



**Análisis de la influencia de la composición de las mezclas de biocombustibles en la formación del cono de inyección**

Trávez Cruz, Diego Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Dr. Goyos Pérez, Leonardo.

10 de septiembre de 2021

## Informe de originalidad

---

NOMBRE DEL CURSO

TITULACIONES

NOMBRE DEL ALUMNO

DIEGO ANDRES TRAVEZ CRUZ

NOMBRE DEL ARCHIVO

DIEGO ANDRES TRAVEZ CRUZ - Documento sin título

SE HA CREADO EL INFORME

9 sept 2021



Firmado electrónicamente por:  
**LEONARDO  
GOYOS PEREZ**

---

### Resumen

Fragmentos marcados	40	7 %
Fragmentos citados o entrecomillados	11	4 %

### Coincidencias de la Web

espe.edu.ec	43	9 %
slideshare.net	4	0,7 %
puce.edu.ec	2	0,5 %
dl-manual.com	1	0,1 %
forosecuador.ec	1	0,1 %

---



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Análisis de la influencia de la composición de las mezclas de biocombustibles en la formación del cono de inyección”** fue realizado por el señor **Trávez Cruz, Diego Andrés** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de septiembre del 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**LEONARDO  
GOYOS PEREZ**

**Dr. Goyos Pérez, Leonardo  
DIRECTOR**

C. C. 1757783525



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Trávez Cruz, Diego Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 050359776-7, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Análisis de la influencia de la composición de las mezclas de biocombustibles en la formación del cono de inyección"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 02 de septiembre del 2021

Firma

**Trávez Cruz, Diego Andrés**  
**AUTOR**

C.C.: 050359776-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo Trávez Cruz, Diego Andrés, con cédula de ciudadanía n° 050359776-7, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "Análisis de la influencia de la composición de las mezclas de biocombustibles en la formación del cono de inyección" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 02 de septiembre del 2021

Firma

Trávez Cruz, Diego Andrés  
AUTOR

C.C.: 050359776-7

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Olger y Miryan quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, que nunca perdieron la fé y la esperanza en mi, que pese a cualquier adversidad nunca ha faltado amor, cariño y afecto hacia mi persona, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios y la virgen están conmigo siempre.

A mi hermano Holguer David “Juny” por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis abuelos, mi papá Ricardo, que siempre ha velado por mi bienestar y salud, estando a mi lado en todo momento desde niño, confiando en mi incondicionalmente en todo momento, a mis tíos que han estado a mi lado como unos segundos padres, siendo un ejemplo a seguir quienes me han apoyado e inculcado valores que me han hecho la persona que soy ahora.

Esta tesis está dedicada la memoria de mi hermano Diego Lizandro y mi abuelo Raúl.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos y personas que estuvieron a mi lado y contribuyeron con la finalización de esta etapa en mi vida, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el interés brindado cada día.

***Diego Andrés Trávez Cruz***

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios y la virgen, quienes con su bendición llenan siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Gracias a mis padres Olger y Miryan, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado, por no permitirme rendir a lo largo de mis estudios y siempre apoyarme en todas las decisiones que tome.

Gracias a mi hermano, tíos y abuelos, que han llenado de sabiduría mi camino universitario, que con sus consejos y valores transmitidos me han permitido crecer como persona y profesional.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", en especial al Dr. Leonardo Goyos, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo.

***Diego Andrés Trávez Cruz***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	6
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	8
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	11
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	16
<b>RESUMEN</b> .....	26
<b>ABSTRACT</b> .....	27
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>GENERALIDADES</b> .....	28
Tema .....	28
Antecedentes .....	28
Definición del problema .....	28
Justificación e importancia .....	29
Alcance.....	29
Objetivos .....	30
Objetivo general.....	30
Objetivos específicos.....	30
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	32
Aceites vegetales.....	32
Ventajas de los aceites vegetales .....	32
Propiedades de los aceites vegetales .....	33
Aceite de Palma.....	34
Aceite de Soja.....	35
Aceite de Jatropha Curcas .....	35
Proceso de combustión .....	36
Parámetros de pulverización.....	37
Ángulo de cono de pulverización .....	38
Longitud de ruptura .....	39
Tamaño de distribución de gotas .....	39
Punta de penetración de pulverización .....	39
Modelos para establecer los parámetros de pulverización .....	39
Modelo de Hiroyasu .....	39
Modelo de Wakuri.....	46

Modelo de Elkotb .....	52
Modelo de Castanheira .....	55
Modelo de Arregle .....	57
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>60</b>
Aceite de Palma Virgen .....	60
Aceite de Soja.....	65
Aceite de Jatropha Curcas .....	70
Diésel.....	75
Aceite de Palma Usada .....	79
Aceite de Palma Virgen y Diésel .....	86
Emulsión.....	90
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>CÁLCULOS Y APLICACIÓN EN MODELOS MATEMÁTICOS .....</b>	<b>94</b>
Datos .....	94
Aceite de Palma Virgen .....	95
Modelo de Hiroyasu .....	95
Modelo de Castanheira .....	100
Modelo de Arregle .....	105
Aceite de Soja.....	112
Modelo de Hiroyasu .....	112
Modelo de Castanheira .....	117
Modelo de Arregle .....	122
Aceite de Jatropha Curcas .....	129
Modelo de Hiroyasu .....	129
Modelo de Castanheira .....	134
Modelo de Arregle .....	139
Diésel.....	146
Modelo de Hiroyasu .....	146
Modelo de Castanheira .....	150
Modelo de Arregle .....	154
Aceite de Palma Usada.....	160
Modelo de Hiroyasu .....	160
Modelo de Castanheira .....	164
Modelo de Arregle .....	168
Mezcla de Palma Usada - Diésel.....	173

Modelo de Hiroyasu .....	173
Modelo de Castanheira .....	177
Modelo de Arregle .....	181
Mezcla de Palma Virgen - Diésel .....	187
Modelo de Hiroyasu .....	187
Modelo de Castanheira .....	191
Modelo de Arregle .....	195
Emulsión (Palma virgen (70%), Etanol (20%), Agua (5%), Tween 80 (5%)) .....	200
Modelo de Hiroyasu .....	200
Modelo de Castanheira .....	203
Modelo de Arregle .....	206
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	211
Longitud de ruptura de pulverización en Modelo de Hiroyasu .....	211
Ángulo de cono de pulverización en Modelo de Hiroyasu .....	212
Ángulo de cono de pulverización en Modelo de Castanheira .....	213
Punta de penetración de pulverización en Modelo de Hiroyasu.....	215
Punta de penetración de pulverización en Modelo de Castanheira .....	219
Punta de penetración de pulverización en Modelo de Arregle .....	223
<b>CAPITULO 6</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	228
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	231
<b>ANEXOS</b> .....	233

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión original .....	60
<b>Tabla 2</b>	Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión menor a la original .....	61
<b>Tabla 3</b>	Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión mayor a la original .....	62
<b>Tabla 4</b>	Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión regulada .....	63
<b>Tabla 5</b>	Medidas de aceite de soja realizadas a una compresión original .....	65
<b>Tabla 6</b>	Medidas de aceite de soja realizadas a una compresión menor a la original .....	66
<b>Tabla 7</b>	Medidas de aceite de Soja realizadas a una compresión mayor a la original .....	67
<b>Tabla 8</b>	Medidas de aceite de Soja realizadas a una compresión regulada .....	68
<b>Tabla 9</b>	Medidas de aceite de Jatropha Curcas realizadas a una compresión original .....	70
<b>Tabla 10</b>	Medidas de aceite de Jatropha Curcas realizadas a una compresión menor a la original .....	71
<b>Tabla 11</b>	Medidas de aceite de Jatropha curcas realizadas a una compresión mayor a la original .....	72
<b>Tabla 12</b>	Medidas de aceite de Jatropha curcas realizadas a una compresión regulada.....	73
<b>Tabla 13</b>	Medidas de diésel realizadas a una compresión original.....	75
<b>Tabla 14</b>	Medidas de diésel realizadas a una compresión menor a la original .....	76
<b>Tabla 15</b>	Medidas de diésel realizadas a una compresión mayor a la original .....	77
<b>Tabla 16</b>	Medidas de aceite de palma usada realizadas a una compresión original .....	79
<b>Tabla 17</b>	Medidas de aceite de palma usada realizadas a una compresión mayor a la original.....	80
<b>Tabla 18</b>	Medidas de aceite de palma usada realizadas a una compresión regulada .....	81
<b>Tabla 19</b>	Medidas de aceite de palma usada - diésel realizadas a una compresión original .....	83
<b>Tabla 20</b>	Medidas de aceite de palma usada - diésel realizadas a una compresión mayor a la original .....	84
<b>Tabla 21</b>	Medidas de aceite de palma usada - diésel realizadas a una compresión regulada .....	85
<b>Tabla 22</b>	Medidas de aceite de palma virgen - diésel realizadas a una compresión original.....	86
<b>Tabla 23</b>	Medidas de aceite de palma virgen - diésel realizadas a una compresión mayor a la original .....	87
<b>Tabla 24</b>	Medidas de aceite de palma virgen - diésel realizadas a una compresión regulada.....	88
<b>Tabla 25</b>	Medidas de emulsión realizadas a una compresión original .....	90
<b>Tabla 26</b>	Medidas de emulsión realizadas a una compresión mayor a la original .....	91
<b>Tabla 27</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original .....	95
<b>Tabla 28</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor a la original .....	96
<b>Tabla 29</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original.....	97
<b>Tabla 30</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada .....	98
<b>Tabla 31</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original .....	100
<b>Tabla 32</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original .....	101
<b>Tabla 33</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original.....	102
<b>Tabla 34</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada .....	103
<b>Tabla 35</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	105

<b>Tabla 36</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original.....	107
<b>Tabla 37</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original .....	108
<b>Tabla 38</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada .....	110
<b>Tabla 39</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original.....	113
<b>Tabla 40</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor a la original .....	114
<b>Tabla 41</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original .....	115
<b>Tabla 42</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada.....	116
<b>Tabla 43</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original .....	117
<b>Tabla 44</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original .....	118
<b>Tabla 45</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original .....	119
<b>Tabla 46</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada.....	120
<b>Tabla 47</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	122
<b>Tabla 48</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original .....	124
<b>Tabla 49</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original.....	125
<b>Tabla 50</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada .....	127
<b>Tabla 51</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original .....	129
<b>Tabla 52</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor a la original .....	131
<b>Tabla 53</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original.....	132
<b>Tabla 54</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada .....	133
<b>Tabla 55</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original .....	134
<b>Tabla 56</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original .....	135
<b>Tabla 57</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original.....	136
<b>Tabla 58</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada .....	137
<b>Tabla 59</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	139

<b>Tabla 60</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original.....	141
<b>Tabla 61</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original .....	143
<b>Tabla 62</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada .....	144
<b>Tabla 63</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original.....	147
<b>Tabla 64</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor original .....	148
<b>Tabla 65</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original .....	149
<b>Tabla 66</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original.....	150
<b>Tabla 67</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original .....	151
<b>Tabla 68</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original .....	152
<b>Tabla 69</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	154
<b>Tabla 70</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original .....	156
<b>Tabla 71</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original.....	157
<b>Tabla 72</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original .....	160
<b>Tabla 73</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original.....	161
<b>Tabla 74</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada .....	162
<b>Tabla 75</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original.....	164
<b>Tabla 76</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original.....	165
<b>Tabla 77</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada .....	166
<b>Tabla 78</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	168
<b>Tabla 79</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original .....	169
<b>Tabla 80</b>	Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada .....	171
<b>Tabla 81</b>	Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original .....	174
<b>Tabla 82</b>	Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original .....	175

<b>Tabla 83</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada .....	176
<b>Tabla 84</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original.....	177
<b>Tabla 85</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original .....	178
<b>Tabla 86</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada.....	179
<b>Tabla 87</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión original.....	181
<b>Tabla 88</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original .....	183
<b>Tabla 89</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada.....	184
<b>Tabla 90</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original .....	187
<b>Tabla 91</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original .....	188
<b>Tabla 92</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada .....	189
<b>Tabla 93</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original .....	191
<b>Tabla 94</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original .....	192
<b>Tabla 95</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada .....	193
<b>Tabla 96</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	195
<b>Tabla 97</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original .....	196
<b>Tabla 98</b> Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada .....	198
<b>Tabla 99</b> Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original.....	201
<b>Tabla 100</b> Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original .....	202
<b>Tabla 101</b> Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original .....	203
<b>Tabla 102</b> Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original .....	204
<b>Tabla 103</b> Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original .....	206

<b>Tabla 104</b>	Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original.....	208
<b>Tabla 105</b>	Errores obtenidos para las longitudes de ruptura de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu.....	211
<b>Tabla 106</b>	Errores obtenidos para el ángulo de cono de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu.....	212
<b>Tabla 107</b>	Resumen de valores de punta de penetración de pulverización de diferentes fluidos de trabajo aplicados a diferentes modelos matemáticos.....	214
<b>Tabla 108</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original.....	215
<b>Tabla 109</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original.....	216
<b>Tabla 110</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original. ....	217
<b>Tabla 111</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada.....	218
<b>Tabla 112</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original.....	219
<b>Tabla 113</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original. ....	220
<b>Tabla 114</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original. ....	221
<b>Tabla 115</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada.....	222
<b>Tabla 116</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle original. ....	223
<b>Tabla 117</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original. ....	224
<b>Tabla 118</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original. ....	225
<b>Tabla 119</b>	Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada.....	226

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Diagrama de bloque de un proceso de combustión diésel .....	37
<b>Figura 2</b>	Parámetros de pulverización .....	38
<b>Figura 3</b>	Ángulo de cono de pulverización.....	38
<b>Figura 4</b>	Ángulo de pulverización y longitud de ruptura vs. Velocidad de inyección .....	40
<b>Figura 5</b>	Longitud de ruptura vs velocidad de inyección .....	41
<b>Figura 6</b>	Efecto del diámetro de la boquilla sobre la longitud de ruptura .....	42
<b>Figura 7</b>	Efecto de la relación L/D sobre la longitud de ruptura .....	43
<b>Figura 8</b>	Los efectos de la presión ambiente y la presión de inyección sobre el diámetro medio de Sauter.....	45
<b>Figura 9</b>	Los efectos del diámetro del agujero de la boquilla sobre la punta de penetración de pulverización.....	46
<b>Figura 10</b>	Coeficiente de resistencia en función del número de Reynolds .....	47
<b>Figura 11</b>	Modelo de pulverización de combustible.....	48
<b>Figura 12</b>	Vista seccional de la cámara de combustión de un motor diésel y la variación de distribución de aire .....	49
<b>Figura 13</b>	Ángulo de cono de pulverización en función de la densidad de aire en una cámara de combustión .....	50
<b>Figura 14</b>	Números dimensionales de penetración de pulverización vs. números dimensionales de las condiciones de inyección .....	51
<b>Figura 15</b>	Comparación de valores calculados y experimentales del diametro medio de Sauter..	55
<b>Figura 16</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Palma Virgen .....	61
<b>Figura 17</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con aceite de Palma Virgen .....	62
<b>Figura 18</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Palma Virgen .....	63
<b>Figura 19</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Palma Virgen .....	64
<b>Figura 20</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de Palma Virgen .....	64
<b>Figura 21</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Soja .....	66
<b>Figura 22</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con aceite de Soja.....	67
<b>Figura 23</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Soja .....	68
<b>Figura 24</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Soja .....	69
<b>Figura 25</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de Soja .....	69
<b>Figura 26</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Jatropa Curcas.....	71
<b>Figura 27</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con aceite de Jatropa Curcas.....	72
<b>Figura 28</b>	Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Jatropa Curcas .....	73

<b>Figura 29</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	74
<b>Figura 30</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de <i>Jatropha curcas</i> .....	74
<b>Figura 31</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con combustible Diésel .....	76
<b>Figura 32</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con combustible Diésel .....	77
<b>Figura 33</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con combustible Diésel .....	78
<b>Figura 34</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con combustible Diésel .....	78
<b>Figura 35</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Palma usada .....	80
<b>Figura 36</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Palma usada .....	81
<b>Figura 37</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Palma usada .....	82
<b>Figura 38</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de Palma usada .....	82
<b>Figura 39</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel .....	83
<b>Figura 40</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel .....	84
<b>Figura 41</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel .....	85
<b>Figura 42</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel .....	86
<b>Figura 43</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel .....	87
<b>Figura 44</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel .....	88
<b>Figura 45</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel .....	89
<b>Figura 46</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel .....	89
<b>Figura 47</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con mezcla de Emulsión .....	91
<b>Figura 48</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con mezcla de Emulsión .....	92
<b>Figura 49</b> Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con mezcla de Emulsión .....	92
<b>Figura 50</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen .....	96
<b>Figura 51</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen .....	97

<b>Figura 52</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma Virgen .....	98
<b>Figura 53</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma Virgen .....	99
<b>Figura 54</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de Palma Virgen.....	99
<b>Figura 55</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen .....	101
<b>Figura 56</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen .....	102
<b>Figura 57</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma Virgen .....	103
<b>Figura 58</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma Virgen .....	104
<b>Figura 59</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Palma Virgen.....	105
<b>Figura 60</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen .....	106
<b>Figura 61</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen .....	106
<b>Figura 62</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen .....	108
<b>Figura 63</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen .....	108
<b>Figura 64</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma Virgen.....	109
<b>Figura 65</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen .....	110
<b>Figura 66</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma Virgen .....	111
<b>Figura 67</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen .....	111
<b>Figura 68</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de Palma Virgen .....	111
<b>Figura 69</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Soja .....	113
<b>Figura 70</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor original de aceite de Soja .....	114
<b>Figura 71</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja.....	115

<b>Figura 72</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja .....	116
<b>Figura 73</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de Soja .....	117
<b>Figura 74</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Soja .....	118
<b>Figura 75</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Soja .....	119
<b>Figura 76</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja .....	120
<b>Figura 77</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja .....	121
<b>Figura 78</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Soja .....	121
<b>Figura 79</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Soja.....	123
<b>Figura 80</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de Soja .....	123
<b>Figura 81</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Soja.....	125
<b>Figura 82</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Soja.....	125
<b>Figura 83</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja .....	126
<b>Figura 84</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja .....	126
<b>Figura 85</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja.....	128
<b>Figura 86</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja .....	128
<b>Figura 87</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de Soja.....	128
<b>Figura 88</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Jatropha Curcas.....	130
<b>Figura 89</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Jatropha Curcas.....	131
<b>Figura 90</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Jatropha Curcas .....	132
<b>Figura 91</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Jatropha Curcas.....	133

<b>Figura 92</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	134
<b>Figura 93</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	135
<b>Figura 94</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> ....	136
<b>Figura 95</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> ....	137
<b>Figura 96</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	138
<b>Figura 97</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	139
<b>Figura 98</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	140
<b>Figura 99</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	140
<b>Figura 100</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	142
<b>Figura 101</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	142
<b>Figura 102</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	143
<b>Figura 103</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	144
<b>Figura 104</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	145
<b>Figura 105</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	145
<b>Figura 106</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de <i>Jatropha Curcas</i> .....	145
<b>Figura 107</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de combustible Diésel .....	147
<b>Figura 108</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel .....	148
<b>Figura 109</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de combustible Diésel .....	149
<b>Figura 110</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en combustible Diésel .....	150
<b>Figura 111</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de combustible Diésel .....	151

<b>Figura 112</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel .....	152
<b>Figura 113</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de combustible Diésel.....	153
<b>Figura 114</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en combustible Diésel.....	153
<b>Figura 115</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de combustible Diésel.....	155
<b>Figura 116</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de combustible Diésel .....	155
<b>Figura 117</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel.....	157
<b>Figura 118</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel.....	157
<b>Figura 119</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de combustible Diésel .....	158
<b>Figura 120</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de combustible Diésel .....	158
<b>Figura 121</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en combustible Diésel.....	159
<b>Figura 122</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada .....	161
<b>Figura 123</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada .....	162
<b>Figura 124</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada .....	163
<b>Figura 125</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de Palma usada .....	163
<b>Figura 126</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada .....	164
<b>Figura 127</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada .....	166
<b>Figura 128</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada .....	167
<b>Figura 129</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Palma usada .....	167
<b>Figura 130</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada .....	168
<b>Figura 131</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada .....	169

Figura 132 Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada.....	170
<b>Figura 133</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada .....	170
<b>Figura 134</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada .....	171
<b>Figura 135</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada .....	172
<b>Figura 136</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de Palma usada .....	172
<b>Figura 137</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel .....	174
<b>Figura 138</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel .....	175
<b>Figura 139</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel .....	176
<b>Figura 140</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	177
<b>Figura 141</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel ....	178
<b>Figura 142</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel .....	179
<b>Figura 143</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel... 180	180
<b>Figura 144</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	180
<b>Figura 145</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	182
<b>Figura 146</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	182
<b>Figura 147</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel .....	184
<b>Figura 148</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel .....	184
<b>Figura 149</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	185

<b>Figura 150</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	185
<b>Figura 151</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en la mezcla entre Palma usada - Diésel.....	186
<b>Figura 152</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	188
<b>Figura 153</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	189
<b>Figura 154</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	190
<b>Figura 155</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	190
<b>Figura 156</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel ....	191
<b>Figura 157</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	193
<b>Figura 158</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel..	194
<b>Figura 159</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	194
<b>Figura 160</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	195
<b>Figura 161</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	196
<b>Figura 162</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	197
<b>Figura 163</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel.....	197
<b>Figura 164</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	198
<b>Figura 165</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	199
<b>Figura 166</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en la mezcla entre Palma virgen - Diésel .....	199
<b>Figura 167</b> Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión .....	201

<b>Figura 168</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión.....	202
<b>Figura 169</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en la mezcla de Emulsión.....	203
<b>Figura 170</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión .....	204
<b>Figura 171</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión .....	205
<b>Figura 172</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en la mezcla de Emulsión.....	205
<b>Figura 173</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión.....	207
<b>Figura 174</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión.....	207
<b>Figura 175</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión .....	208
<b>Figura 176</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión .....	209
<b>Figura 177</b>	Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en la mezcla de Emulsión.....	209
<b>Figura 178</b>	Longitud de ruptura de pulverización de Hiroyasu vs. densidad .....	211
<b>Figura 179</b>	Ángulo de cono de pulverización de Hiroyasu vs. densidad .....	212
<b>Figura 180</b>	Ángulo de cono de pulverización de Castanheira vs. densidad .....	213
<b>Figura 181</b>	Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión original vs. densidad .....	215
<b>Figura 182</b>	Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión menor a la original vs. densidad .....	216
<b>Figura 183</b>	Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión mayor a la original vs. densidad .....	217
<b>Figura 184</b>	Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión regulada vs. densidad.....	218
<b>Figura 185</b>	Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión original vs. densidad.....	219
<b>Figura 186</b>	Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión menor a la original vs. densidad.....	220
<b>Figura 187</b>	Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión mayor a la original vs. densidad.....	221
<b>Figura 188</b>	Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión regulada vs. densidad.....	222
<b>Figura 189</b>	Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión original vs. densidad .....	223
<b>Figura 190</b>	Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión menor a la original vs. densidad.....	224

<b>Figura 191</b> Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión mayor a la original vs. densidad.....	225
<b>Figura 192</b> Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión regulada vs. densidad .....	226

## RESUMEN

El presente proyecto, consiste en analizar modelos matemáticos convencionales establecidos para trabajar con combustible diésel, con ellos entenderemos el comportamiento de diferentes parámetros de pulverización que caracterizan una buena combustión como son: el cono de pulverización, la punta de penetración de pulverización, la distribución de tamaño de gota y la longitud de pulverización de diferentes aceites vegetales y mezclas de las mismas con combustible diésel como fluidos de trabajo. Esto en base a datos y parámetros usados para un ensayo de inyección en condiciones de cámara de combustión a presión atmosférica, obtenidos de manera experimental y tabulados en la tesis "Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y puro", (Sanguano, 2007); con el fin de determinar si los resultados a la presión dentro del cilindro, se reproducen de manera similar a una presión ambiente.

Con la elaboración de este trabajo de investigación, se permitirá equiparar los comportamientos de diferentes aceites vegetales sometidos a diferentes condiciones de prueba, y posteriormente identificar cambios que se producen al realizar el ensayo a presión de una cámara de combustión con resultados tomados de una prueba realizada a presión atmosférica, los mismos que se compararan entre sí, y con valores predeterminados para combustible diésel.

Con los resultados obtenidos se representará gráficamente las comparaciones de los valores obtenidos con los modelos establecidos y se determinará que modelo convencional se ajusta de manera satisfactoria a los comportamientos de los parámetros al trabajar con biocombustibles, tanto así los beneficios y desventajas que se tendría al trabajar con dichos aceites vegetales.

Palabras clave:

- **MODELOS CONVENCIONALES**
- **CAMARA DE COMBUSTION**
- **PARAMETROS DE PULVERIZACIÓN**
- **BIOCOMBUSTIBLE**

## ABSTRACT

The present project consists of analyzing conventional mathematical models established to work with diesel fuel, with them we will understand the behavior of different spray parameters that characterize good combustion such as: the spray cone, the spray penetration tip, the distribution of droplet size and spray length of different vegetable oils and mixtures thereof with diesel fuel as working fluids. This is based on data and parameters used for an injection test in combustion chamber conditions at atmospheric pressure, obtained experimentally and tabulated in the thesis "Study of the behavior of the injection cone of different mixtures and emulsions of Glycine Max oils, *Jatropha Curcas* and *Elaeis Guineensis* in a virgin and pure state", (Sanguano, 2007); in order to determine if the results at the pressure inside the cylinder are reproduced in a similar way at an ambient pressure.

With the development of this research work, it will be possible to equate the behaviors of different vegetable oils subjected to different test conditions, and subsequently identify changes that occur when performing the pressure test of a combustion chamber with results taken from a test carried out. at atmospheric pressure, the same as compared to each other, and with predetermined values for diesel fuel.

With the results obtained, the comparisons of the values obtained with the established models will be represented graphically and it will be determined which conventional model satisfactorily adjusts to the behavior of the parameters when working with biofuels, both the benefits and disadvantages that it would have when working with said vegetable oils.

Key words:

- **CONVENTIONAL MODELS**
- **COMBUSTION CHAMBER**
- **SPRAY PARAMETERS**
- **BIOFUEL**

## **CAPÍTULO 1 GENERALIDADES**

### **Tema**

Análisis de la influencia de la composición de las mezclas de biocombustibles en la formación del cono de inyección.

### **Antecedentes**

La práctica habitual para el uso de los biocombustibles y sus mezclas en las máquinas térmicas consiste en mantener invariables los elementos que rigen el comportamiento de la mezcla combustible. Dadas las diferentes propiedades físicas de los biocombustibles en comparación con los fósiles la eficiencia de la máquina disminuye. Poder modificar los ajustes en la máquina térmica para adecuar los mismos a las propiedades características del biocombustible a usar debe traducirse en un mejor comportamiento de la combustión y por ende en una mayor eficiencia.

Hay antecedentes de esta aproximación al problema en los motores “flex” usados en Brasil para asimilar mezclas variables de gasolina y alcohol, pero no se ha hecho lo mismo con aceites orgánicos y otros biocombustibles basados en ellos para máquinas térmicas.

En el caso específico de los motores diésel la formación del cono de inyección es fundamental para la eficiencia del motor. Existen diferentes aproximaciones en la modelación de este cono en función de los parámetros de la inyección.

### **Definición del problema**

En la actualidad los motores diésel usados en automoción cuentan con sistemas de ajuste continuo de los parámetros de la inyección con el objetivo de alcanzar la máxima eficiencia y mínima contaminación. La introducción de biocombustibles en este tipo de motores se ha visto frenada por las grandes dificultades de ajustar estos parámetros en función de las propiedades de los biocombustibles. Entre otros factores una de las inconveniencias manifiestas resulta la variabilidad existente en estos biocombustibles, como todo producto orgánico.

No obstante, existen numerosos casos de motores estacionarios e incluso quemadores en los cuales resulta posible el ajuste manual por medios mecánicos de los parámetros de inyección. Dado que las condiciones de operación de estos equipos son muy constantes resulta factible, en principio, su regulación para aceptar diferentes biocombustibles. El elemento fundamental para lograr este propósito radica en el conocimiento del comportamiento de los diferentes aceites orgánicos, de forma de poder ajustar el sistema según el biocombustible de entrada.

Resulta, por tanto, el problema a abordar, el insuficiente conocimiento de las variaciones del comportamiento en los sistemas de formación de la mezcla combustible al alimentar los mismos con biocombustibles y mezclas de los mismos.

Ser parte de la hipótesis de que el aumento del conocimiento acerca del comportamiento en la formación de la mezcla combustible de diferentes aceites vegetales comunes conducirá a lograr un incremento de la eficiencia de la combustión en estos equipos.

### **Justificación e importancia**

El Proyecto resulta una aproximación viable al problema ya que se dispone de datos experimentales acerca del comportamiento del cono de inyección de diferentes aceites en condiciones de laboratorio a presión atmosférica. Se trata de optimizar la información y establecer su aproximación a modelos aceptados por la comunidad científica internacional.

Se dispone asimismo de información acerca de ensayos exploratorios realizados con aceites en condiciones de laboratorio, pero a presión superior a la atmosférica.

Con estos elementos se pretende establecer qué modelo teórico, original o modificado, pudiera conducir a una tipificación de comportamiento y su uso como predictor en el proceso para proceder en etapas posteriores a su validación práctica en condiciones de operación.

### **Alcance**

En el presente proyecto, se analizara el comportamiento de diferentes aceites vegetales tanto como sus mezclas con combustible diésel, estos valores fueron obtenidos de trabajos investigativos previos realizados en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en una cámara de

combustión de pruebas a una presión y temperatura ambiente; utilizaremos modelos matemáticos convencionales para entender el comportamiento de los diferentes parámetros de pulverización y su efecto al utilizar un combustible fósil que al usar un biocombustible.

Con este estudio se validará que modelo se ajusta a nuestras necesidades y al tipo de aceite vegetal que se está utilizando como combustible; a su vez como se mencionó identificaremos los cambios en el comportamiento tanto como en la formación del cono de pulverización como en la punta de penetración de pulverización, ya que se entiende que estos dos parámetros de correlacionan entre sí.

Posteriormente se analizará los valores obtenidos para todos nuestros aceites vegetales comparándolos con valores para combustible diésel, ya que la mayoría de modelos que se utilizará están específicamente estudiados para comportamientos con diésel; a su vez se distinguirá lo que sucede al realizar las pruebas en una cámara de pruebas de combustión artesanal en condiciones de presión atmosférica con los modelos convencionales que fueron realizados a presión de cámara de combustión y con mejores instrumentos de medida.

Para finalizar se realizará extrapolaciones gráficas entre los distintos modelos matemáticos usados en el proyecto, y las diferentes presiones de trabajo, conociendo su varianza y correlación entre los distintos valores obtenidos, concluyendo con el modelo adecuado que se ajuste de mejor manera al comportamiento de los aceites vegetales de trabajo.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Analizar los modelos de comportamiento con uso de aceites vegetales que resulten más cercanos a los convencionales.

### ***Objetivos específicos***

- Validar los modelos convencionales en condiciones de uso de aceites vegetales a presión atmosférica.

- Identificar cambios que se producen al realizar el ensayo del cono de inyección a presión

de una cámara de combustión con resultados de ensayos realizados a presión atmosférica.

- Comparar los modelos convencionales determinados para diésel a presiones de cámara de combustión aplicándolos en aceites vegetales y mezclas en el comportamiento de sus parámetros de pulverización.

- Extrapolar los resultados de los modelos atmosféricos a presiones superiores e identificar que aceite vegetal o mezcla se ajusta de mejor manera a cada tipo de modelo convencional.

## **CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO**

### **Aceites vegetales**

El aceite vegetal no es más que un compuesto orgánico que se obtiene a través de frutos o semillas que en su tejido se acumula como una fuente de energía. La obtención se lo realiza mediante técnicas mecánicas, químicas o generalmente mediante la combinación de los dos métodos, (Sanguano, 2007) .

El proceso de prensado es el método mecánico al cual son sometidos las semillas y frutos oleaginosos para obtención de aceite vegetal y luego someterlos a un proceso de refinamiento.

Para el método químico se utilizan disolventes químicos que generalmente es el Hexano, esta técnica da un mejor rendimiento y resulta más rápido y barato, (Sanguano, 2007).

### ***Ventajas de los aceites vegetales***

El aceite vegetal es una energía renovable que tiene entre sus ventajas:

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, (Sanguano, 2007).

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 posible en prácticamente todos los motores diésel, (Sanguano, 2007).

La escasez periódica de petróleo estimuló la investigación sobre el aceite vegetal como sustituto del gasoil durante los años 1930 y 1940, y de nuevo en la década de 1970 y principios de 1980 fue cuando el aceite vegetal puro disfrutó de su más alto nivel de interés científico y en la década de 1970 también se vio la formación de la primera empresa comercial que permitió que los consumidores usaran aceite vegetal puro en sus automóviles, denominada Elsbett que fue desarrollada en Alemania, (Sanguano, 2007).

### ***Propiedades de los aceites vegetales***

Básicamente el problema técnico de la combustión del aceite vegetal en un motor diésel se centra en dos propiedades específicas del aceite con respecto al gasoil:

Una mayor viscosidad del aceite vegetal que de un comienzo va a dificultar la circulación del carburante, por lo cual una de las medidas para corregir el problema es elevar al aceite a una temperatura entorno de 70 - 80 °C, que va adquirir una viscosidad similar que el gasoil, (Sanguano, 2007).

El punto de inflamación es decir el índice de cetano, que es inferior al del gasoil (para el aceite se sitúa alrededor de los 316 °C y para el gasoil entorno a los 250 °C), que exige modificar los parámetros de la inyección. Cuando es medido de forma convencional, el índice de cetano es peor, sin embargo, la práctica muestra que el retardo en la ignición se reduce en comparación al gasoil, (Sanguano, 2007).

Detergente: debido a su capacidad para oxidarse el aceite vegetal tiene una acción detergente o decapante, limpiando depósito, manguitos y motor, (Sanguano, 2007).

Impurezas: se distinguen dos compuestos indeseables que provienen de la corteza de las semillas y cuya concentración varía dependiendo de las técnicas de prensado y filtrado, (Sanguano, 2007).

Las ceras: son solubles con el calor, por lo que no suponen ningún problema para la combustión, aunque pueden ser problemáticas en tiempo frío para manguitos, bomba de inyección y filtro de carburante, por ello para no tener problemas basta con filtrar el aceite a temperatura ambiente, si no permanece líquido (mucho frío) es preciso mezclarlo con algún aditivo, (Sanguano, 2007).

Las gomas o fosfolípidos: son compuestos de fósforo unidos a las gomas, los fosfolípidos son grandes moléculas que son origen de carbonillas: ensuciamiento de culata y de inyectores, la cantidad de fosfolípidos en un aceite es proporcional a la temperatura de extracción, lo que justifica la presión en frío, (Sanguano, 2007).

En el momento que se calientan los granos, antes de prensarlos, se aumenta la cantidad de aceite extraído, pero también la cantidad de fosfolípidos. Las cantidades de fosfolípidos en aceites almacenados durante un periodo superior a 3 semanas disminuyen prácticamente a la mitad por decantación. En una de las etapas de refinado del aceite se extraen los fosfolípidos, por lo que tanto el aceite refinado como el aceite usado de fritura no contienen estas moléculas, (Sanguano, 2007).

