Dirimencia.

Procedimiento a través del cual se corroboran los resultados reportados por una entidad acreditada, que han sido observados por los supervisados o los destinatarios finales de sus servicios, empleando la muestra dirimente.

#### 2.10. Periodo de Custodia.

Plazo dentro del cual la entidad acreditada está obligada a mantener la muestra dirimente.

#### 2.11. Repetibilidad.

Grado de concordancia entre los resultados de sucesivas mediciones, del mismo producto, valorando las efectuadas con aplicación de la totalidad de las mismas condiciones de medición.

#### 2.12. Reproducibilidad.

Grado de concordancia entre los resultados de las mediciones, del mismo producto, valorando las efectuadas bajo diferentes condiciones de medición.

#### Artículo 3.- Tolerancias.

Los límites de tolerancia, aceptados tanto en los ensayos de las supervisiones realizadas, como en los ensayos de dirimencias, corresponderán a los detallados en los valores de reproducibilidad establecidos en las Especificaciones Técnicas de Calidad vigentes.

#### Artículo 4.- Procedimiento de Muestreo para el análisis en la Entidad acreditada.

a. OSINERGMIN tomará dos (02) muestras de cada producto directamente de los tanques, cuyos recipientes conteniendo las muestras serán depositados de forma individual en bolsas que se cerrarán con precintos numerados. Las muestras se distribuirán de la forma siguiente:

- Una muestra será analizada por una entidad acreditada la cual será designada por OSINERGMIN.

- La otra muestra, se mantendrá bajo custodia de la misma entidad acreditada, en caso tenga que efectuarse una dirimencia; observando las condiciones ambientales apropiadas para asegurar la permanencia de sus características iniciales.

b. El período de custodia de la muestra dirimente será de 90 días calendario, contados a partir de la toma de la muestra.

#### Artículo 5.- Ejecución de los Ensayos

La calidad del Biodiesel B100 y del Alcohol carburante se verificará, salvo precisiones o excepciones expresas establecidas por el Ministerio de Energía y Minas, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas de Calidad establecidas en las Normas Técnicas Peruanas aprobadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI; o mientras éstas no sean aprobadas, en las normas ASTM o las normas internacionales actualizadas y pertinentes vigentes al momento de la toma de la muestra.

Para verificar la calidad de los Biocombustibles se efectuará un análisis a cargo de una entidad acreditada, la misma que brindará los servicios de ensayo de laboratorio. En el caso de no existir en el país, ensayos de Biocombustibles acreditados o certificados, las muestras podrán ser enviadas a un laboratorio en el extranjero para su análisis o dirimencia debiendo asumir la entidad acreditada nacional, referida en párrafo precedente, la responsabilidad por la veracidad del correspondiente resultado obtenido por el laboratorio extranjero.

#### Artículo 6.- Resultados de los Ensayos

En caso se acredite que la primera muestra cumple con las especificaciones técnicas de calidad vigente, la segunda muestra podrá ser retirada por los supervisados del almacén de OSINERGMIN, dentro de los 15 días calendarios posteriores a la comunicación que realice OSINERGMIN respecto de los resultados, caso contrario, se procederá a su eliminación. Asimismo, en caso el supervisado no solicite la dirimencia, dentro del plazo establecido, se considerará el primer resultado obtenido como el resultado definitivo y la entidad acreditada, que tiene bajo su custodia la muestra dirimente, procederá a eliminarla.

OSINERGMIN comunicará los resultados de los análisis efectuados a las muestras de Biodiesel B100 y Alcohol Carburante, dentro de los primeros 35 días calendarios, contados a partir de la fecha en la cual se tomaron las muestras.

En caso el supervisado estuviera en desacuerdo con los resultados puede proceder conforme lo dispuesto en el artículo 7 de presente Reglamento.

