



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

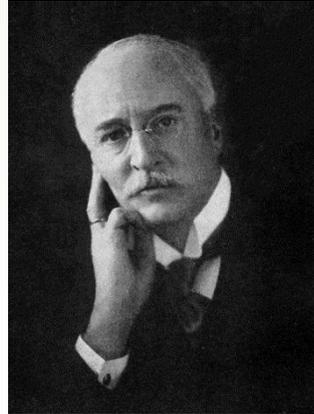
**Proyecto de investigación previo a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico**

**Tema: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONO DE INYECCION DE
MEZCLAS Y EMULSION DE ACEITES DE ELAEIS GUINEENSIS, GLYCINE MAX Y
JATROPHA CURCAS EN ESTADO VIRGEN Y USADO**

Autor: EDISON OMAR SANGUANO VILCA

Antecedentes

➤ Rudolf diesel



➤ Aceite vegetal



El uso de aceites vegetales en aplicaciones no alimentarias despierta un considerable interés, debido a su carácter renovable, biodegradabilidad y la aptitud para facilitar una modificación química

Antecedentes

- La experiencia de diferentes pruebas, prueba que todos los motores diésel pueden carburar con aceite vegetal.

Todos los aceites (el gasoil es un aceite mineral), a una temperatura y una presión suficientes, explotan dentro del cilindro: aceite de girasol, de colza, de oliva, de cacahuete, de palma, de lino, etc



DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

- Dentro de las alternativas energéticas, el biodiesel que es producido a partir de diferentes aceites vegetales o los propios aceites y sus mezclas parecen ser una alternativa viable, ante la disminución de las reservas minerales y específicamente, la disminución de las reservas de petróleo, que conlleva al aumento progresivo del precio en el mercado de los productos petroquímicos y del combustible



- Al ser los aceites vegetales una alternativa viable en sustitución de combustibles fósiles, se radica que, se desconoce cómo influye el comportamiento reológico de los aceites sobre el comportamiento del cono de inyección.

Objetivo General



- Determinar la influencia del comportamiento reológico de los aceites de *Glycine Max*, *Jatropha Curcas* y *Elaeis Guineensis* en estado virgen y usado sobre la forma y penetración del cono de inyección en los MCI.

Objetivos Específicos



- Evaluar el comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites vegetales en estado virgen y usado.
- Determinar la influencia del flujo de atomización, ángulo, forma que se presenta durante el proceso.
- Determinar la influencia de diferentes mezclas y emulsiones de aceites vegetales en estado virgen y usado.

Justificación e importancia



- El uso de elementos orgánicos renovables en este caso el aceite vegetal cobra gran importancia en nuestros días por varias razones fundamentales, como ser un instrumento de lucha contra el deterioro del medio ambiente, provenir de una fuente renovable y que además ser un factor de desarrollo para la agricultura y para el campo de uso de energías renovables que se ha vuelto una actividad necesaria para el país.

Alcance



- Este proyecto tiene como finalidad realizar el estudio preliminar del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites vegetales en estado virgen y usado, la investigación permitirá comparar el comportamiento reológico de los diferentes aceites ensayados y relacionar estas variables con la formación del cono de inyección.



Aceites vegetales

- ▶ Es producido de forma directa por la naturaleza.
- ▶ Es una forma reciclable de energía.
- ▶ Su utilización como carburante, debido a que es mucho menos contaminante que el diésel, no contribuye al efecto invernadero y además su producción es óptima desde el punto de vista energético.
- ▶ Es un recurso local, transformado localmente y donde los residuos, por ser un producto rico en proteínas constituye un excelente alimento para los animales.
- ▶ Es sencillo y poco costoso de producir, esto ampliara el ámbito agricultor y su utilización es prácticamente posible en todos los motores diésel.

Aceite de palma africana



- ▶ Ecuador es el segundo productor de aceite de palma a nivel regional con un 15.1% de producción, el hermano país Colombia ocupa el primer lugar con el 31.6% de la producción y Honduras el tercer lugar con el 11.2%. El 57,9% restante de la producción es dividido entre los otros países.

Aceite de Soja



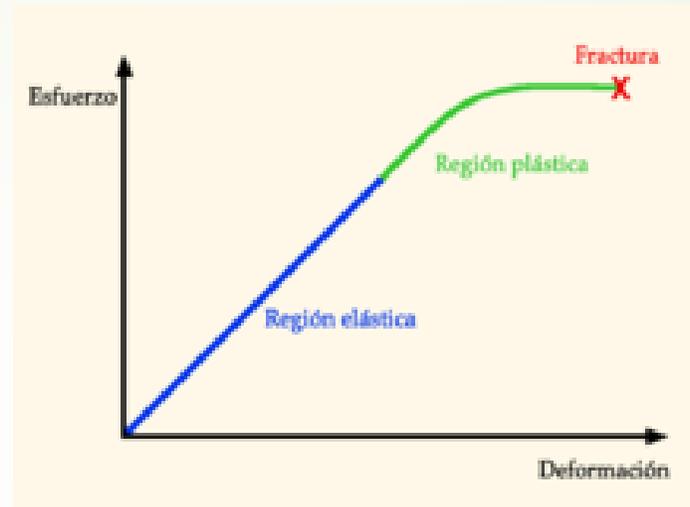
- En el Ecuador el cultivo de la soja se ha distribuido en un 99% en la Costa Ecuatoriana, se estima que los Valles de los ríos Esmeraldas y Verde tienen un gran potencial agrícola para procesar la producción de soja con el propósito de obtener aceite crudo.

Aceite de Jatropha

- ▶ En el Ecuador el encargado del cultivo, desarrollo y estudio de generación de tecnologías para obtención de energía renovable con aceite de Piñón es el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias- INIAP con su estación experimental en la Provincia de Portoviejo.

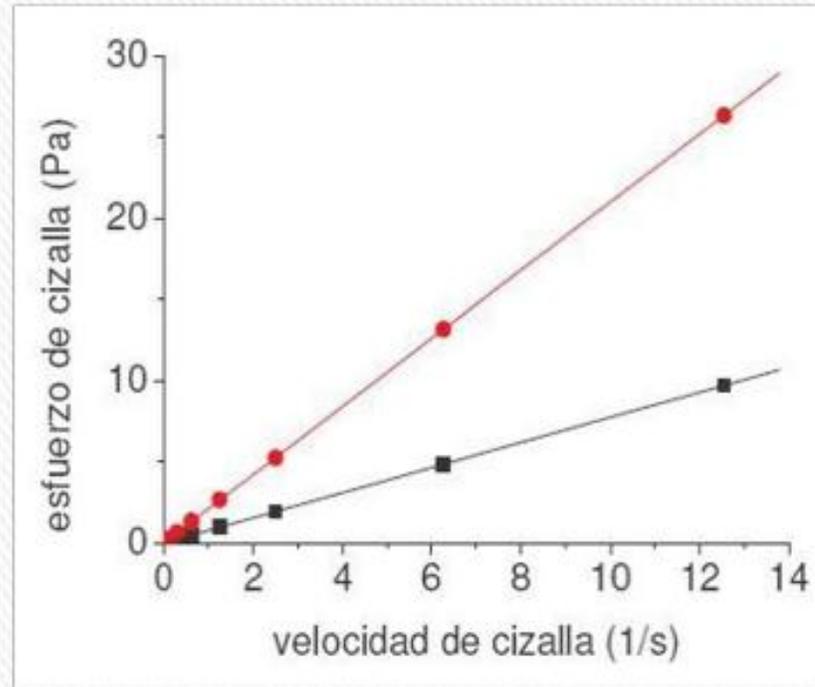


Reología



- La reología es la ciencia que estudia la deformación y características del flujo de la materia es decir el vínculo existente entre la fuerza que se ejerce sobre un material y la deformación que este experimenta al fluir

Fluidos Newtonianos



Fluidos No-newtonianos

- ▶ Son fluidos cuya viscosidad varía con la temperatura y el gradiente de velocidad, la viscosidad va a depender de la magnitud del gradiente y de la condición del fluido, generalmente conocida como viscosidad aparente $u_0 \neq cte$
- ▶ Fluidos Pseudoplasticos:

u_0 disminuye al aumentar la velocidad de cizalla.

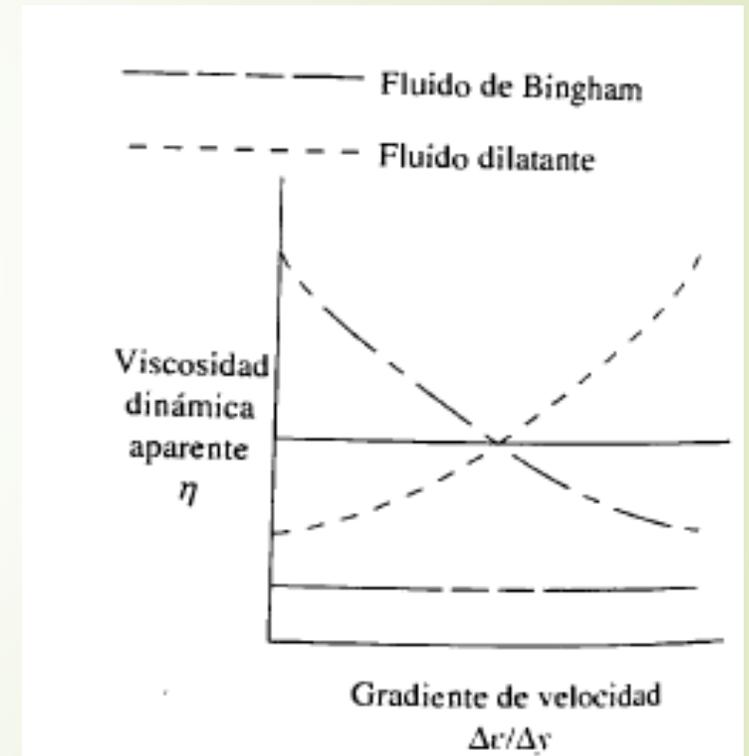
$$u_0 \ll \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta y} \gg$$

► Fluidos Dilatantes:

u_0 aumenta al aumentar la velocidad de cizalla.

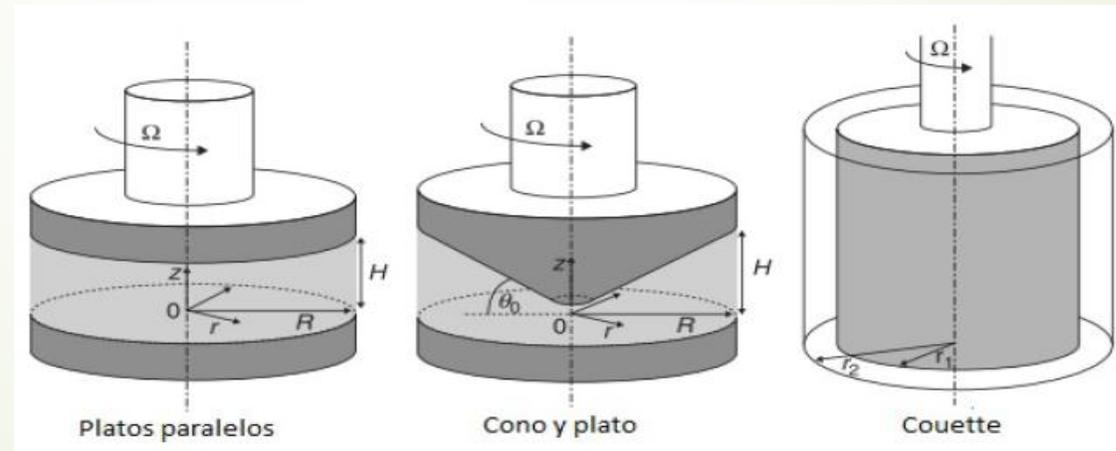
$$u_0 \gg \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta y} \gg$$

► Fluidos de Bingham: conocido como fluidos de inserción que requiere aplicación de un esfuerzo significativo de esfuerzo cortante y una vez que el flujo inicia la curva es lineal, por ejemplo fluidos como chocolate, mayonesa, pasta de dientes, pintura, mostaza



Reómetro

- Es un instrumento de precisión en el cual se pueden medir las propiedades de flujo de materiales al igual que predecir el comportamiento de los mismos. Se emplean para fluidos complejos y mediante sus parámetros de interés y una configuración geométrica, le permite medir amplios rangos de esfuerzo, deformación y velocidad de deformación.





► Platos paralelos

Requieren pequeñas cantidades de muestra para los ensayos.

La capacidad de fijar el espesor de muestra (GAP) de acuerdo a las características de la misma.

Se pueden utilizar para suspensiones cuyas partículas sean de un tamaño máximo de 200 μm .

► Cono y plato

Geometría más común para mediciones de esfuerzos normales

Muy útil para fluidos de alta y baja viscosidad.