- Otras propiedades o ventajas importantes del aceite vegetal son:
- Forma líquida y por ello fácil de usar.
- Cuando se quema tiene una eficiencia energética más grande.
- No es tóxico ni dañino para humanos, animales, suelos o agua
- Amigable con el medio ambiente, no es inflamable ni explosivo y no emite gases tóxicos como monóxido de carbono, plomo.
- En su manejo no se requiere tomar precauciones especiales.
- Es producido de forma directa por la naturaleza.
- Es una forma reciclable de energía.
- No tiene efectos ecológicos adversos cuando es utilizado.
- Debido que no contiene sulfuro, no genera lluvia ácida cuando es usado.
- La reducción de los óxidos de nitrógeno, grandes responsables del efecto invernadero.

### ***Aceite de Palma***

El aceite de palma o como su nombre técnico *Elaeis Guineensis* ha sido uno de los productos de mayor crecimiento en la industria agrícola. El aceite de palma se extrae del mesocarpio del fruto de la semilla de la palma africana a través de procedimientos mecánicos. Con  $\rho = 901 \text{ kg/m}^3$  a temperatura ambiente, un alto número de cetano y una alta estabilidad a la oxidación, hace que el producto permanezca estable por más de seis meses, (Sanguano, 2007).

EN 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, (Sanguano, 2007).

En Santo Domingo, Quinindé y Buena Fé se dan las condiciones más óptimas para el cultivo de esta planta. Así mismo se ampliaron los cultivos a la zona sur del país en la provincia de los Ríos y para lograr mejores estándares productivos las empresas se han expandido a la zona Oriental, en las provincias de Sucumbíos y Orellana, y en las últimas zonas que se han desarrollado a gran escala es en el área fronteriza con Colombia particularmente San Lorenzo y sus alrededores, (Sanguano, 2007).

### ***Aceite de Soja***

La soja o Glycine Max es una planta de la familia de las leguminosas cultivada por sus semillas utilizadas en alimentación y para la producción de aceite vegetal, con una  $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$  a una temperatura de 20°C, (Sanguano, 2007).

El cultivo de Soja es una alternativa de cultivo de verano para los agricultores sin infraestructura de riego debido a que se aprovecha el remanente de la humedad del ciclo invernal, cabe recalcar que también dichas condiciones también han sido un problema para el decremento que ha sufrido el cultivo de la misma, (Castanheira & Murta, 2005).

La tasa de conversión del grano de soja está en un 70% del grano que se transforma en pasta y un 18% en aceite, mientras el porcentaje restante es usado para la elaboración de carne, leche o harinas, (Sanguano, 2007).

En 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, (Sanguano, 2007).

### ***Aceite de Jatropha Curcas***

Jatropha Curcas o en Ecuador conocida también como Piñón es una planta perteneciente a

las familias de las euforbiáceas, cuyo origen se adscribe a México y América Central. Son arbustos que generalmente alcanzan un tamaño de 1-5 metros de alto y soportan altas temperaturas, (Sanguano, 2007).

Estas características la convierten en una planta ideal capaz de aguantar prolongados periodos de sequía y para ser cultivada en terrenos semidesérticos que obviamente sus cultivos no son aptos para alimentación humana o animal, (Sanguano, 2007).

En la actualidad el aceite con una densidad  $\rho = 917 \text{ kg/m}^3$  a temperatura ambiente, es extraído de sus semillas y tras un proceso de prensado y transesterificación es usado como producción de biocombustible y es usado en motores a Diésel, (Sanguano, 2007).

En 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, (Sanguano, 2007).

El INIAP en búsqueda de soluciones tecnológicas e innovadoras en el campo de la Agroenergía inicio la domesticación de la planta de Piñón y desarrollo del cultivo, para que la explotación de esta especie permita un mayor nivel en el ámbito ocupacional de los productores y además de producir biocombustible que es un recurso menos contaminante que el diésel fósil que contribuirá a la conservación del medio ambiente, (Sanguano, 2007).

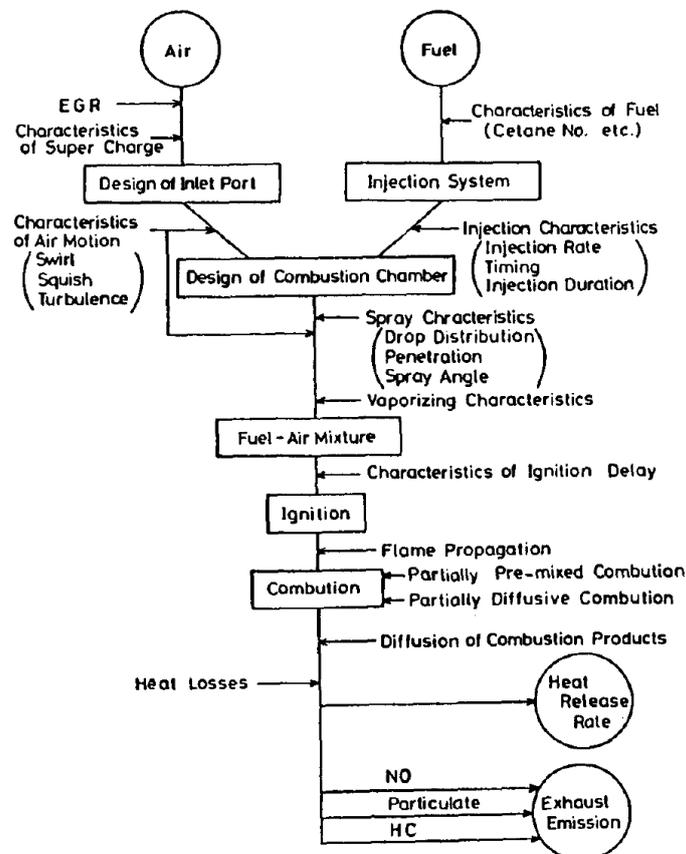
### **Proceso de combustión**

El factor principal que controla la combustión de diésel es la formación de la mezcla como se muestra en la Fig. 1. La formación de la mezcla está controlada por las características del sistema de inyección, la naturaleza del remolino de aire y la turbulencia en el cilindro y la caracterización de la pulverización. El siguiente factor de la combustión de diésel es el retraso en la ignición y el desarrollo de la llama después de la ignición, es decir, la tasa de combustión. La combustión en el motor diésel es una combustión heterogénea, es decir, una combinación de combustión parcialmente premezclada y combustión parcialmente difusiva. Además, la

combustión en un motor diésel de inyección directa está estrechamente relacionada con la inyección transitoria de una pulverización de combustible en el aire a alta presión y temperatura, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

**Figura 1**

*Diagrama de bloque de un proceso de combustión diésel*

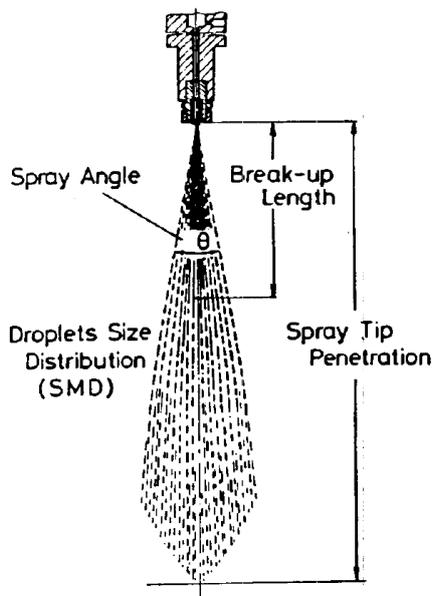


*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

### Parámetros de pulverización

Debido al mecanismo de atomización en sí, la pulverización se puede definir como una distribución arbitraria de los diámetros de las gotas alrededor de un valor promedio determinado, (Castanheira & Murta, 2005).

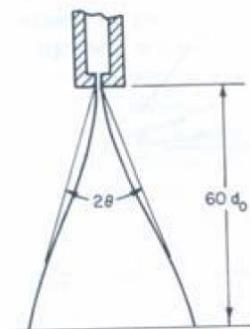
Existen diferentes parámetros que caracterizan a la pulverización en un proceso de combustión, los mismos nos permiten entender el comportamiento de diferentes aceites o fluidos utilizados en dicho proceso, (Payri & Molina, 2004).

**Figura 2***Parámetros de pulverización*

*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

### **Ángulo de cono de pulverización**

El ángulo del cono de pulverización refleja directamente los procesos de atomización y arrastre de aire aguas abajo del orificio de la boquilla. Por tanto, estará estrechamente vinculado al comportamiento global de la pulverización y, en particular, a su penetración, (Arrégle, Pastor, & Ruiz, 1999).

**Figura 3***Ángulo de cono de pulverización*

*Nota:* The Influence of Injection Parameters on Diesel Spray Characteristics, (Arrégle, Pastor, & Ruiz, 1999).

### ***Longitud de ruptura***

Es una medida de la distancia de penetración del combustible en la cámara de combustión, la cual en un tiempo de ruptura, procede a formarse un spray de gotas de combustible siendo una mezcla de combustible y aire, que posteriormente formara la combustión, (Oda & Kajitani, 2003).

### ***Tamaño de distribución de gotas***

El diámetro medio de gota de cierto combustible pulverizado depende de una gran cantidad de variables como las propiedades del combustible, las condiciones de funcionamiento y las dimensiones geométricas de la boquilla de combustible, (Woo & Lee, 2008).

### ***Punta de penetración de pulverización***

Es la distancia máxima alcanzada por el rociado en contacto con el aire dentro de la cámara de combustión diésel, (Desantes & Payri, 2005).

Es una función de la velocidad del chorro y la resistencia del aire del flujo de combustibles. La penetración excesiva es indeseable porque puede alcanzar las paredes de la cámara de combustión. En un arranque en frío, probablemente conducirá a un mayor consumo de combustible, (Payri & Molina, 2004).

### **Modelos para establecer los parámetros de pulverización**

Se establecieron diferentes modelos para conocer el comportamiento de los distintos parámetros de pulverización en un motor diésel, entre los cuales podemos mencionar:

#### ***Modelo de Hiroyasu***

Con este modelo de Hiro Hiroyasu, entenderemos el comportamiento de los diferentes parámetros de pulverización, tenemos:

#### **Angulo de cono de pulverización.**

El ángulo de pulverización incrementa con el incremento de la velocidad de inyección, toma el máximo valor y alcanza un valor casi constante en una región completa de pulverización, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

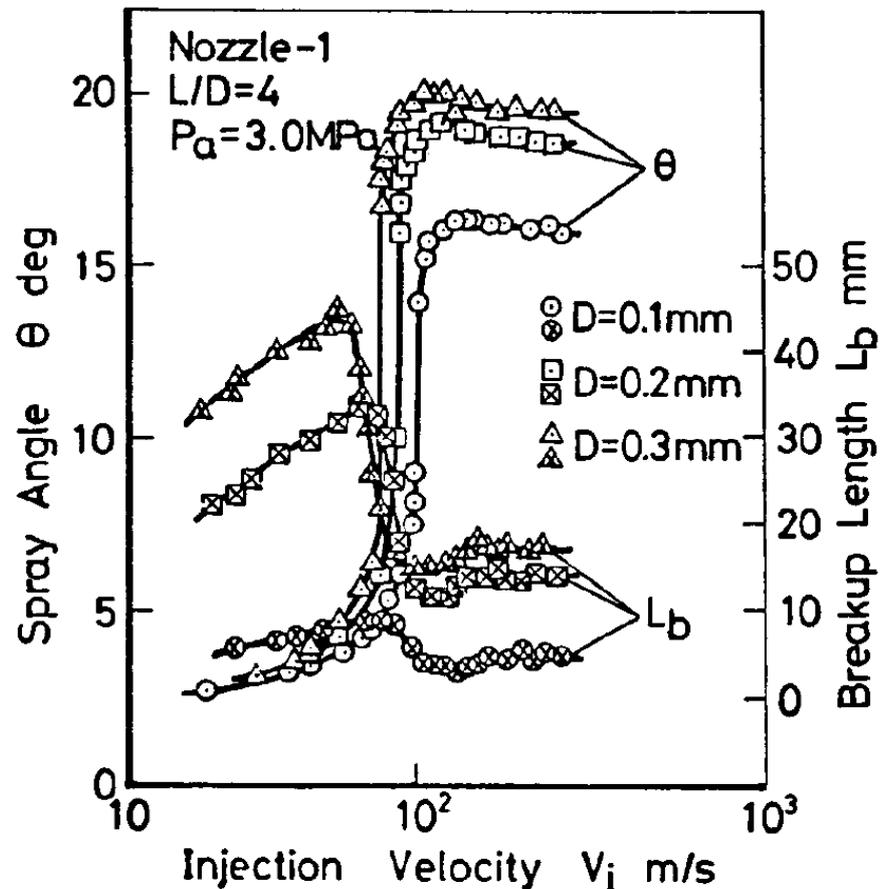
La ecuación empírica para el ángulo de pulverización cuando este ángulo alcanza el valor

constante se expresa de la siguiente manera:

$$\theta H_l = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_l} \right)^{0.26}$$

**Figura 4**

*Ángulo de pulverización y longitud de ruptura vs. Velocidad de inyección*



*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

La figura 4, ángulo de spray y la longitud de ruptura versus la velocidad de inyección para diferentes diámetros de agujeros de boquilla; con esta grafica se discute la estructura interna del spray, cuando el líquido es inyectado con velocidades menores a 70 m/s, la longitud de ruptura no se acortó y solo aparece un ángulo un ángulo estrecho, incluso si se la presión de ambiente se incrementa hasta los 3 MPa. Sin embargo, si el líquido es inyectado con una velocidad mayor a 100 m/s, se desintegra rápidamente para formar un completo spray, y como resultado de ello la longitud de ruptura se acorto y el amplio ángulo de spray se consiguió, (Yoshizaki, Yusaki, Nishida, & Hiroyasu, 1996).

La región donde la velocidad de inyección se encuentra entre 70 a 100 m/s corresponde a la región incompleta de spray.

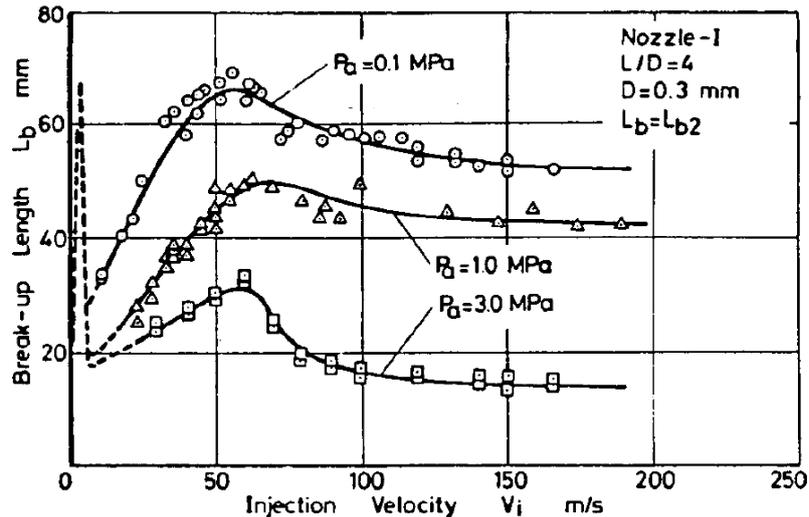
La presión de inyección donde ocurre el máximo ángulo de spray, aumenta con un aumento de la viscosidad cinemática en el líquido, esto indica que la velocidad de transición también incrementa con la viscosidad. Por otro lado también se indica que la velocidad de transición es independiente del diámetro del agujero de la boquilla, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

### Longitud de ruptura.

El líquido inyectado no se disuelve instantáneamente después de la inyección, existe una parte ininterrumpida que se denomina longitud de ruptura del líquido. Las longitudes de ruptura se encuentran entre 10 a 30 mm y se presentan para velocidades de inyección motores a 200 m/s, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

**Figura 5**

*Longitud de ruptura vs velocidad de inyección*



*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

La figura 5, muestra el efecto de la velocidad de inyección sobre la longitud de ruptura, a diferentes presiones ambientales.

Al incrementar la presión ambiental de 0.1 a 3 MPa, la longitud de ruptura decrece; y con una velocidad de inyección desde 20 a 60 m/s la columna de líquido inyectado se desintegra por la micro turbulencia de la superficie del líquido y este fenómeno es llamado flujo ondulado.

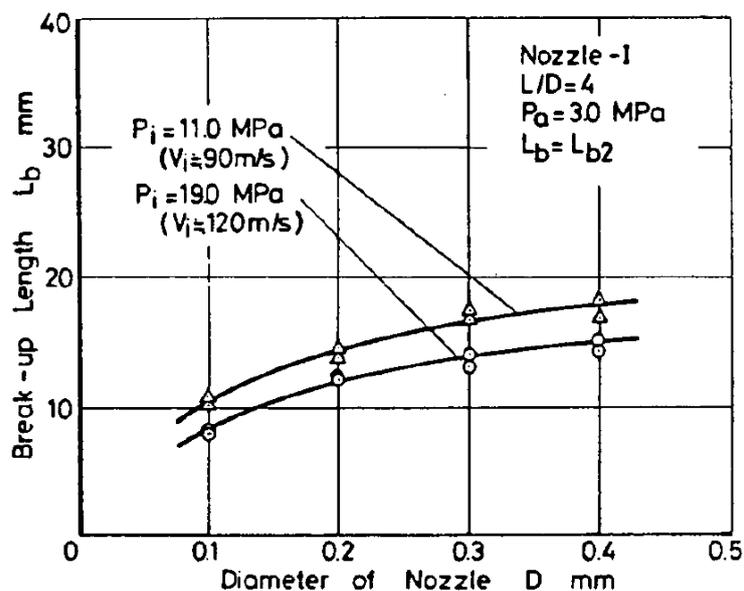
En esta región, la longitud de ruptura incrementa con un incremento en la velocidad de inyección. Cuando se incrementa aún más la velocidad de inyección, el flujo ondulado no se puede observar y la longitud de ruptura decrece, esta región se conoce como pulverización; incrementando aún más la velocidad de inyección, la longitud de ruptura alcanza un valor casi constante, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

En una región incompleta de spray, el corro de líquido fue expulsado desde la boquilla formando un roció en un proceso de desintegración relativamente lento, esto quiere decir, el proceso de transformación de columna de líquido hacia gotas se desarrolla a lo largo del chorro de líquido, y las finas gotas solo se hicieron a una distancia lejos de la salida de la boquilla, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

A medida que se incrementa la velocidad de inyección, el proceso de desintegración de columna de líquido a una fina pulverización aparece inmediatamente cuando el líquido es inyectado, a esta región se la denomina región completa de spray y corresponde a un spray diésel, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

**Figura 6**

*Efecto del diámetro de la boquilla sobre la longitud de ruptura*



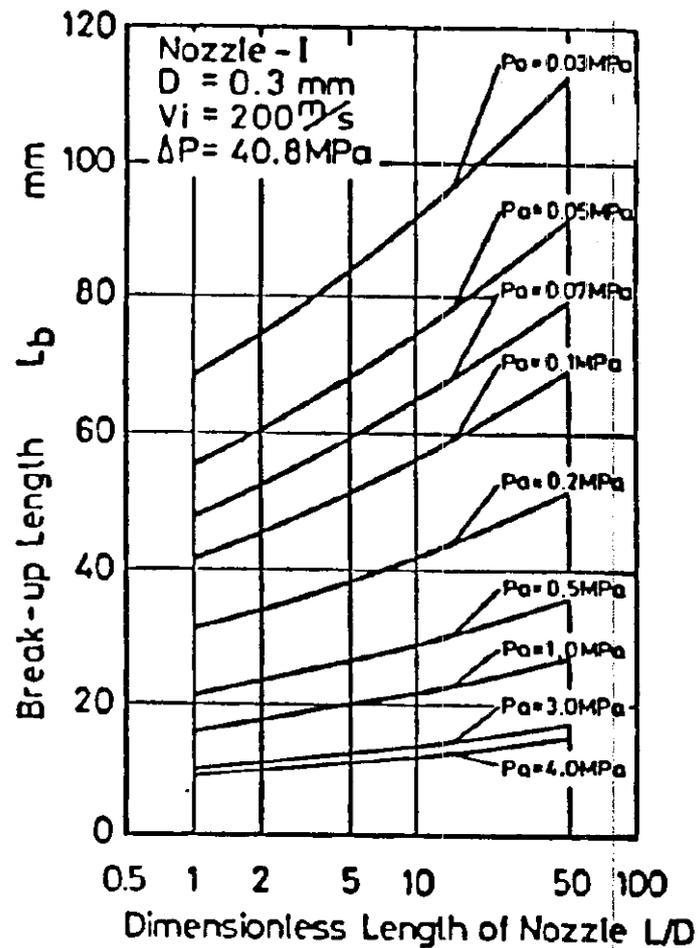
*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

Figura 6, en una región completa de spray, La longitud de ruptura crece con el incremento

en el diámetro de la boquilla, la longitud de ruptura también es afectada por la longitud adimensional de la boquilla, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

**Figura 7**

*Efecto de la relación  $L/D$  sobre la longitud de ruptura*



*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

Figura 7, el efecto de la relación de la longitud "L" y el diámetro "D" del agujero de la boquilla, sobre la longitud de ruptura con diferentes presiones ambientales.

La longitud de ruptura también es afectada por la forma de la boquilla y las condiciones de flujo en el agujero de la boquilla. El radio redondo "r" en la entrada de la boquilla y la relación longitud-diámetro "L/D" se introducen como factores de forma efectivos en la longitud de ruptura; la turbulencia causada por la cavitación también causa gran efecto sobre la longitud de ruptura, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

El número de cavitación " $\frac{P_a}{\rho_l * V_i^2}$ " se elige como factor representativo de la turbulencia interna de la boquilla. ( $V_i^2$  velocidad de inyección en la boquilla,  $P_a$  presión del ambiente).

La densidad del entorno que da el esfuerzo cortante de la columna de líquido  $\rho_l$  es considerado el último factor importante en el proceso de desintegración, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

La siguiente expresión para la longitud de ruptura se derivó de datos experimentales que cubrieron una amplia gama de condiciones:

$$Lb_l = 7.0 * D_o \left(1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o}\right) \left(\frac{P_a}{\rho_l * V_i^2}\right)^{0.05} \left(\frac{L_o}{D_o}\right)^{0.13} \left(\frac{\rho_l}{\rho_a}\right)^{0.5}$$

Esta expresión es válida para cualquier región completa de spray.

#### **Tamaño de distribución de gotas.**

Para determinar la distribución de tamaño de gota en un motor diésel, el combustible se inyecta a volumen constante en un recipiente lleno de aire en reposo a alta presión a una temperatura ambiente con un sistema de inyección de un motor diésel, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

La distribución de tamaño de gotas es obtenida desde la medición de datos:

$$\frac{dv}{v} = \frac{b^{4.0}}{6.0} (x)^{3.0} * e^{-bx} dx$$

Donde b es constante y es dependiente de las condiciones de operación y se expresa:

$$b = \frac{3.0}{\bar{x}_{32}} \text{ o } \frac{3.67}{\bar{x}_m}$$

Una expresión adimensional para la distribución de tamaño de gota para pulverización es:

$$\frac{dv}{v} = 13.5 \left(\frac{x}{\bar{x}_{32}}\right)^3 \text{EXP}\left(-3\left(\frac{x}{\bar{x}_{32}}\right)\right) d\left(\frac{x}{\bar{x}_{32}}\right)$$

Esta expresión es independiente de las condiciones de operación (contrapresión, velocidad de la bomba, posición de la rejilla y tipo de boquilla), pero si se puede medir el diámetro medio, es decir el diámetro medio de Sauter o el diámetro mediano, que dependen de las condiciones de

operación, la distribución de tamaño de gota se puede obtener inmediatamente, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

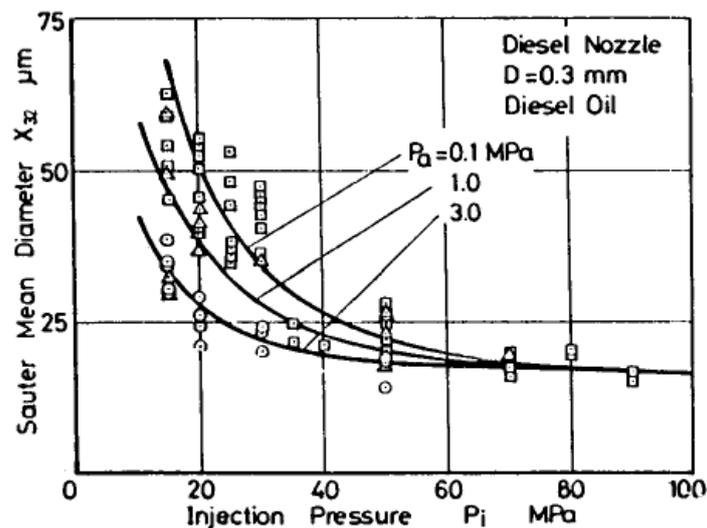
La siguiente ecuación es una expresión empírica para el diámetro medio de Sauter, para propiedades típicas de diésel y para boquillas tipo agujero, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

$$\overline{x_{32}} = 2.33 * 10^{-3} (\Delta P)^{-0.135} (\rho_a)^{0.121} (Q)^{0.131}$$

Los efectos de la longitud adimensionada de la boquilla sobre el diámetro medio de Sauter, cuando la presión de inyección es 15 MPa, el diámetro medio de Sauter tiene un valor mínimo de  $L/D=4$ , pero incrementando la presión de inyección, el diámetro medio de Sauter decrece, y con la disminución del diámetro medio de Sauter en  $L/D=4$  para a ser imperceptible, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

**Figura 8**

*Los efectos de la presión ambiente y la presión de inyección sobre el diámetro medio de Sauter*



*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

La figura 8 nos muestra los efectos de la presión ambiente y la presión de inyección sobre el diámetro medio de Sauter, usando una boquilla diésel con un diámetro de 0.3 mm. Se considera comúnmente que el incremento en la viscosidad del combustible inyectado causa un incremento en el diámetro medio de Sauter, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

#### **Punta de penetración de pulverización.**

La velocidad y alcance de la penetración del spray de combustible en la cámara de

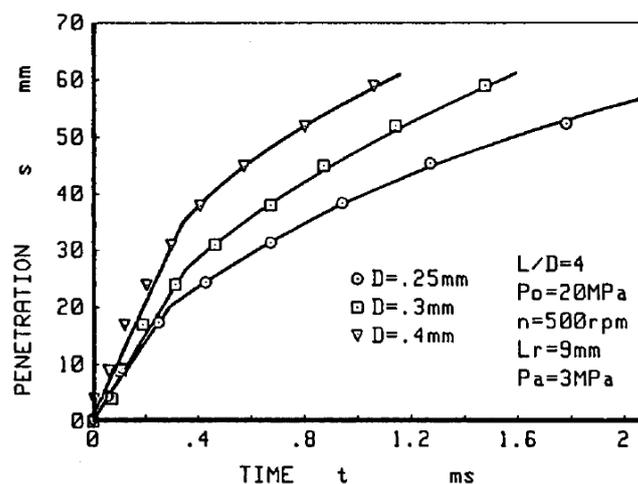
combustión tiene importante influencia en la utilización de aire y la velocidad de la mezcla aire-combustible. Las siguientes expresiones se derivan de los datos obtenidos de la investigación y de la teoría de desintegración de chorro de Reich, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

$$SH_l = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * t b_l)^{0.5}$$

$$t b_l = 28.65 \left( \frac{\rho_l * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

**Figura 9**

*Los efectos del diámetro del agujero de la boquilla sobre la punta de penetración de pulverización*



*Nota:* Tomado de: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, (Hiroyasu & Masataka, 1990).

### **Modelo de Wakuri**

Los estudios teóricos de los estudios convencionales se han basado en una idea que la pulverización de combustible se mueve en un aire estático, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

En el actual experimento, retomando la teoría del impulso en la que se toma en cuenta la masa de aire, los autores han examinado las características de la penetración del spray, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

### **Teoría del impulso.**

La resistencia de las gotas de aceite  $R$  se da por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho_a}{2} C_D * \frac{\pi}{4} D^2 V^2$$

Donde  $D$  es el diámetro promedio de las gotas de aceite inyectadas desde el orificio de la boquilla de combustible,  $V$  es la velocidad relativa de las gotas de aceite y el aire compuesto en el spray de combustible,  $C_D$  es el coeficiente de resistencia y  $\rho_a$  es la densidad del aire, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

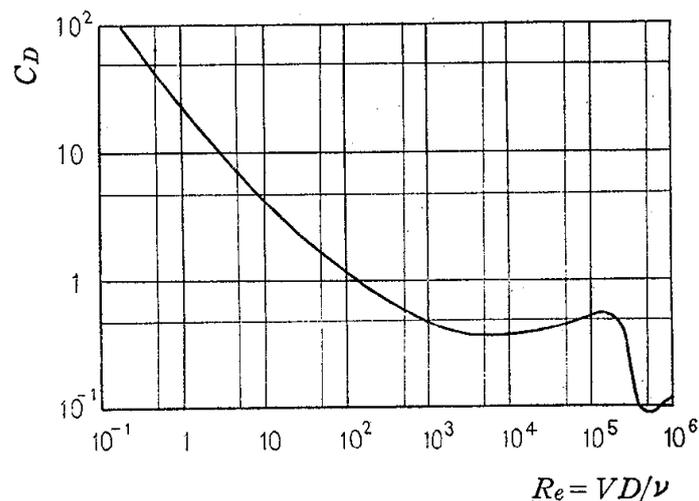
Respectivamente, si  $\rho_l$  es la densidad de las gotas de aceite del líquido usado y  $t$  es el tiempo después del inicio de la inyección, la ecuación se expresa:

$$-\frac{\pi}{6}D^3\rho_l\frac{dV}{dt} = \frac{\rho_a}{2}C_D\frac{\pi}{4}D^2V^2$$

Cuando se examinan las ecuaciones,  $C_D$  está en función de  $Re$ , y  $C_D$  incrementa si  $Re$  decrece. Respectivamente, si  $V$  decrece y el diámetro  $D$  decrece debido a la evaporación de las gotas de aceite,  $C_D$  incrementa, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

**Figura 10**

*Coficiente de resistencia en función del número de Reynolds*



*Nota:* Tomado de: Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969)

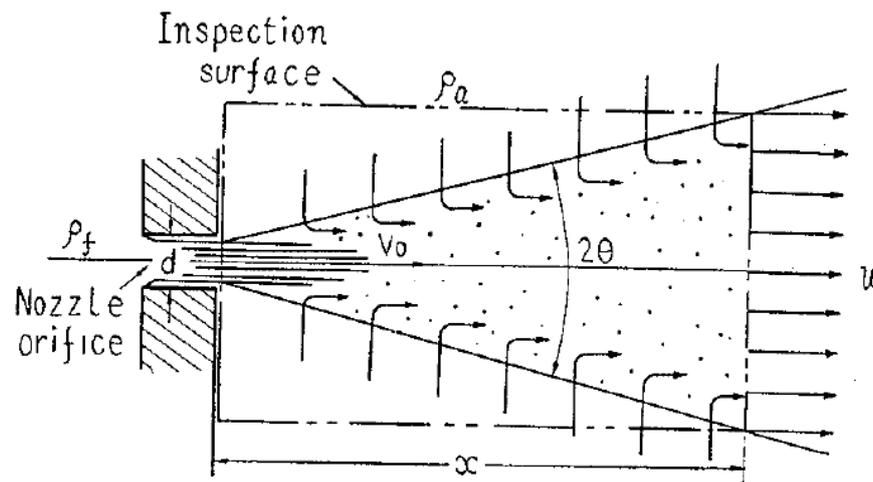
Suposición 1, en el caso del spray de combustible en un motor diésel, el diámetro de la gota de aceite es muy pequeño y cuando la densidad del aire en el cilindro es alta, después de una pequeña penetración desde a la boquilla de combustible, la velocidad relativa de las gotas de aceite y la composición del aire en el spray de combustible pueden descuidarse, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

Suposición 2, la masa en movimiento del chorro de combustible a la salida de la boquilla de combustible es transferido a la mezcla del aire y a la composición de las gotas de aceite del spray de combustible, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

Consideremos la penetración del spray de combustible en ambas suposiciones.

**Figura 11**

*Modelo de pulverización de combustible*



*Nota:* Tomado de: Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969)

En el modelo de pulverización de combustible, se considera la superficie cilíndrica de inspección tiene el mismo diámetro seccional de la superficie del spray de combustión, y que se localiza a una distancia  $x$  desde la boquilla de combustible. En este caso sabemos que la dirección de una corriente de aire inducida en el spray de combustible desde la zona de aire circundante es normal hacia la superficie cilíndrica, y por lo tanto no hay componente en  $x$ . Entonces, es solo el impulso del chorro de combustible  $M_o$  pasando de izquierda y terminando en la superficie que se deja entrar al interior acotado por la superficie de inspección, y es solo el impulso de la mezcla aire-combustible  $M_x$  pasando la superficie seccional de  $x$  hasta la salida de la superficie cilíndrica de inspección. Ya que la presión de aire dentro del cilindro es considerada uniforme, se pueden obtener las siguientes ecuaciones, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969):

$$M_o = M_x$$

$$M_o = c \frac{\pi}{4} d^2 \rho_l V_o^2$$

$$M_x = w \left( \left( \pi \left( x \tan(\theta) + \frac{\sqrt{c}}{2} d \right)^2 w - \frac{\pi}{4} d^2 c V_o \right) \rho_a + \frac{\pi}{4} d^2 c V_o \rho_l \right)$$

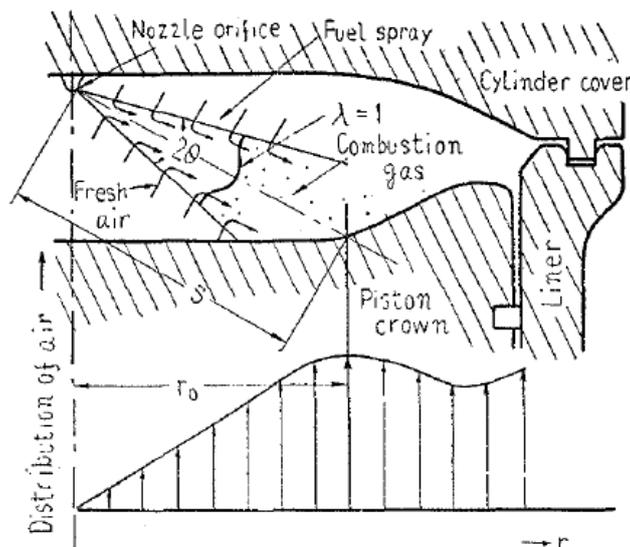
Donde  $d$  es el diámetro de la boquilla de combustible,  $V_o$  es la velocidad de chorro a la salida de la boquilla de combustible,  $c$  es el coeficiente de contracción, el coeficiente de velocidad es 1, y  $2\theta$  es el ángulo del cono de pulverización de combustible, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

$$\left( \delta \tan(\theta) + \frac{\sqrt{c}}{2} \right)^2 w^2 + \frac{c}{4} V_o (\sigma - 1) w - \frac{c}{4} V_o^2 \sigma = 0$$

Donde  $\delta$  es la relación entre la penetración  $x$  y el diámetro de la boquilla de combustible  $d$ , y  $\sigma$  es la relación de densidad entre el combustible y el aire, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

### Figura 12

Vista seccional de la cámara de combustión de un motor diésel y la variación de distribución de aire



Nota: Tomado de: Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969)

La relación entre  $S$  y la boquilla de combustible  $d$  esta generalmente en un rango de 300 a 400. Esta relación es una pequeña relación para las dimensiones del motor,  $\delta$  se usa en lugar de  $x$

directamente en la ecuación anterior, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

### Ecuaciones para ángulo y penetración de pulverización de combustible.

Se analizó que existe una correlación entre el ángulo de cono de pulverización y la punta de penetración de pulverización:

$$\sqrt{\frac{1}{\sigma c}} \delta^2 \tan \theta \cong V_o \frac{t}{d}$$

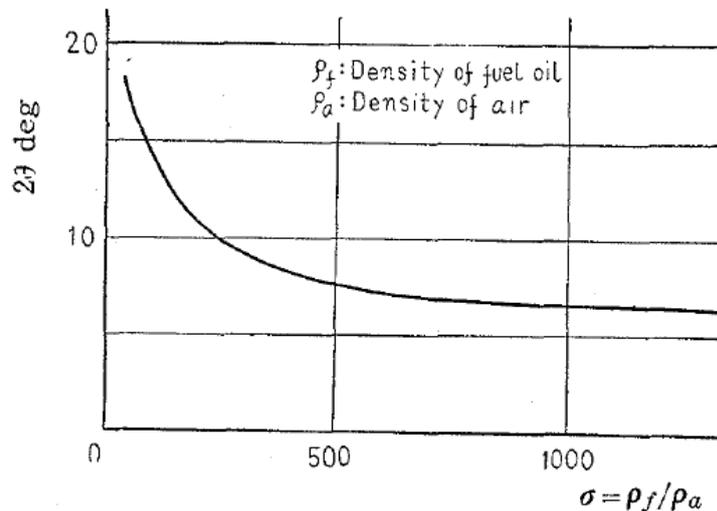
Se puede expresar también:

$$x \cong \left( \frac{2c \Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} \left( \frac{td}{\tan \theta} \right)^{0.5}$$

Donde  $\Delta P$  es la presión efectiva en la inyección, y  $V_o = \left( \frac{2 \Delta P}{\rho_l} \right)^{0.5}$ .