#### Artículo 7.- Procedimiento de Dirimencia

Si el supervisado no está de acuerdo con los resultados de los ensayos de la Entidad acredita contratada por OSINERGMIN, podrá proceder de la siguiente manera:

a. Podrá solicitar por escrito y de forma expresa e indubitable un ensayo de dirimencia ante la Gerencia de Fiscalización de Hidrocarburos Líquidos (GFHL) dentro de un plazo de 10 días útiles, contados desde el día siguiente de la notificación de los resultados del ensayo de la primera muestra, asumiendo los costos del ensayo, y de ser caso, el traslado de la muestra.

b. En la solicitud de dirimencia, deberá adjuntar el original o copia del recibo de cancelación del costo del ensayo de dirimencia, el que se realizará por una entidad acreditada distinta a la que efectuó el primer ensayo y seleccionada por el establecimiento supervisado de una lista de entidades acreditadas propuesta por el OSINERGMIN, la cual se adjuntará al oficio mediante el que se comunica los resultados de la primera muestra.

c. Una vez acreditado el cumplimiento de lo antes dispuesto, la segunda muestra será trasladada o enviada por un representante de OSINERGMIN y un representante del establecimiento supervisado a la entidad acreditada referida en el literal precedente. El resultado que arroje el ensayo sobre la segunda muestra es definitivo y será considerado por OSINERGMIN al momento de resolver el correspondiente procedimiento administrativo sancionador.

d. En el supuesto que la segunda muestra no haya podido ser trasladada o enviada a la entidad acreditada por dilación o responsabilidad del administrado, implicando con ello que, la realización del ensayo de dirimencia no pueda efectuarse dentro del período de custodia de la muestra, se considerará el primer resultado obtenido como definitivo a efectos de continuar las acciones legales pertinentes.

e. Es potestad de OSINERGMIN designar un representante que asista a la ejecución de los ensayos de dirimencia que puedan realizarse por entidades acreditadas en el país o laboratorios en el extranjero. La ejecución de la dirimencia debe realizarse en un acto.

f. El Informe de laboratorio, conteniendo el resultado de la dirimencia, deberá ser comunicado por el supervisado a OSINERGMIN en un plazo perentorio de 07 días hábiles contados desde su emisión, adjuntando el informe original expedido por la entidad acreditada. El resultado comunicado de manera extemporánea se tendrá por no presentado y no será considerado por OSINERGMIN al momento de resolver el correspondiente procedimiento administrativo sancionador. El OSINERGMIN podrá solicitar información complementaria al laboratorio que realizó el ensayo sobre la muestra dirimente.

g. La dirimencia debe realizarse dentro del período de custodia de la muestra dirimente, caso contrario, OSINERGMIN considerará el primer resultado obtenido como definitivo a efectos de continuar las acciones legales pertinentes.

h. Los resultados observados al interior de un proceso de dirimencia son responsabilidad de la entidad acreditada que los emitió.

i. El período de custodia para los Biocombustibles es de 90 días calendario contados a partir de la fecha de la toma de muestra.

#### Artículo 8.- Cumplimiento de porcentajes de mezcla.

a. El porcentaje del volumen de Alcohol Carburante en la mezcla Gasolina - Alcohol Carburante y del volumen de Biodiesel B100 en las mezclas de Biodiesel B100 - Diesel Nº 2 se realizará de acuerdo a las características técnicas o especificaciones de calidad establecidas por el Ministerio de Energía y Minas mediante Resolución Ministerial.

b. Resulta aplicable para la verificación del cumplimiento de porcentajes de mezcla lo establecido en los artículos precedentes.

#### Artículo 9.- Norma supletoria.

En todo lo no previsto o regulado en el presente procedimiento, se aplicará lo establecido en las correspondientes Normas Técnicas Peruanas vigentes, aprobadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, o mientras estas no sean aprobadas, se aplicarán las normas ASTM o las normas internacionales actualizadas y pertinentes.

## EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

El artículo 5 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley Nº 26221, establece que OSINERGMIN es el Organismo encargado de fiscalizar los aspectos legales y técnicos de las actividades de hidrocarburos que se desarrollan en el territorio nacional;

Que, el artículo 22 del Reglamento General de OSINERGMIN, aprobado mediante Decreto Supremo Nº 054-2001-PCM, establece que la función normativa de carácter general es ejercida de manera exclusiva por el Consejo Directivo de OSINERGMIN a través de resoluciones;

Asimismo, el artículo 5 de la Ley Complementaria de Fortalecimiento Institucional de OSINERGMIN, Ley Nº 27699, establece que OSINERGMIN ejerce de manera exclusiva la facultad de control de calidad de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos en las actividades que se encuentren bajo el ámbito del Texto Único Ordenado de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley Nº 26221, aprobado por Decreto Supremo Nº 042-2005-EM. De la misma manera, lo dispuesto por el artículo 3 de la citada Ley establece que OSINERGMIN, a través de su Consejo Directivo está facultado para aprobar procedimientos administrativos especiales que normen los procedimientos administrativos vinculados, entre otros, a la Función Supervisora;