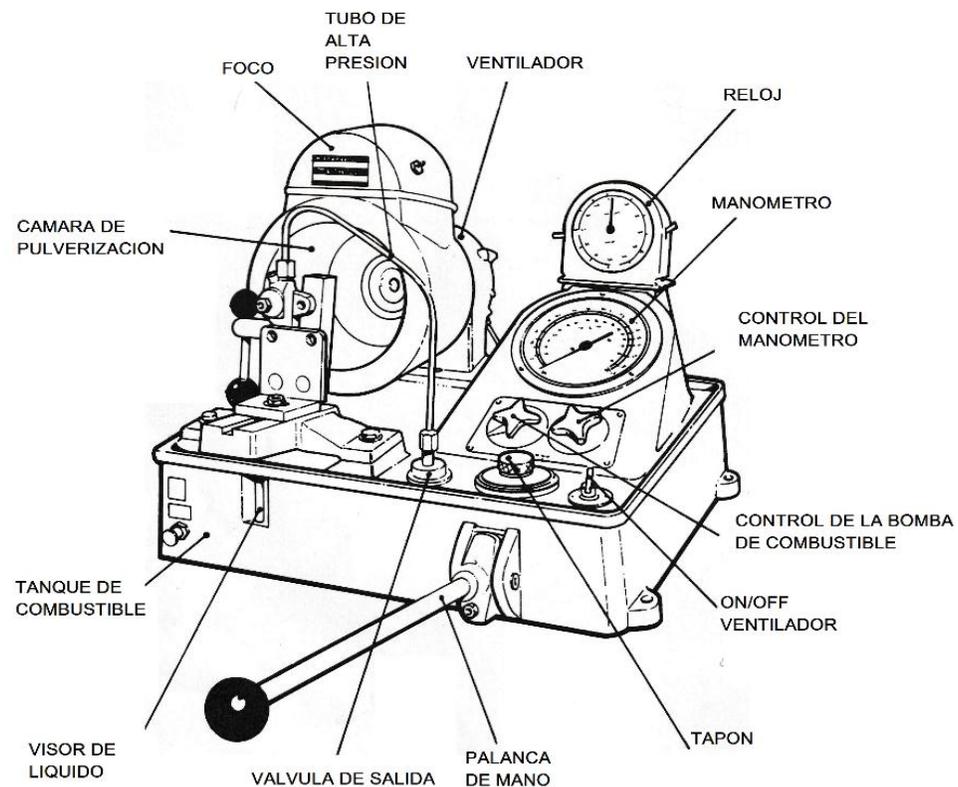
Permiten extraer el cono para un cambio de la muestra lo que facilita la limpieza del mismo

► Covette

Consta de 2 cilindros coaxiales, dependiendo del diseño el cilindro exterior se mantiene fijo mientras que el cilindro interior de altura H rota alrededor de un eje de simetría a una velocidad Ω dando como resultado un torque T .

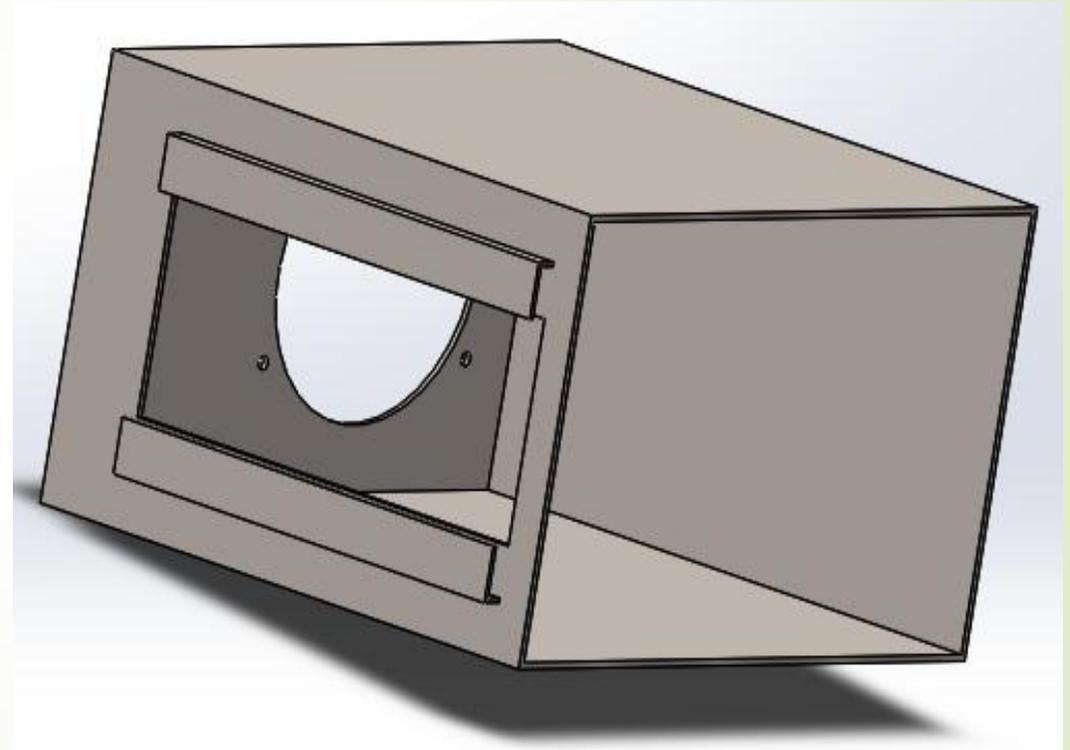
Probador de inyectores

- El banco de pruebas se conforma por una bomba, que permite montar en el mismo el inyector a probar y aplicarle presión con lo que se expulsa el diésel por la tobera de sección transversal muy pequeña del inyector a una gran velocidad. Esta conformación del inyector y la alta presión provoca la pulverización del gasoil.



Cámara de pulverización

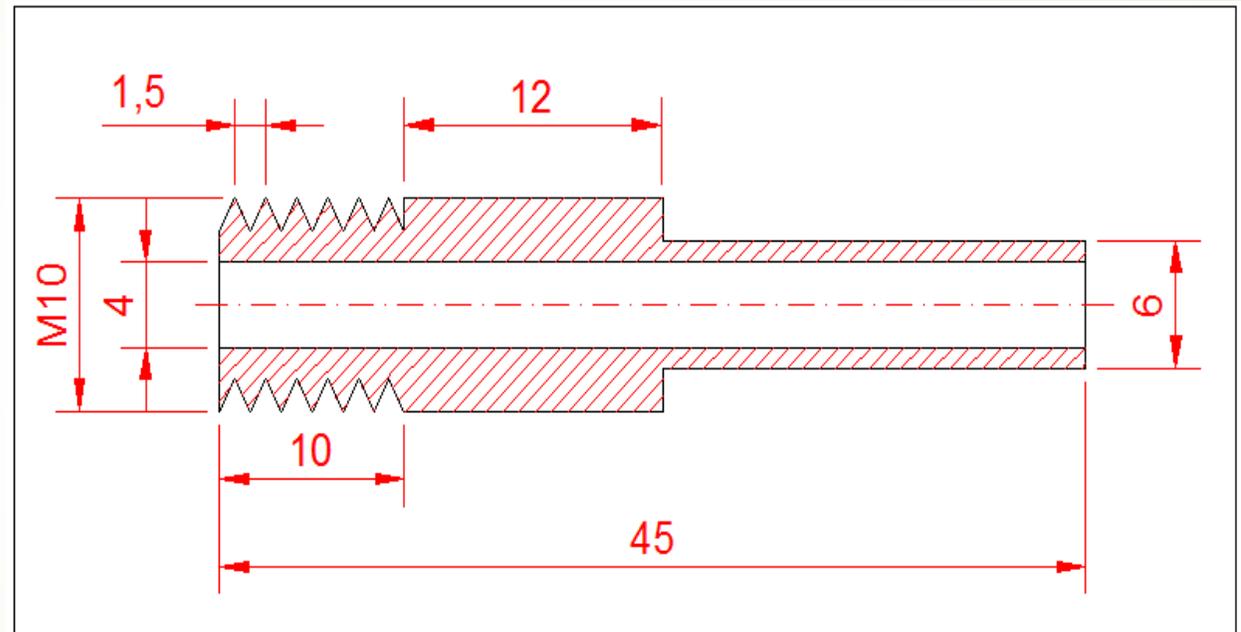
Construida de una plancha de tol negro de 2mm de espesor y de $380 \times 200 \times 400 \text{ mm}$, con una abertura en el lado izquierdo para la captura del ángulo formado por el fluido y aberturas circulares en la parte posterior para que encaje en el ventilador del probador de inyectores.



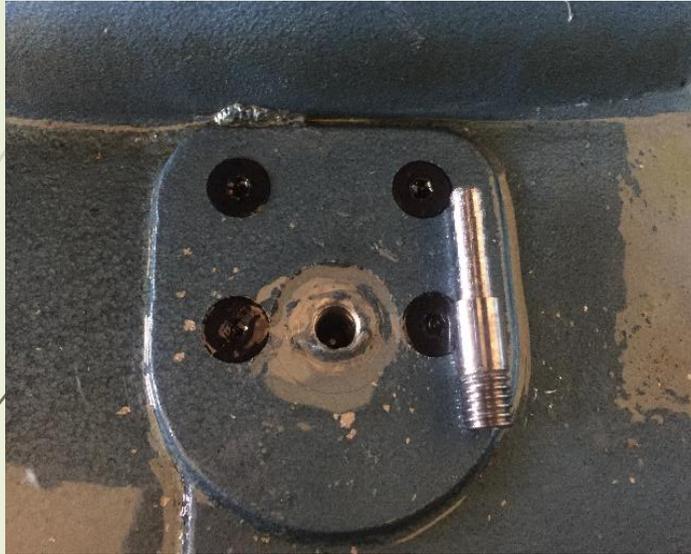
- ▶ Para una mejor claridad y formación del cono se pinto interiormente de color blanco y dorado para las paredes laterales. La coloración interna de la cámara se alcanzo por sucesivas pruebas, mediante tanteo y error, logrando obtener un mayor contraste y un mejor enfoque para la cámara de alta velocidad, se utilizaron también lámparas led de forma cuadrada y rectangular de 6Watts y 10Watts respectivamente.



Adaptaciones de suministro de fluido



Adaptaciones de suministro de fluido



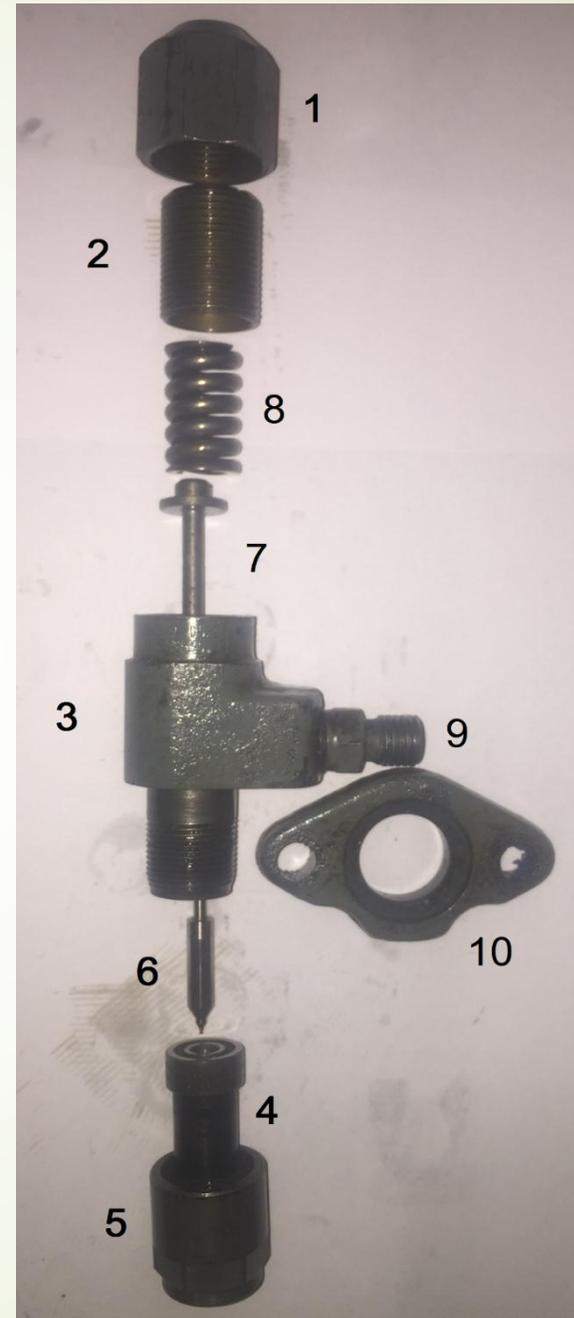
Inyector BKB40 SD5224 DES N: 5352102

- Es un inyector de tipo mecánico de un solo resorte, utilizado para motor con combustible diésel, se activa cuando la presión del combustible en el conducto de entrada aumenta lo suficiente para que el vástago active el resorte de la aguja del inyector. En este momento la aguja se abre y permite la pulverización del combustible.