**Figura 13**

*Ángulo de cono de pulverización en función de la densidad de aire en una cámara de combustión*

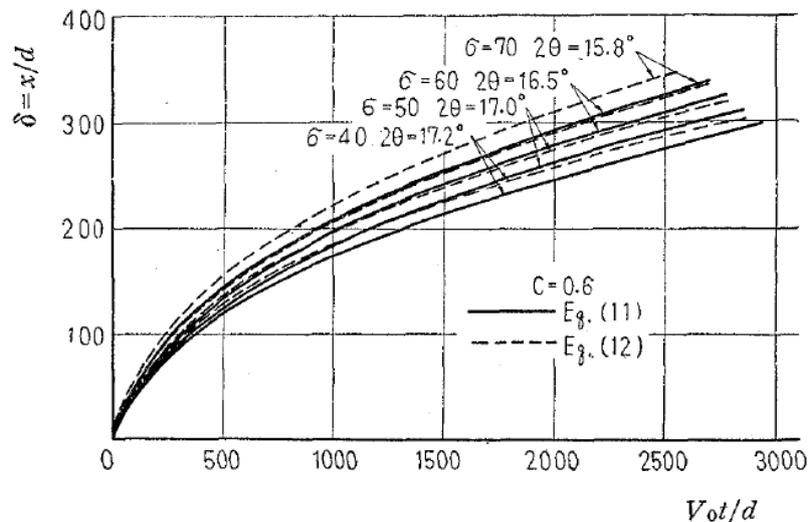


*Nota:* Tomado de: Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969)

Como se puede ver en la figura 14, muestra la relación entre  $\delta$  y  $V_o \frac{t}{d}$  calculado en consideración de la relación entre  $\sigma$  y  $2\theta$  sobre la base de los datos de Sass de la figura 13; y también que la diferencia entre las ecuaciones es pequeña, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

**Figura 14**

Números dimensionales de penetración de pulverización vs. números dimensionales de las condiciones de inyección



Nota: Tomado de: Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969)

La diferencia de las ecuaciones desde la ecuación convencional de una sola gota de combustible es eso, según la primera, el diámetro de la gota de combustible no está relacionado con la penetración, pero depende sobre el ángulo del cono de pulverización de combustible. Esto es muy importante. Si una sola gota de combustible se mueve en un aire quieto como se asume en la teoría convencional, los tamaños de los diámetros de las gotas de combustible pueden tener relación directa con la penetración. Por el contrario, el ángulo de cono de pulverización de combustible no tiene relación directa con la penetración, mientras que en la teoría de impulso tiene una estrecha relación con la penetración, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

#### Ángulo de cono de pulverización de combustible.

La ecuación siguiente puede establecerse como una alternativa a las ecuaciones de la teoría de impulso:

$$2\theta = 2 \tan^{-1} V_0 \frac{t\sqrt{\sigma c}}{d \left(\frac{x}{d}\right)^2} = 2 \tan^{-1} \frac{\sqrt{c \frac{\rho_l}{\rho_a}}}{\left(\frac{K}{\sqrt{V_0 d}}\right)^2}$$

En consecuencia, se ha encontrado que la teoría del impulso es correcta y también se ha

aclarado la estrecha relación entre la penetración del spray y el ángulo del cono del spray de combustible, (Wakuri, Fujii, Amitani, & Tsuneya, 1969).

### **Modelo de Elkotb**

Se sugiere un modelo de pulverización dentro de las cámaras de combustión de los motores diésel. El modelo se basa en la combinación del modelo de gotas discretas con un método de predicción de flujo de gas multidimensional. Se tiene en cuenta la variación del diámetro y la velocidad de la gota y, en consecuencia, la variación de la transferencia de calor a la gota y la fuerza de arrastre. Sin embargo, este modelo requiere la determinación de la distribución del tamaño de las gotas y el diámetro medio de las gotas, (Elkotb, 1982).

La distribución del tamaño de las gotas y el diámetro medio de las gotas se han determinado experimentalmente para combustible claro y para combustibles múltiples utilizando la técnica de muestreo en portaobjetos. Se obtienen las funciones de distribución del tamaño de las gotas y los datos del diámetro medio de Sauter. El uso de estas relaciones demostró resultados sustancialmente mejores para el modelo de aspersión. El modelo es capaz de determinar el comportamiento de pulverización de cualquier combustible, (Elkotb, 1982).

### **Punta de penetración de pulverización.**

La sobre penetración de la pulverización de combustible en la cámara inactiva provocaría un impacto sobre una superficie fría, lo que produciría el consiguiente desperdicio de combustible. Se examinó estas fórmulas de penetración y concluyó en la expresión de Dent de la siguiente forma, (Dent, 1971):

$$SE = 0.865 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} \right)^{0.5} \left( \frac{530}{T_a} \right)^{0.25}$$

Se puede recomendar para densidades pequeñas. Sin embargo, la penetración de la pulverización en las cámaras de combustión diésel varía con los parámetros operativos y el diseño geométrico de los inyectores. Por lo tanto, estas correlaciones son limitadas en sus aplicaciones y se necesita un enfoque de cálculo teórico de la pulverización de combustible, (Elkotb, 1982).

Riehm, Triebnigg and Sitkei fueron los primeros que intentaron calcular la penetración del spray. Trataron el movimiento de la pulverización como esferas de radio constante dejando la boquilla de inyección bajo condiciones de fuerzas de resistencia aerodinámicas. Aplicaron la ley de conservación de la energía, (Elkottb, 1982).

Hakki OZ, calculó la penetración de la pulverización utilizando la ecuación diferencial del chorro libre y considerando la influencia de la fuerza de fricción turbulenta solamente. Haciendo uso de los datos experimentales disponibles propuso la siguiente fórmula para la penetración del spray, (Elkottb, 1982):

$$\frac{SE}{\sqrt{C}} = 4.85e^{-0.04P_c}$$

han intentado investigar teóricamente el comportamiento de una sola gota que representa el diámetro medio de la gota y se mueve en la punta de pulverización. La ecuación de movimiento de la gota y la ecuación del balance de calor se han obtenido durante el período de retardo asumiendo que el diámetro de la gota era constante y que la velocidad del aire no tenía ningún efecto. Se obtuvo una integración de forma cerrada de la ecuación dando la trayectoria de la gota durante el período de retardo en la siguiente forma, (Dent, 1971):

$$\frac{SE}{C_0\rho_l \frac{d^2}{\mu_0}} = \frac{10}{3\beta_v R_{el}} \ln \left( 1 + \frac{R_{el}}{125} (1 - EXP(-37.5\beta_v N_t)) \right)$$

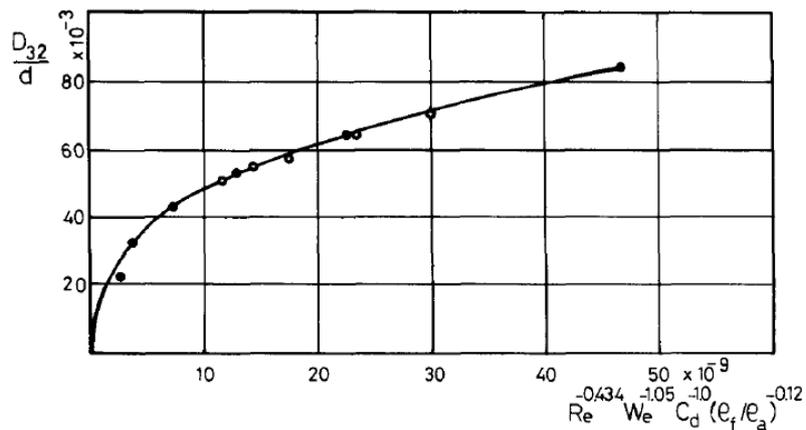
$$N_t = \frac{t}{\frac{\rho_l d^2}{\mu_0}}; R_{el} = \frac{C_0 d}{u_a}; \beta_v = 0.85$$

#### **Diámetro medio de gotas.**

El diámetro medio de gota de cierto combustible pulverizado depende de una gran cantidad de variables como las propiedades del combustible, las condiciones de funcionamiento y las dimensiones geométricas de la boquilla de combustible. El análisis adimensional facilita la determinación experimental del diámetro medio de las gotas en diversas condiciones. Los grupos adimensionales disminuyen el número de experimentos para obtener una expresión empírica. El análisis dimensional da la siguiente relación para el diámetro medio de Sauter, (Elkottb, 1982):

$$\frac{D_{32}}{d} = AR_e^a W_e^b C_d^e \left(\frac{\rho_l}{\rho_a}\right)^f \left(\frac{SE}{d}\right)^g$$

Donde, A, a, b, d, e, f y g son constantes que se determinarán a partir de los resultados experimentales. Los índices que se ajustan a los datos experimentales mediante una curva suave se determinaron y la ecuación general del diámetro medio de Sauter se deriva trazando, (Elkottb, 1982):



*Nota:* Tomado de: Fuel Atomization for Spray Modelling, (Elkottb, 1982).

La siguiente relación está determinada para el diámetro medio de Sauter (SMD),

$$\frac{D_{32}}{d} = 107R_e^{-0.183}W_e^{-0.442}C_d^{-0.422}\left(\frac{\rho_l}{\rho_a}\right)^{-0.05}$$

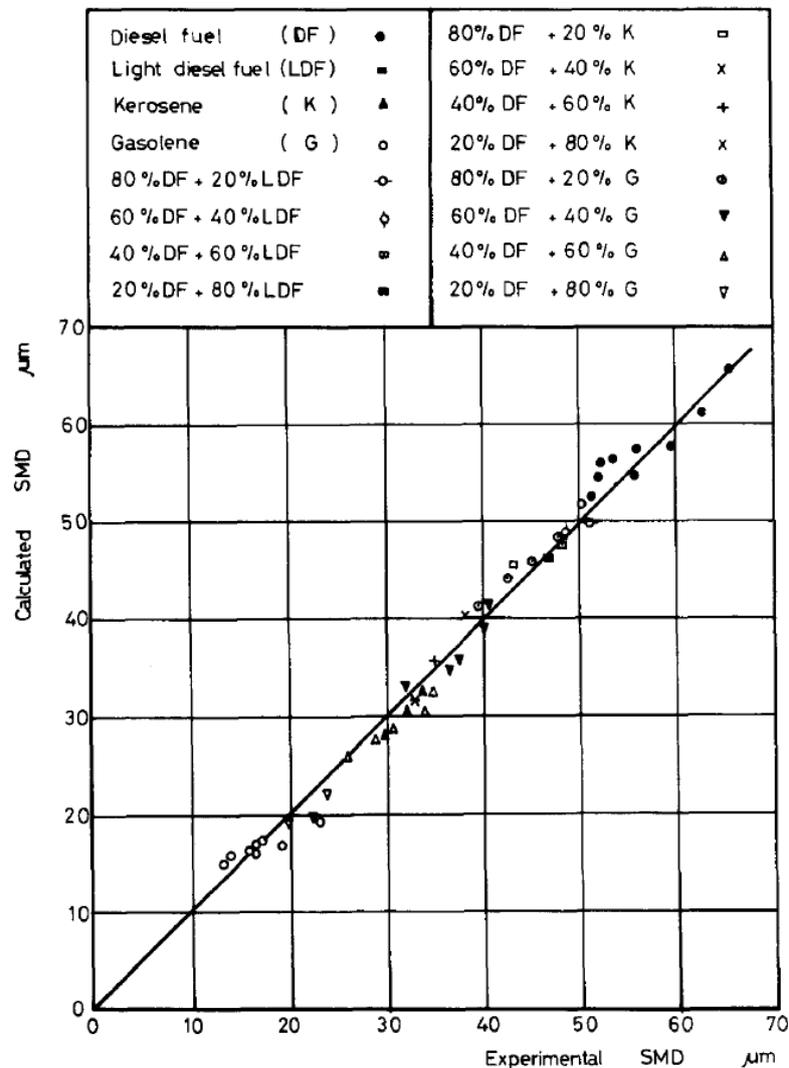
Una forma explícita de esta relación con varios parámetros se encuentra en la siguiente forma:

$$D_{32} = 6156u^{0.385}\sigma^{0.737}\rho_l^{0.737}\rho_a^{0.06}\Delta P^{-0.54}[\mu m]$$

Se obtiene una coincidencia satisfactoria cuando los resultados determinados por esta relación se comparan con los resultados experimentales que se muestran en la Fig.36, (Elkottb, 1982).

Figura 15

Comparación de valores calculados y experimentales del diametro medio de Sauter



Nota: Tomado de: Fuel Atomization for Spray Modelling, (Elkottb, 1982).

### Modelo de Castanheira

El principal objetivo de este modelo se enfoca en los efectos del uso de biodiesel, puro o en mezcla con diésel, en la calidad de atomización en una cámara de combustión de un motor diésel equipado con un sistema de inyección common-rail, (Castanheira & Murta, 2005).

Las materias primas usadas fueron ricino y soja, se agregaron en proporciones de 2,5,10,15 y 20 % en volumen al diésel. Las condiciones operativas propuestas para el inyector eran las mismas que las empleadas para un sistema de inyección de tipo common-rail, (Castanheira & Murta, 2005).

### **Punta de penetración de pulverización.**

Es básicamente la distancia máxima alcanzada por el rociado en contacto con el aire dentro de la cámara de combustión diésel, (Castanheira & Murta, 2005).

Es una función de la velocidad del chorro y la resistencia del aire del flujo de combustibles. La penetración excesiva es indeseable porque puede alcanzar las paredes de la cámara de combustión. En un arranque en frío, probablemente conducirá a un mayor consumo de combustible, (Castanheira & Murta, 2005).

La estimación de la penetración de la punta de pulverización es muy importante en los diseños de motores. Muchos autores han revisado métodos para estimar esta propiedad y encuentran que los resultados dados por son satisfactorios para situaciones de baja carga. La ecuación de Dent, por otro lado, da valores satisfactorios de penetración de la punta de pulverización en todas las condiciones operativas del motor, excepto para presiones de la cámara de combustión superiores a 10 MPa, es decir, 100 bar, (Castanheira & Murta, 2005).

Se estimó la penetración de la punta de pulverización para condiciones de carga del motor baja y moderada en la primera ecuación y para condiciones de carga completa del motor en la segunda ecuación, descritas a continuación, (Castanheira & Murta, 2005):

$$SC_l = 0.2D_o \left(\frac{U_l t}{D_o}\right)^{0.48} \left(\frac{U_l D_o}{v_l}\right)^{0.3} \left(\frac{\rho_l}{\rho_a}\right)^{0.35}$$

$$SC_l = 3.01 \left(\left(\frac{\Delta P}{\rho_a}\right)^{0.5} * D_o * t\right)^{0.5} \left(\frac{295}{T_a}\right)^{0.25}$$

### **Ángulo de cono de pulverización.**

Para estimar el ángulo de cono del spray, se usó la ecuación de Abramovich, (Castanheira & Murta, 2005).

$$\tan(\varphi_l) = 0.13 \left(1 + \frac{\rho_a}{\rho_l}\right)$$

### **Distribución del tamaño de gota.**

La distribución del tamaño de las gotas se puede definir en términos de dos parámetros: el rango de diámetros de las gotas y el diámetro representativo, (Castanheira & Murta, 2005).

El diámetro medio se elige en función del proceso a estudiar. En los procesos de transferencia de masa, se utiliza el diámetro medio de Sauter (SMD), que es el diámetro de la gota representado por la relación entre el área de la superficie y el volumen de la pulverización formada, (Castanheira & Murta, 2005).

Hay varias ecuaciones para estimar los valores de SMD. Entre ellos, en particular, se encuentra la ecuación de Elko**t**, recomendada para los profesionales de la automoción. La ecuación de Elko**t** se puede expresar en términos de grupos adimensionales de Weber y Reynolds o en términos de propiedades físico-químicas del combustible, (Castanheira & Murta, 2005):

$$SMD = D_o \left( 107 R_e^{-0.183} W_e^{-0.442} C_d^{-0.422} \left( \frac{\rho_l}{\rho_a} \right)^{-0.05} \right)$$

$$SMD = 6156 v^{0.385} \sigma^{0.737} \rho_l^{0.737} \rho_a^{0.06} \Delta P^{-0.54} [\mu m]$$

#### **Tiempo de ruptura y longitud de ruptura.**

El tiempo de ruptura es el intervalo de tiempo entre la inyección y el comienzo de la ruptura secundaria. Cuanto más largo sea este tiempo, menor será la velocidad relativa entre el spray y el aire en la cámara de combustión. Esto puede causar problemas con la interacción entre el combustible y el aire, lo que puede conducir a la formación de gotas más grandes, (Desantes & Payri, 2005).

El tiempo de ruptura se estimó usando la ecuación para condiciones de cargas de un motor alta, moderada y baja, (Castanheira & Murta, 2005).

$$t_l = 28.65 \rho_l D_o (\rho_a \Delta P)^{-0.5}$$

#### **Modelo de Arregle**

EL objetivo caracterizar el comportamiento macro y microscópico de aerosoles diésel generados por un sistema common-rail y cuantificación de la influencia de los parámetros de inyección y las condiciones de contorno a través de un amplio estudio experimental. El objetivo principal de esta investigación es validar y ampliar las diferentes correlaciones disponibles en la literatura al caso de las aspersiones generadas por sistemas common-rail, es decir, a altas

presiones de inyección con pequeños orificios de boquilla. Los aerosoles se caracterizan en un entorno que simula la densidad de aire en el cilindro que existe en el motor real cuando se inicia la inyección, (Arrégle, Pastor, & Ruiz, 1999).

El objetivo del proceso de inyección de combustible en un motor Diésel es la preparación de una mezcla aire-combustible para lograr un proceso de combustión limpio y eficiente. Este proceso está influenciado tanto por el comportamiento de la pulverización como por el movimiento del aire en la cámara de combustión. Las características de la pulverización están claramente influenciadas por varios parámetros que pueden clasificarse en dos grupos:

- Parámetros del sistema de inyección Diésel.
- Parámetros del entorno donde se inyecta el spray.

Este artículo aborda el problema de cuantificar y predecir el comportamiento de la pulverización en función de los parámetros que rigen el proceso de inyección. Parámetros estudiados

$$S(t) = \rho_a^{-0.25} \Delta P^{0.25} D_o^{0.5} t^{0.5}$$

#### **Ángulo del cono de pulverización.**

El ángulo del cono de pulverización refleja directamente los procesos de atomización y arrastre de aire aguas abajo del orificio de la boquilla. Por tanto, estará estrechamente vinculado al comportamiento global de la pulverización y, en particular, a su penetración, (Arrégle, Pastor, & Ruiz, 1999).

$$\tan\left(\frac{\theta_a}{2}\right) = D_o^{0.508} \Delta P^{0.00943} \rho_a^{0.335}$$

#### **Punta de penetración de pulverización.**

Como primer paso en el análisis de las leyes de penetración, los resultados experimentales se han ajustado a la expresión:

$$SA_l = D_o^{0.370} \Delta P^{0.262} \rho_a^{-0.406} t^{0.568}$$

Los exponentes que afectan a cada parámetro de prueba son bastante diferentes de los

proporcionados por el análisis dimensional. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el análisis dimensional no tuvo en cuenta las variaciones del ángulo del cono de aspersión entre las diferentes aspersiones, las cuales pueden ser significativas como se comenta a continuación, (Arrégle, Pastor, & Ruiz, 1999).

Para tener en cuenta tales variaciones en el ángulo del cono de pulverización, Wakuri propone una correlación de penetración de la punta de pulverización que lo incluye como una variable adicional. Para validar dicha correlación, nuestras medidas experimentales de penetración de la punta de pulverización se han ajustado de nuevo, incluyendo también el ángulo del cono de pulverización como:

$$SA_l = D_o^{0.608} \Delta P^{0.283} \rho_a^{-0.242} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)^{-0.5} t^{0.523}$$

#### **Distribución del tamaño de la gota.**

El tamaño de la gota en la pulverización Diésel depende de los procesos de atomización y coalescencia, que son funciones principalmente del entorno local, (Arrégle, Pastor, & Ruiz, 1999) .

La penetración de las gotitas en el interior del spray en función de las condiciones de inyección y el tiempo desde el inicio de la inyección viene dada, según la teoría de las pulverizaciones gaseosas, por la siguiente ley:

$$x = D_o^{0.5} \Delta P^{0.25} \rho_a^{-0.25} t^{0.5}$$

Diferente manera de analizar la distribución de tamaño de gotas, es mediante el diámetro medio de Sauter y se lo expresa de la siguiente manera:

$$SMD = D_o^{0.01} \Delta P^{-0.2} \rho_a^{0.2} x^{0.4}$$

### CAPITULO 3 METODOLOGÍA

Se utiliza datos experimentales realizados en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, las mismas se realizaron a una presión atmosférica y a una temperatura de 20 °C en la ciudad de Sangolquí-Ecuador.

Las propiedades físico-químicas tales como gravedad específica, viscosidad y tensión superficial, necesarias para determinar las cualidades de atomización de los combustibles, se obtuvieron según los métodos que se describieron a lo largo de este proyecto.

#### Aceite de Palma Virgen

**Tabla 1**

*Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión original*

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	190	380	58
2	190	380	60
3	200	385	58
4	200	380	59
5	200	395	62
6	190	390	60
7	195	385	59
8	205	390	61
9	200	385	61
10	195	380	55
11	195	390	58
12	200	395	64
13	200	385	56
14	190	390	60
15	190	390	62
16	210	400	61
17	200	385	59
18	200	395	58
19	190	395	61
20	190	400	62
<b>Promedio</b>	<b>196,5</b>	<b>388,75</b>	<b>59,7</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 63), por Sanguano, E., 2007.

Figura 16

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Palma Virgen

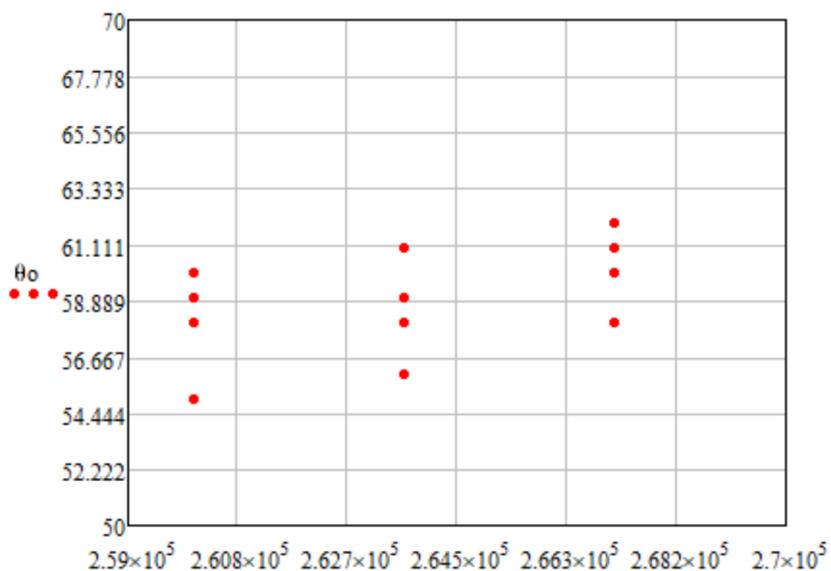


Tabla 2

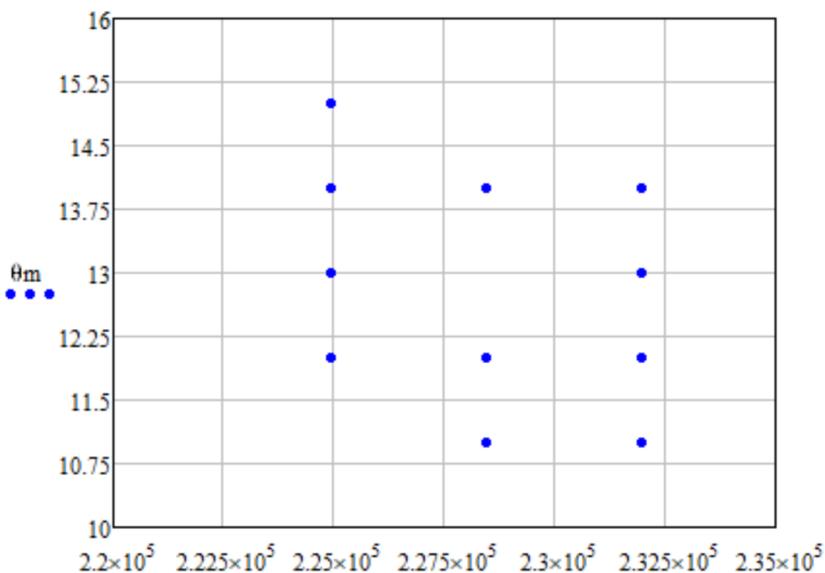
Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión menor a la original

Mediciones	$P_i$ [ $\frac{lb}{in^2}$ ]	$P_f$ [ $\frac{lb}{in^2}$ ]	Ángulo de cono [ $\frac{lb}{in^2}$ ]
1	155	330	12
2	155	330	12
3	150	340	11
4	160	340	14
5	160	340	11
6	155	335	11
7	155	335	12
8	150	330	15
9	155	330	12
10	155	340	12
11	155	335	14
12	160	340	11
13	155	340	12
14	155	340	13
15	155	340	14
16	155	335	14
17	160	330	14
18	160	330	12
19	155	330	13
20	155	335	12
<b>Promedio</b>	<b>155,75</b>	<b>335,25</b>	<b>12,55</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 64), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 17**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con aceite de Palma Virgen*



**Tabla 3**

*Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión mayor a la original*

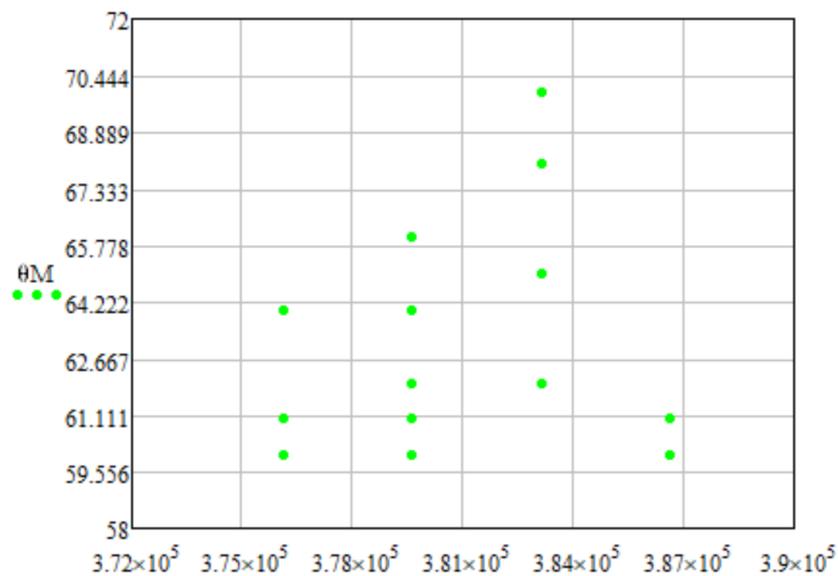
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	290	545	60
2	285	545	60
3	290	550	61
4	290	550	60
5	295	555	62
6	290	555	65
7	300	550	61
8	295	555	65
9	290	550	64
10	290	545	61
11	290	550	60
12	295	555	70
13	285	550	62
14	290	560	60
15	290	550	66
16	295	560	61
17	290	545	64
18	295	550	62
19	290	555	65
20	300	555	68

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
Promedio	291,75	551,5	62,85

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 64), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 18**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Palma Virgen



**Tabla 4**

Medidas de aceite de palma virgen realizadas a una compresión regulada

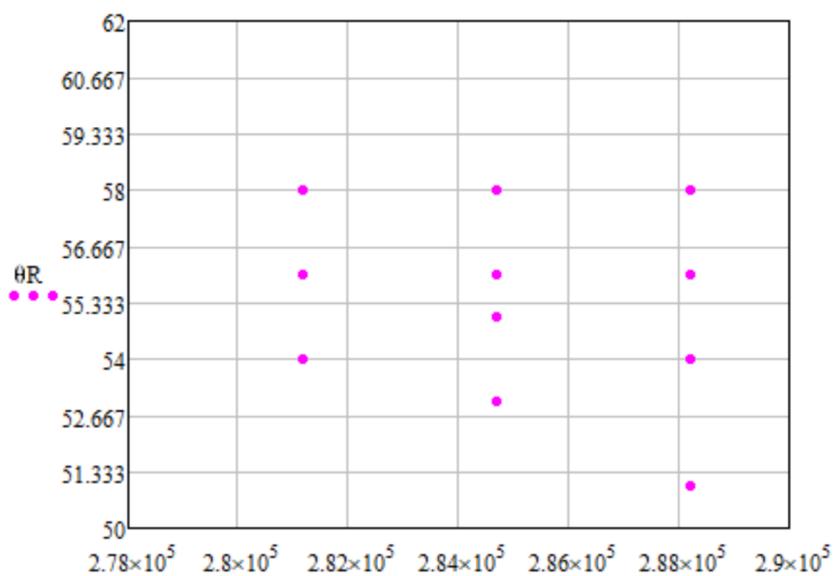
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	175	410	54
2	170	420	56
3	175	420	51
4	180	420	54
5	180	415	53
6	175	415	56
7	185	410	58
8	180	410	58
9	175	420	56
10	175	415	56
11	175	415	55
12	180	400	54
13	180	405	60
14	175	420	58
15	175	420	58
16	180	410	58
17	175	410	56

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
18	180	410	56
19	180	420	56
20	185	415	58
<b>Promedio</b>	<b>177,75</b>	<b>414</b>	<b>56,05</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 65), por Sanguano, E., 2007.