Mediante Decreto Supremo Nº 021-2007-EM, se aprobó el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, cuyo literal b) del artículo 6 dispone que el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN es el órgano competente para la supervisión y fiscalización de la comercialización, transporte y calidad de los Biocombustibles, y sus mezclas con gasolinas y Diesel Nº 2;

En virtud de lo antes señalado y a fin de cumplir de forma eficiente la función de supervisión y fiscalización encomendada respecto al control de la calidad de los biocombustibles y mezclas que se expenden a través de las Refinerías, Plantas de Abastecimiento y Terminales, sus operadores, y los Grifos y Estaciones de Servicio; OSINERGMIN ha elaborado el Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas que permita verificar si los combustibles en mención, cumplen con las normas técnicas vigentes de calidad y porcentajes de mezclas;

Dentro de ese contexto y de conformidad con el criterio de transparencia en el ejercicio de la función normativa de OSINERGMIN, previsto en el artículo 25 de su Reglamento General, aprobado por Decreto Supremo Nº 054-2001-PCM, se ha cumplido con prepublicar el proyecto de "Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles", el día 12 de julio de 2009 en el Diario Oficial El Peruano, con el objeto de recibir las opiniones de los interesados que puedan contribuir a mejorar el referido procedimiento.

En relación de lo establecido en el párrafo precedente se debe de establecer que se ha recibido y recogido en el procedimiento materia de aprobación, lo siguiente:

**PURE BIOFUELS DEL PERU:****Observación:**

Manifiesta que debe regularse los supuestos de supervisión y fiscalización referidos al porcentaje de mezclas de los biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) con las gasolinas y Diesel, respectivamente.

**Comentario:**

Se debe manifestar que lo expresado por la empresa resulta procedente y se ha considerado incluir en el presente Procedimiento lo referido a la supervisión y fiscalización respecto de los porcentajes de mezclas de los biocombustibles con los combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos.

**REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A.****Observación:**

Ha manifestado que el proyecto pre-publicado no indica cuál es el plazo máximo para que OSINERGMIN informe sobre los resultados de los análisis efectuados como resultado de la supervisión y fiscalización efectuada.

**Comentario:**

En relación a lo expuesto por la empresa se debe manifestar que resulta procedente establecer un plazo máximo para que OSINERGMIN comunique a los supervisados sobre los resultados obtenidos respecto de la calidad del producto materia de análisis.

**Observación:**

Manifiesta que el supervisado y OSINERGMIN deberán de mutuo acuerdo seleccionar a la entidad acreditada que realizará el ensayo de dirimencia sobre el resultado obtenido de la primera muestra.

**Comentario:**

En relación a lo anterior se debe de establecer que con la finalidad de facilitar al Supervisado la posibilidad de elegir la entidad acreditada donde pueda realizar el ensayo de dirimencia, OSINERGMIN al momento de comunicar el resultado del ensayo respecto de la primera muestra, informará sobre las entidades acreditadas en las que podrá realizar el ensayo de dirimencia.

**HEAVEN PETROLEUM OPERATORS:****Observación:**

Manifiesta que las definiciones contenidas en el Artículo 2 en sus acápites 2.10, 2.14, 2.15 no son iguales a las definiciones del GLOSARIO, SIGLAS Y ABREVIATURAS DEL SUBSECTOR HIDROCARBUROS,.

**Comentario:**

Se ha visto por conveniente eliminar las definiciones de los numerales 2.10, 2.14, 2.15 del proyecto de Reglamento materia de aprobación y considerar las definiciones del GLOSARIO, SIGLAS Y ABREVIATURAS DEL SUBSECTOR HIDROCARBUROS, aprobado por D.S. Nº 032-2002-EM.

De igual forma se han recibido, pero no recogido, en el procedimiento materia de aprobación, las siguientes observaciones:

**HEAVEN PETROLEUM OPERATORS****Observación:**

Manifiesta que el supervisado debe solicitar un ensayo de dirimencia por las características que se consideren de discrepancia.