Componentes

1. Racor de cierre
2. Tornillo de reglaje
3. Portainyector
4. Cuerpo de la tobera
5. Manguito roscado
6. Valvula de aguja
7. Varilla de empuje
8. Muelle regulador
9. Ingreso de combustible
10. Sujetador del inyector

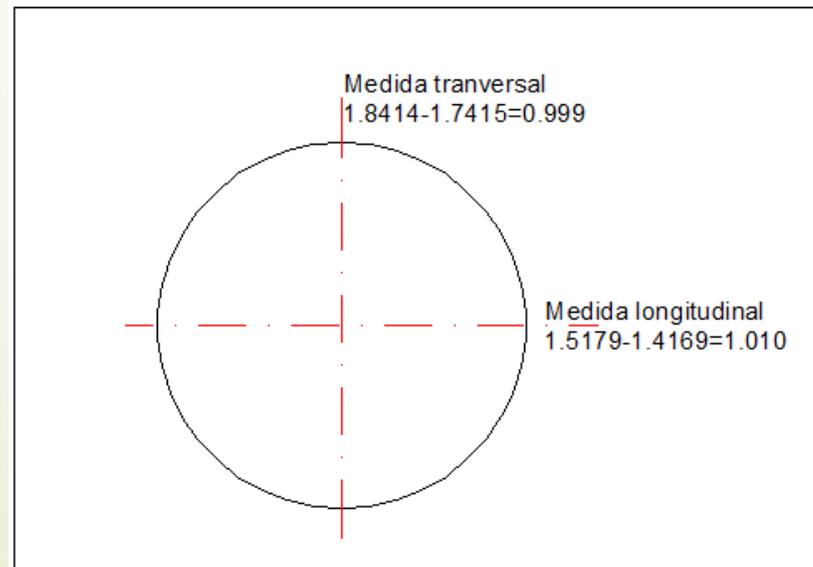
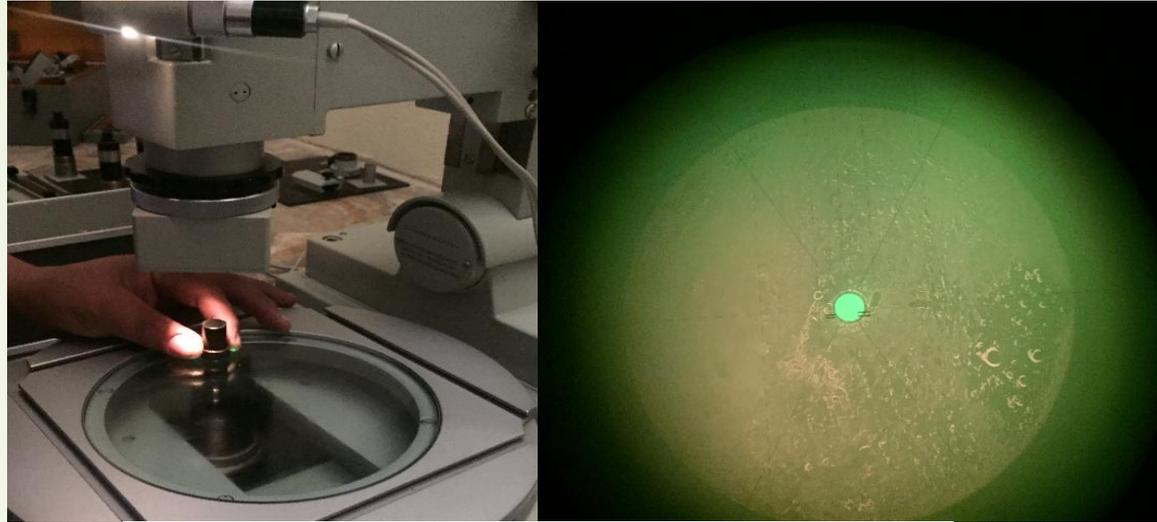


Parámetros de influencia

- ▶ Tipo de boquilla: El inyector BKB40 SD5224 DES N: 5352102, es un inyector de tipo mecánico, con boquilla de un solo orificio, es decir tiene un agujero taladrado centralmente a través de su cuerpo cerrado por la válvula de aguja del inyector
- ▶ Diámetro y longitud del orificio de la aguja: Los valores del diámetro y longitud del orificio del inyector fueron determinados en el laboratorio de Metrología de la ESPE, utilizando el equipo denominado Microscopios de Herramientas.



Dimensiones

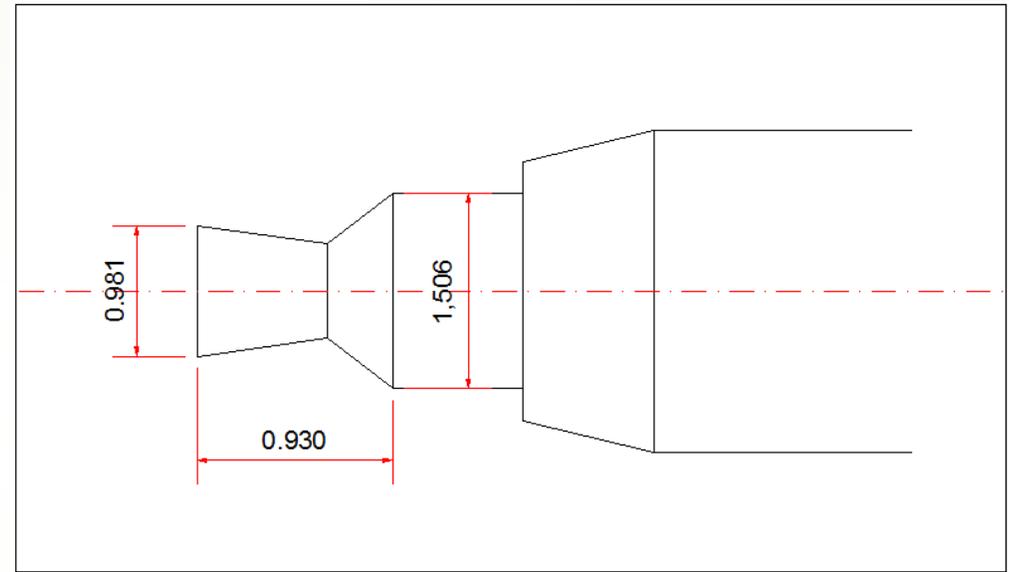
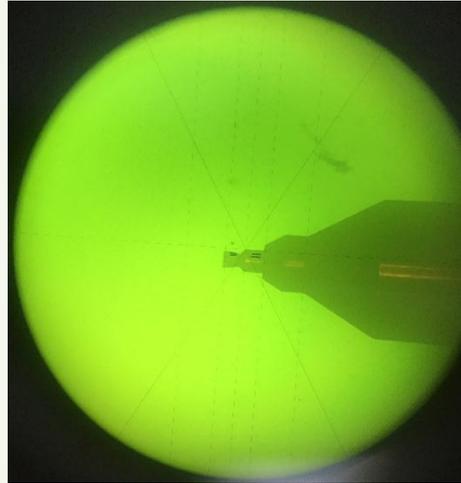


$$\Phi_{orificio} = 0.999 + 1.010$$

$$\Phi_{orificio} = 2.009/2$$

$$\Phi_{orificio} = 1.0045 \text{ mm}$$

Dimensiones



Longitud del orificio $L = 0,930 \text{ mm}$

Diámetro de la cámara del inyector $D_0 = 1,506 \text{ mm}$

Cámara CASIO EXILIM EX_FH20

- ▶ Es una cámara de alta velocidad, al ser capaz de fotografiar 40 imágenes por segundo y grabar videos de hasta 1.000fps, pese a que su lente no es desmontable ofrece un zoom óptico de 20x con estabilizador mecánico y una pantalla de 3 pulgadas



Ensayos de pulverización

- Para una mejor visualización de la formación del ángulo de inyección, la cámara se ajustó a un zoom óptico de 49x, se realizaron capturas de 40 imágenes por segundo al igual que se filmó videos en calidad HD. De todas las imágenes capturadas se seleccionó 20 valores por cada muestra para su posterior análisis, así también apuntes de la presión (lb/in^2) medida por el manómetro del probador de inyectores.