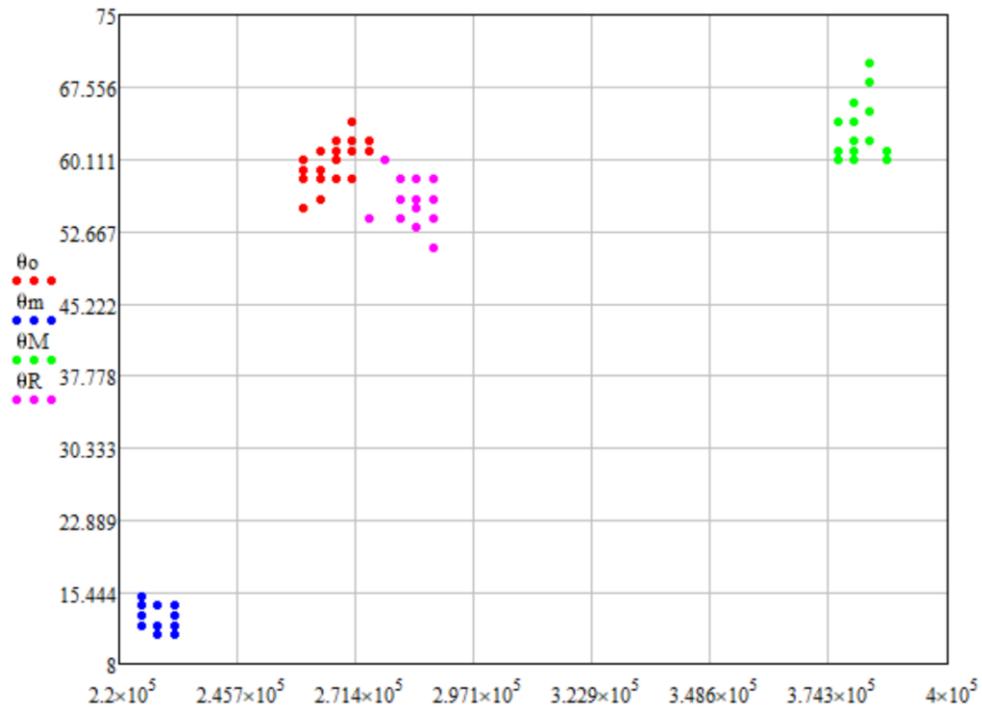
**Figura 19**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Palma Virgen*



**Figura 20**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de Palma Virgen



### Aceite de Soja

Tabla 5

Medidas de aceite de soja realizadas a una compresión original

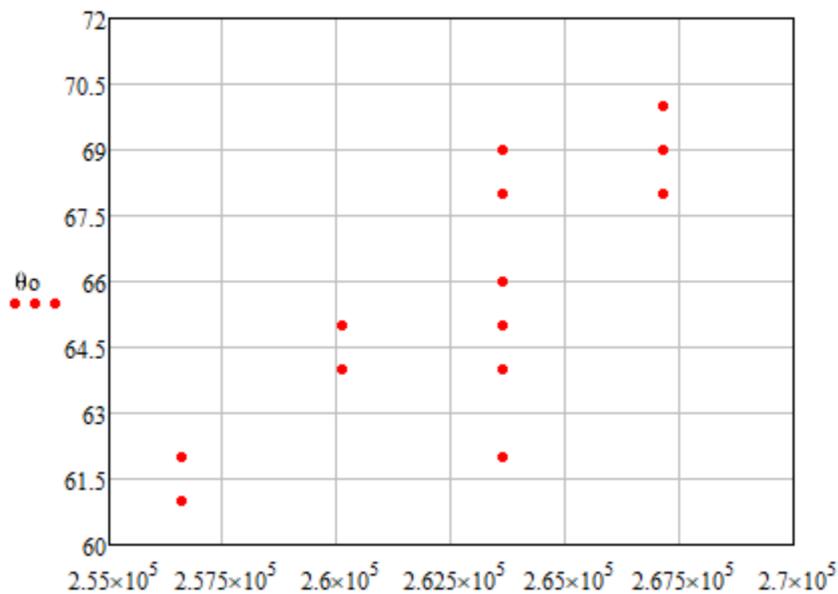
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	210	380	65
2	210	380	65
3	220	385	66
4	210	375	62
5	215	380	64
6	215	375	61
7	205	385	68
8	210	390	70
9	220	385	62
10	215	385	66
11	220	390	69
12	220	390	68
13	215	385	65
14	215	385	66
15	215	385	66
16	205	385	69
17	215	390	69
18	210	385	65
19	210	380	64
20	215	385	64

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
Promedio	213,5	384	65,7

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 66), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 21**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Soja



**Tabla 6**

Medidas de aceite de soja realizadas a una compresión menor a la original

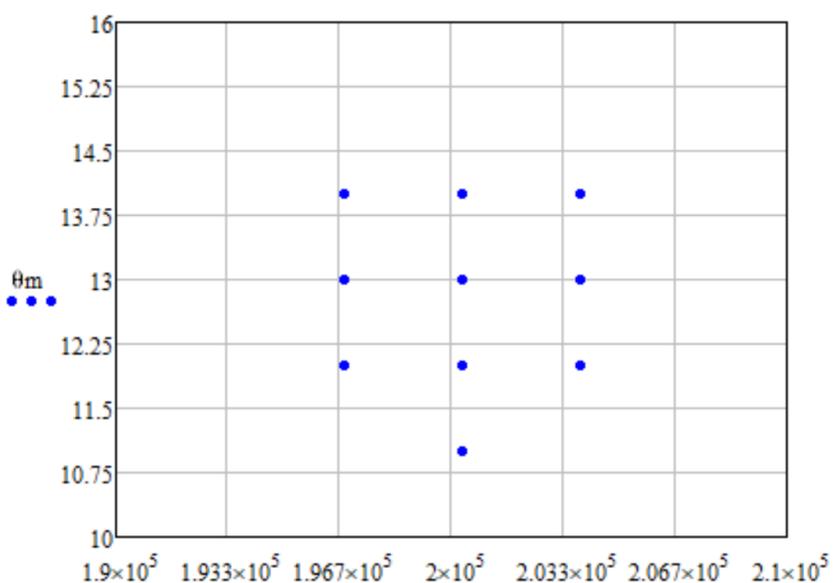
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	145	295	12
2	145	295	12
3	150	295	14
4	145	300	14
5	150	300	12
6	150	290	12
7	150	295	11
8	145	295	13
9	150	300	13
10	150	290	14
11	150	295	11
12	150	300	12
13	150	295	12
14	145	295	12
15	145	290	12
16	155	295	12
17	155	295	13

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
18	155	295	12
19	150	290	13
20	150	300	12
<b>Promedio</b>	<b>149,25</b>	<b>295,25</b>	<b>12,4</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 66), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 22**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con aceite de Soja



**Tabla 7**

Medidas de aceite de Soja realizadas a una compresión mayor a la original

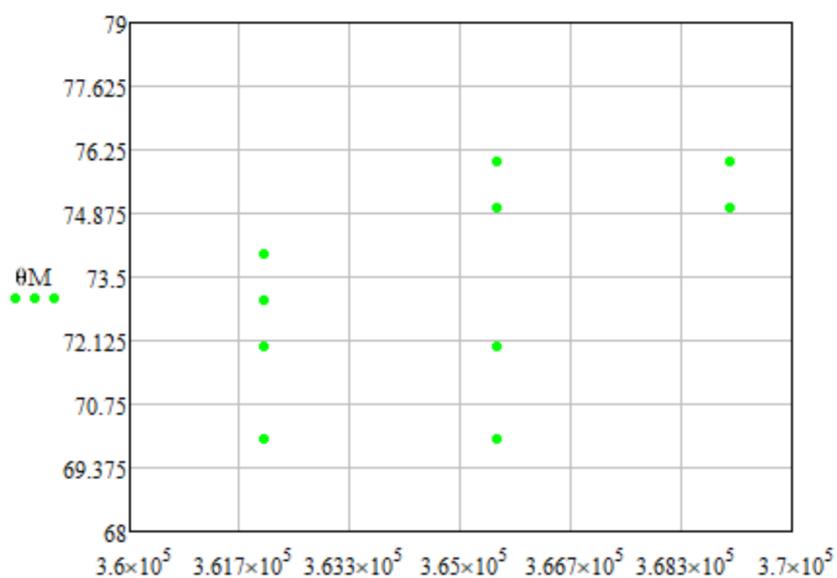
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	260	520	70
2	260	525	70
3	270	525	72
4	260	530	70
5	265	525	70
6	265	520	72
7	260	525	74
8	260	530	76
9	270	525	70
10	265	525	73
11	270	535	75
12	270	535	76
13	265	525	74
14	265	525	72

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
15	265	530	72
16	250	535	75
17	265	530	75
18	260	525	70
19	260	520	70
20	265	525	70
<b>Promedio</b>	<b>263,5</b>	<b>526,75</b>	<b>72,3</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 67), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 23**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Soja



**Tabla 8**

Medidas de aceite de Soja realizadas a una compresión regulada

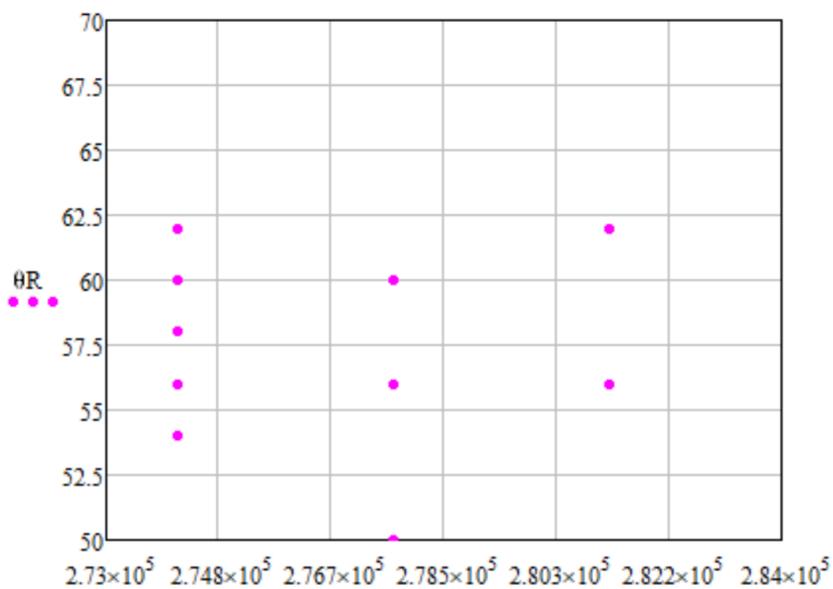
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	190	390	56
2	190	390	57
3	200	400	60
4	200	400	60
5	200	410	62
6	200	405	56
7	195	400	53
8	205	400	58
9	200	405	60
10	205	410	56
11	205	390	55

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
12	205	400	58
13	200	390	62
14	210	405	56
15	210	400	58
16	210	400	62
17	200	400	56
18	200	390	55
19	200	405	50
20	200	405	50
<b>Promedio</b>	<b>201,25</b>	<b>399,75</b>	<b>57.05</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 68), por Sanguano, E., 2007.

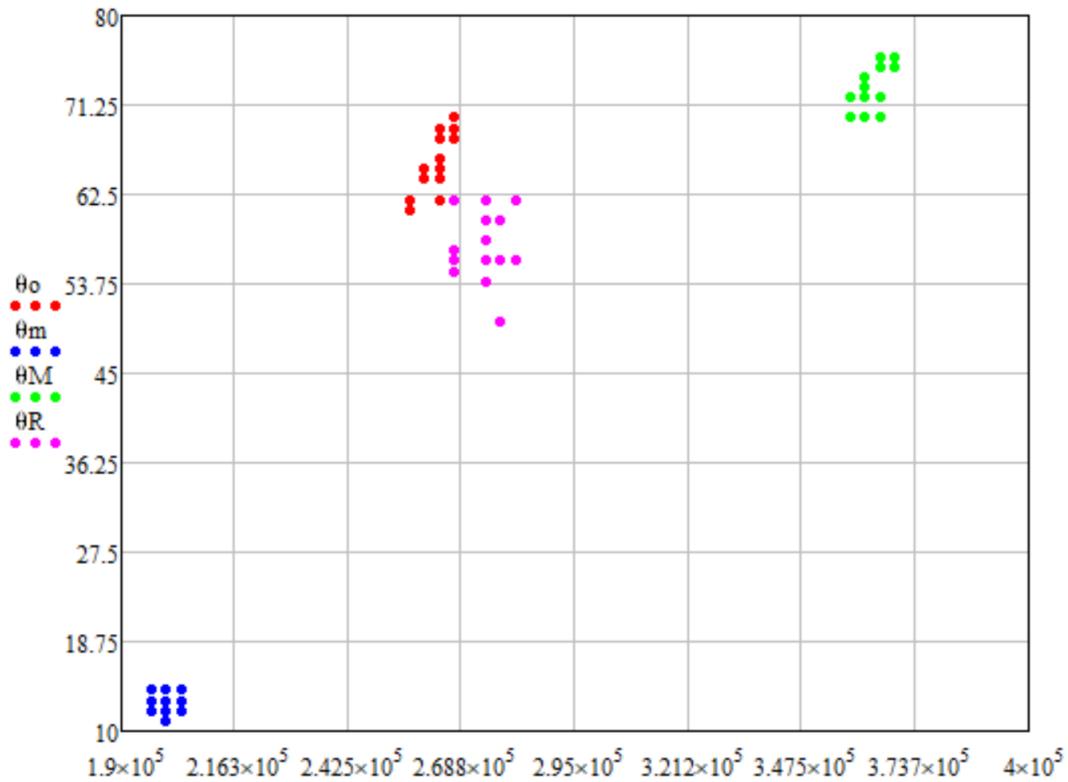
**Figura 24**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Soja*



**Figura 25**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de Soja



#### Aceite de Jatropha Curcas

Tabla 9

Medidas de aceite de Jatropha Curcas realizadas a una compresión original

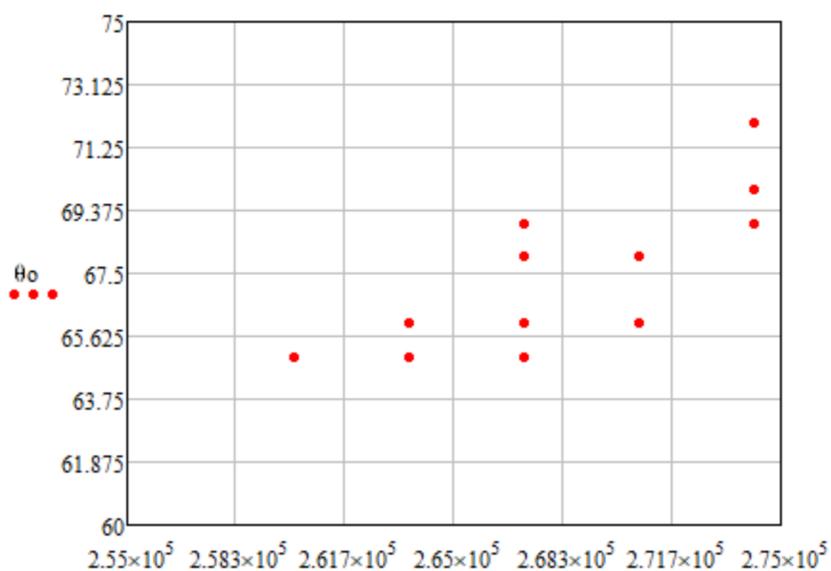
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	215	390	66
2	210	385	65
3	210	385	66
4	220	400	69
5	215	395	66
6	215	390	68
7	220	395	68
8	220	400	72
9	215	400	70
10	210	380	65
11	220	390	65
12	220	395	68
13	215	390	65
14	215	395	68
15	210	390	66
16	220	400	70
17	220	395	66
18	220	395	68

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
19	215	390	69
20	220	405	72
<b>Promedio</b>	<b>216,25</b>	<b>393,25</b>	<b>67,6</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 68), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 26**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Jatropha Curcas



**Tabla 10**

Medidas de aceite de Jatropha Curcas realizadas a una compresión menor a la original

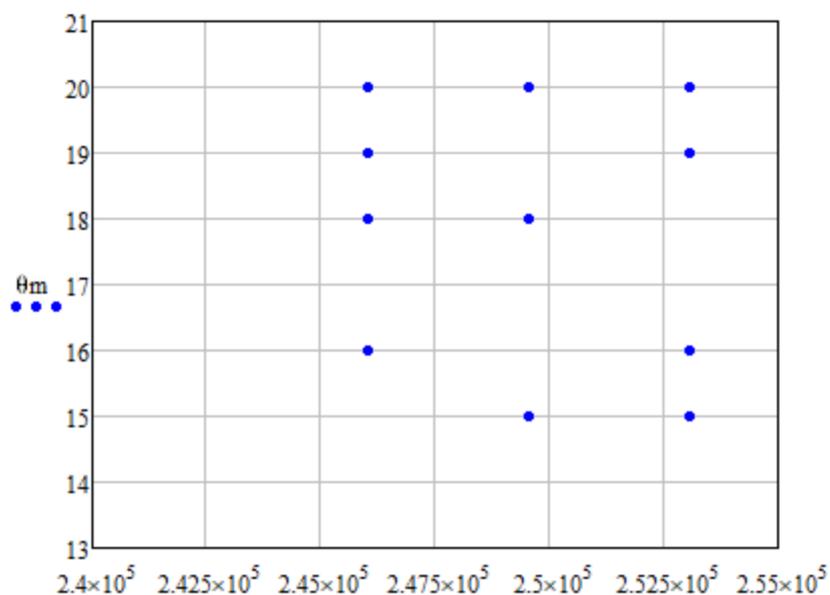
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	150	360	18
2	150	360	18
3	150	360	16
4	150	365	20
5	155	365	18
6	155	360	18
7	160	360	18
8	155	365	15
9	155	370	20
10	155	360	20
11	160	360	18
12	155	360	16
13	155	370	16
14	155	370	15
15	150	365	15

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
16	155	365	15
17	155	360	20
18	155	360	19
19	150	360	19
20	150	370	19
<b>Promedio</b>	<b>153,75</b>	<b>363,25</b>	<b>17,65</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 69), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 27**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con aceite de Jatropha Curcas



**Tabla 11**

Medidas de aceite de Jatropha curcas realizadas a una compresión mayor a la original

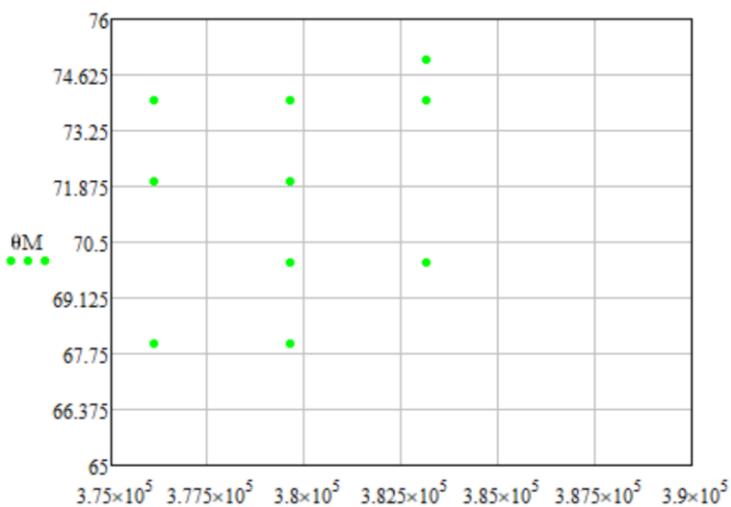
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	285	550	74
2	285	545	72
3	285	545	72
4	285	555	74
5	290	550	68
6	290	550	74
7	300	550	74
8	300	555	75
9	295	555	74
10	285	545	68
11	300	550	72

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
12	300	550	74
13	295	550	70
14	295	555	74
15	290	550	72
16	300	555	74
17	300	545	72
18	300	550	72
19	295	545	74
20	300	555	70
<b>Promedio</b>	<b>294</b>	<b>550,25</b>	<b>72,45</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 69), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 28**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Jatropha Curcas



**Tabla 12**

Medidas de aceite de Jatropha curcas realizadas a una compresión regulada

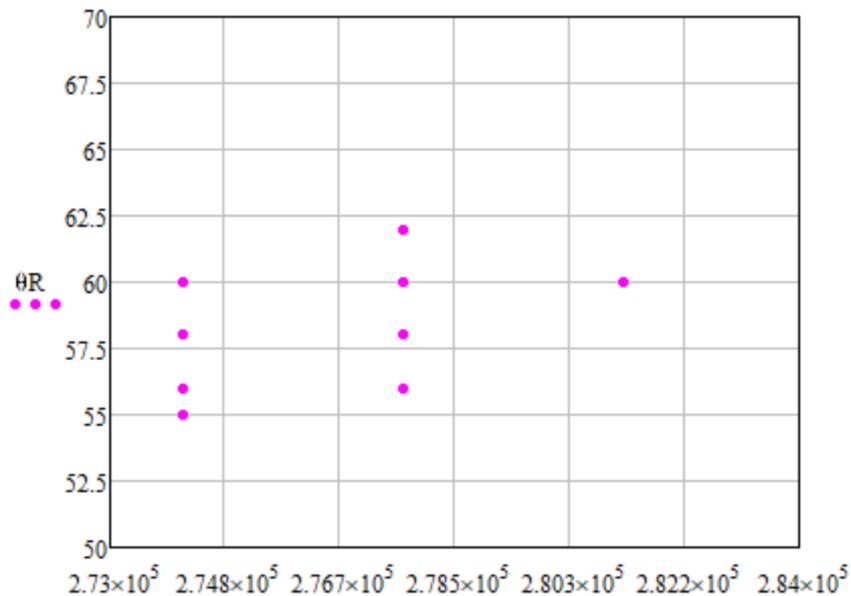
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	190	400	58
2	190	400	56
3	200	390	60
4	200	390	54
5	200	390	62
6	190	400	58
7	195	400	60
8	205	405	58
9	200	400	55
10	195	405	56

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
11	195	405	58
12	200	400	60
13	200	410	60
14	190	400	55
15	190	400	58
16	210	390	58
17	200	390	58
18	200	390	56
19	190	405	62
20	190	405	60
<b>Promedio</b>	<b>196,5</b>	<b>398,75</b>	<b>58,1</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 70), por Sanguano, E., 2007.

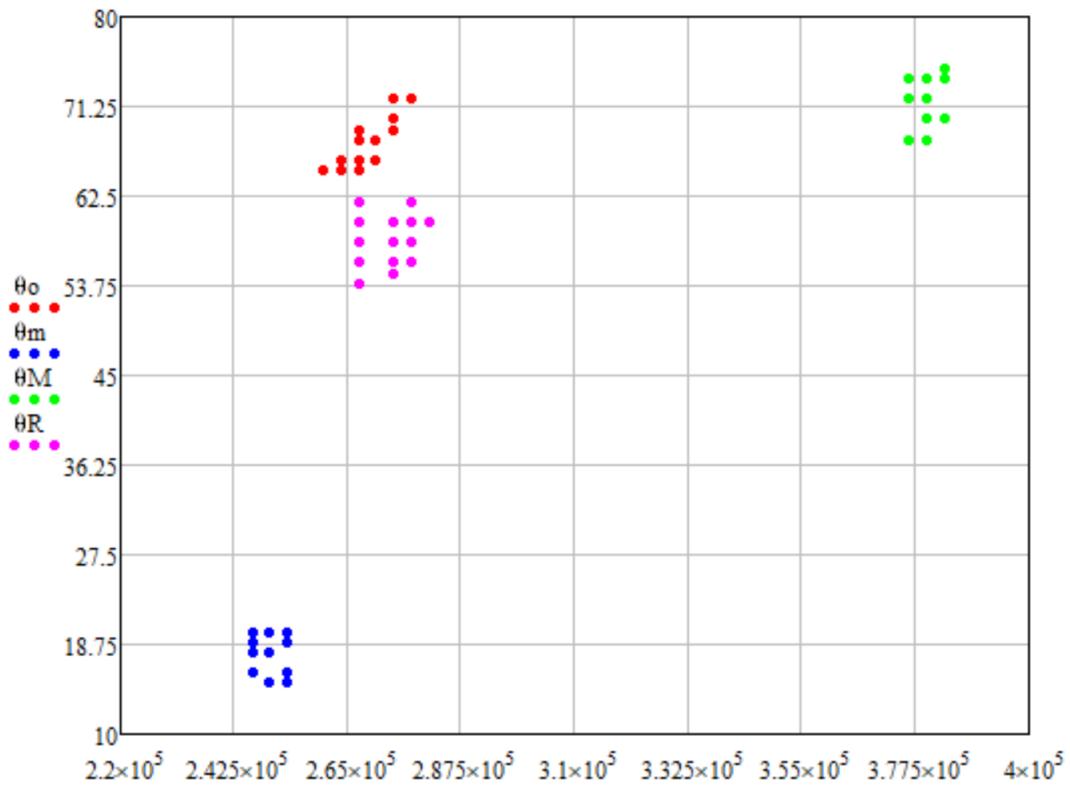
**Figura 29**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Jatropha Curcas*



**Figura 30**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de *Jatropha curcas*



**Diésel**

**Tabla 13**

Medidas de diésel realizadas a una compresión original

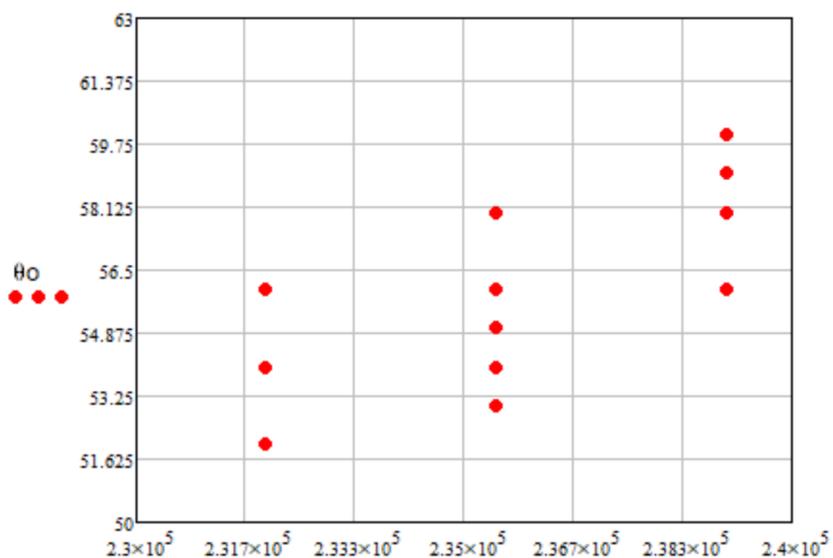
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	150	345	58
2	150	340	56
3	160	350	59
4	150	345	58
5	155	350	58
6	155	350	60
7	160	350	56
8	155	345	56
9	155	340	56
10	160	340	54
11	160	345	55
12	155	350	59
13	160	345	53
14	150	345	58
15	160	340	54
16	155	340	52
17	160	345	54
18	155	350	59

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
19	160	345	58
20	160	350	60
<b>Promedio</b>	<b>156,25</b>	<b>345,5</b>	<b>56,65</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 71), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 31**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con combustible Diésel



**Tabla 14**

Medidas de diésel realizadas a una compresión menor a la original

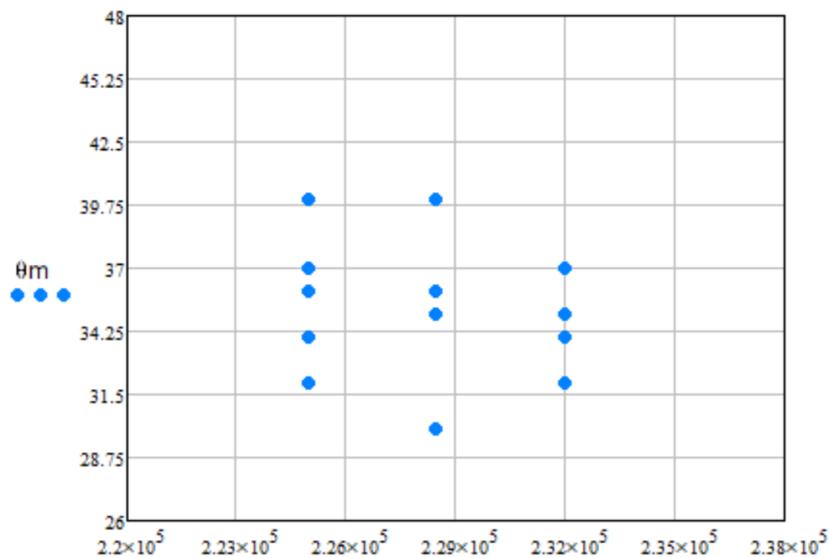
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	150	340	35
2	150	340	37
3	155	335	35
4	155	335	35
5	155	340	34
6	150	330	32
7	150	330	32
8	150	335	30
9	155	330	40
10	155	330	37
11	155	335	35
12	160	335	35
13	155	330	32
14	155	330	34
15	155	340	32
16	150	330	36

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
17	150	340	35
18	160	330	36
19	155	335	36
20	155	335	40
<b>Promedio</b>	<b>153,75</b>	<b>334,25</b>	<b>34,9</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 72), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 32**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle menor a la original con combustible Diésel



**Tabla 15**

Medidas de diésel realizadas a una compresión mayor a la original

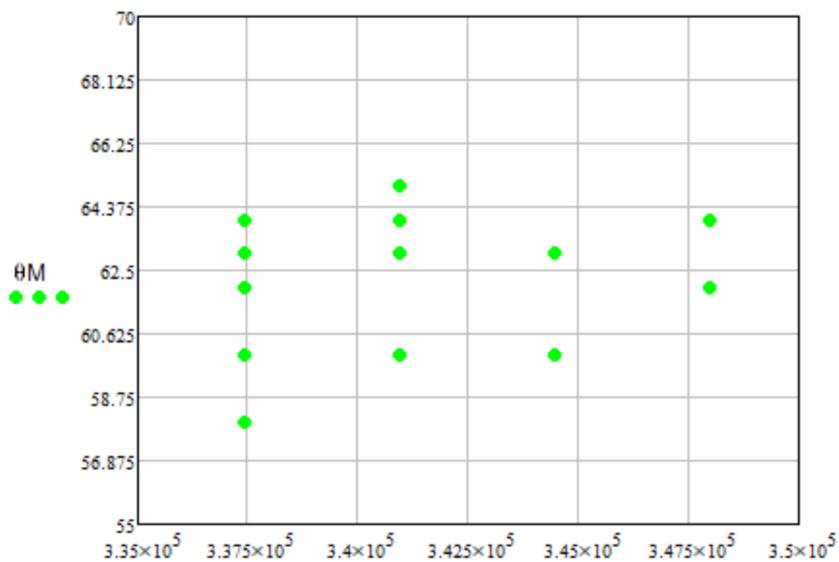
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	160	495	64
2	160	490	63
3	165	495	65
4	160	490	62
5	165	505	62
6	160	500	63
7	165	505	64
8	165	490	60
9	160	490	60
10	165	495	60
11	165	490	62
12	160	490	64
13	165	490	60
14	155	495	63

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
15	155	490	58
16	160	500	60
17	165	500	60
18	160	500	60
19	160	495	63
20	160	495	60
<b>Promedio</b>	<b>161,5</b>	<b>495</b>	<b>61,65</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 72), por Sanguano, E., 2007.

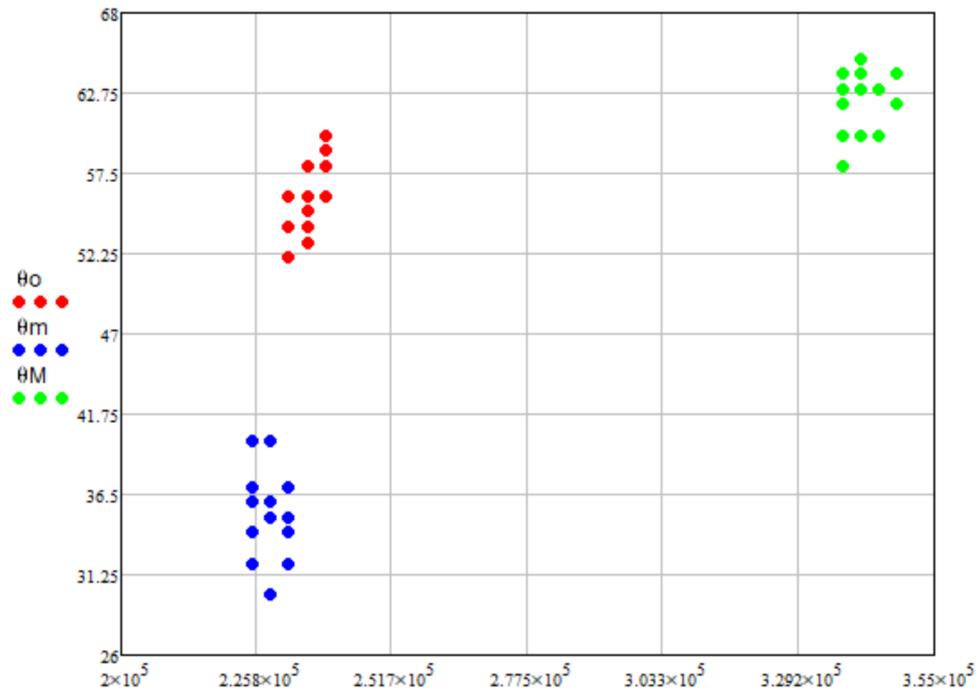
**Figura 33**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con combustible Diésel



**Figura 34**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con combustible Diésel



#### Aceite de Palma Usada

Tabla 16

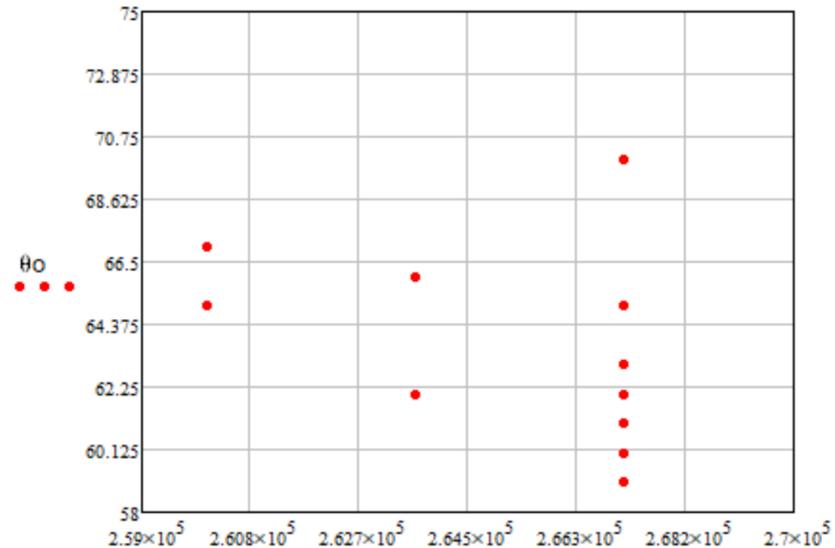
Medidas de aceite de palma usada realizadas a una compresión original

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	210	390	65
2	210	380	67
3	215	390	63
4	210	380	65
5	215	395	62
6	215	390	59
7	215	385	62
8	210	390	61
9	210	390	70
10	210	400	66
11	215	390	62
12	215	395	64
13	215	385	66
14	215	390	60
15	215	390	62
16	210	400	66
17	210	400	62
18	210	395	60
19	215	400	62
20	210	400	62
<b>Promedio</b>	<b>212,5</b>	<b>391,75</b>	<b>63,3</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 73), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 35**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con aceite de Palma usada*



**Tabla 17**

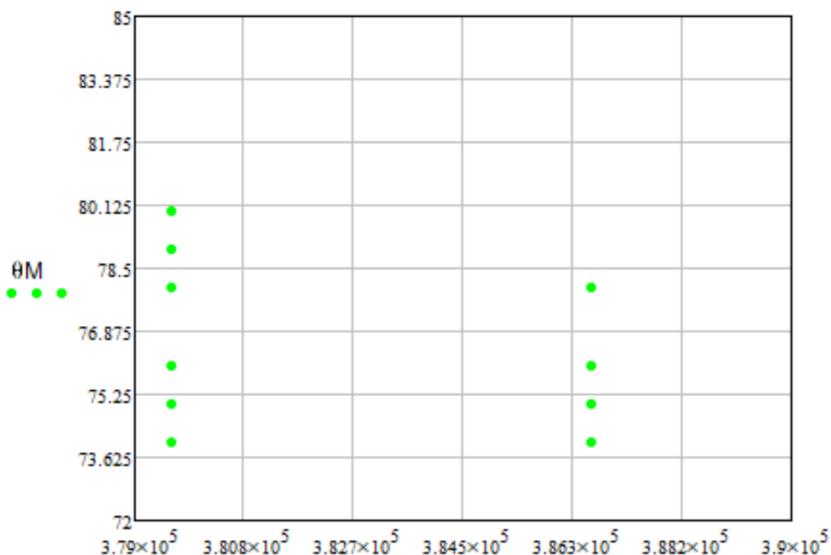
*Medidas de aceite de palma usada realizadas a una compresión mayor a la original*

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	330	550	78
2	320	550	75
3	330	550	75
4	330	560	75
5	330	550	80
6	330	560	75
7	330	550	74
8	320	550	78
9	330	550	76
10	325	550	80
11	325	550	74
12	325	560	75
13	325	560	78
14	330	560	76
15	330	560	75
16	320	560	75
17	330	560	75
18	320	560	74
19	330	550	79
20	320	560	78
<b>Promedio</b>	<b>326,5</b>	<b>555</b>	<b>76,25</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 73), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 36**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con aceite de Palma usada*



**Tabla 18**

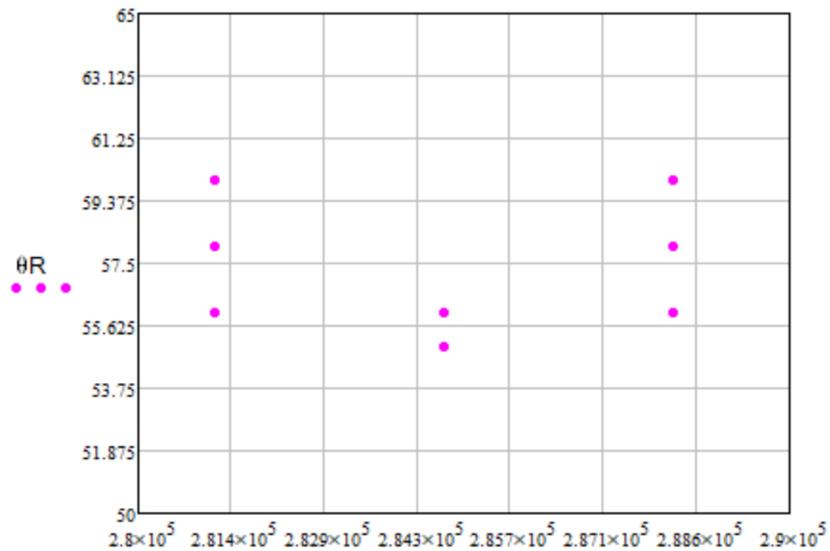
*Medidas de aceite de palma usada realizadas a una compresión regulada*

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	190	420	60
2	180	420	56
3	190	420	56
4	180	420	56
5	180	415	55
6	185	415	56
7	185	410	58
8	180	410	56
9	190	420	56
10	185	415	56
11	190	420	60
12	180	410	60
13	180	410	60
14	190	420	58
15	175	420	58
16	180	410	58
17	190	410	58
18	180	410	58
19	180	420	56
20	200	420	56
<b>Promedio</b>	<b>184,5</b>	<b>415,75</b>	<b>57,35</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 74), por Sanguano, E., 2007.