**Comentario:**

Al respecto se debe establecer que los ensayos de dirimencia se realizan únicamente sobre los resultados discrepantes, no siendo necesaria una precisión expresa al respecto.

**PURE BIOFUELS DEL PERU:****Observación:**

Manifiesta que se deberían tomar tres (03) muestras para realizar los análisis, de manera similar a lo establecido en el Procedimiento de Control de Calidad de los Combustibles Líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos, aprobado por Resolución de Consejo Directivo de OSINERGMIN Nº 400-2006-OS/CD y sus modificatorias.

Asimismo, establece que a la fecha no existen laboratorios acreditados en el país para los análisis de Biodiesel B100, por lo que se entiende que las muestras serán enviadas al extranjero para el análisis respectivo, implicando un tiempo adicional para el traslado de la muestra y su posterior análisis, debiéndose garantizar, durante el proceso de envío, las condiciones ambientales y sanitarias adecuadas con la finalidad de no afectar la calidad de las muestras.

**Comentario:**

Se debe de señalar que la Resolución de Consejo Directivo de OSINERGMIN N° 400-2006-OS/CD está en proceso de modificación en lo referente, entre otras, a la cantidad de muestras a tomar en el establecimiento supervisado. La modificación comprende la reducción del número de muestras de 3 a 2 muestras. No se considera necesaria la extracción de una muestra adicional ya que en caso de discrepancia, el ensayo de dirimencia se realizará sobre la segunda muestra lo que implicará agilizar el correspondiente procedimiento administrativo.

El período de 90 días establecido contempla, en caso de que la muestra deba ser enviada a un laboratorio extranjero, el período de traslado de la muestra y su posterior análisis. El literal h del artículo 7 del Proyecto establece que el laboratorio contratado para el ensayo de dirimencia se hace responsable de los resultados de la entidad que los emite; por tanto, queda implícito que asume la responsabilidad de la integridad de la muestra durante el proceso de traslado y posterior análisis.

**Observación:**

OSINERGMIN debería proceder a la certificación de cada lote de producido e importado de Biodiesel B100 y Alcohol Carburante previo a su comercialización o mezcla.

**Comentario:**

No es competencia de OSINERGMIN acreditarse como organismo de certificación, su competencia es la supervisión y fiscalización del cumplimiento del Reglamento para la Comercialización de los Biocombustibles, en lo que respecta a la comercialización y calidad de los Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diesel N° 2; así como de la emisión del Informe Técnico Favorable (ITF) correspondiente a las modificaciones y/o ampliaciones de las instalaciones que sean necesarias efectuar para la comercialización de estos productos.

**REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A.:****Observación:**

Las refinerías, terminales y plantas de abastecimiento no deben ser sujetos de sanción por la falta de especificación respecto de la calidad de los biocombustibles (Biodiesel B100 y/o Alcohol Carburante) por no ser productores de los mismos. La calidad del biocombustible debe ser garantizada por los productores mediante el certificado de calidad respectivo. Las refinerías, terminales y plantas de abastecimiento solo pueden ser sancionados por los productos certificados que producen durante el despacho si estos no cumplen con la especificación de calidad correspondiente.



**Comentario:**

El artículo 6 (Ámbito de aplicación, alcances y órganos competentes) y el artículo 13 (Calidad del Alcohol Carburante, Biodiesel B100, Gasohol y Diesel BX), entre otros, del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, aprobado por el Decreto Supremo N° 021-2007-EM, modificado por el Decreto Supremo N° 064-2008-EM, establece las pautas de cumplimiento y responsabilidades de los diversos agentes que intervienen en la comercialización, en general, de los Biocombustibles, y en ellos se incluyen a las refinerías, terminales y plantas de abastecimiento.

**Observación**

Manifiesta que se deberían tomar tres (03) muestras para realizar los análisis, de manera similar a lo establecido en el Procedimiento de Control de Calidad de los Combustibles Líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos aprobado por Resolución de Consejo Directivo de OSINERGMIN N° 400-2006-OS/CD.