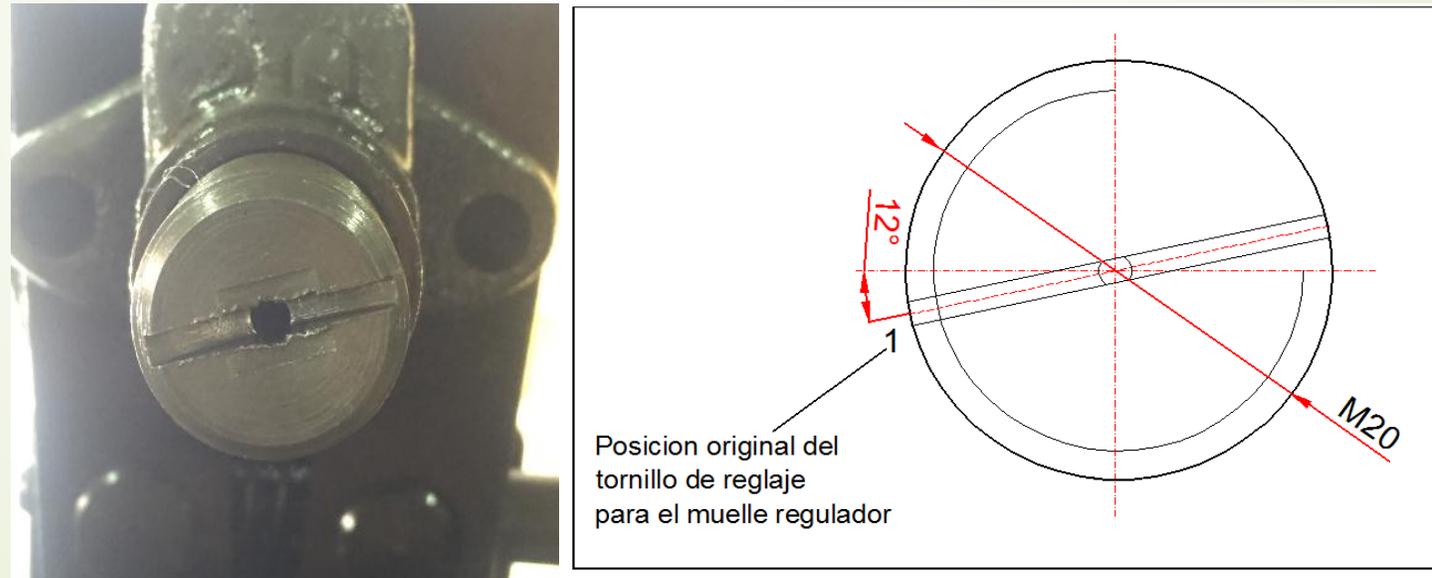


Ensayos de pulverización

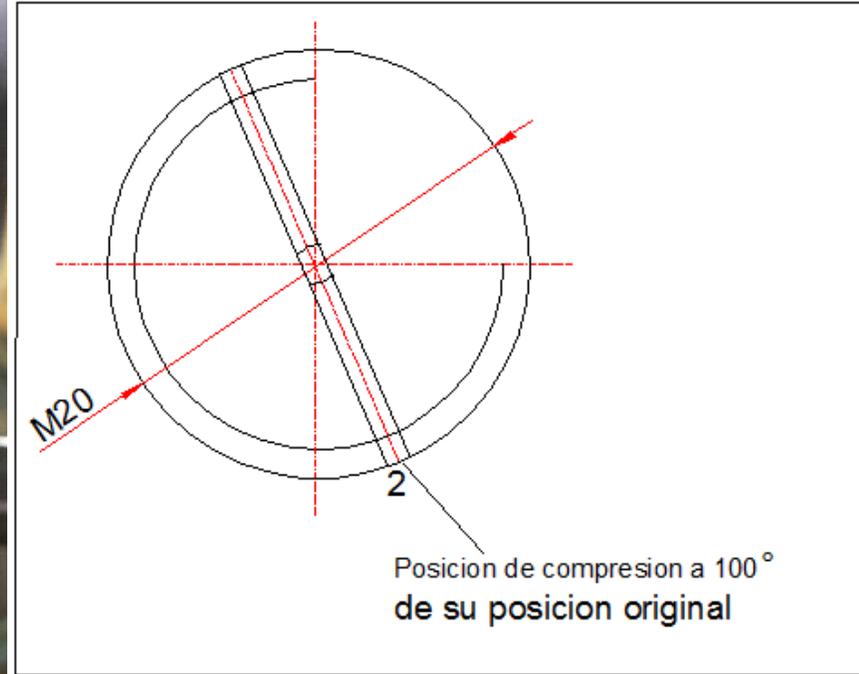


Ajustes de compresión en el tornillo de reglaje

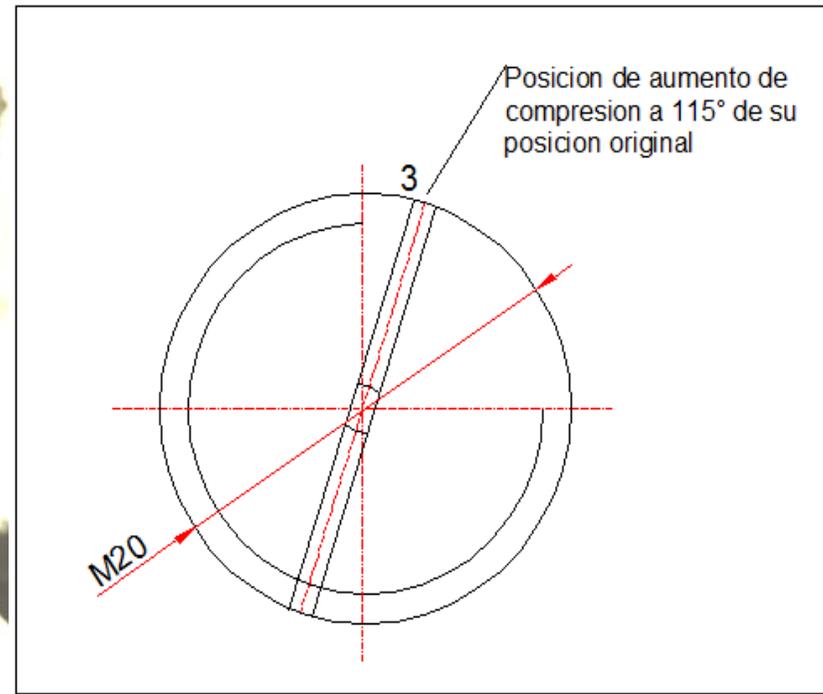
- Para observar los efectos producidos en la formación del ángulo de inyección producto de dichos ajustes, así como también se regulo al muelle del inyector para lograr una similitud en cuanto al ángulo de inyección formado por el combustible diésel.



Ajuste a una menor presión



Ajuste a una mayor presión



Datos del punto de inyección a presión normal

	Presión		Angulo (Grados)
	P_o (lb/in ²)	P_f (lb/in ²)	
Ac. de Palma virgen	196,5	388,75	59,7
Ac. de Soja	213,5	384	65,7
Ac. de Jatropha	216,5	393,25	67,6
Diésel	156,25	345,5	56,65
Ac. De Palma usada	212,5	410,25	63,3
Mezcla 50% aceite de palma virgen-50 % diésel	214,5	529,25	65,35
Mezcla 50% aceite de palma usada-50 % diésel	205,5	415,25	73,8
Emulsión	217,25	411,5	56,85

Datos del punto de inyección a mayor presión

	Presión		Angulo (Grados)
	$P_o(\text{lb}/\text{in}^2)$	$P_f(\text{lb}/\text{in}^2)$	
Ac. de Palma virgen	291,75	551,5	62,85
Ac. de Soja	263,5	526,75	72,3
Ac. de Jatropha	294	550,25	72,45
Diésel	161,5	495	61,65
Ac. De Palma usada	326,5	555	76,25
Mezcla 50% aceite de palma virgen-50 % diésel	325	529,25	72,15
Mezcla 50% aceite de palma usada-50 % diésel	303,75	524,5	79,1
Emulsión	315,75	525,75	69,25

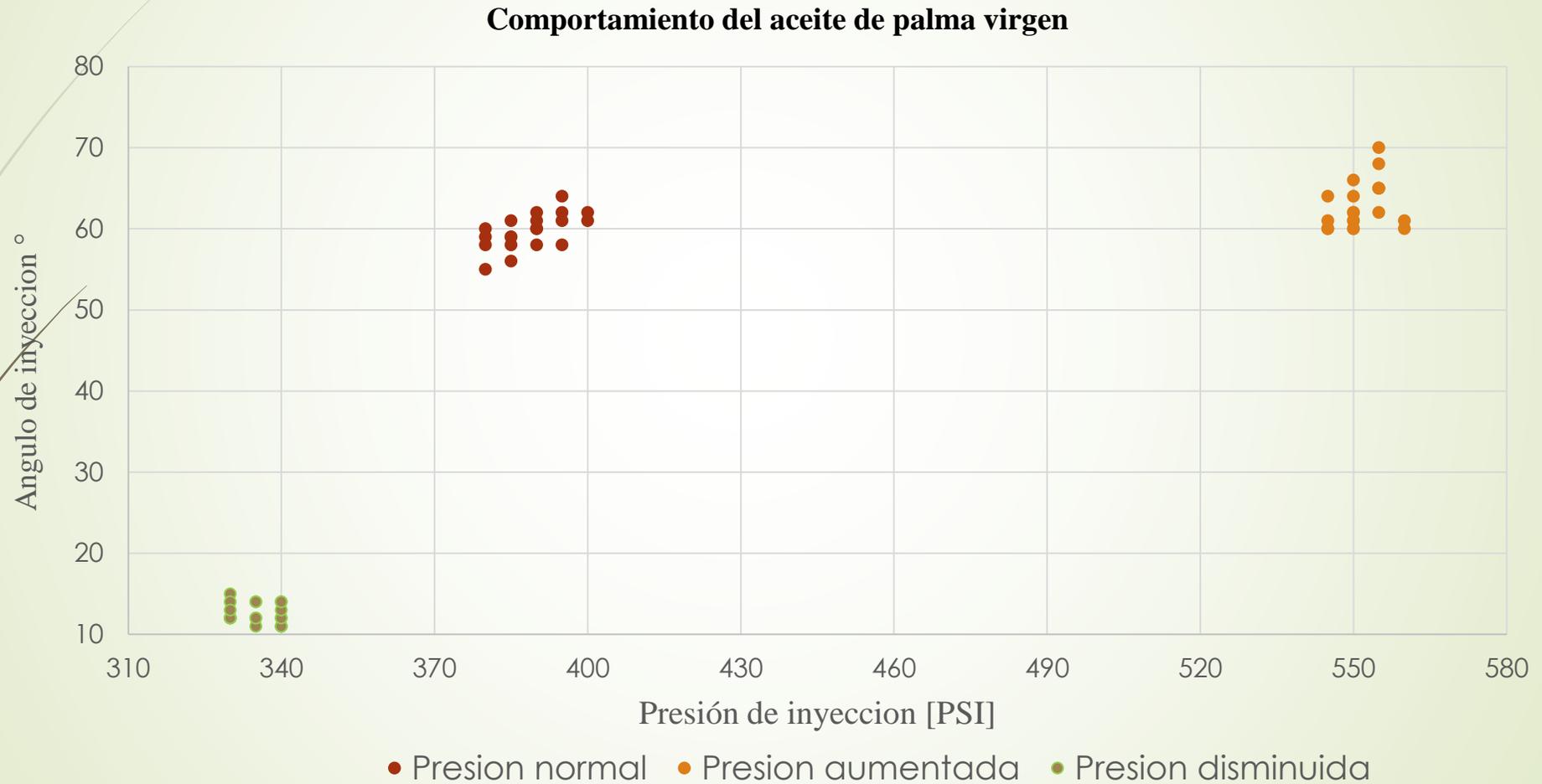
Datos del punto de inyección a menor presión

	Presión		Angulo (Grados)
	P_o (lb/in ²)	P_f (lb/in ²)	
Ac. de Palma virgen	155,75	334,25	12,55
Ac. de Soja	149,25	295,25	12,4
Ac. de Jatropha	153,75	363,25	17,65
Diésel	153,75	334,25	34,9

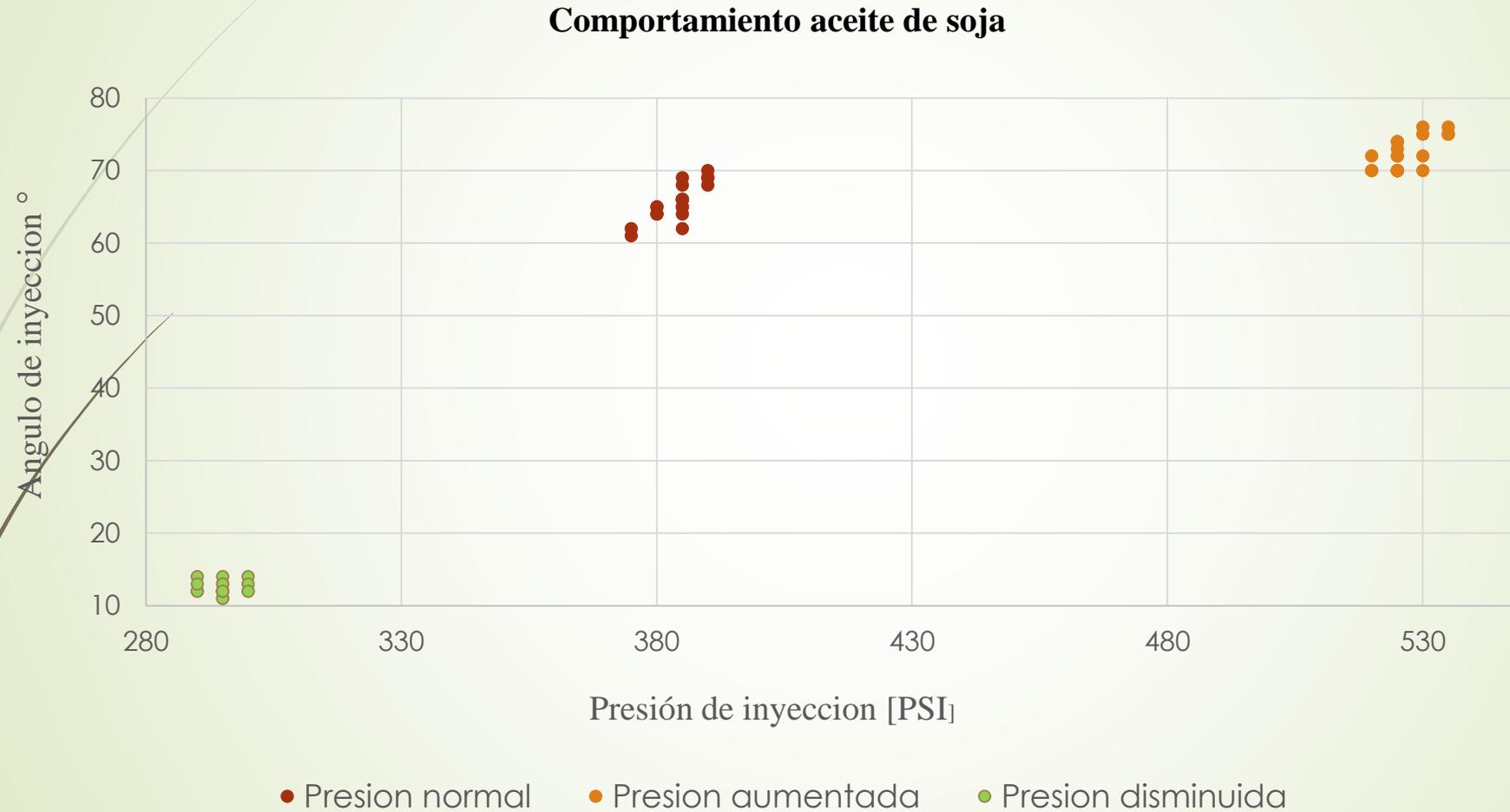
Datos del punto de inyección a presión regulada

	Presión		Angulo
	P_o (lb/in ²)	P_f (lb/in ²)	(Grados)
Ac. de Palma virgen	177,75	414	56,05
Ac. de Soja	201,25	399,75	57,05
Ac. de Jatropha	196,5	398,75	58,1
Diésel	153,25	349	55,75
Ac. De Palma usada	188,25	393,5	57,35
Mezcla 50% aceite de palma virgen-50 % diésel	183,5	396,5	57,35
Mezcla 50% aceite de palma usada-50 % diésel	187,5	378,75	58,7