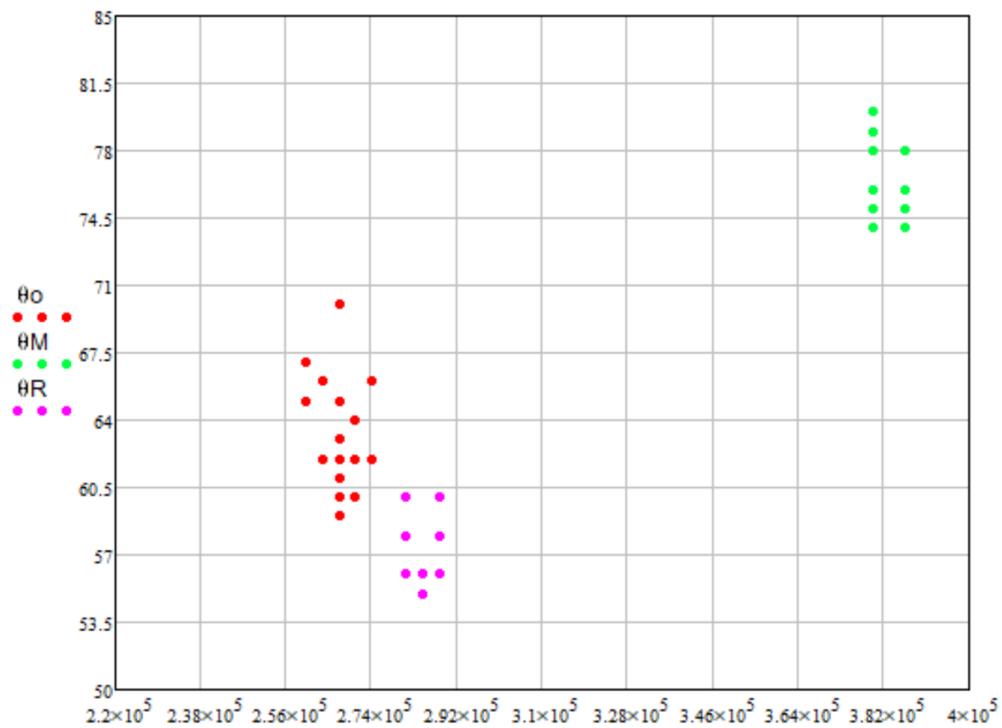
**Figura 37**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con aceite de Palma usada*



**Figura 38**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con aceite de Palma usada*



**Aceite de Palma Usada - Diésel**

Tabla 19

Medidas de aceite de palma usada - diésel realizadas a una compresión original

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	200	385	72
2	200	380	72
3	200	380	72
4	205	380	74
5	210	390	76
6	210	390	76
7	210	390	77
8	210	390	75
9	210	390	75
10	210	380	70
11	200	390	74
12	200	380	75
13	200	385	77
14	200	390	77
15	205	390	75
16	205	380	75
17	210	380	70
18	210	395	70
19	205	390	70
20	210	390	74
<b>Promedio</b>	<b>205,5</b>	<b>386,25</b>	<b>73,8</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 75), por Sanguano, E., 2007.

Figura 39

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel

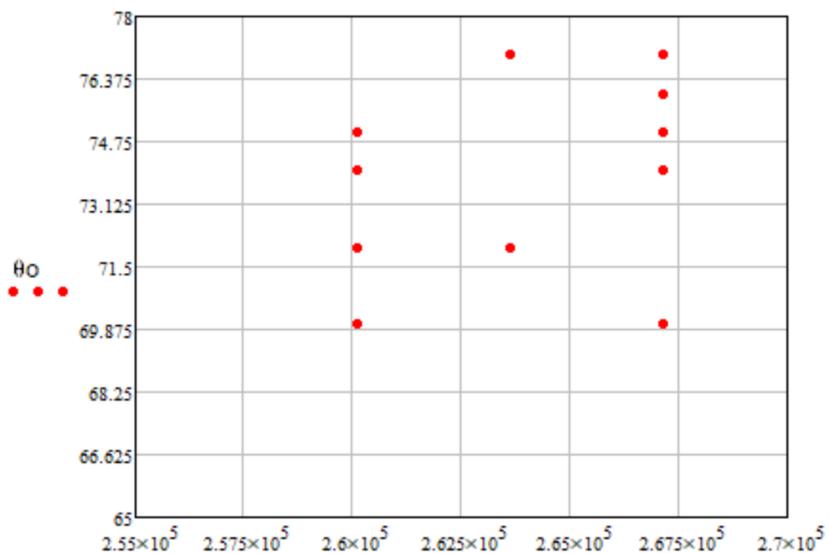


Tabla 20

Medidas de aceite de palma usada - diésel realizadas a una compresión mayor a la original

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	300	520	76
2	300	520	80
3	300	530	80
4	305	530	82
5	310	530	80
6	310	530	76
7	310	530	77
8	300	525	80
9	300	525	80
10	310	530	78
11	300	520	78
12	300	520	80
13	300	520	79
14	310	520	78
15	305	520	80
16	305	525	78
17	305	525	81
18	300	530	78
19	300	520	80
20	305	520	81
<b>Promedio</b>	<b>303,75</b>	<b>524,5</b>	<b>79,1</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 76), por Sanguano, E., 2007.

Figura 40

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel

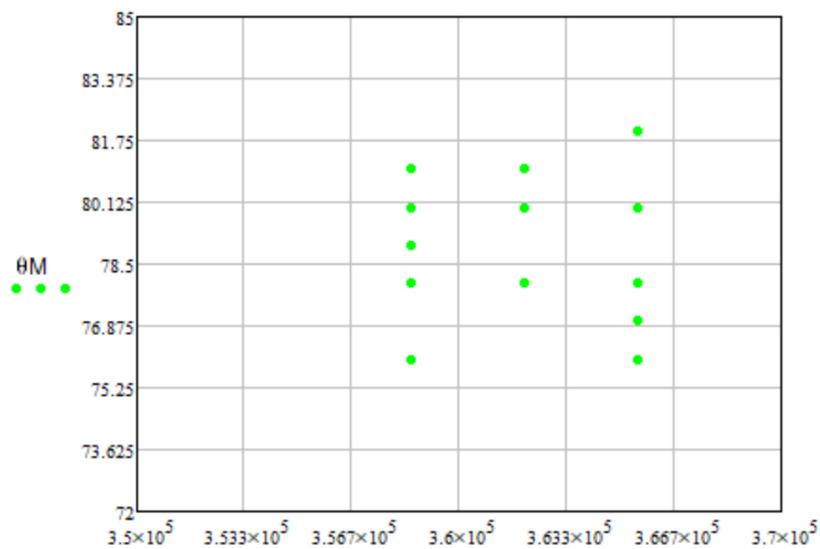


Tabla 21

Medidas de aceite de palma usada - diésel realizadas a una compresión regulada

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	190	400	62
2	190	410	54
3	190	410	60
4	180	410	56
5	190	420	56
6	190	420	60
7	180	415	56
8	190	415	60
9	190	420	60
10	190	420	58
11	190	420	58
12	190	415	60
13	180	410	60
14	190	420	58
15	190	420	62
16	180	410	56
17	195	410	60
18	180	420	58
19	190	420	60
20	195	420	60
<b>Promedio</b>	<b>187,5</b>	<b>415,25</b>	<b>58,7</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 76), por Sanguano, E., 2007.

Figura 41

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel

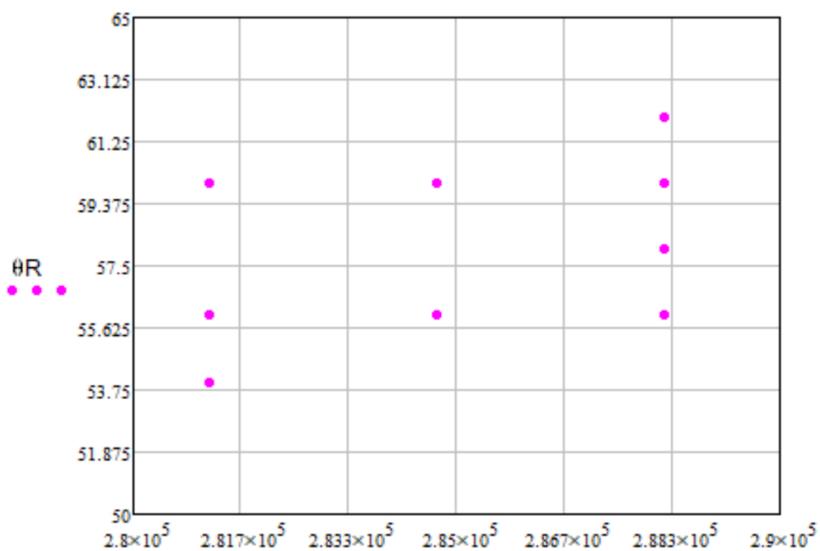
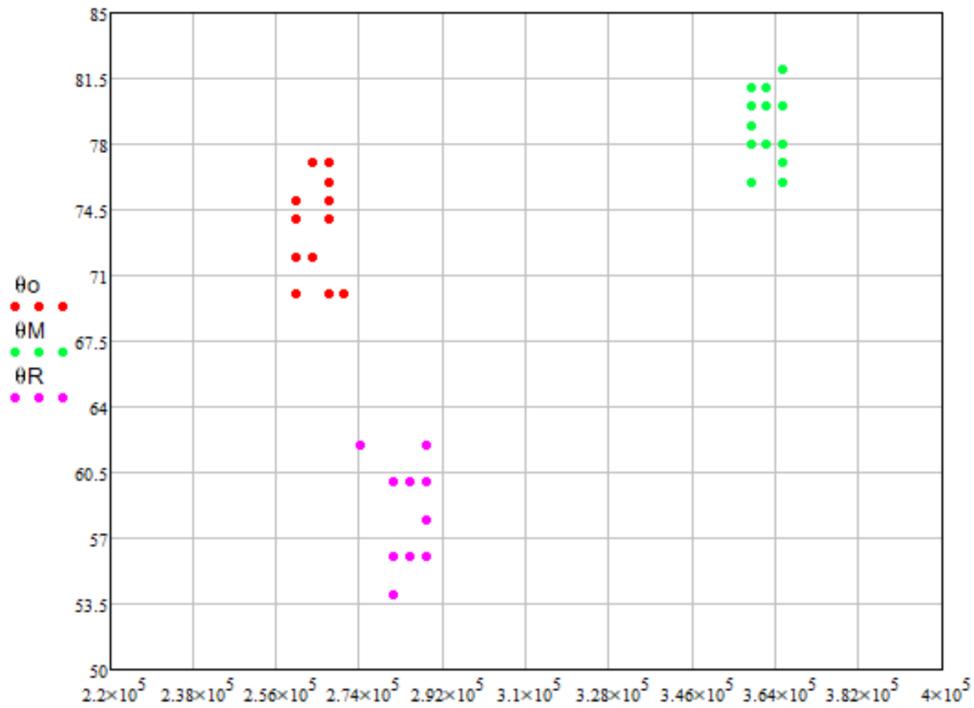


Figura 42

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con mezcla de aceite de Palma usada y Diésel



### Aceite de Palma Virgen y Diésel

Tabla 22

Medidas de aceite de palma virgen - diésel realizadas a una compresión original

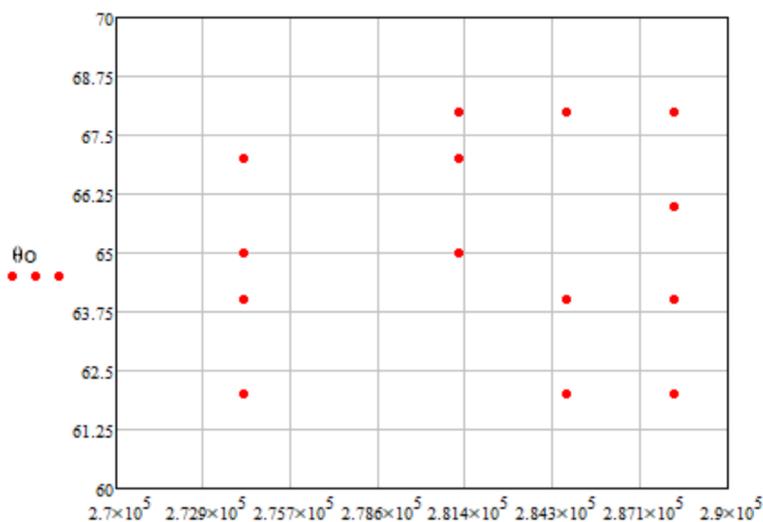
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	210	400	62
2	210	400	67
3	210	400	65
4	215	400	64
5	210	410	67
6	215	410	65
7	220	410	68
8	220	420	68
9	220	420	62
10	210	410	65
11	210	410	67
12	210	410	65
13	215	410	65
14	215	415	68
15	215	415	64
16	215	415	62
17	220	420	66
18	220	410	68

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
19	220	410	65
20	210	420	64
<b>Promedio</b>	<b>214,5</b>	<b>410,75</b>	<b>65,36</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 77), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 43**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel



**Tabla 23**

Medidas de aceite de palma virgen - diésel realizadas a una compresión mayor a la original

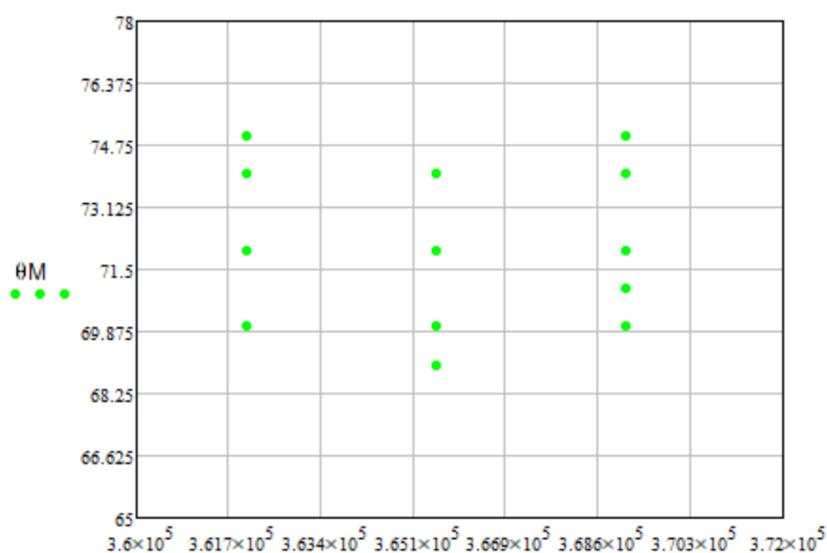
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	320	535	72
2	320	535	70
3	320	530	69
4	330	525	70
5	330	525	74
6	330	525	75
7	325	525	72
8	330	525	72
9	330	530	74
10	330	535	71
11	320	535	74
12	330	530	70
13	330	530	70
14	320	525	70
15	320	530	72
16	320	525	72
17	320	525	72

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
18	320	525	74
19	330	535	75
20	325	535	75
<b>Promedio</b>	<b>325</b>	<b>529,25</b>	<b>72,15</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 78), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 44**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel



**Tabla 24**

Medidas de aceite de palma virgen - diésel realizadas a una compresión regulada

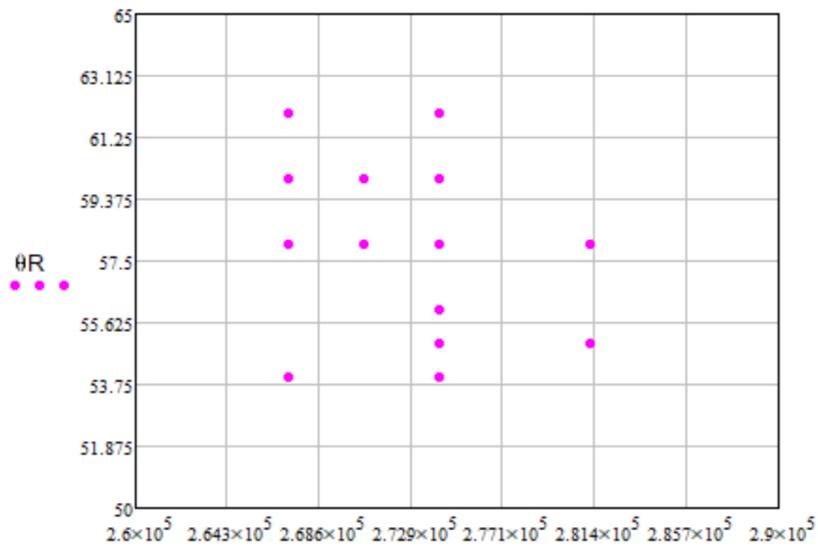
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	180	390	60
2	180	390	58
3	185	400	58
4	180	400	54
5	180	400	62
6	180	410	55
7	190	410	58
8	190	400	60
9	180	400	54
10	180	395	58
11	180	395	60
12	185	390	60
13	185	400	55
14	180	400	56
15	190	400	60

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
16	190	390	60
17	190	390	62
18	180	390	58
19	180	390	60
20	185	390	54
<b>Promedio</b>	<b>183,5</b>	<b>396,5</b>	<b>58,1</b>

*Nota:* Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 78), por Sanguano, E., 2007.

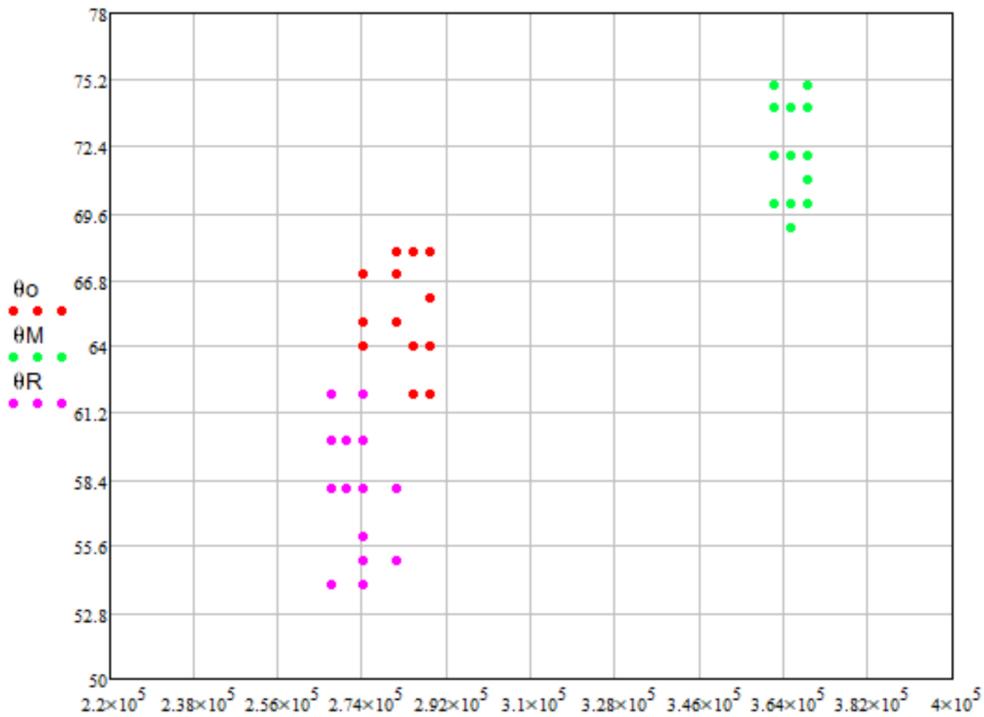
**Figura 45**

*Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle regulada con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel*



**Figura 46**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con mezcla de aceite de Palma virgen y Diésel



## Emulsión

Tabla 25

Medidas de emulsión realizadas a una compresión original

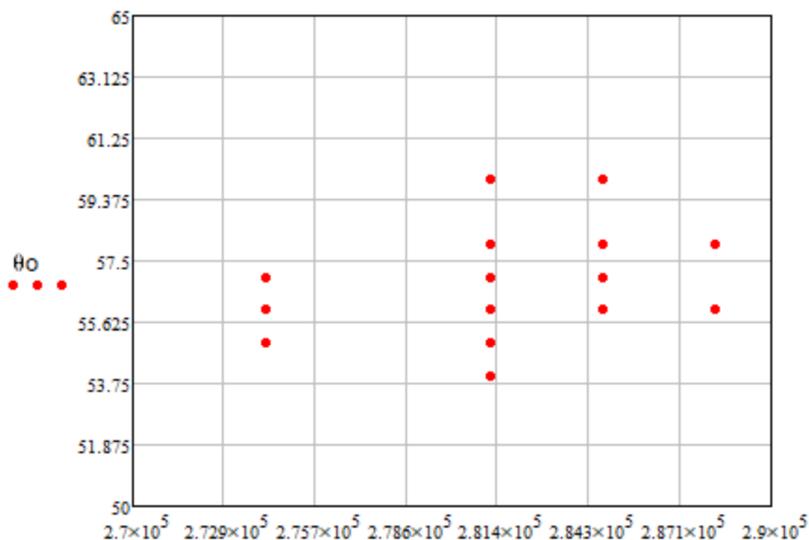
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	210	400	56
2	210	410	58
3	220	410	60
4	220	410	58
5	220	410	58
6	220	420	56
7	210	420	56
8	220	420	58
9	215	415	60
10	215	415	57
11	220	415	56
12	220	415	56
13	220	400	57
14	220	415	58
15	220	415	56
16	220	400	55
17	215	410	54
18	215	410	57
19	215	410	55
20	220	410	56

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
Promedio	217,25	411,5	56,85

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 79), por Sanguano, E., 2007.

**Figura 47**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle original con mezcla de Emulsión



**Tabla 26**

Medidas de emulsión realizadas a una compresión mayor a la original

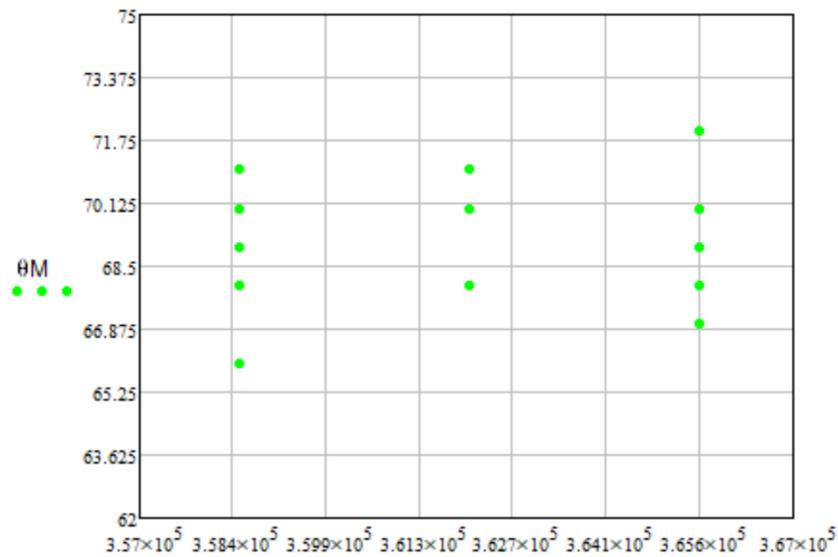
Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
1	315	520	70
2	315	520	68
3	320	530	70
4	320	530	70
5	315	530	70
6	320	520	71
7	310	520	69
8	310	520	68
9	320	530	67
10	320	530	70
11	310	530	68
12	310	525	71
13	315	525	68
14	315	530	72
15	310	520	66
16	320	525	70
17	320	525	70
18	320	530	68

Mediciones	$P_i \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	$P_f \left[ \frac{lb}{in^2} \right]$	Ángulo de cono $\left[ \frac{lb}{in^2} \right]$
19	315	525	70
20	315	530	69
<b>Promedio</b>	<b>315,75</b>	<b>525,75</b>	<b>69,25</b>

Nota: Recuperado de: Repositorio ESPE, Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado (pág. 80), por Sanguano, E., 2007.

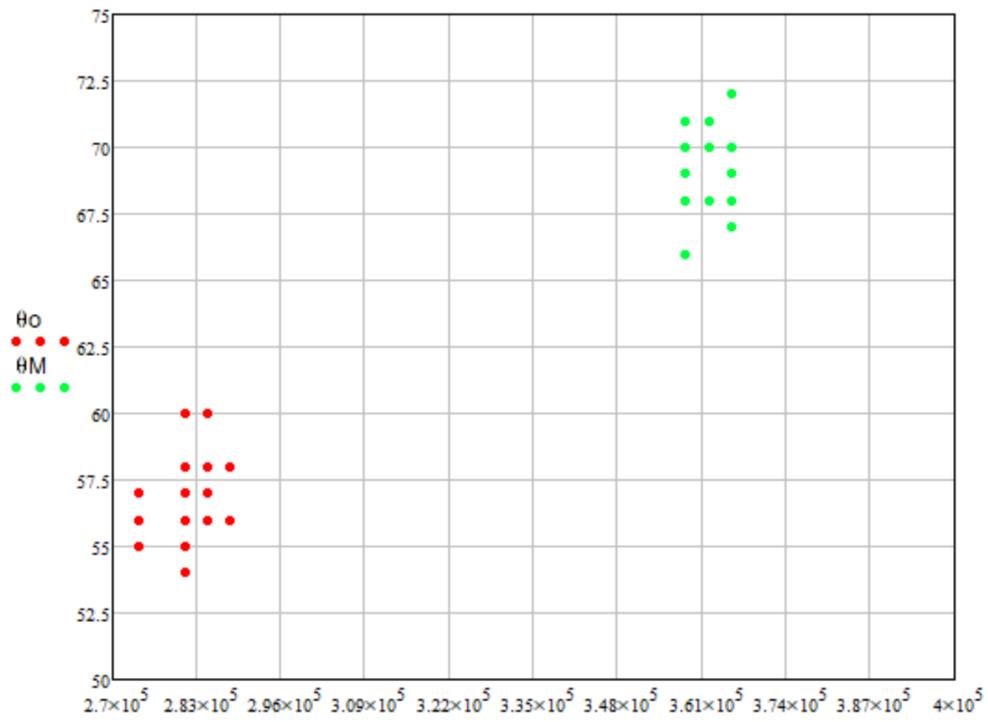
**Figura 48**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, a una compresión de muelle mayor a la original con mezcla de Emulsión



**Figura 49**

Ángulo de cono de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente con mezcla de Emulsión



**CAPITULO 4**  
**CÁLCULOS Y APLICACIÓN EN MODELOS MATEMÁTICOS**

**Datos**

$$T_a = 20 [^{\circ}C]$$

$$L_o = 0.00093 [m]$$

$$D_o = 0.0010045 [m]$$

$$D_c = 0.001506 [m]$$

$$\rho_a = 0.8233 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{pv} = 901 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_s = 920 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{jc} = 917 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_D = 829 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{pu} = 903 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{puD} = 900 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{pvD} = 890 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_E = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$r_r = 0.0004905 [m]$$

$$V_i = 200 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_a = 10.0646 \left[ \frac{lb}{in^2} \right] = 7.076 \times 10^3 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

$$t_{po} = 0.00065 [s]$$

$$t_{pm} = 0.001 [s]$$

$$t_{pM} = 0.0003 [s]$$

$$t_{pR} = 0.000475 [s]$$

**Aceite de Palma Virgen****Modelo de Hiroyasu****Longitud de ruptura.**

$$Lb_{pv} = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_{pv} * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_{pv}}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_{pv} = 0.16 [m]$$

**Angulo de cono de pulverización.**

$$\theta_{H_{pv}} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_{pv}} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_{pv}} = 12.956 [^\circ]$$

**Punta de penetración de pulverización.**

$$SH_{pv} = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_{pv})^{0.5}$$

$$tb_{pv} = 28.65 \left( \frac{\rho_{pv} * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

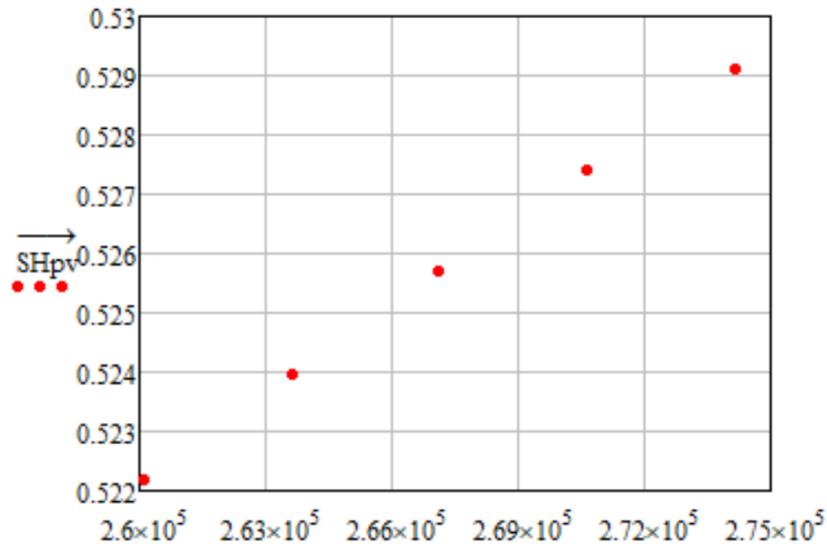
**Tabla 27**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pv} [m^{0.5}]$	$SH_{pv} [m]$
1	2.601*10E5	0.056	0.52
2	2.601*10E5	0.056	0.52
3	2.636*10E5	0.056	0.522
4	2.601*10E5	0.056	0.52
5	2.706*10E5	0.055	0.525
6	2.671*10E5	0.055	0.523
7	2.636*10E5	0.056	0.522
8	2.671*10E5	0.055	0.523
9	2.636*10E5	0.056	0.522
10	2.601*10E5	0.055	0.52
11	2.671*10E5	0.055	0.523
12	2.706*10E5	0.055	0.525
13	2.636*10E5	0.056	0.522
14	2.671*10E5	0.055	0.523
15	2.671*10E5	0.055	0.523
16	2.742*10E5	0.055	0.527
17	2.636*10E5	0.056	0.522
18	2.706*10E5	0.055	0.525
19	2.706*10E5	0.055	0.525
20	2.742*10E5	0.055	0.527

Figura 50

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SH}_{pv} = 0.525 \text{ [m]}$$

$$S_{SH_{pv}}^2 = 4.763 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

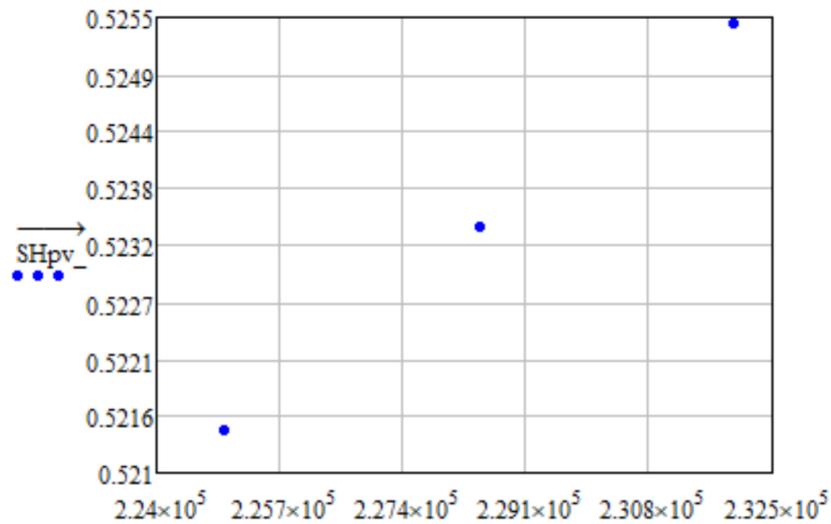
Tabla 28

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P$ $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$	$tb_{pv}$ [m <sup>0.5</sup> ]	$SH_{pv}$ [m]
1	2.249*10E5	0.06	0.521
2	2.249*10E5	0.06	0.521
3	2.32*10E5	0.059	0.525
4	2.32*10E5	0.059	0.525
5	2.32*10E5	0.059	0.525
6	2.285*10E5	0.06	0.523
7	2.265*10E5	0.06	0.523
8	2.249*10E5	0.06	0.521
9	2.249*10E5	0.06	0.521
10	2.32*10E5	0.059	0.525
11	2.285*10E5	0.06	0.523
12	2.32*10E5	0.059	0.525
13	2.32*10E5	0.059	0.525
14	2.32*10E5	0.059	0.525
15	2.32*10E5	0.059	0.525
16	2.285*10E5	0.06	0.523
17	2.249*10E5	0.06	0.521
18	2.249*10E5	0.06	0.521
19	2.249*10E5	0.06	0.521
20	2.285*10E5	0.06	0.523

Figura 51

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SH}_{pv} = 0.524 \text{ [m]}$$

$$S_{SH_{pv}}^2 = 3.031 * 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

Tabla 29

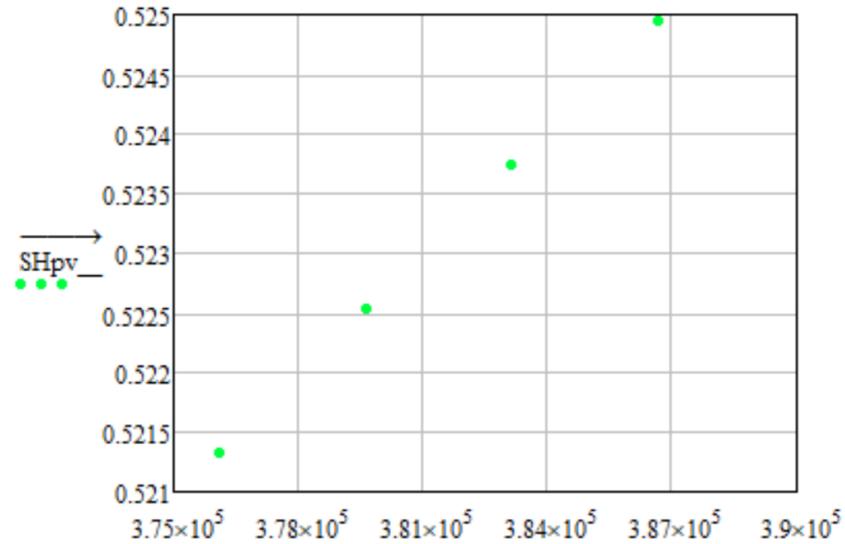
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P$ [ $\frac{kg}{m^2}$ ]	$tb_{pv}$ [ $m^{0.5}$ ]	$SH_{pv}$ [m]
1	3.761*10E5	0.047	0.521
2	3.761*10E5	0.047	0.521
3	3.796*10E5	0.046	0.523
4	3.796*10E5	0.046	0.523
5	3.831*10E5	0.046	0.524
6	3.831*10E5	0.046	0.524
7	3.796*10E5	0.046	0.523
8	3.831*10E5	0.046	0.524
9	3.796*10E5	0.046	0.523
10	3.761*10E5	0.047	0.521
11	3.796*10E5	0.046	0.523
12	3.831*10E5	0.046	0.524
13	3.796*10E5	0.046	0.523
14	3.866*10E5	0.046	0.525
15	3.796*10E5	0.046	0.523
16	3.866*10E5	0.046	0.525
17	3.761*10E5	0.047	0.521
18	3.796*10E5	0.046	0.523
19	3.831*10E5	0.046	0.524

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pv} [m^{0.5}]$	$SH_{pv} [m]$
20	$3.831 \cdot 10^5$	0.046	0.524