**Comentario:**

Se debe de señalar que la Resolución de Consejo Directivo de OSINERGMIN N° 400-2006-OS/CD está en proceso de modificación en lo referente, entre otras, a la cantidad de muestras a tomar en el establecimiento supervisado. La modificación comprende la reducción del número de muestras de 3 a 2 muestras. No se considera necesaria la extracción de una muestra adicional ya que en caso de discrepancia, el ensayo de dirimencia se realizará sobre la segunda muestra lo que implicará agilizar el procedimiento administrativo.

**Observación:**

Establece que la dirimencia debe realizarse dentro de un período no mayor a 60 días calendarios, posteriores a la comunicación de los resultados de los análisis obtenidos de la primera muestra, en caso contrario OSINERGMIN considerará el primer resultado obtenido como definitivo a efectos de continuar las acciones legales pertinentes debido a que las refinerías, terminales y plantas de abastecimiento deben tener el tiempo suficiente y necesario para poder gestionar el envío y análisis de las muestras de dirimencia, en razón a que algunos análisis deben efectuarse en laboratorios del extranjero con las consiguientes demoras.

**Comentario**

Consultas efectuadas a los laboratorios, con experiencia en el manejo de Biodiesel B100, han establecido que el período de custodia de este producto no debe exceder los 90 días calendario, período dentro del cual se debe de efectuar la dirimencia, a fin de garantizar la conservación de propiedades la muestra.

<http://spji.minijus.gob.pe/Graficos/Peru/2009/noviembre/07/R-206-2009-OS-CD.pdf>

RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO  
ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA  
OSINERGMIN N° 206-2009-OS/CD

## ANEXO



Jr. Bernardo Monteagudo N° 222, Magdalena del Mar - Lima  
Teléf.: 219-3400 Fax 264-3739/219-3413

## Acta de Supervisión de Control de Calidad de Biocombustibles y/o del Volumen en sus Mezclas

N° -CCBIO-GFHL-20\_\_

Supervisor											D.N.I.		Fecha				
Supervisado													R.U.C.				
Nombre Comercial											Telef.		Código Osinergmin				
Dirección													Código Establec.				
Dpto. / Prov. / Dist.													N° Reg. D.G.H.				
Producto(s) que almacena(n)	Biodiesel B100		B2		B5		B20										
	Alcohol Carburante		G84P		G90P		G95P		G97P								

Con el objeto de dar cumplimiento a los reglamentos vigentes y con las facultades previstas en la Ley de Creación de OSINERGMIN – Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Ley N° 26734 y modificatorias; en la Ley Marco de los Organismos Reguladores de la Inversión Privada en los Servicios Públicos, Ley N° 27332 y modificatorias; en la Ley Complementaria de Fortalecimiento Institucional de OSINERGMIN, Ley N° 27690; y en el Reglamento General de OSINERGMIN, Decreto Supremo N° 054-2001-PCM; el supervisor o funcionario del OSINERGMIN se constituyó en el establecimiento supervisado constatándose que almacena:

Producto	Biodiesel B100	B2	B5	B20	Alcohol Carburante	Gasohol 84 Plus	Gasohol 90 Plus	Gasohol 95 Plus	Gasohol 97 Plus
Total de Tanques									
N° de tanque									
N° Patio/Zona/Bloque									
Cap. Neta (bbll / gal / l)									
Nivel de Combustible (pies/plg)									
Volumen de combustible									
N° de Válvulas totales (en/sa)									

Asimismo, se ha procedido a tomar muestras de los tanques señalados en la presente Acta, de acuerdo a lo establecido en la Resolución de Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería N° 206-2009-OS/CD, mediante la cual se aprueba el Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas, Ley Complementaria de Fortalecimiento Institucional de OSINERGMIN, Ley N° 27699, en concordancia con el literal b) del artículo 6 del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, aprobado por Decreto Supremo N° 021-2007-EM, modificado por el artículo 1 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM.

Se extrajeron muestras de biocombustibles y/o mezclas para el laboratorio: Si <input type="checkbox"/> / No <input type="checkbox"/>					
Producto	1 (Laboratorio)	2 (Dirimencia)	Producto	1 (Laboratorio)	2 (Dirimencia)
P R E C I S I O			P R E C I S I O		
Observaciones:					

La toma de muestras del (los) producto(s) se efectuaron en presencia de:

Nombres y Apellidos		Firma del representante del establecimiento o unidad
D.N.I. N°		
Cargo		
Hora		

Firma representante del OSINERGMIN