Gráfica del comportamiento del Aceite de palma virgen

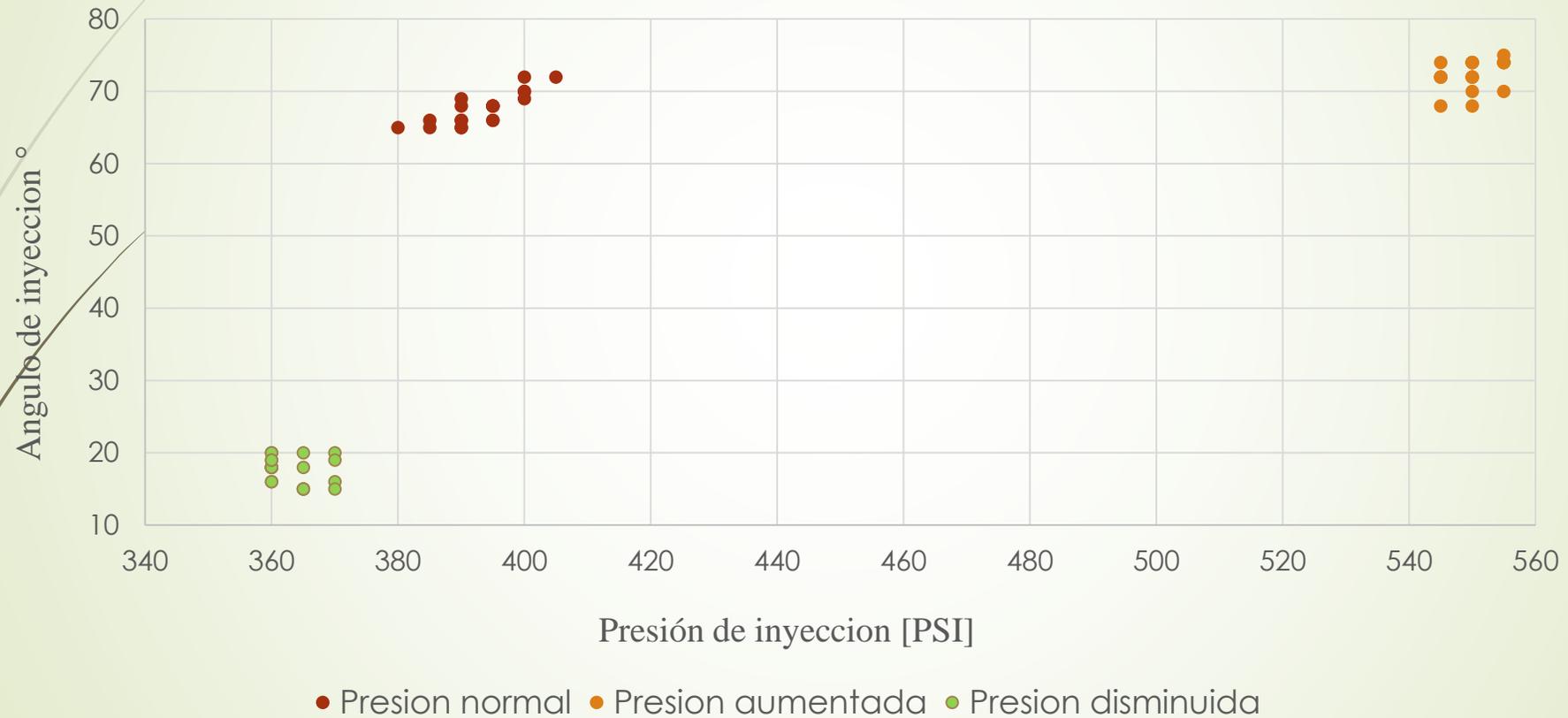


Gráfica del comportamiento del Aceite de Soja



Gráfica del comportamiento del Aceite de Jatropha

Comportamiento Jatropha



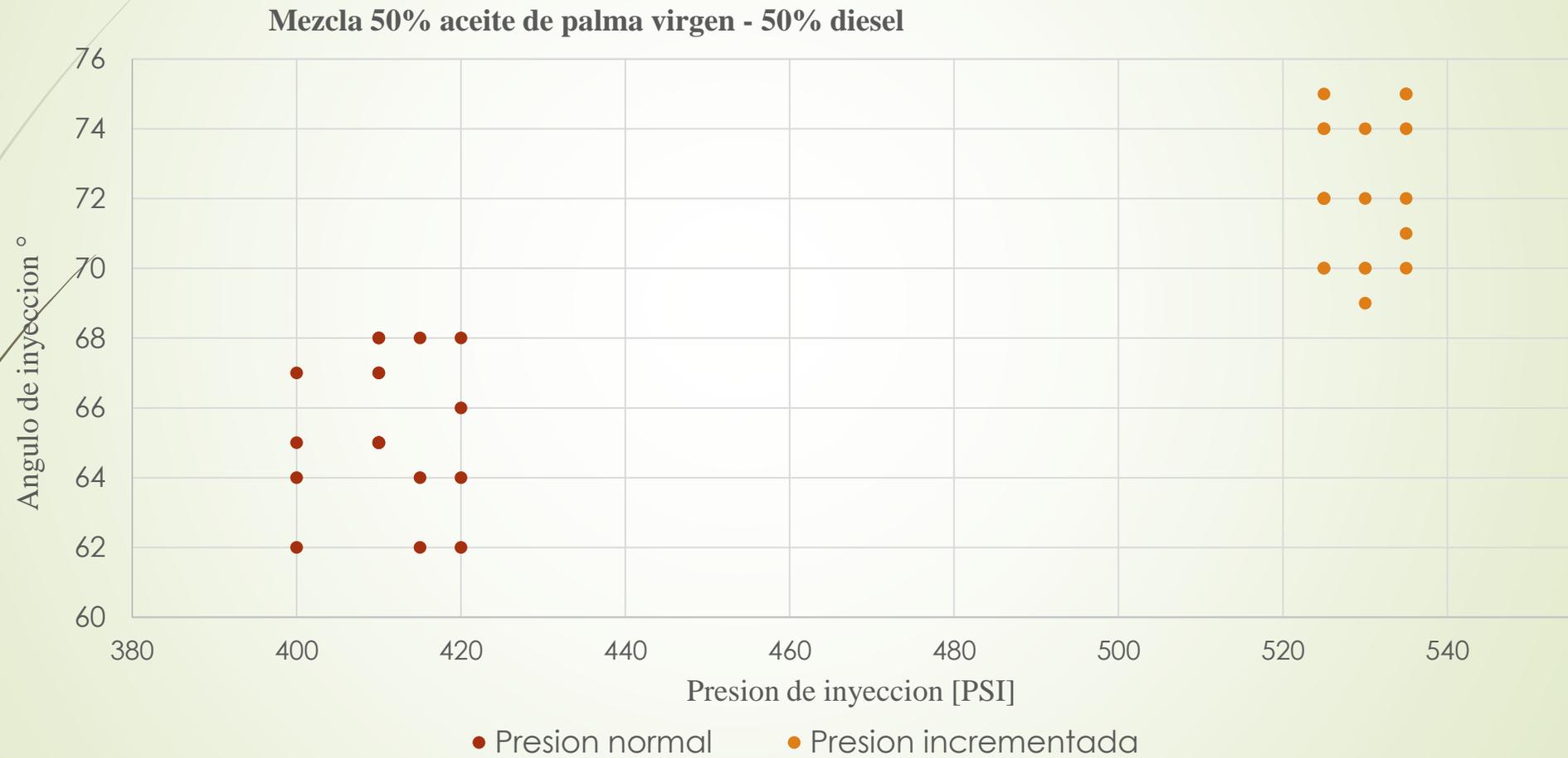
Gráfica del comportamiento del diesel



Gráfica del comportamiento del aceite de palma usado

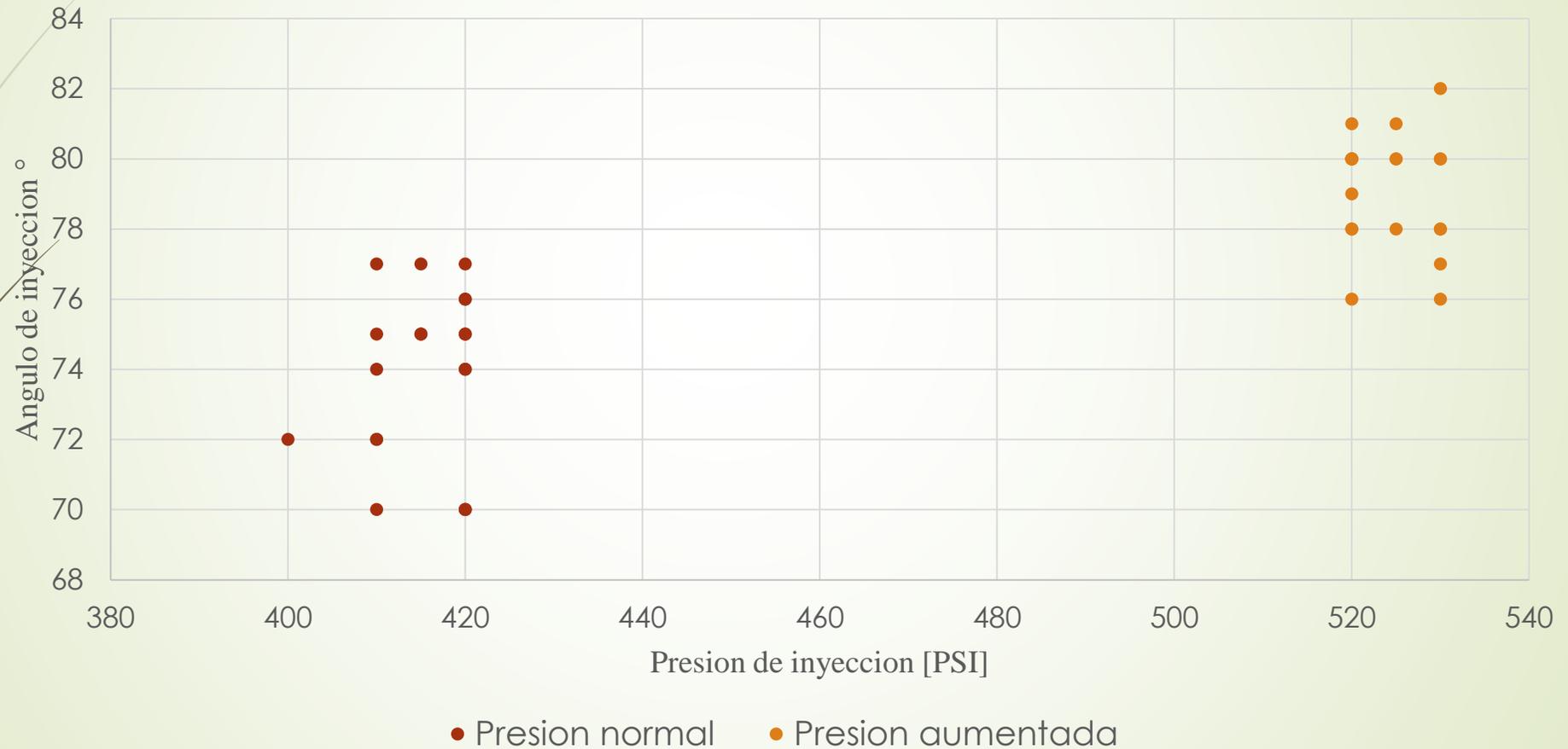


Gráfica del comportamiento de la mezcla palma virgen-diesel.