Figura 52

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SH}_{pv} = 0.523 [m]$$

$$S_{SH_{pv}}^2 = 1.179 \cdot 10^{-6} [m^2]$$

Tabla 30

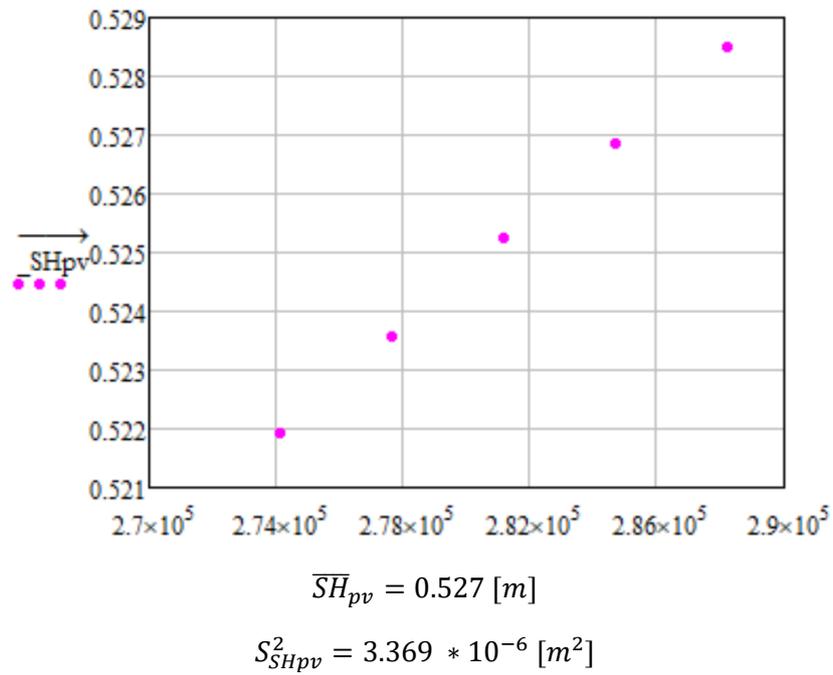
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pv} [m^{0.5}]$	$SH_{pv} [m]$
1	$2.812 \cdot 10^5$	0.054	0.525
2	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
3	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
4	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
5	$2.847 \cdot 10^5$	0.054	0.527
6	$2.847 \cdot 10^5$	0.054	0.527
7	$2.812 \cdot 10^5$	0.054	0.525
8	$2.812 \cdot 10^5$	0.054	0.525
9	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
10	$2.847 \cdot 10^5$	0.054	0.527
11	$2.847 \cdot 10^5$	0.054	0.527
12	$2.742 \cdot 10^5$	0.055	0.522
13	$2.777 \cdot 10^5$	0.054	0.524
14	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
15	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
16	$2.812 \cdot 10^5$	0.054	0.525
17	$2.812 \cdot 10^5$	0.054	0.525

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pv} [m^{0.5}]$	$SH_{pv} [m]$
18	$2.812 \cdot 10^5$	0.054	0.525
19	$2.882 \cdot 10^5$	0.053	0.528
20	$2.847 \cdot 10^5$	0.054	0.527

**Figura 53**

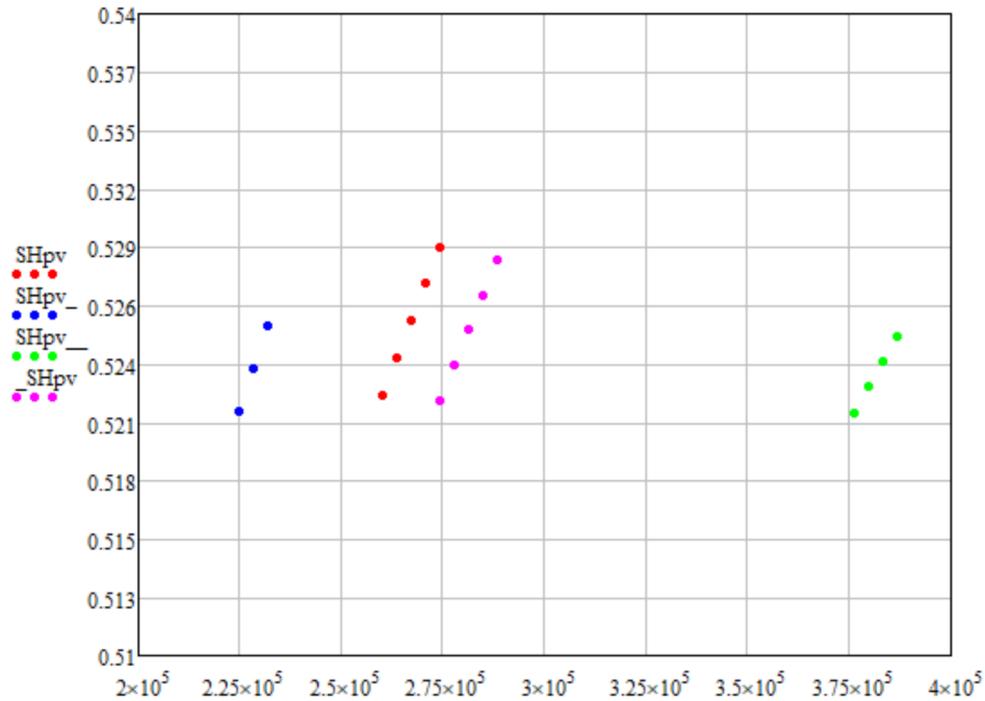
*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma Virgen*



**Figura 54**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de Palma Virgen



### Modelo de Castanheira

Angulo de cono de pulverización.

$$\tan(\varphi_{pv}) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_l} \right)$$

$$\theta_{C_{pv}} = \varphi_{pv} * \frac{180}{\pi} = 0.129392 * \frac{180}{\pi} = 7.414 [^\circ]$$

$$\theta_{C_{pv}} = 2 * 7.414 = 14.827 [^\circ]$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SC_{pv} = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

Tabla 31

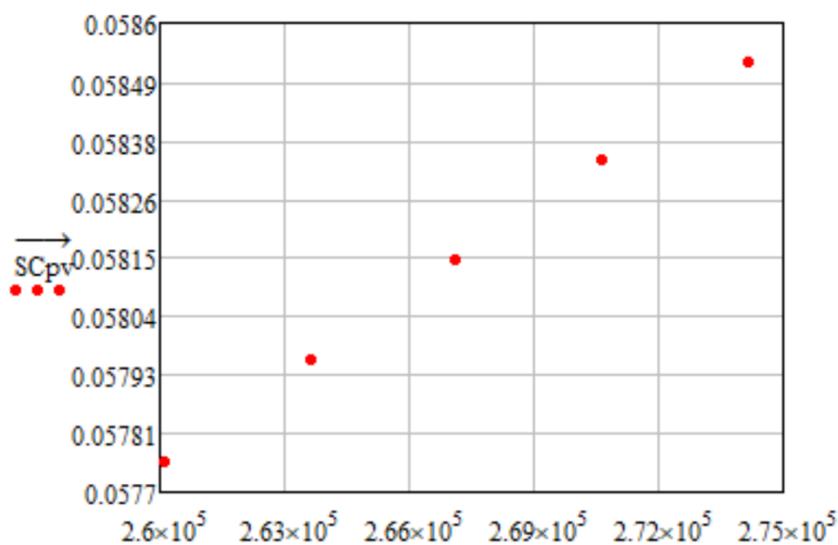
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
1	$2.601 * 10^5$	0.058
2	$2.601 * 10^5$	0.058
3	$2.636 * 10^5$	0.058
4	$2.601 * 10^5$	0.058
5	$2.706 * 10^5$	0.058
6	$2.671 * 10^5$	0.058

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
7	2.636*10E5	0.058
8	2.671*10E5	0.058
9	2.636*10E5	0.058
10	2.601*10E5	0.058
11	2.671*10E5	0.058
12	2.706*10E5	0.058
13	2.636*10E5	0.058
14	2.671*10E5	0.058
15	2.671*10E5	0.058
16	2.742*10E5	0.058
17	2.636*10E5	0.058
18	2.706*10E5	0.058
19	2.706*10E5	0.058
20	2.742*10E5	0.058

Figura 55

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SC}_{pv} = 0.058 [m]$$

$$S_{SC_{pv}}^2 = 5.827 * 10^{-8} [m^2]$$

Tabla 32

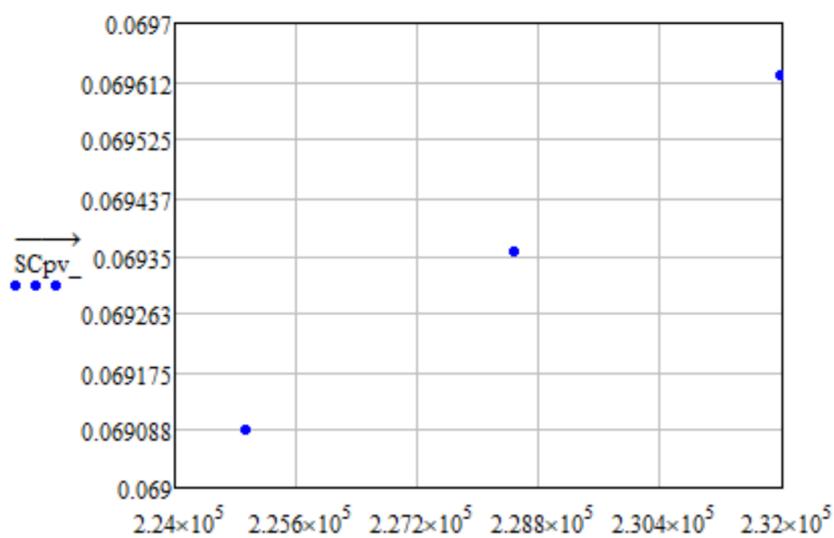
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
1	2.249*10E5	0.069
2	2.249*10E5	0.069
3	2.32*10E5	0.07
4	2.32*10E5	0.07

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
5	2.32*10E5	0.07
6	2.285*10E5	0.069
7	2.265*10E5	0.069
8	2.249*10E5	0.069
9	2.249*10E5	0.069
10	2.32*10E5	0.07
11	2.285*10E5	0.069
12	2.32*10E5	0.07
13	2.32*10E5	0.07
14	2.32*10E5	0.07
15	2.32*10E5	0.07
16	2.285*10E5	0.069
17	2.249*10E5	0.069
18	2.249*10E5	0.069
19	2.249*10E5	0.069
20	2.285*10E5	0.069

Figura 56

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SC}_{pv} = 0.069 [m]$$

$$S_{SC_{pv}}^2 = 5.321 * 10^{-8} [m^2]$$

$$R_{SC_{pv}} = 1$$

Tabla 33

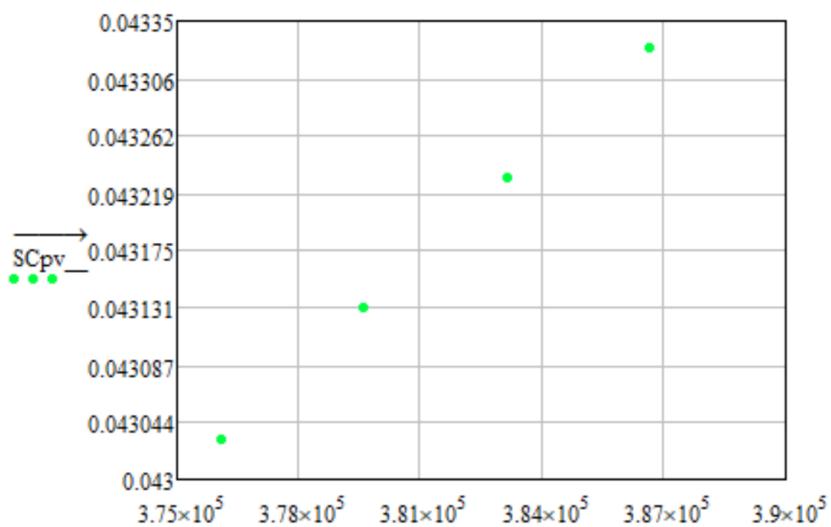
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
1	3.761*10E5	0.043

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
2	3.761*10E5	0.043
3	3.796*10E5	0.043
4	3.796*10E5	0.043
5	3.831*10E5	0.043
6	3.831*10E5	0.043
7	3.796*10E5	0.043
8	3.831*10E5	0.043
9	3.796*10E5	0.043
10	3.761*10E5	0.043
11	3.796*10E5	0.043
12	3.831*10E5	0.043
13	3.796*10E5	0.043
14	3.866*10E5	0.043
15	3.796*10E5	0.043
16	3.866*10E5	0.043
17	3.761*10E5	0.043
18	3.796*10E5	0.043
19	3.831*10E5	0.043
20	3.831*10E5	0.043

Figura 57

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma Virgen*



$$\overline{SC}_{pv} = 0.043$$

$$S_{SC_{pv}}^2 = 8.033 * 10^{-8} [m^2]$$

$$R_{SC_{pv}} = 1$$

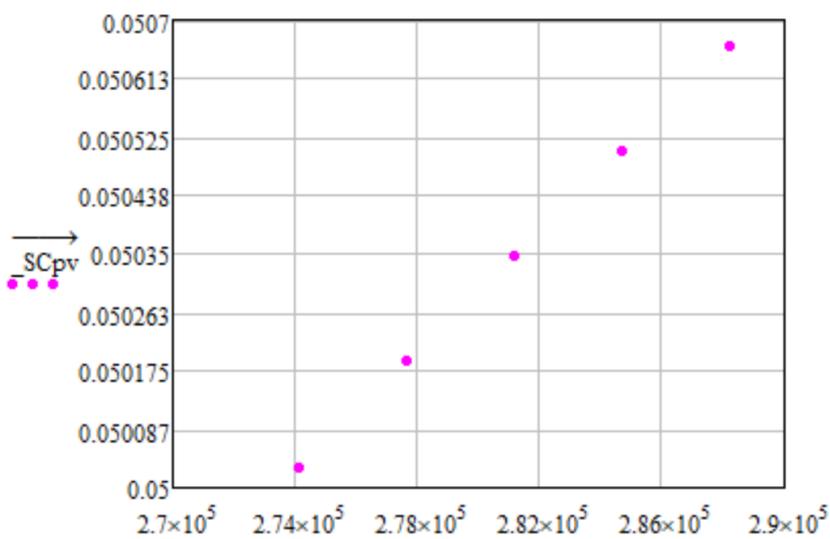
Tabla 34

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pv} [m]$
1	2.812*10E5	0.05
2	2.882*10E5	0.051
3	2.882*10E5	0.051
4	2.882*10E5	0.051
5	2.847*10E5	0.051
6	2.847*10E5	0.051
7	2.812*10E5	0.05
8	2.812*10E5	0.05
9	2.882*10E5	0.051
10	2.847*10E5	0.051
11	2.847*10E5	0.051
12	2.742*10E5	0.05
13	2.777*10E5	0.05
14	2.882*10E5	0.051
15	2.882*10E5	0.051
16	2.812*10E5	0.05
17	2.812*10E5	0.05
18	2.812*10E5	0.05
19	2.882*10E5	0.051
20	2.847*10E5	0.051

Figura 58

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma Virgen



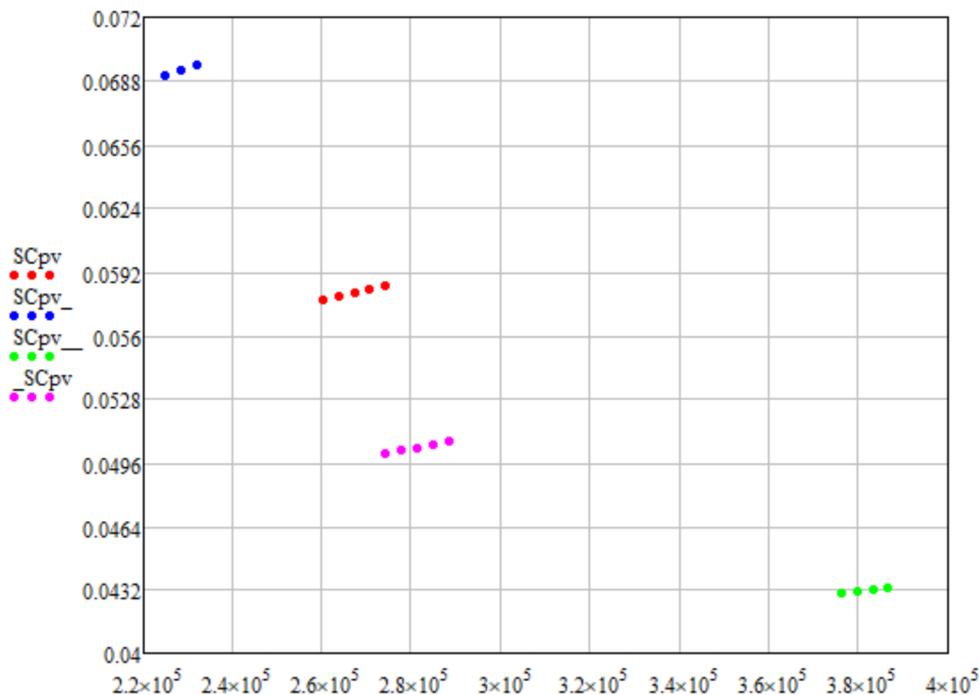
$$\overline{SC}_{pv} = 0.05 [m]$$

$$S_{SC_{pv}}^2 = 3.096 * 10^{-8} [m^2]$$

$$R_{SC_{pv}} = 1$$

Figura 59

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Palma Virgen



### Modelo de Arregle

#### Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan\left(\frac{\theta_{A_{pv}}}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

#### Punta de penetración de pulverización.

$$SA_{pv} = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_{pv} = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta_{A_{pv}}}{2}\right)^{-0.5}$$

Tabla 35

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pv} [m]$	$\tan\left(\frac{\theta_{A_{pv}}}{2}\right) [rad]$	$SA'_{pv} [m]$
1	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
2	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
3	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
4	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
5	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pv} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta_{Apv}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{pv} [m]$
6	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
7	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
8	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
9	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
10	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
11	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
12	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
13	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
14	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
15	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
16	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
17	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
18	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
19	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
20	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564

Figura 60

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen

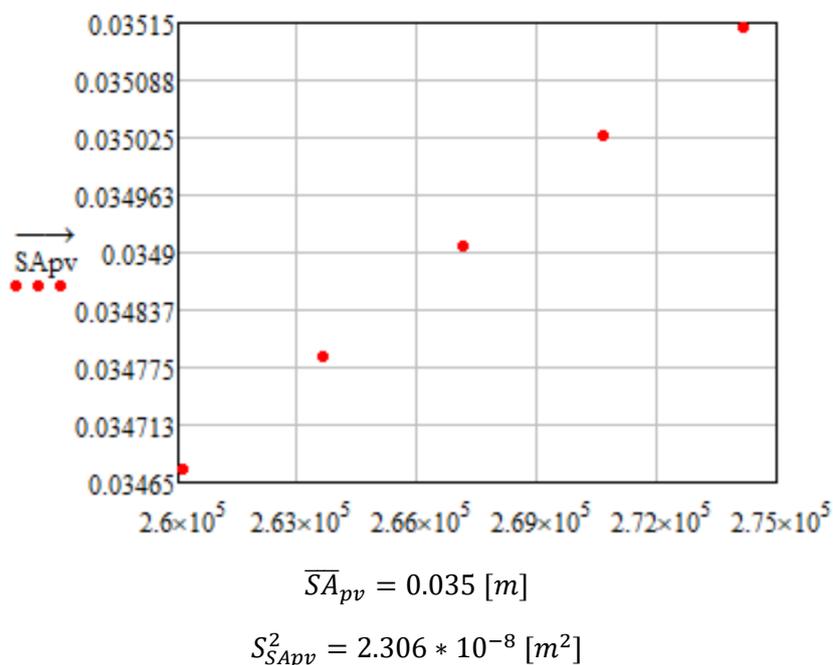
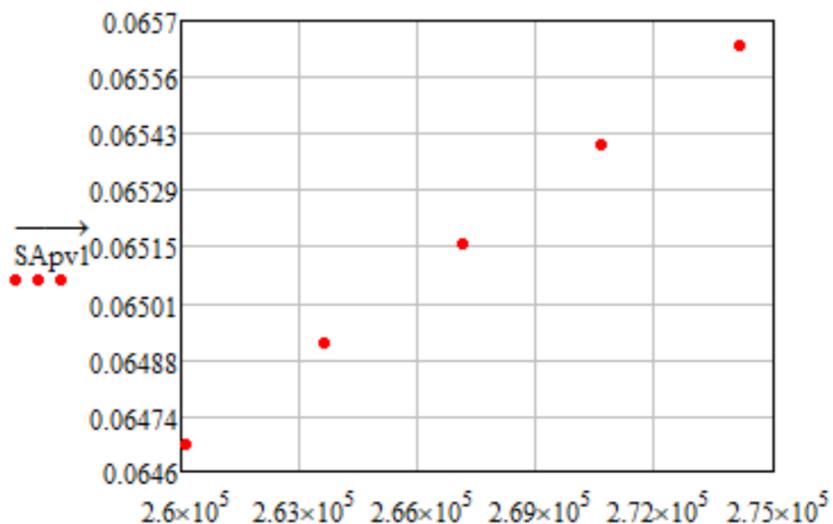


Figura 61

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SA'_{pv}} = 0.065 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_{pv}}^2 = 9.375 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

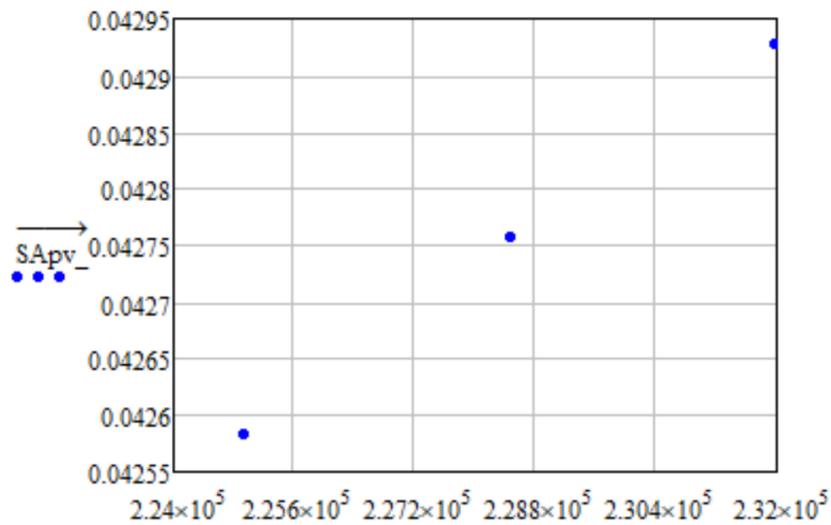
**Tabla 36**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P$ [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ ]	$SA_{pv}$ [m]	$\tan\left(\frac{\theta_{A_{pv}}}{2}\right)$ [rad]	$SA'_{pv}$ [m]
1	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
2	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
3	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
4	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
5	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
6	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
7	2.265*10E5	0.04276	0.032	0.07809
8	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
9	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
10	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
11	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
12	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
13	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
14	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
15	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
16	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
17	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
18	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
19	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
20	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809

Figura 62

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen

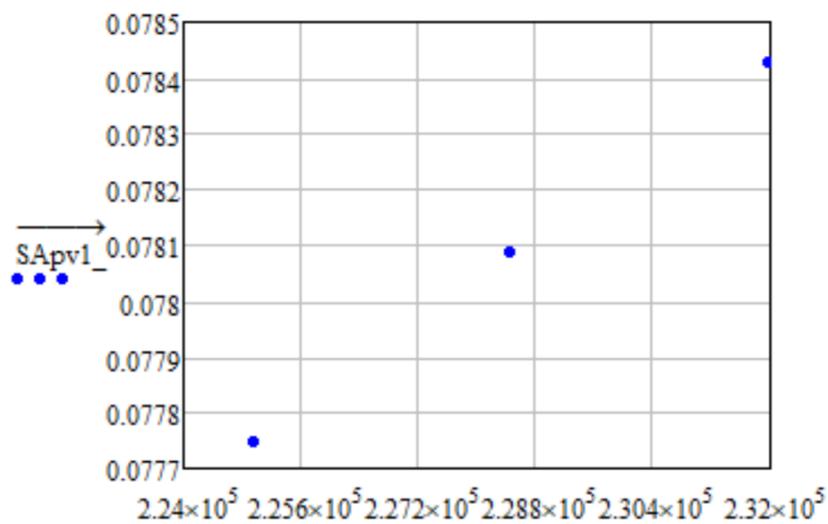


$$\overline{S_{Apv}} = 0.043 \text{ [m]}$$

$$S_{SApv}^2 = 2.221 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

Figura 63

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{S'_{Apv}} = 0.078 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'pv}^2 = 8.643 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

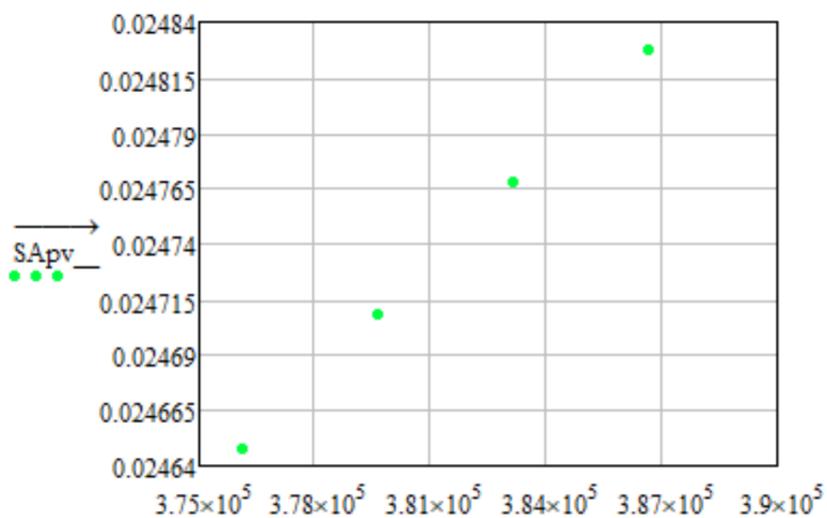
Tabla 37

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pv}[m]$	$\tan\left(\frac{\theta A_{pv}}{2}\right) [rad]$	$SA'_{pv}[m]$
1	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
2	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
3	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
4	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
5	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
6	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
7	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
8	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
9	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
10	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
11	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
12	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
13	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
14	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
15	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
16	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
17	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
18	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
19	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
20	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816

Figura 64

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma Virgen



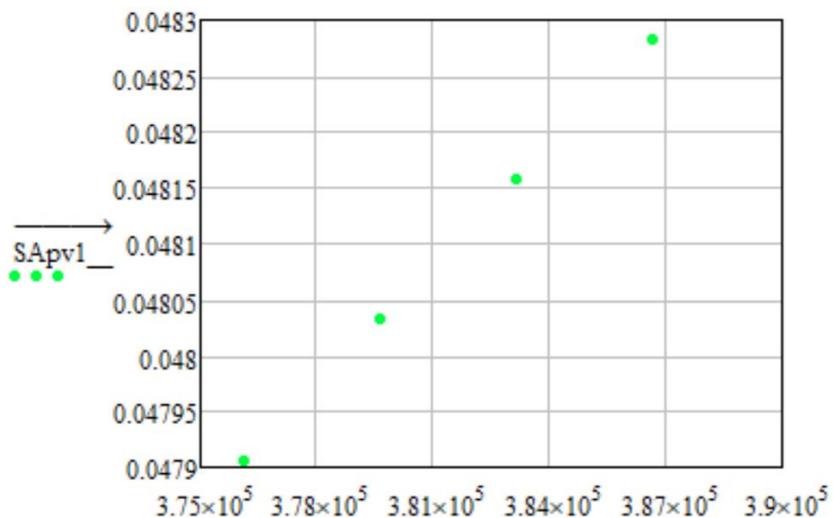
$$\overline{SA}_{pv} = 0.025 [m]$$

$$S_{SA_{pv}}^2 = 2.896 * 10^{-8} [m^2]$$

$$R_{SA_{pv}} = 1$$

Figura 65

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen



$$\overline{SA'_{pv}} = 0.048 \text{ [m]}$$

$$S^2_{SA'_{pv}} = 1.277 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

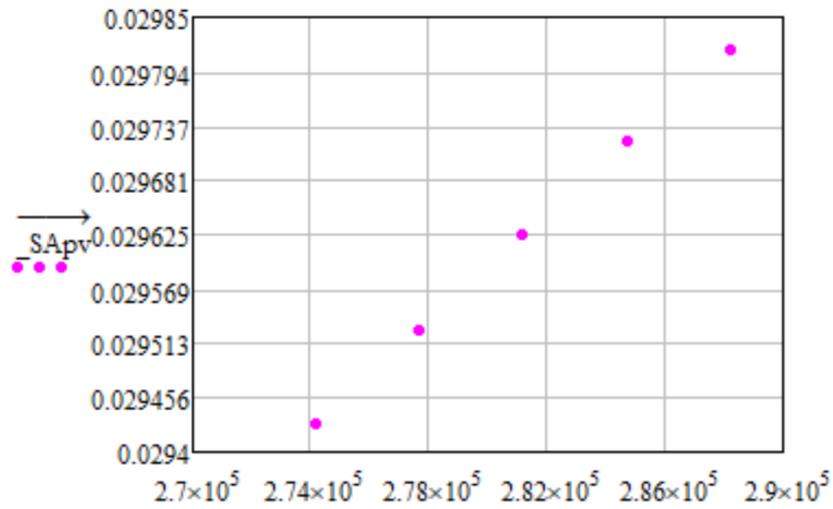
Tabla 38

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Palma Virgen, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pv}$ [m]	$\tan \left( \frac{\theta A_{pv}}{2} \right)$ [°]	$SA'_{pv}$ [m]
1	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
2	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
3	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
4	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
5	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
6	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
7	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
8	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
9	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
10	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
11	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
12	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
13	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
14	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
15	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
16	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
17	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
18	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
19	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
20	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631

Figura 66

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma Virgen

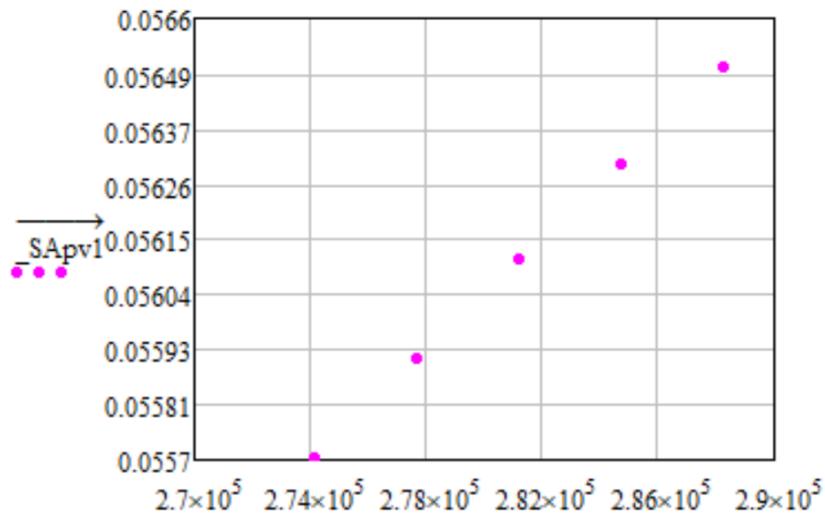


$$\overline{SA}_{pv} = 0.03$$

$$S_{SA_{pv}}^2 = 1.177 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 67

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Palma Virgen



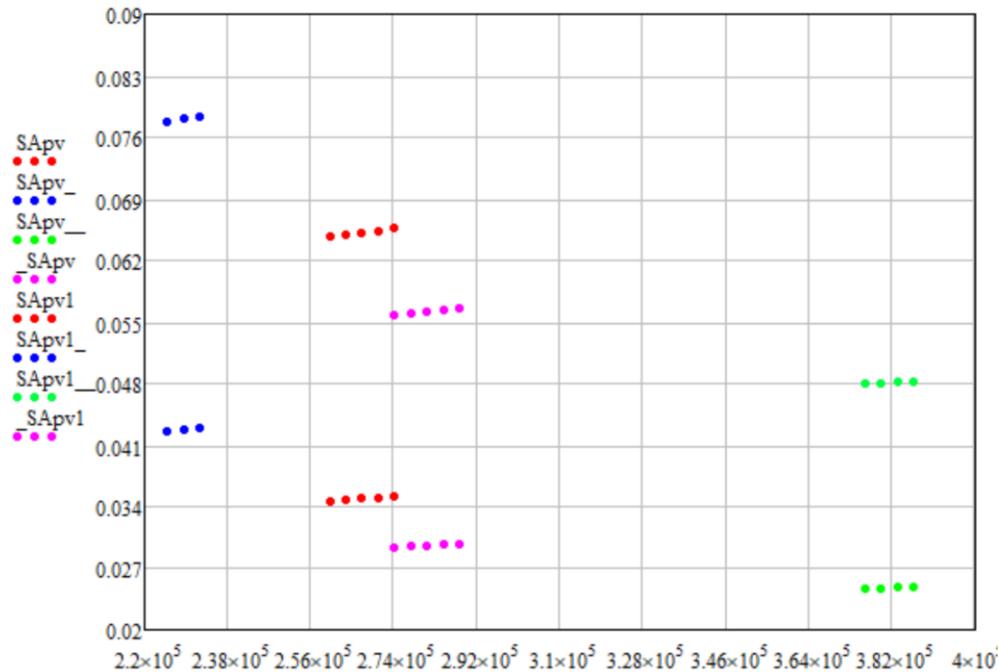
$$\overline{SA'}_{pv} = 0.056 [m]$$

$$S_{SA'_{pv}}^2 = 4.929 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 68

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de Palma Virgen



*Nota:* En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

## Aceite de Soja

### Modelo de Hiroyasu

#### Longitud de ruptura.

$$Lb_s = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_s * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_s}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_s = 0.161 [m]$$

#### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta_{H_s} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_s} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_s} = 12.886 [^\circ]$$

#### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_s = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_s)^{0.5}$$

$$tb_s = 28.65 \left( \frac{\rho_s * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

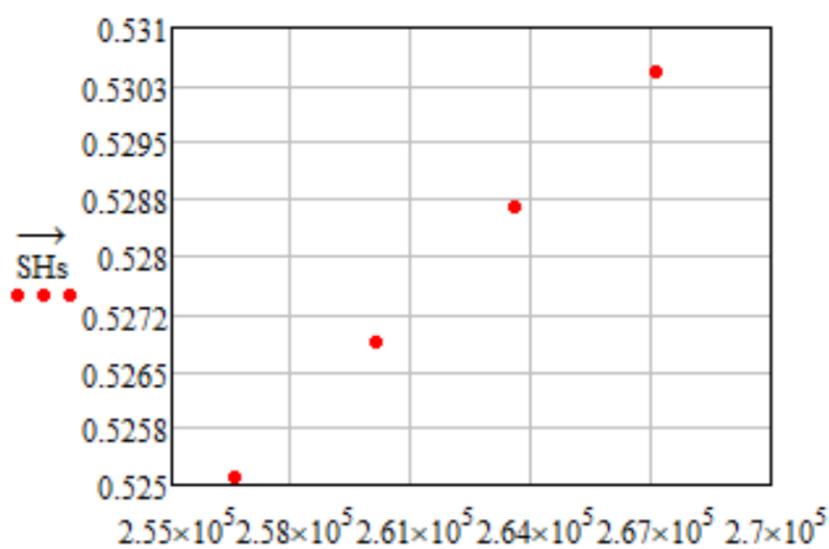
Tabla 39

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_s [m^{0.5}]$	$SH_s [m]$
1	2.601*10E5	0.057	0.527
2	2.601*10E5	0.057	0.527
3	2.636*10E5	0.057	0.529
4	2.566*10E5	0.058	0.525
5	2.601*10E5	0.057	0.527
6	2.566*10E5	0.058	0.525
7	2.636*10E5	0.057	0.529
8	2.671*10E5	0.056	0.53
9	2.636*10E5	0.057	0.529
10	2.636*10E5	0.057	0.529
11	2.671*10E5	0.056	0.53
12	2.671*10E5	0.056	0.53
13	2.636*10E5	0.057	0.529
14	2.636*10E5	0.057	0.529
15	2.636*10E5	0.057	0.529
16	2.636*10E5	0.057	0.529
17	2.671*10E5	0.056	0.53
18	2.636*10E5	0.057	0.529
19	2.601*10E5	0.057	0.527
20	2.636*10E5	0.057	0.529

Figura 69

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Soja



$$\overline{SH_s} = 0.528 [m]$$

$$S_{SH_s}^2 = 2.381 * 10^{-6} [m^2]$$

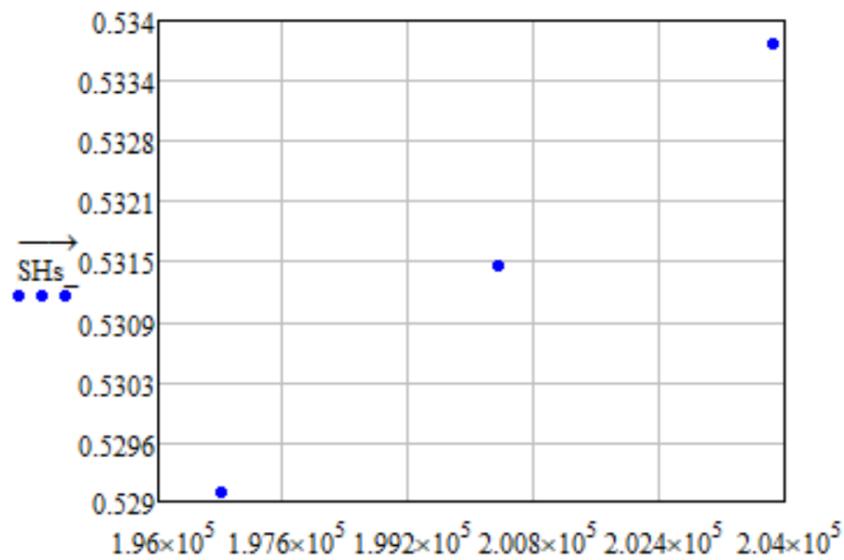
Tabla 40

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_s [m^{0.5}]$	$SH_s [m]$
1	2.003*10E5	0.065	0.531
2	2.003*10E5	0.065	0.531
3	2.003*10E5	0.055	0.531
4	2.038*10E5	0.055	0.534
5	2.038*10E5	0.055	0.534
6	1.968*10E5	0.066	0.529
7	2.003*10E5	0.065	0.531
8	2.003*10E5	0.065	0.531
9	2.038*10E5	0.065	0.534
10	1.968*10E5	0.066	0.529
11	2.003*10E5	0.065	0.531
12	2.038*10E5	0.065	0.534
13	2.003*10E5	0.065	0.531
14	2.003*10E5	0.065	0.531
15	1.968*10E5	0.066	0.529
16	2.003*10E5	0.065	0.531
17	2.003*10E5	0.065	0.531
18	2.003*10E5	0.065	0.531
19	1.968*10E5	0.066	0.529
20	2.038*10E5	0.065	0.534

Figura 70

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor original de aceite de Soja



$$\overline{SH_s} = 0.532 [m]$$

$$S_{SH_s}^2 = 2.431 * 10^{-6} [m^2]$$

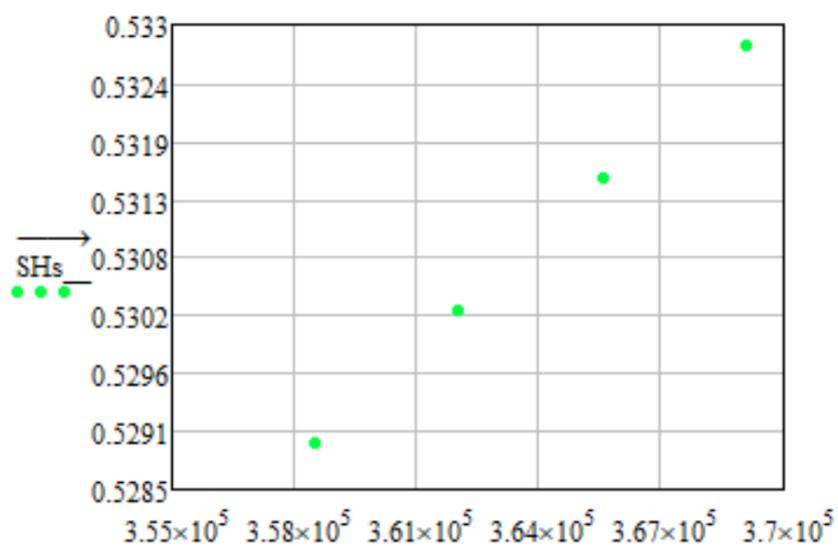
Tabla 41

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_s [m^{0.5}]$	$SH_s [m]$
1	3.585*10E5	0.049	0.529
2	3.62*10E5	0.048	0.53
3	3.62*10E5	0.048	0.53
4	3.656*10E5	0.048	0.532
5	3.62*10E5	0.048	0.53
6	3.585*10E5	0.049	0.529
7	3.62*10E5	0.048	0.53
8	3.656*10E5	0.048	0.532
9	3.62*10E5	0.048	0.53
10	3.62*10E5	0.048	0.53
11	3.691*10E5	0.048	0.533
12	3.691*10E5	0.048	0.533
13	3.62*10E5	0.048	0.53
14	3.62*10E5	0.048	0.53
15	3.656*10E5	0.048	0.532
16	3.691*10E5	0.048	0.533
17	3.656*10E5	0.048	0.532
18	3.62*10E5	0.048	0.53
19	3.585*10E5	0.049	0.529
20	3.62*10E5	0.048	0.53

Figura 71

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja



$$\overline{SH_s} = 0.531 [m]$$

$$S_{SH_s}^2 = 1.36 * 10^{-6} [m^2]$$

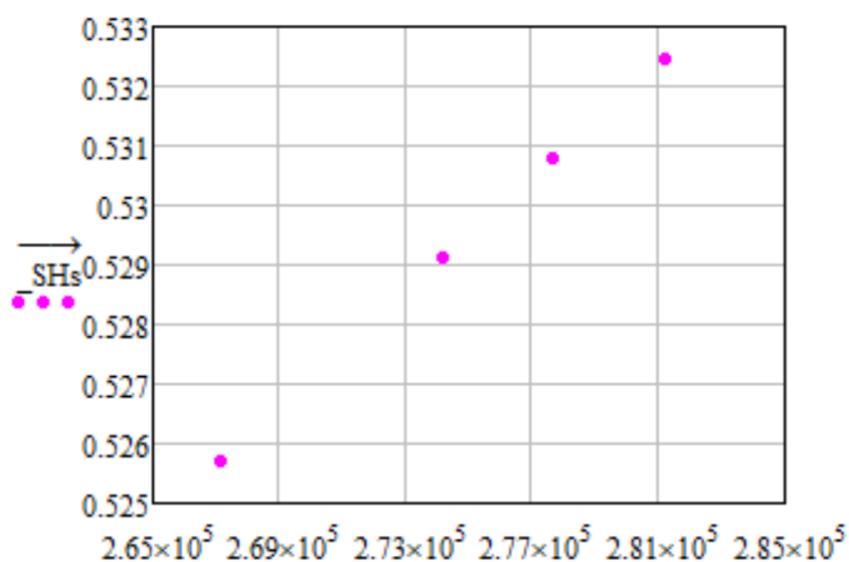
Tabla 42

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_s [m^{0.5}]$	$SH_s [m]$
1	2.671*10E5	0.056	0.526
2	2.671*10E5	0.056	0.526
3	2.742*10E5	0.056	0.529
4	2.722*10E5	0.056	0.529
5	2.812*10E5	0.055	0.532
6	2.777*10E5	0.055	0.531
7	2.742*10E5	0.056	0.529
8	2.742*10E5	0.056	0.529
9	2.777*10E5	0.055	0.531
10	2.812*10E5	0.056	0.532
11	2.671*10E5	0.056	0.526
12	2.742*10E5	0.056	0.529
13	2.671*10E5	0.056	0.526
14	2.777*10E5	0.055	0.531
15	2.742*10E5	0.056	0.529
16	2.742*10E5	0.056	0.529
17	2.742*10E5	0.056	0.529
18	2.671*10E5	0.056	0.526
19	2.777*10E5	0.055	0.531
20	2.777*10E5	0.055	0.531

Figura 72

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja

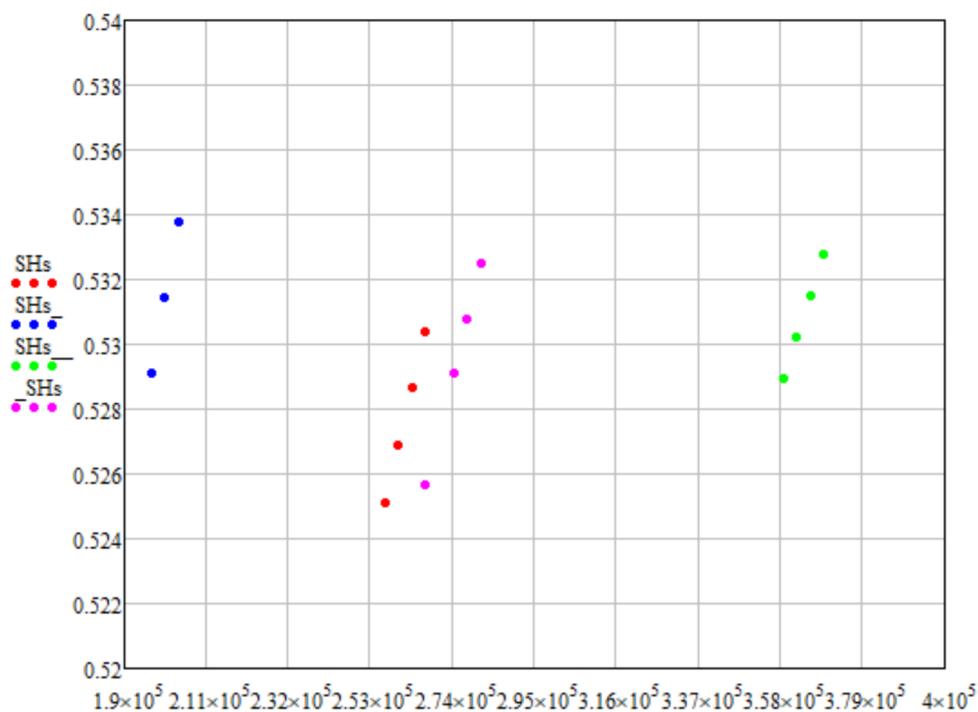


$$\overline{SH_s} = 0.529 [m]$$

$$S_{SHs}^2 = 4.765 * 10^{-6} [m^2]$$

**Figura 73**

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de Soja



### Modelo de Castanheira

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan(\varphi_s) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_s} \right)$$

$$\theta_{C_s} = \varphi_s * \frac{180}{\pi} = 0.129389 * \frac{180}{\pi} = 7.413 [^\circ]$$

$$\theta_{C_s} = 2 * 7.413 = 14.827 [^\circ]$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SC_s = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

**Tabla 43**

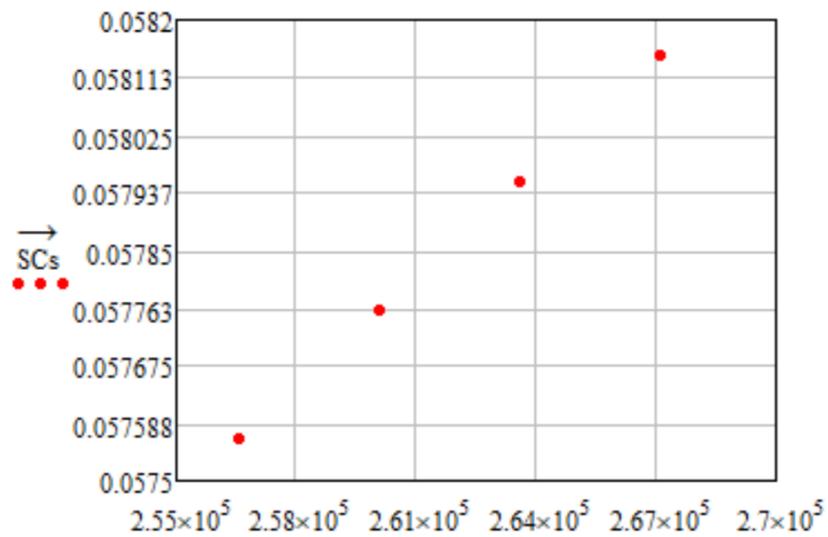
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_s [m]$
1	2.601*10E5	0.058

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_s [m]$
2	2.601*10E5	0.058
3	2.636*10E5	0.058
4	2.566*10E5	0.058
5	2.601*10E5	0.058
6	2.566*10E5	0.058
7	2.636*10E5	0.058
8	2.671*10E5	0.058
9	2.636*10E5	0.058
10	2.636*10E5	0.058
11	2.671*10E5	0.058
12	2.671*10E5	0.058
13	2.636*10E5	0.058
14	2.636*10E5	0.058
15	2.636*10E5	0.058
16	2.636*10E5	0.058
17	2.671*10E5	0.058
18	2.636*10E5	0.058
19	2.601*10E5	0.058
20	2.636*10E5	0.058

Figura 74

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Soja*



$$\overline{SC_s} = 0.058 [m]$$

$$S_{SC_s}^2 = 2.862 * 10^{-8} [m^2]$$

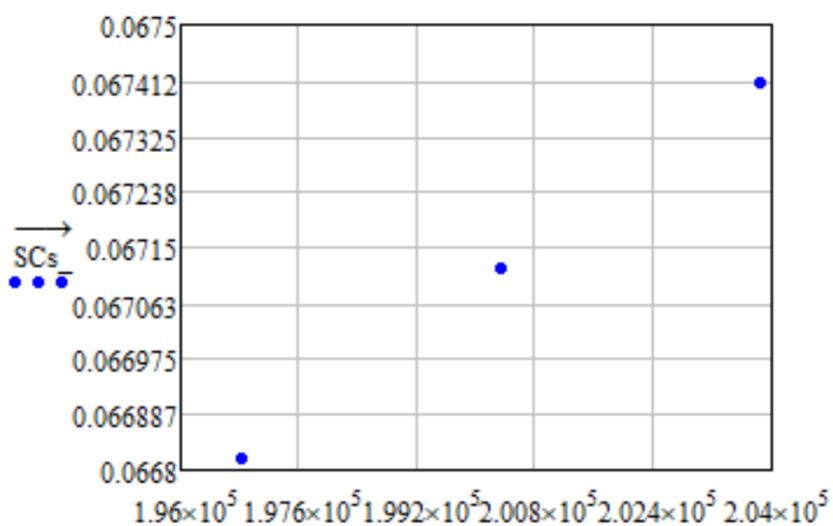
Tabla 44

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_s [m]$
1	2.003*10E5	0.067
2	2.003*10E5	0.067
3	2.003*10E5	0.067
4	2.038*10E5	0.067
5	2.038*10E5	0.067
6	1.968*10E5	0.067
7	2.003*10E5	0.067
8	2.003*10E5	0.067
9	2.038*10E5	0.067
10	1.968*10E5	0.067
11	2.003*10E5	0.067
12	2.038*10E5	0.067
13	2.003*10E5	0.067
14	2.003*10E5	0.067
15	1.968*10E5	0.067
16	2.003*10E5	0.067
17	2.003*10E5	0.067
18	2.003*10E5	0.067
19	1.968*10E5	0.067
20	2.038*10E5	0.067

Figura 75

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Soja



$$\overline{SC_s} = 0.067 [m]$$

$$S_{SC_s}^2 = 3.877 * 10^{-8} [m^2]$$

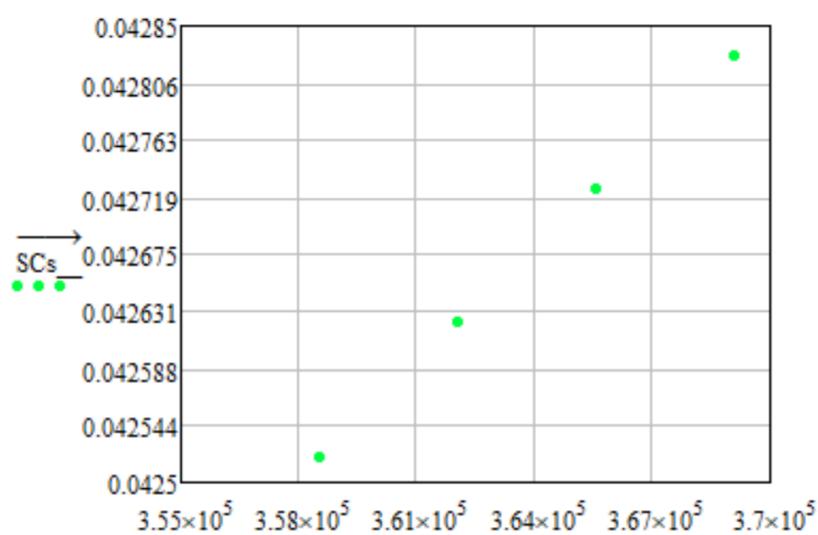
Tabla 45

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_s [m]$
1	3.585*10E5	0.043
2	3.62*10E5	0.043
3	3.62*10E5	0.043
4	3.656*10E5	0.043
5	3.62*10E5	0.043
6	3.585*10E5	0.043
7	3.62*10E5	0.043
8	3.656*10E5	0.043
9	3.62*10E5	0.043
10	3.62*10E5	0.043
11	3.691*10E5	0.043
12	3.691*10E5	0.043
13	3.62*10E5	0.043
14	3.62*10E5	0.043
15	3.656*10E5	0.043
16	3.691*10E5	0.043
17	3.656*10E5	0.043
18	3.62*10E5	0.043
19	3.585*10E5	0.043
20	3.62*10E5	0.043

Figura 76

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja



$$\overline{SC_s} = 0.043 [m]$$

$$S_{SC_s}^2 = 8.788 * 10^{-9} [m^2]$$

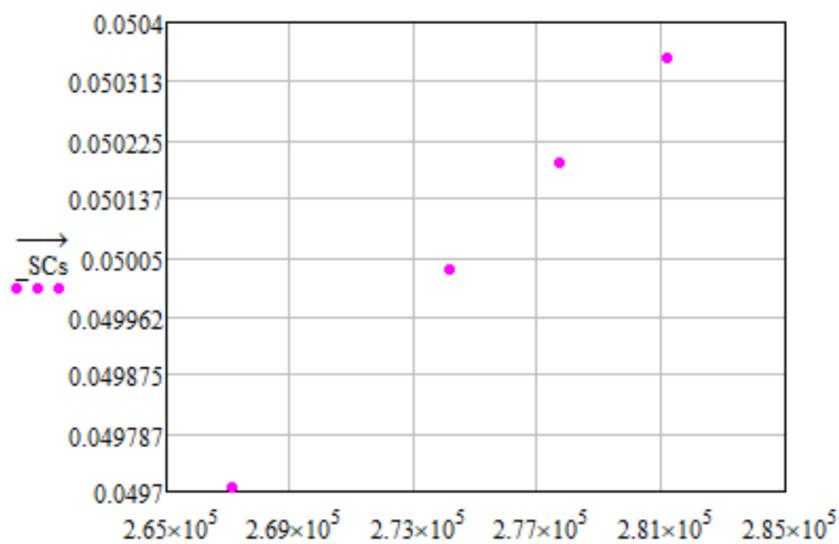
Tabla 46

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_s [m]$
1	2.671*10E5	0.05
2	2.671*10E5	0.05
3	2.742*10E5	0.05
4	2.722*10E5	0.05
5	2.812*10E5	0.05
6	2.777*10E5	0.05
7	2.742*10E5	0.05
8	2.742*10E5	0.05
9	2.777*10E5	0.05
10	2.812*10E5	0.05
11	2.671*10E5	0.05
12	2.742*10E5	0.05
13	2.671*10E5	0.05
14	2.777*10E5	0.05
15	2.742*10E5	0.05
16	2.742*10E5	0.05
17	2.742*10E5	0.05
18	2.671*10E5	0.05
19	2.777*10E5	0.05
20	2.777*10E5	0.05

Figura 77

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja

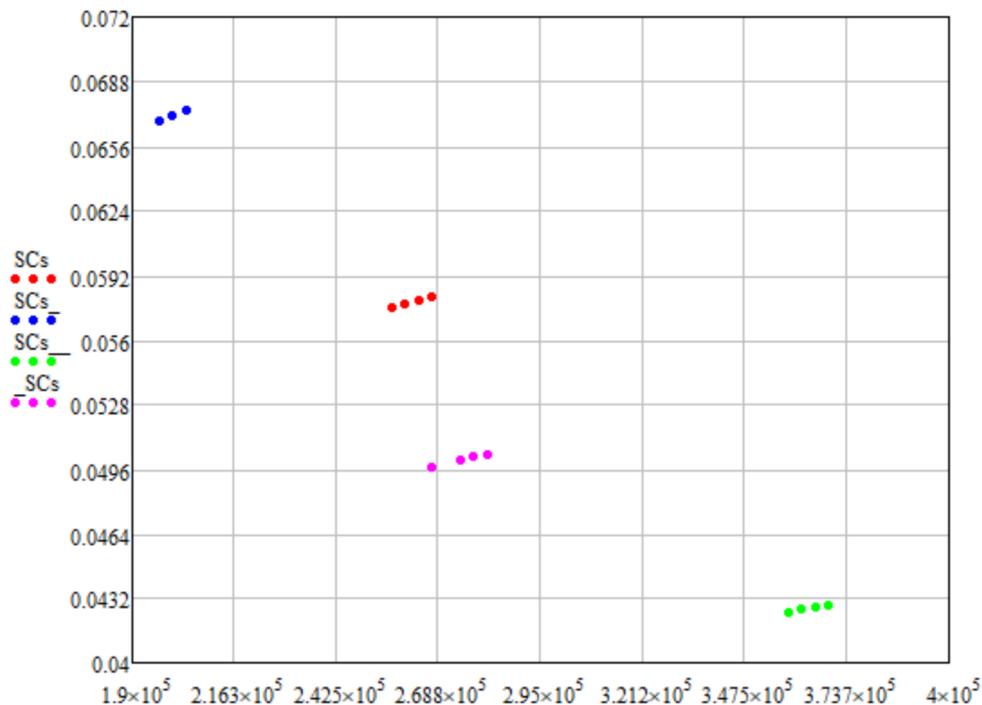


$$\overline{SC_s} = 0.05 [m]$$

$$S_{SC_s}^2 = 4.26 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 78

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Soja



### Modelo de Arregle

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan\left(\frac{\theta A_s}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SA_s = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_s = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta A_s}{2}\right)^{-0.5}$$

Tabla 47

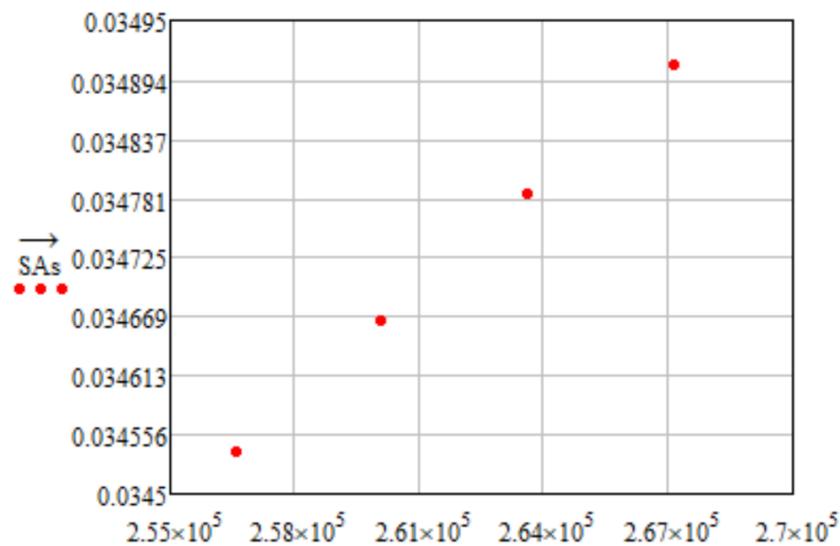
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_s [m]$	$\tan\left(\frac{\theta A_s}{2}\right) [rad]$	$SA'_s [m]$
1	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
2	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
3	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
4	2.566*10E5	0.03454	0.032	0.06442
5	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
6	2.566*10E5	0.03454	0.032	0.06442
7	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
8	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_s [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_s}{2} \right) [rad]$	$SA'_s [m]$
9	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
10	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
11	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
12	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
13	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
14	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06591
15	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
16	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
17	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
18	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
19	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
20	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491

**Figura 79**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Soja*



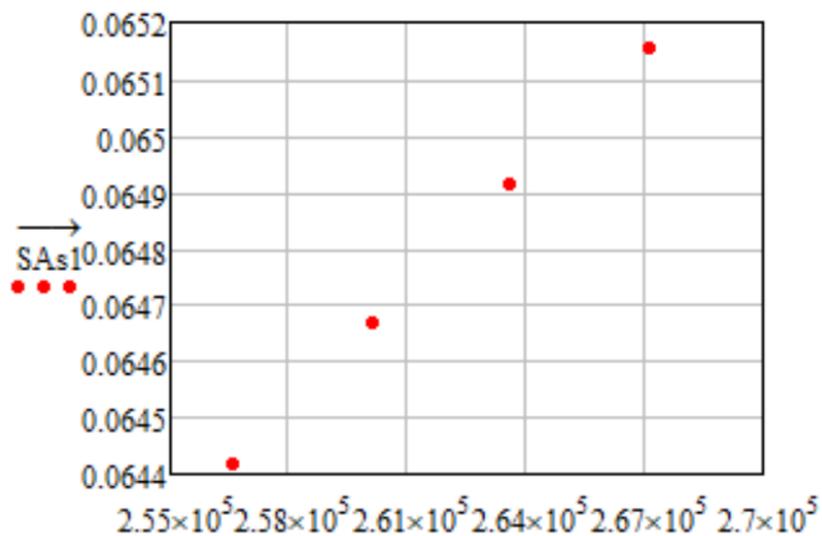
$$\bar{SA}_s = 0.035 [m]$$

$$S_{SA_s}^2 = 1.132 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 80**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que*

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de Soja



$$\overline{SA'_s} = 0.065 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_s}^2 = 4.599 \times 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

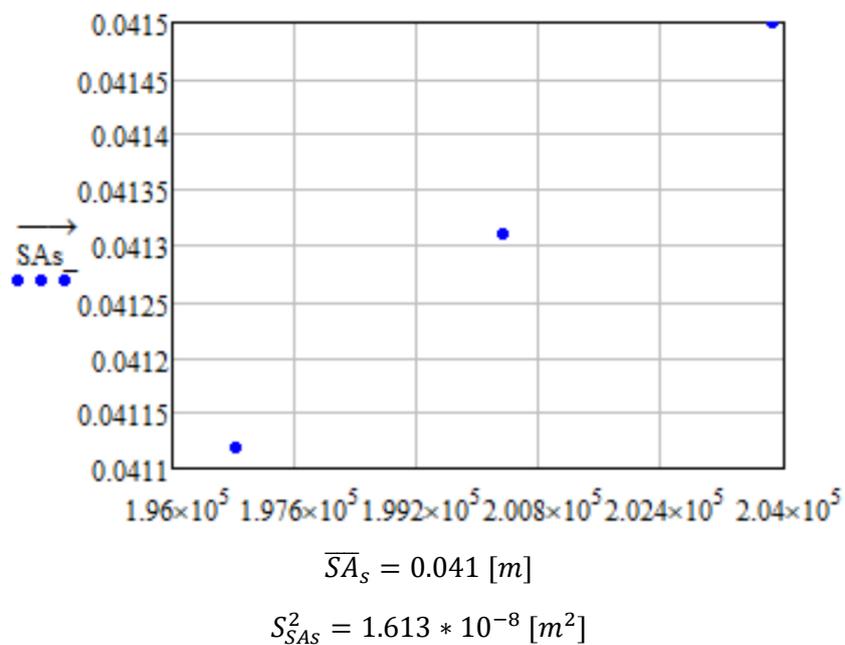
**Tabla 48**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original

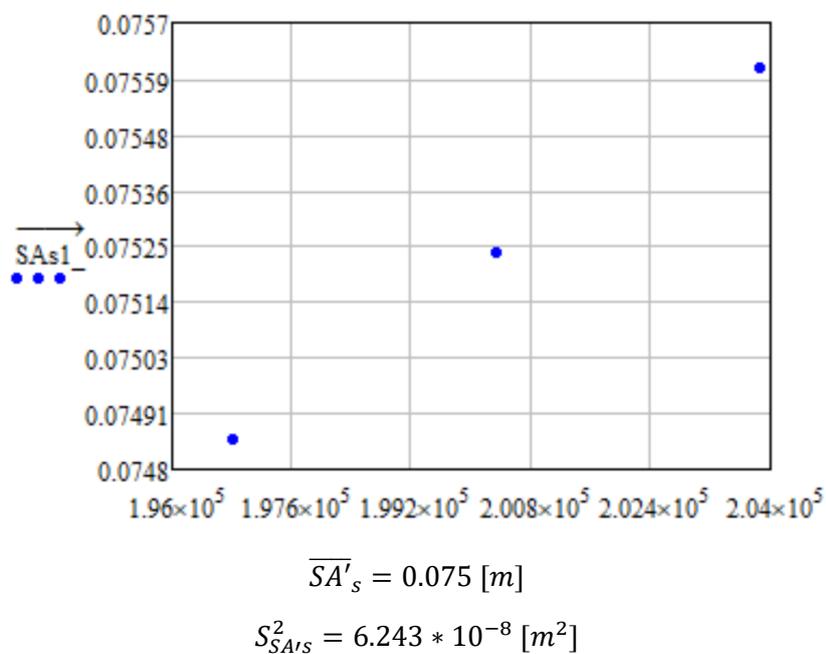
Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_s$ [m]	$\tan \left( \frac{\theta A_s}{2} \right)$ [rad]	$SA'_s$ [m]
1	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
2	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
3	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
4	2.038*10E5	0.0415	0.032	0.07561
5	2.038*10E5	0.0415	0.032	0.07561
6	1.968*10E5	0.04112	0.032	0.07486
7	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
8	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
9	2.038*10E5	0.0415	0.032	0.07561
10	1.968*10E5	0.04112	0.032	0.07486
11	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
12	2.038*10E5	0.0415	0.032	0.07561
13	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
14	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
15	1.968*10E5	0.04112	0.032	0.07486
16	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
17	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
18	2.003*10E5	0.04131	0.032	0.07524
19	1.968*10E5	0.04112	0.032	0.07486
20	2.038*10E5	0.0415	0.032	0.07561

**Figura 81**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Soja*

**Figura 82**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de Soja*

**Tabla 49**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_s [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_s}{2} \right) [rad]$	$SA'_s [m]$
1	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
2	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
3	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
4	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
5	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
6	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
7	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
8	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
9	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
10	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
11	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
12	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
13	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
14	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
15	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
16	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
17	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
18	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
19	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
20	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739

Figura 83

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja

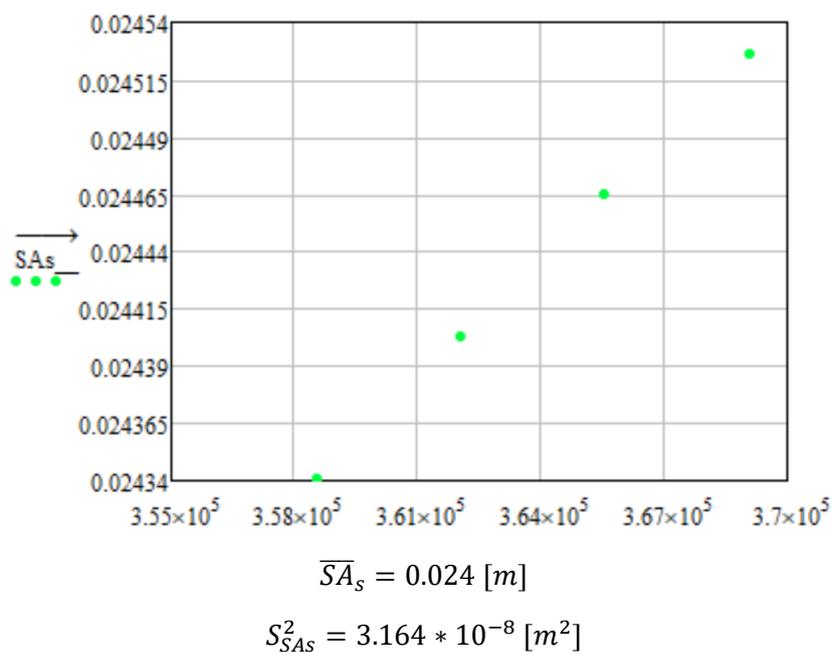
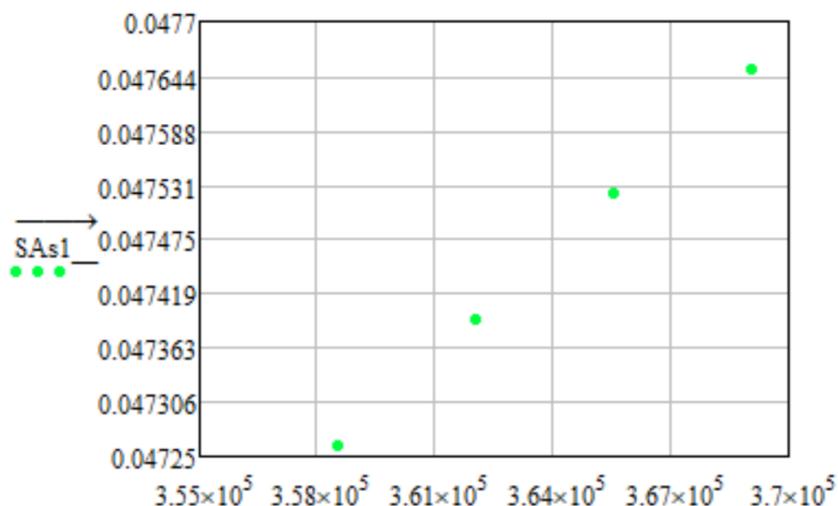


Figura 84

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Soja



$$\overline{SA'_s} = 0.047 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_s}^2 = 1.393 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

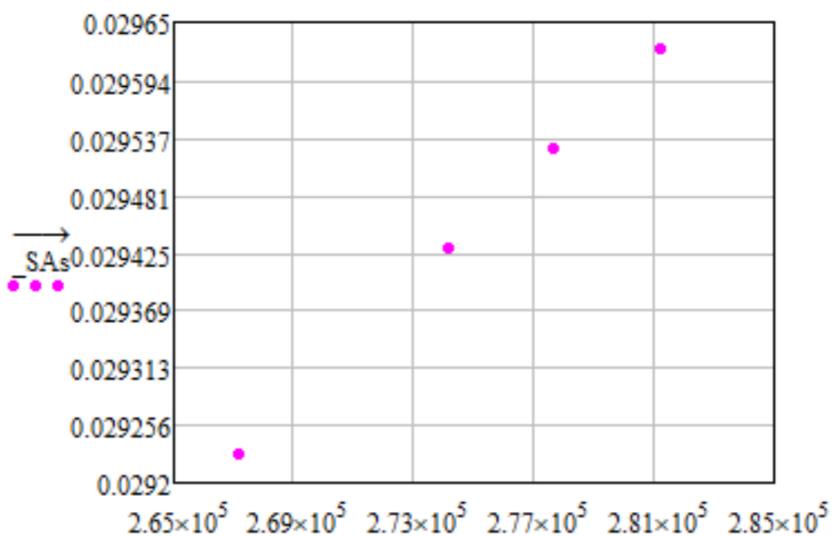
**Tabla 50**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de Soja, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_s$ [m]	$\tan \left( \frac{\theta A_s}{2} \right)$ [rad]	$SA'_s$ [m]
1	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
2	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
3	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
4	2.722*10E5	0.02943	0.032	0.05571
5	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
6	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
7	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
8	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
9	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
10	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
11	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
12	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
13	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
14	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
15	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
16	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
17	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
18	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
19	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
20	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591