Gráfica del comportamiento de la mezcla palma usado-diesel

Mezcla 50% aceite de palma usada - 50% diesel



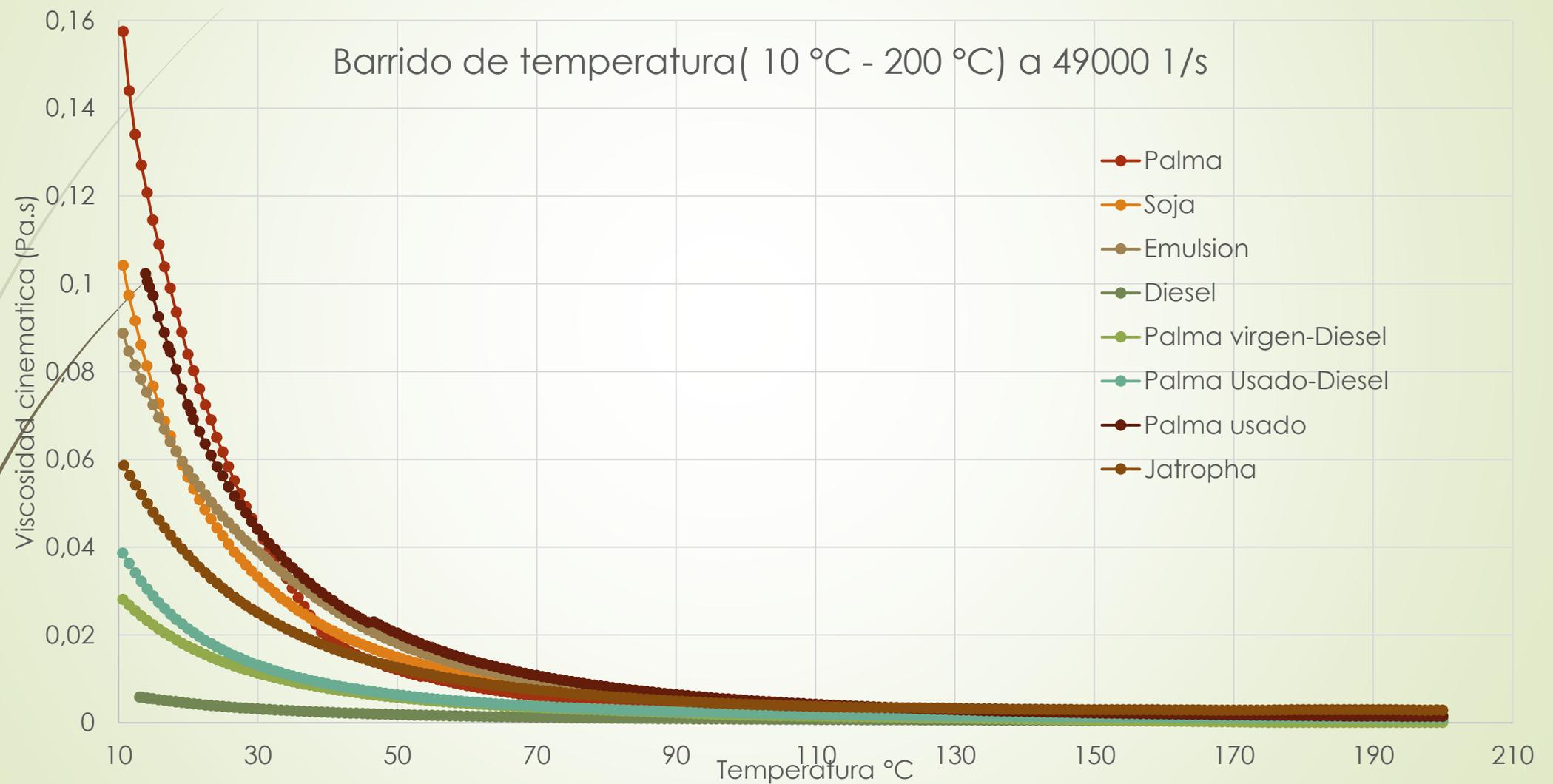
Gráfica del comportamiento de la emulsión



Ensayos reológicos-parámetros

PARAMETROS GEOMETRICOS			CONDICIONES DE OPERACIONES PARA LOS ENSAYOS		
Parámetros	Cantidad	Unidades	Parámetros	Cantidad	Unidades
Diámetro de la geometría	25	mm	Temperatura de operación inicial	10	°C
Gap	75	μm	Temperatura de operación final	200	°C
Loading Gap	26500	μm	Velocidad de cizalla fijada	49000	1/s
Trim gap offset	25	μm	Velocidad de rampa	5	°C/min
Material	Steel				
Environmental system	ETC				
Serial de la geometría	100104				
Tamaño de la muestra requerida	0.0368155	ml			

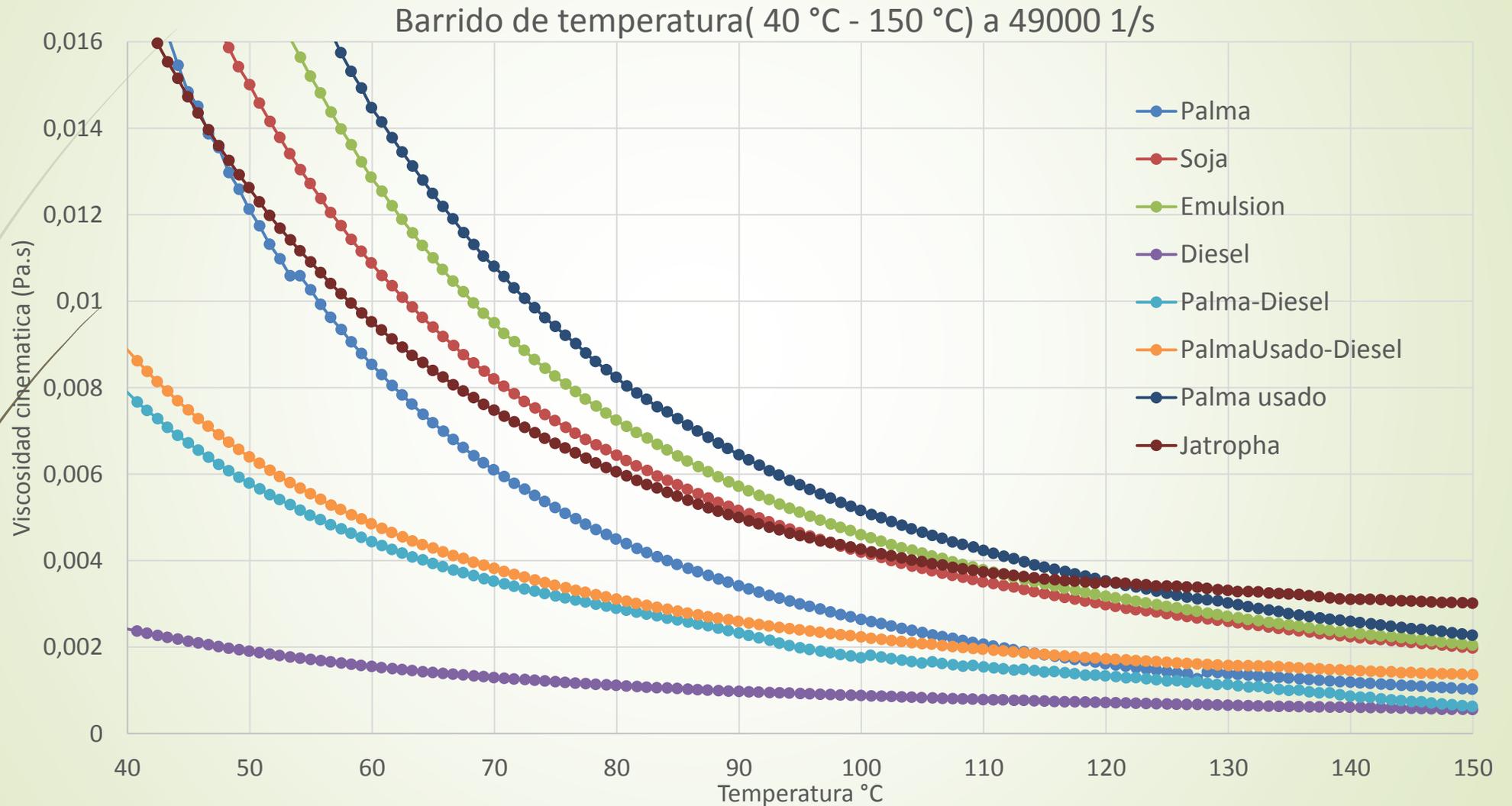
Ensayos reológicos-barrido de temperatura



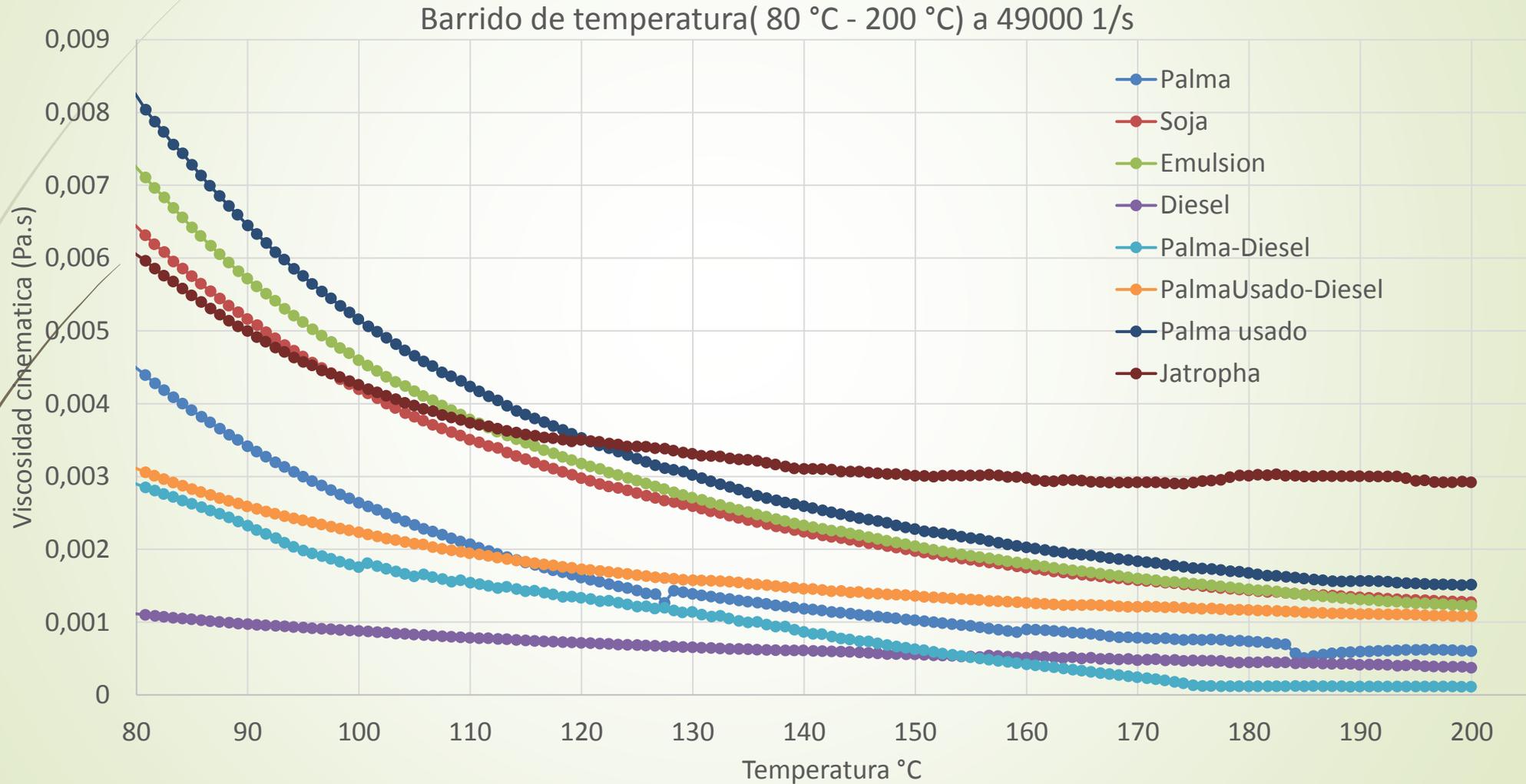
Ensayos reológicos-barrido de temperatura

Muestra	Stress	Shear rate	Viscosity	Step time	Temperature	Normal stress
	Pa	1/s	Pa.s	s	°C	Pa
A.Palma	3964,88	49047,9	0,0839373	120,048	19,945	-2225,58
Jatropha	1885,9	49343,8	0,0382195	240,016	19,941	-1765,3
Soja	2745,07	49007,3	0,0560135	120,032	19,931	-2132,6
Diésel	220,956	49007,5	0,0045086 3	120,044	19,91	-1883,17
Palmusa	3553,96	49032,3	0,072482	120,048	19,925	-2147,59
Palmvirg- diesel	857,599	49010,2	0,0174984	120,024	19,907	-1938,87
PalUsa- Diesel	1053,65	49041,8	0,0214847	120,02	19,944	-1985,1
Emulsión	2818,29	49044,4	0,057464	120,032	19,942	-1740,55

Ensayos reológicos-barrido de temperatura

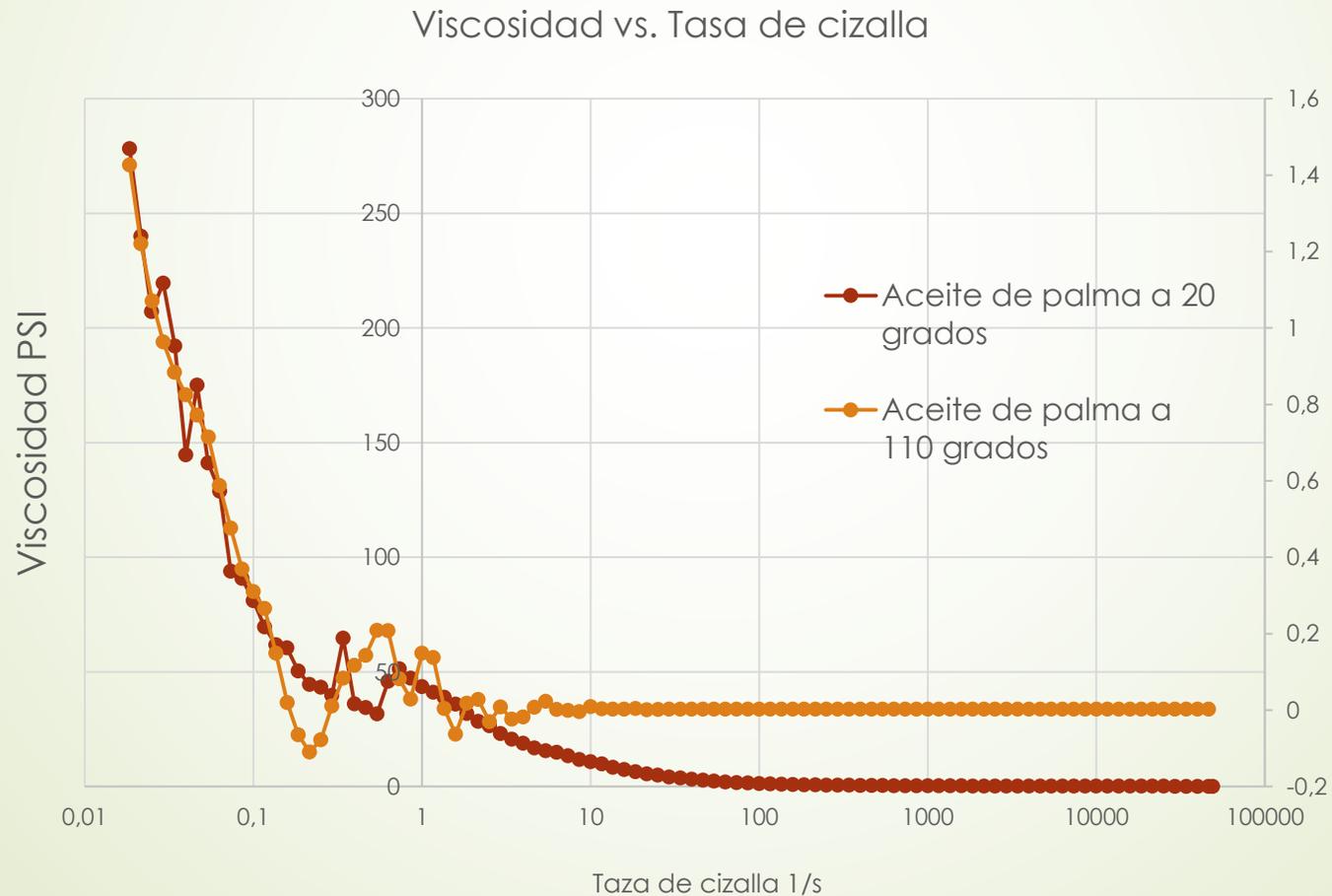


Ensayos reológicos-barrido de temperatura



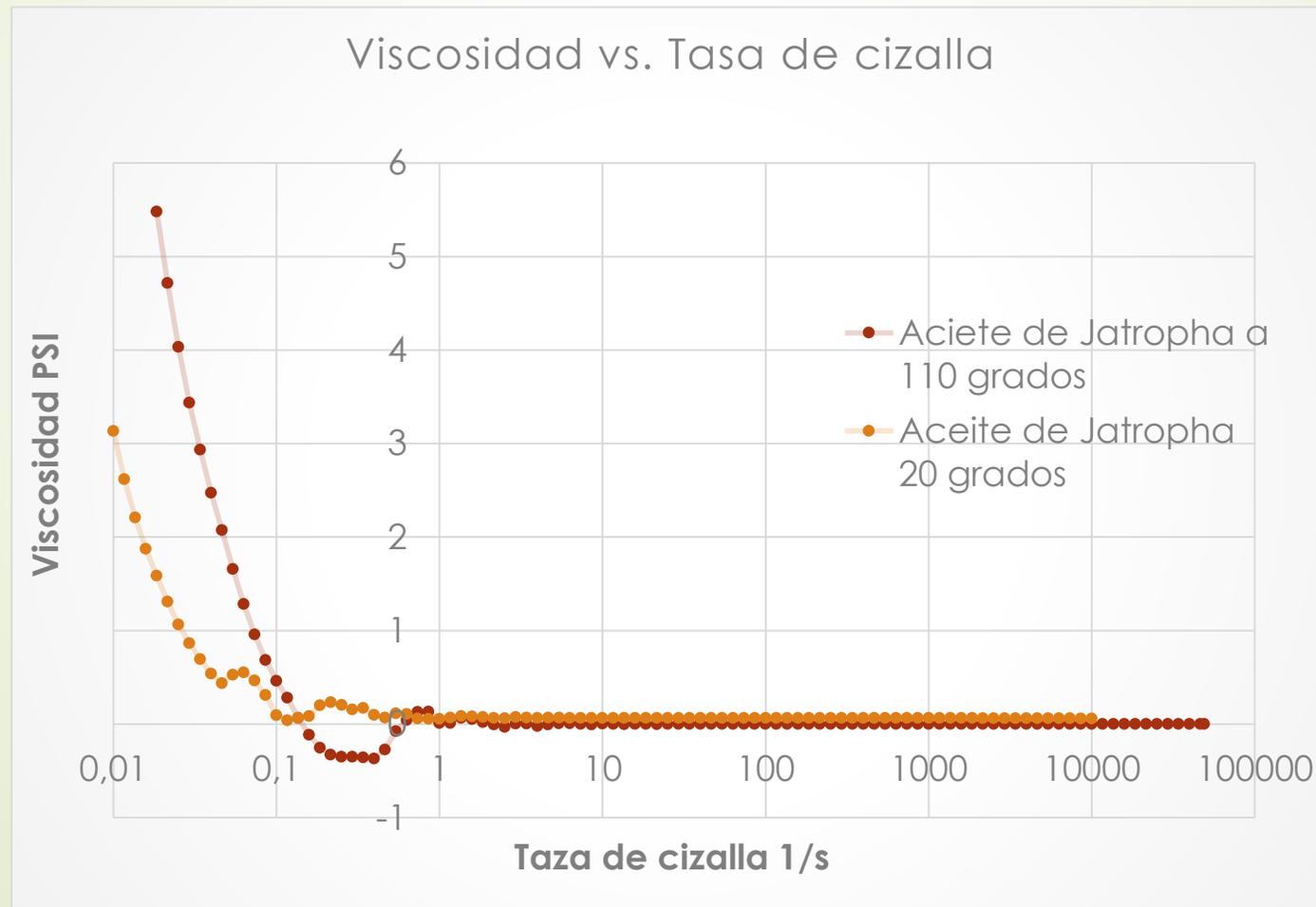
Ensayos reológico variación tasa de cizalla 0-49000 1/s

► Datos de aceite de palma virgen, 0-49000 1/s



Ensayos reológico variación tasa de cizalla 0-49000 1/s

➤ Datos de aceite de Jatropha, 0-49000 1/s



Aplicación del modelo de Hiroyasu

Nomenclatura	
θ	Ángulo de inyección
D	Diámetro del orificio de la boquilla
L	Longitud del orificio de la boquilla
D_0	Diámetro de la cámara del inyector
ρ_a	Densidad del aire
ρ_1	Densidad del líquido

$$\theta = 83,5 \left(\frac{L}{D}\right)^{-0,22} \left(\frac{D}{D_0}\right)^{0,15} \left(\frac{\rho_a}{\rho_1}\right)^{0,26}$$

$$D = 1.01 \text{ mm}$$

$$D_0 = 1.506 \text{ mm}$$

$$L = 0,93 \text{ mm}$$

$$\rho_a = 0,8233 \text{ kg/m}^3$$

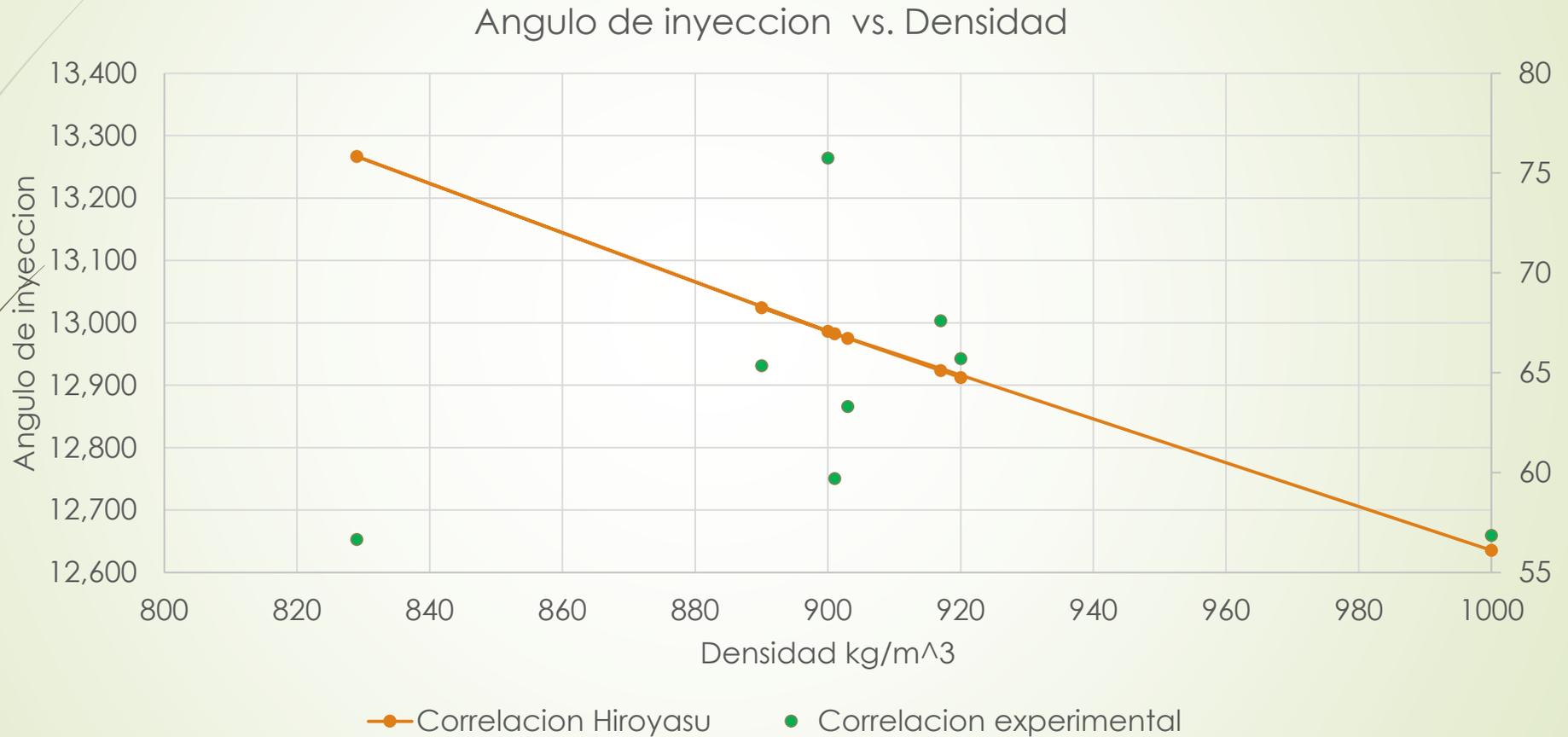
Aplicación del modelo de Hiroyasu

- ▶ En este modelo de expresión se debe tener en cuenta que Hiroyasu trabajo con factores de relación $\left(\frac{L}{D}\right)^{-0,22}$ y $\left(\frac{D}{D_0}\right)^{0,15}$ mayores que 1, esto debido a que los ensayos lo realizo haciendo pasar el fluido a través de un inyector con flujo continuo, muy diferente a nuestro caso. En esta investigación fue utilizado un solo tipo de inyector por lo que los factores de relación mencionados van a ser constantes y fraccionarios, razón por la cual varían de una forma exagerada con nuestros datos de ángulo de inyección obtenidas en el probador de inyectores

Aplicación del modelo de Hiroyasu

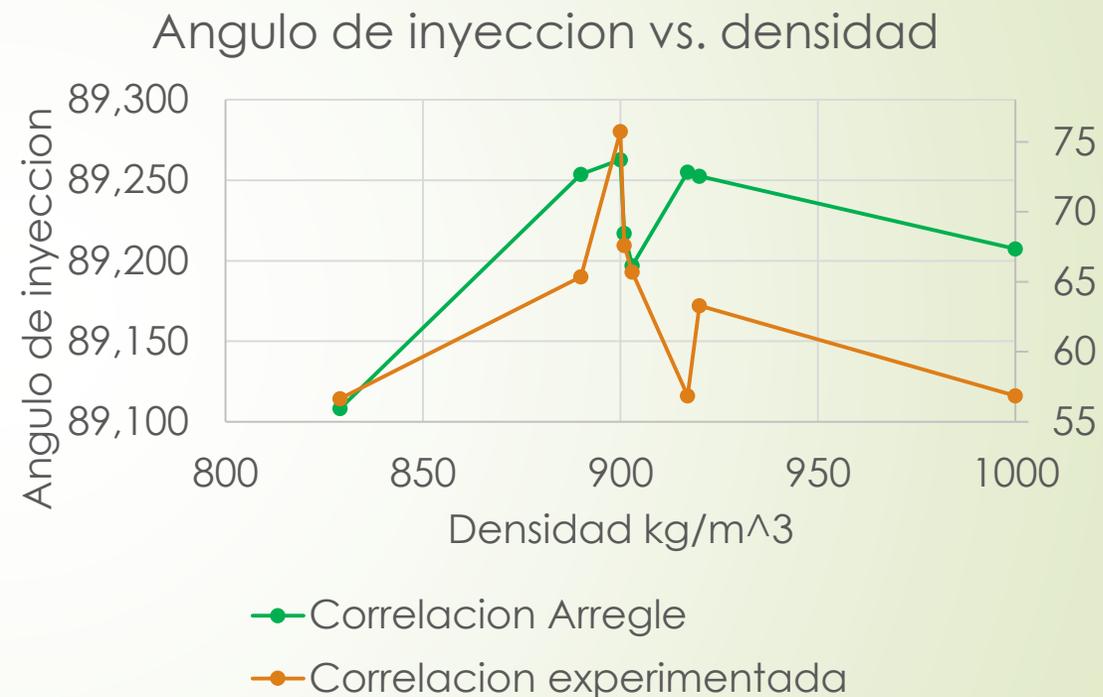
	Densidad(kg/m ³) a 20°C	Angulo de inyeccion	ángulos ensayados
Aceite de Soja	920	12,912	65,7
Aceite de Jatropha	917	12,923	67,6
Aceite de palma virgen	901	12,983	59,7
Diesel	829	13,267	56,65
Aceite de palma usada	903	12,975	63,3
Mezcla aceite de palma virgen-diesel	890	13,024	65,35
Mezcla aceite de palma usada-diesel	900	12,986	75,75
Emulsion	1000	12,635	56,85

Aplicación del modelo de Hiroyasu

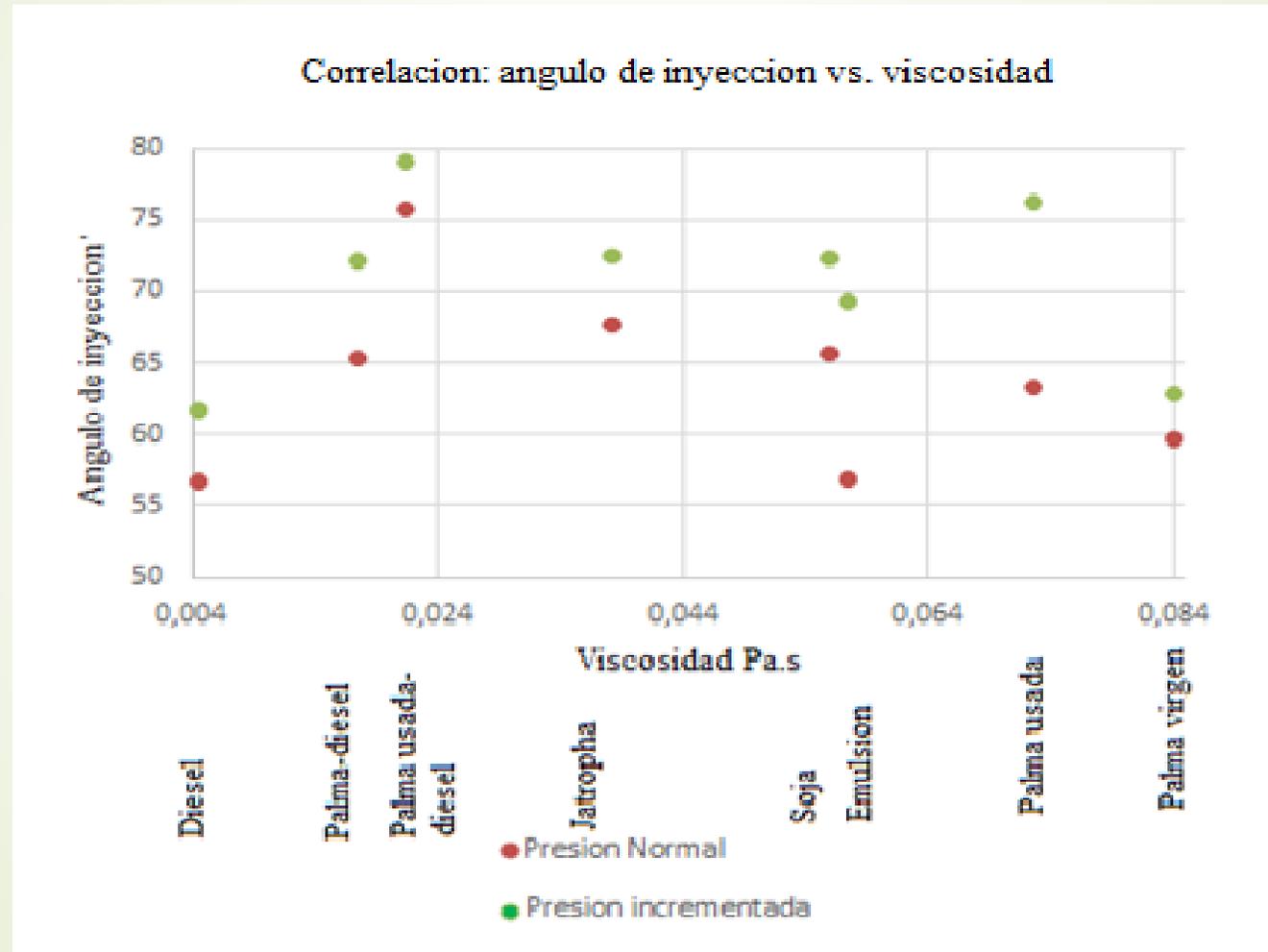


Aplicación del modelo de Arrégle $\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = D^{0,508} P_i^{0,00943} \rho_a^{0,335}$

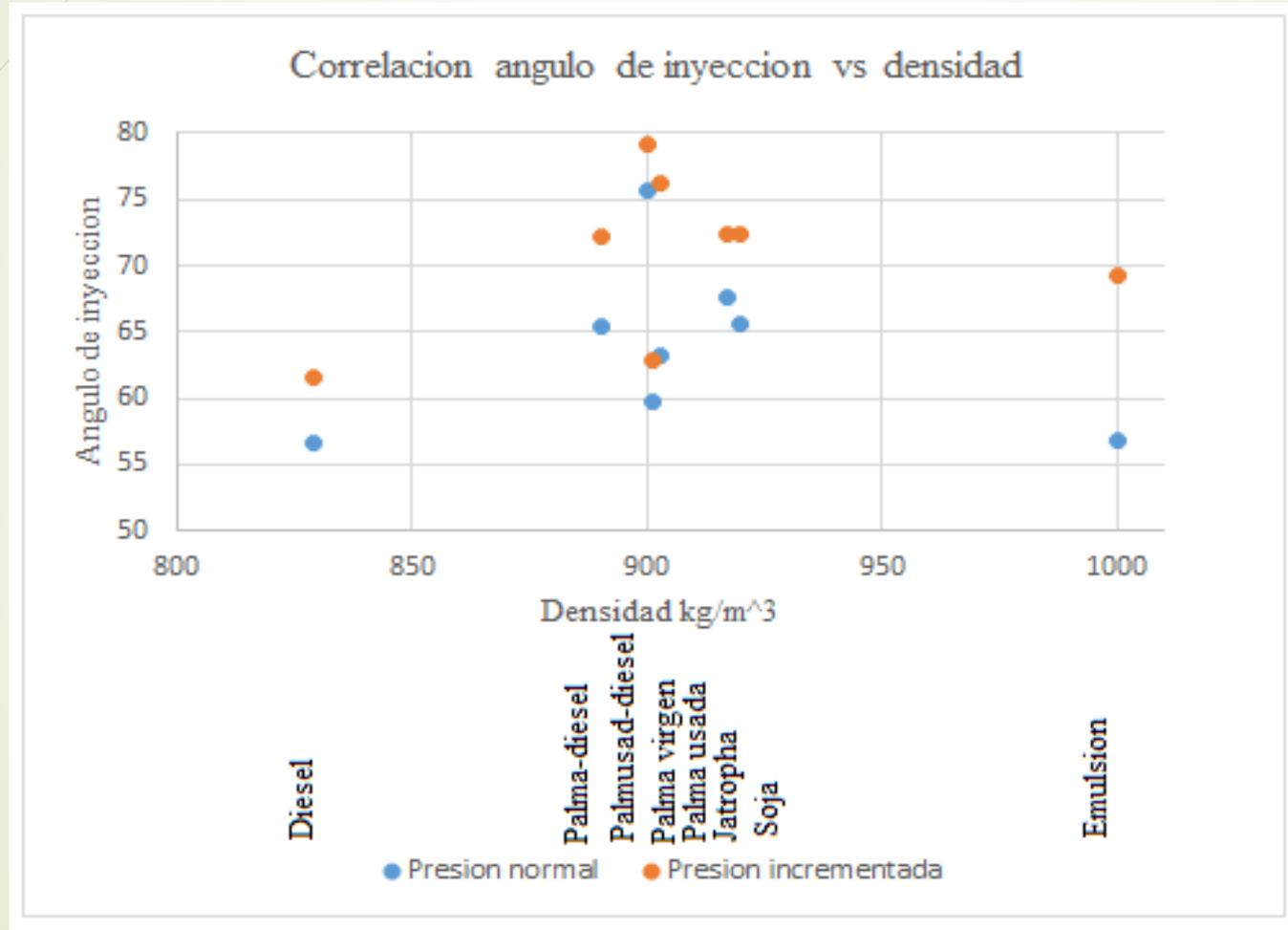
	P(lb/pg ²)	Angulo	Densidad	Angulo Experimental
Diesel	345,5	89,108	829	56,65
Palma-Diesel	410,75	89,254	890	65,35
PalUsa-Diesel	415,25	89,263	900	75,75
Jatropha	393,25	89,217	901	67,6
Soja	384	89,197	903	65,7
Emulsion	411,5	89,255	917	56,85
PalmaUsa	410,25	89,253	920	63,3
Palma	388,75	89,207	1000	56,85



Correlación entre la viscosidad, ángulo y presión de inyección



Correlación entre la densidad, ángulo y presión de inyección



Conclusiones

- El estudio del comportamiento de la forma y penetración del cono de inyección de los aceites ensayados se evaluó en comparaciones desarrolladas por el comportamiento mostrado por el diésel, y serán de ayuda para un análisis futuro de proceso de inyección en un motor real.
- Las propiedades de densidad y viscosidad de los aceites ensayados no influyeron de forma evidente en la formación del cono de inyección.
- Los parámetros geométricos del inyector utilizado así como la presión de inyección, fueron factores que influyeron dentro de la forma y penetración del cono de inyección.
- Los ensayos realizados a los aceites, mezclas y emulsión mostraron comportamientos diferentes. Cada uno de ellos presenta diferentes formas de pulverización, unas con formas más claras de formación de cono de inyección que otras.
- El protocolo de ensayo para el estudio reológico con una tasa de cizalla máxima de 49000 1/s, no mostro diferencias apreciables con los realizados encima de 100 1/s.
- Analizando la expresión de Hiroyasu, se concluye que dicha expresión no cumple con nuestros datos ensayados, por ejemplo para el diésel existe una diferencia de 43,83° entre el valor del ángulo de inyección ensayado al obtenido mediante Hiroyasu, por tanto no puede aplicarse dicha expresión para el caso del aceites ensayados, por no cumplir una tendencia en cuanto al comportamiento de las densidades con el comportamiento del ángulo formado, esto debido a la diferencia de los parámetros de ensayo utilizado para el desarrollo de la expresión con nuestros parámetros de inyección.



Recomendaciones

- ▶ Debido a que no existe una tendencia clara del comportamiento de la densidad y viscosidad sobre el comportamiento del ángulo de inyección de los aceites ensayados, se recomienda investigar que otros factores intervienen para generar una correlación más clara y gradual
- ▶ Analizar desde el punto de vista de la combustión, la influencia de presión máxima para una mejor visualización de la formación del ángulo de inyección, debido a que la mejor combinación aire-combustible resulta más beneficiosa.
- ▶ Respecto a los ensayos realizados con una mezcla 50% aceite de palma ya sea virgen o usada y 50% diésel, se recomienda analizar estos casos respecto al rendimiento y emisiones de gases en un motor, debido a que siguió una ligera tendencia de comportamiento en cuanto a la densidad y viscosidad.