**Figura 85**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja*

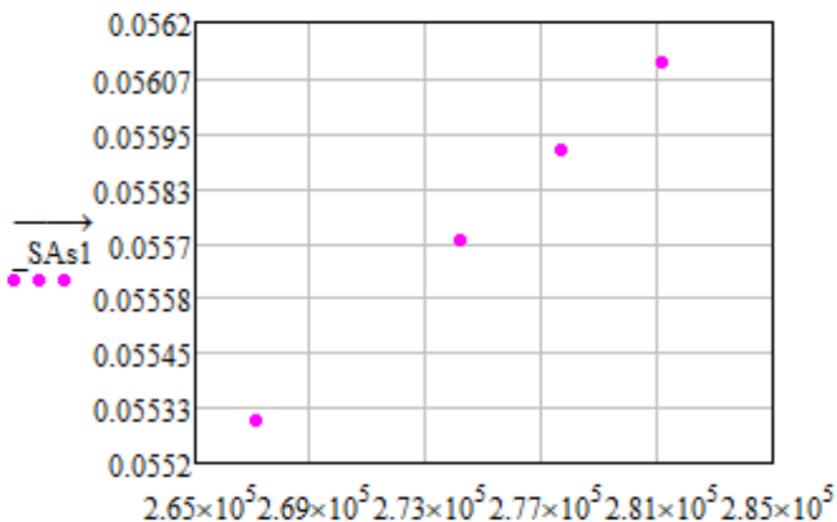


$$\bar{S}A_s = 0.029 [m]$$

$$S_{SA_s}^2 = 1.619 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 86**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de aceite de Soja*



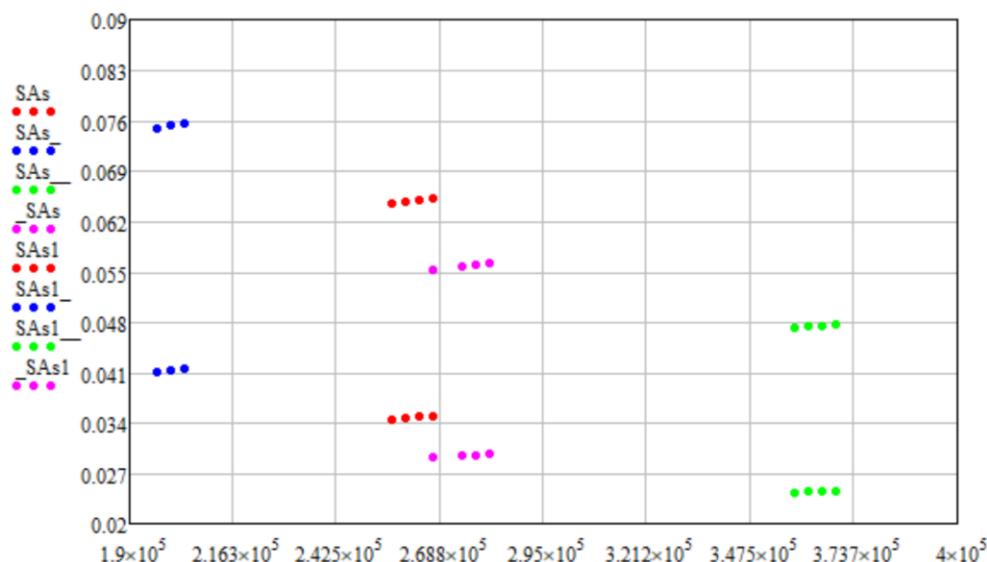
$$\bar{S}A'_s = 0.056 [m]$$

$$S_{SA'_s}^2 = 6.767 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 87**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de Soja



*Nota:* En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

#### Aceite de Jatropha Curcas

##### Modelo de Hiroyasu

###### Longitud de ruptura.

$$Lb_{jc} = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_{jc} * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_{jc}}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_{jc} = 0.161 \text{ [m]}$$

###### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta_{H_{jc}} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_{jc}} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_{jc}} = 12.897 \text{ [°]}$$

###### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_{jc} = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_{jc})^{0.5}$$

$$tb_{jc} = 28.65 \left( \frac{\rho_{jc} * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

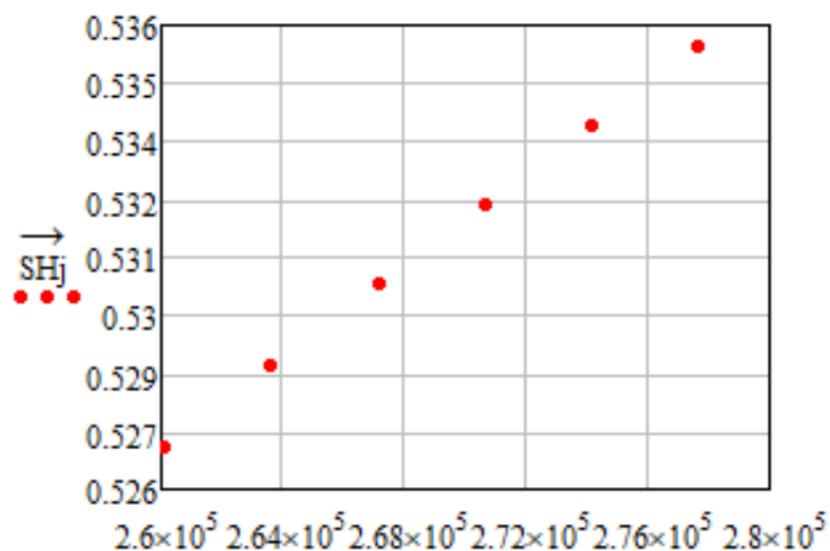
Tabla 51

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{jc} [m^{0.5}]$	$SH_{jc} [m]$
1	2.671*10E5	0.056	0.53
2	2.636*10E5	0.057	0.529
3	2.636*10E5	0.057	0.529
4	2.742*10E5	0.056	0.534
5	2.706*10E5	0.056	0.532
6	2.671*10E5	0.056	0.53
7	2.706*10E5	0.056	0.532
8	2.742*10E5	0.056	0.534
9	2.742*10E5	0.056	0.534
10	2.601*10E5	0.057	0.527
11	2.671*10E5	0.056	0.53
12	2.706*10E5	0.056	0.532
13	2.671*10E5	0.056	0.53
14	2.706*10E5	0.056	0.532
15	2.671*10E5	0.056	0.53
16	2.742*10E5	0.056	0.534
17	2.706*10E5	0.056	0.532
18	2.706*10E5	0.056	0.532
19	2.671*10E5	0.056	0.53
20	2.777*10E5	0.055	0.536

Figura 88

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SH}_{jc} = 0.532 [m]$$

$$S_{SH_{jc}}^2 = 4.302 * 10^{-6} [m^2]$$

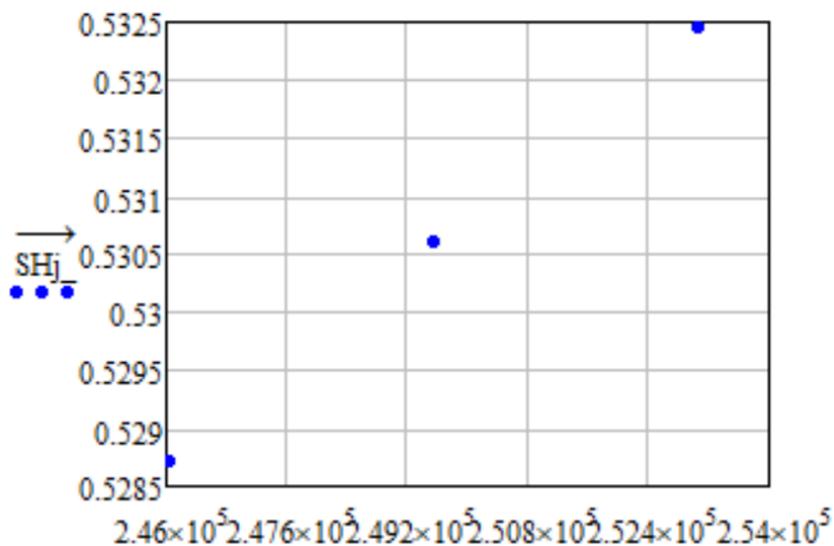
Tabla 52

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{jc} [m^{0.5}]$	$SH_{jc} [m]$
1	2.46*10E5	0.059	0.529
2	2.46*10E5	0.059	0.529
3	2.46*10E5	0.059	0.529
4	2.495*10E5	0.058	0.531
5	2.495*10E5	0.058	0.531
6	2.46*10E5	0.059	0.529
7	2.46*10E5	0.059	0.529
8	2.495*10E5	0.058	0.531
9	2.531*10E5	0.058	0.532
10	2.46*10E5	0.059	0.529
11	2.46*10E5	0.059	0.529
12	2.46*10E5	0.059	0.529
13	2.531*10E5	0.058	0.532
14	2.531*10E5	0.058	0.532
15	2.495*10E5	0.058	0.531
16	2.495*10E5	0.058	0.531
17	2.46*10E5	0.059	0.529
18	2.46*10E5	0.059	0.529
19	2.46*10E5	0.059	0.529
20	2.531*10E5	0.058	0.532

Figura 89

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SH}_{jc} = 0.53 [m]$$

$$S_{SH_{jc}}^2 = 2.195 * 10^{-6} [m^2]$$

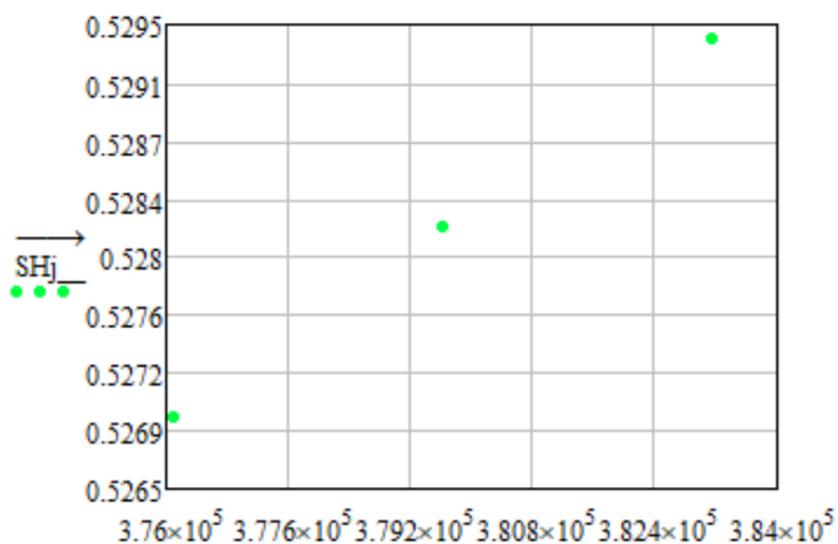
Tabla 53

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{jc} [m^{0.5}]$	$SH_{jc} [m]$
1	3.796*10E5	0.047	0.528
2	3.761*10E5	0.047	0.527
3	3.761*10E5	0.047	0.527
4	3.831*10E5	0.047	0.529
5	3.796*10E5	0.047	0.528
6	3.796*10E5	0.047	0.528
7	3.796*10E5	0.047	0.528
8	3.831*10E5	0.047	0.529
9	3.831*10E5	0.047	0.529
10	3.761*10E5	0.047	0.527
11	3.796*10E5	0.047	0.528
12	3.796*10E5	0.047	0.528
13	3.706*10E5	0.047	0.528
14	3.831*10E5	0.047	0.529
15	3.796*10E5	0.047	0.528
16	3.831*10E5	0.047	0.529
17	3.761*10E5	0.047	0.527
18	3.796*10E5	0.047	0.528
19	3.761*10E5	0.047	0.527
20	3.831*10E5	0.047	0.529

Figura 90

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SH}_{jc} = 0.528 [m]$$

$$S_{SH_{jc}}^2 = 8.185 * 10^{-7} [m^2]$$

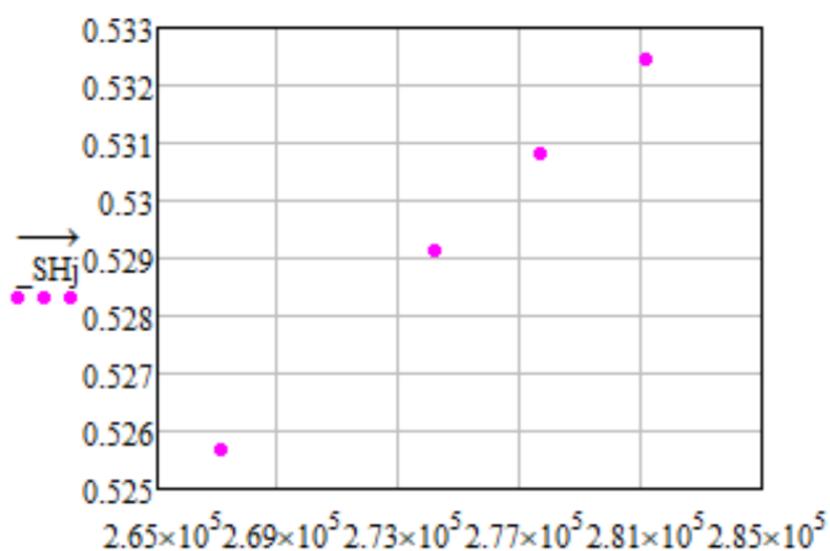
Tabla 54

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{jc} [m]$	$SH_{jc} [m]$
1	2.742*10E5	0.056	0.529
2	2.742*10E5	0.056	0.529
3	2.671*10E5	0.056	0.526
4	2.671*10E5	0.056	0.526
5	2.671*10E5	0.056	0.526
6	2.742*10E5	0.056	0.529
7	2.742*10E5	0.056	0.529
8	2.777*10E5	0.055	0.531
9	2.742*10E5	0.056	0.529
10	2.777*10E5	0.055	0.531
11	2.777*10E5	0.055	0.531
12	2.742*10E5	0.056	0.529
13	2.812*10E5	0.055	0.532
14	2.742*10E5	0.056	0.529
15	2.742*10E5	0.056	0.529
16	2.671*10E5	0.056	0.526
17	2.671*10E5	0.056	0.526
18	2.671*10E5	0.056	0.526
19	2.777*10E5	0.056	0.531
20	2.777*10E5	0.056	0.531

Figura 91

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de *Jatropha Curcas*

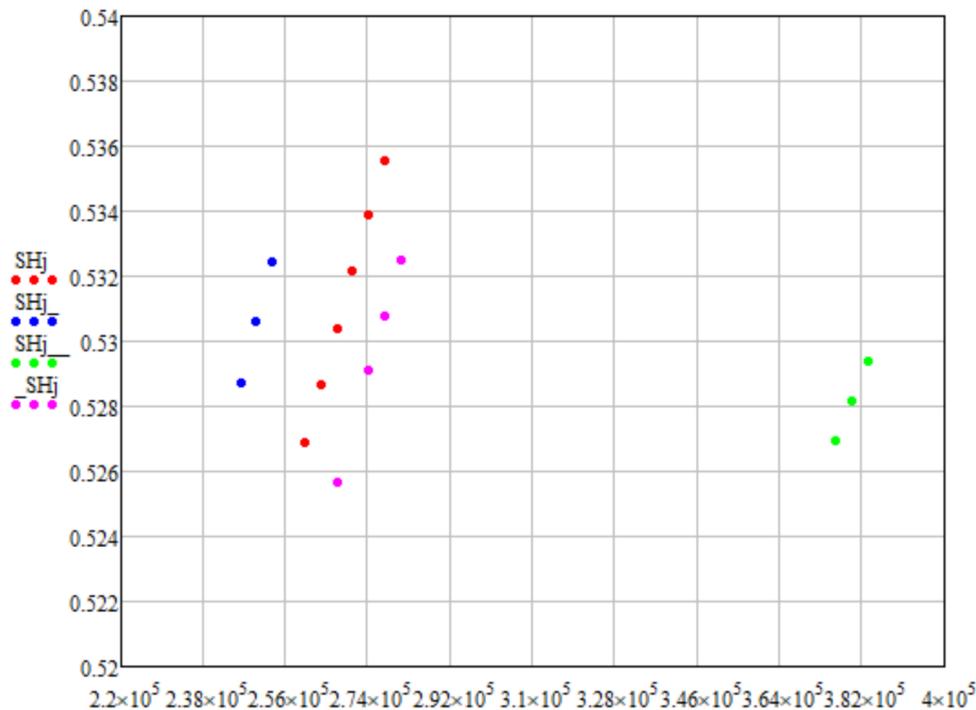


$$\overline{SH}_{jc} = 0.529 [m]$$

$$S_{SH_{jc}}^2 = 4.606 * 10^{-6} [m^2]$$

**Figura 92**

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de *Jatropha Curcas*



**Modelo de Castanheira**

**Ángulo de cono de pulverización.**

$$\tan(\varphi_{jc}) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_{jc}} \right)$$

$$\theta_{C_{jc}} = \varphi_{jc} * \frac{180}{\pi} = 0.1293897 * \frac{180}{\pi} = 7.413 [^\circ]$$

$$\theta_{C_{jc}} = 2 * 7.413 = 14.827 [^\circ]$$

**Punta de penetración de pulverización.**

$$SC_{jc} = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

**Tabla 55**

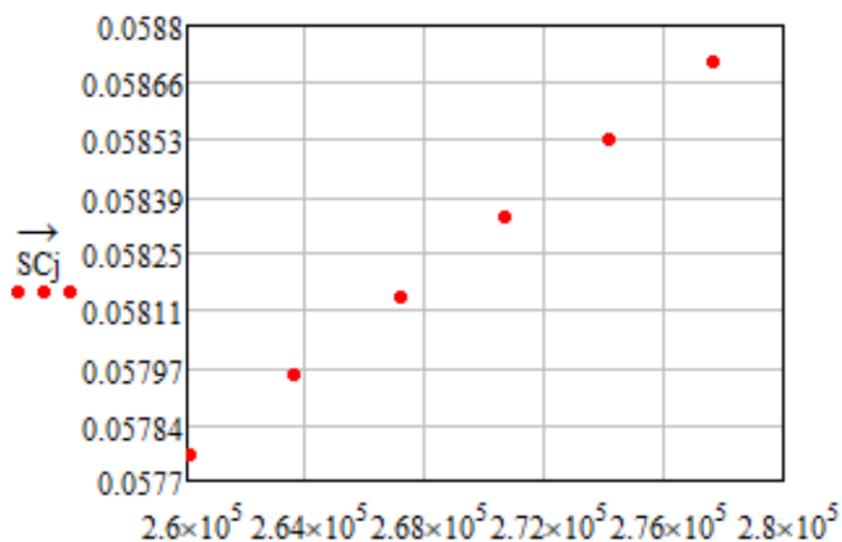
Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{jc} [m]$
1	2.671*10E5	0.058
2	2.636*10E5	0.058

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{jc} [m]$
3	2.636*10E5	0.058
4	2.742*10E5	0.059
5	2.706*10E5	0.058
6	2.671*10E5	0.058
7	2.706*10E5	0.058
8	2.742*10E5	0.059
9	2.742*10E5	0.059
10	2.601*10E5	0.058
11	2.671*10E5	0.058
12	2.706*10E5	0.058
13	2.671*10E5	0.058
14	2.706*10E5	0.058
15	2.671*10E5	0.058
16	2.742*10E5	0.059
17	2.706*10E5	0.058
18	2.706*10E5	0.058
19	2.671*10E5	0.058
20	2.777*10E5	0.059

Figura 93

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Jatropha Curcas*



$$\overline{SC}_{jc} = 0.058 [m]$$

$$S_{SC_{jc}}^2 = 5.171 * 10^{-8} [m^2]$$

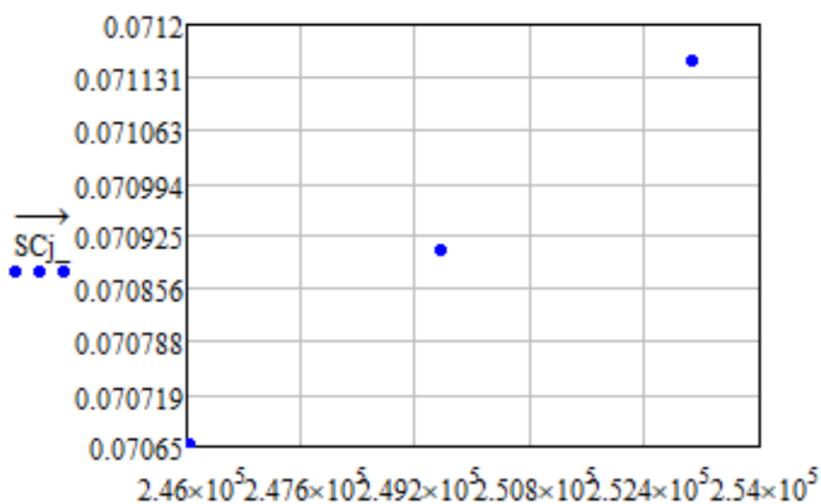
Tabla 56

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{jc} [m]$
1	2.46*10E5	0.071
2	2.46*10E5	0.071
3	2.46*10E5	0.071
4	2.495*10E5	0.071
5	2.495*10E5	0.071
6	2.46*10E5	0.071
7	2.46*10E5	0.071
8	2.495*10E5	0.071
9	2.531*10E5	0.071
10	2.46*10E5	0.071
11	2.46*10E5	0.071
12	2.46*10E5	0.071
13	2.531*10E5	0.071
14	2.531*10E5	0.071
15	2.495*10E5	0.071
16	2.495*10E5	0.071
17	2.46*10E5	0.071
18	2.46*10E5	0.071
19	2.46*10E5	0.071
20	2.531*10E5	0.071

Figura 94

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SC}_{jc} = 0.071 [m]$$

$$S_{SC_{jc}}^2 = 3.919 * 10^{-8} [m^2]$$

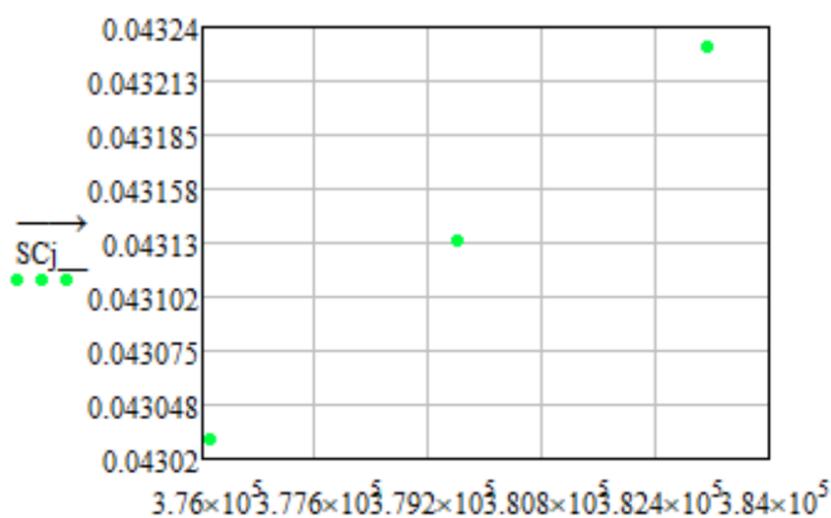
Tabla 57

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{jc} [m]$
1	3.796*10E5	0.043
2	3.761*10E5	0.043
3	3.761*10E5	0.043
4	3.831*10E5	0.043
5	3.796*10E5	0.043
6	3.796*10E5	0.043
7	3.796*10E5	0.043
8	3.831*10E5	0.043
9	3.831*10E5	0.043
10	3.761*10E5	0.043
11	3.796*10E5	0.043
12	3.796*10E5	0.043
13	3.706*10E5	0.043
14	3.831*10E5	0.043
15	3.796*10E5	0.043
16	3.831*10E5	0.043
17	3.761*10E5	0.043
18	3.796*10E5	0.043
19	3.761*10E5	0.043
20	3.831*10E5	0.043

Figura 95

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SC}_{jc} = 0.043 [m]$$

$$S_{SC_{jc}}^2 = 5.457 * 10^{-9} [m^2]$$

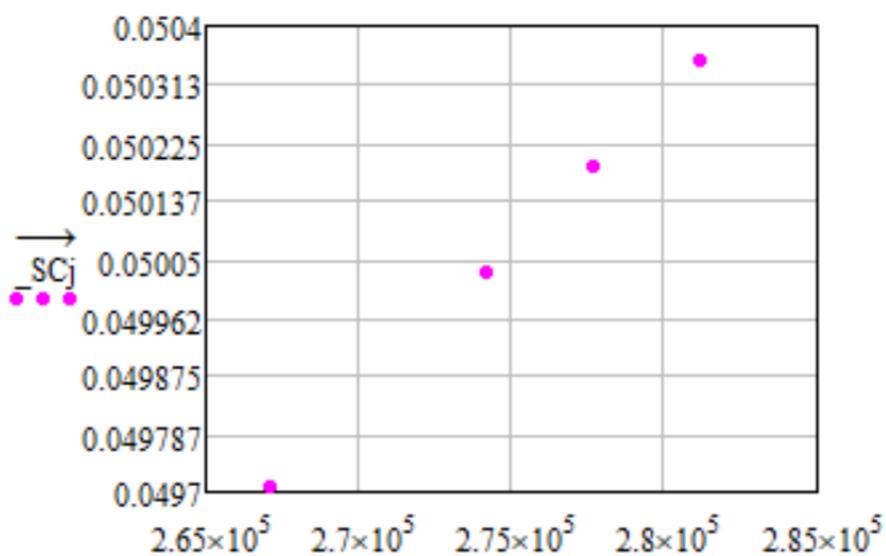
Tabla 58

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{jc} [m]$
1	2.742*10E5	0.05
2	2.742*10E5	0.05
3	2.671*10E5	0.05
4	2.671*10E5	0.05
5	2.671*10E5	0.05
6	2.742*10E5	0.05
7	2.742*10E5	0.05
8	2.777*10E5	0.05
9	2.742*10E5	0.05
10	2.777*10E5	0.05
11	2.777*10E5	0.05
12	2.742*10E5	0.05
13	2.812*10E5	0.05
14	2.742*10E5	0.05
15	2.742*10E5	0.05
16	2.671*10E5	0.05
17	2.671*10E5	0.05
18	2.671*10E5	0.05
19	2.777*10E5	0.05
20	2.777*10E5	0.05

Figura 96

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de *Jatropha Curcas*

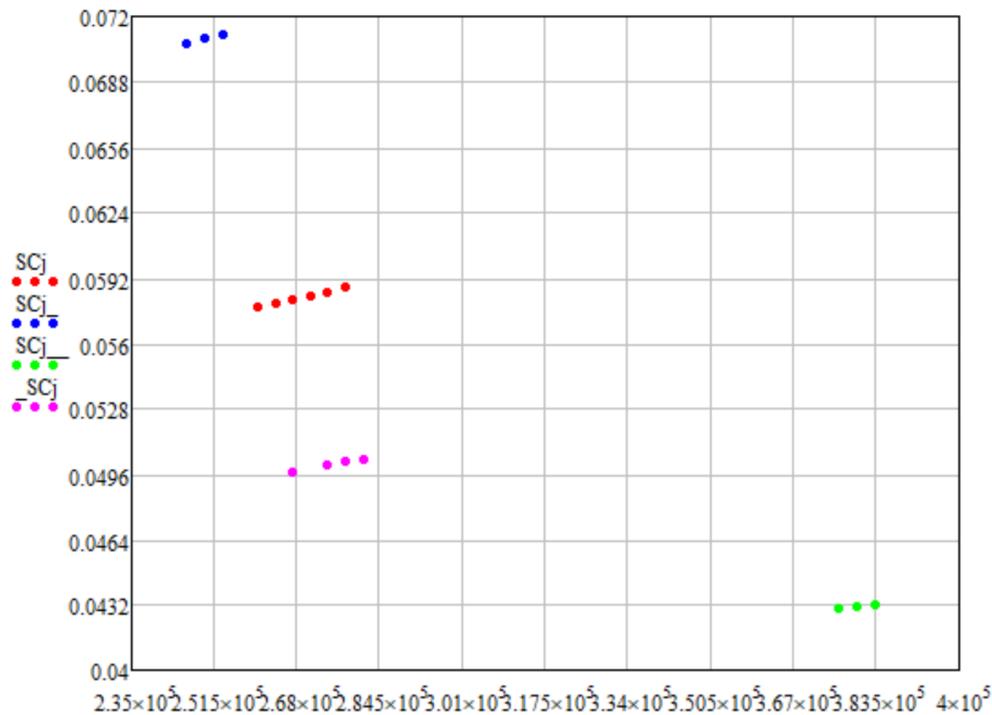


$$\overline{SC}_{jc} = 0.05 [m]$$

$$S_{SC_{jc}}^2 = 4.118 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 97**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Jatropha Curcas*



**Modelo de Arregle**

**Ángulo de cono de pulverización.**

$$\tan\left(\frac{\theta_{A_{jc}}}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

**Punta de penetración de pulverización.**

$$SA_{jc} = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_{jc} = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta_{A_{jc}}}{2}\right)^{-0.5}$$

**Tabla 59**

*Valores de punta de penetración de pulverización del aceite Jatropha Curcas, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original*

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{jc} [m]$	$\tan\left(\frac{\theta_{A_{jc}}}{2}\right) [rad]$	$SA'_{jc} [m]$
1	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
2	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
3	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
4	2.742*10E5	0.03415	0.032	0.06564
5	2.706*10E5	0.03403	0.032	0.0654

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{jc} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{jc}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{jc} [m]$
6	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
7	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
8	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
9	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
10	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
11	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
12	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
13	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
14	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
15	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06416
16	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
17	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
18	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
19	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
20	2.777*10E5	0.03526	0.032	0.06687

Figura 98

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Jatropha Curcas

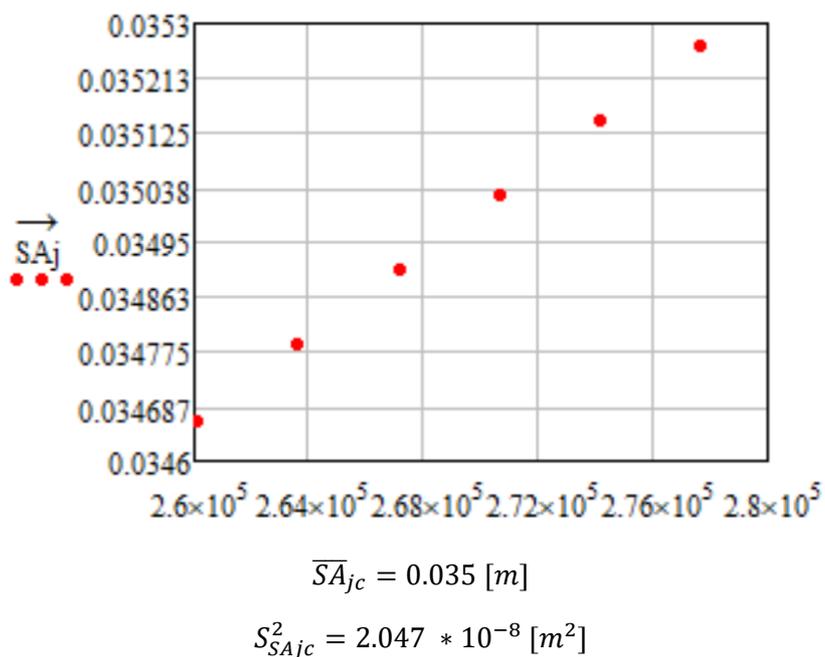
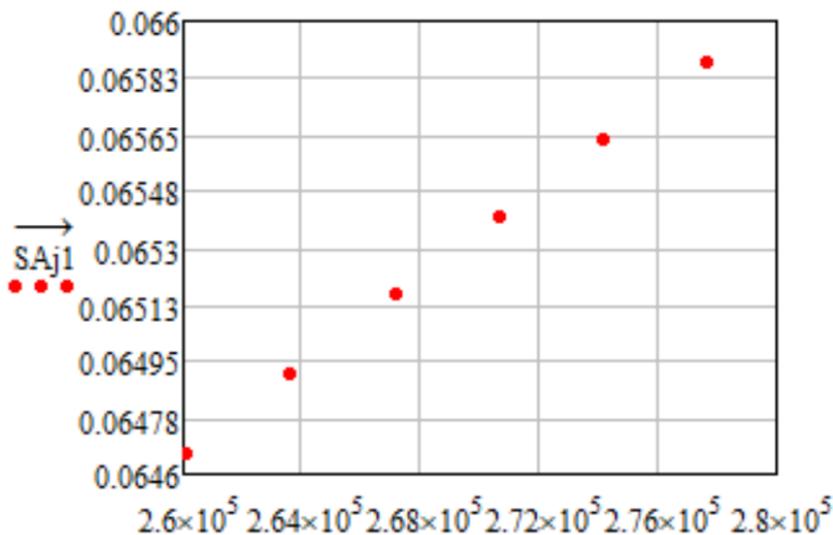


Figura 99

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SA'_{jc}} = 0.065 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_{jc}}^2 = 8.323 \times 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

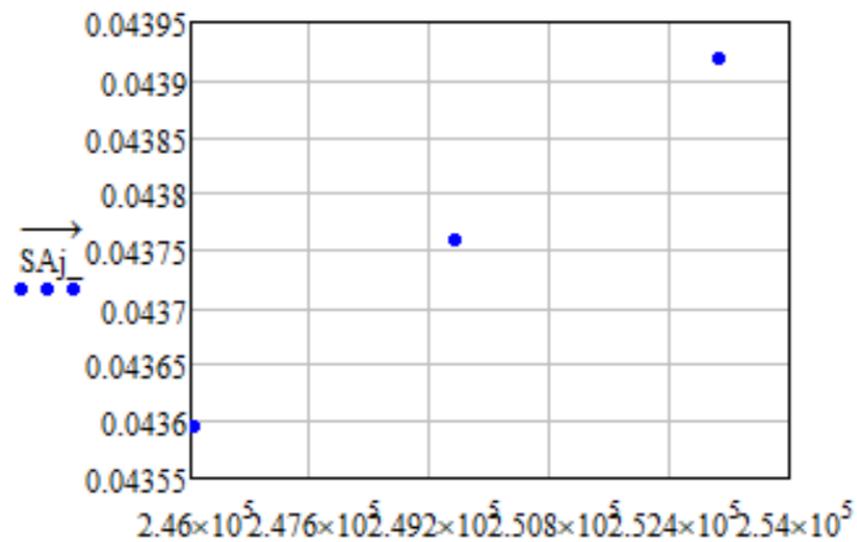
**Tabla 60**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{jc} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{jc}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{jc} [m]$
1	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
2	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
3	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
4	2.495*10E5	0.04376	0.032	0.08006
5	2.495*10E5	0.04376	0.032	0.08006
6	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
7	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
8	2.495*10E5	0.04376	0.032	0.08006
9	2.531*10E5	0.04392	0.032	0.08038
10	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
11	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
12	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
13	2.531*10E5	0.04392	0.032	0.08038
14	2.531*10E5	0.04392	0.032	0.08038
15	2.495*10E5	0.04376	0.032	0.08006
16	2.495*10E5	0.04376	0.032	0.08006
17	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
18	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
19	2.46*10E5	0.0436	0.032	0.07974
20	2.531*10E5	0.04392	0.032	0.08038

Figura 100

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*

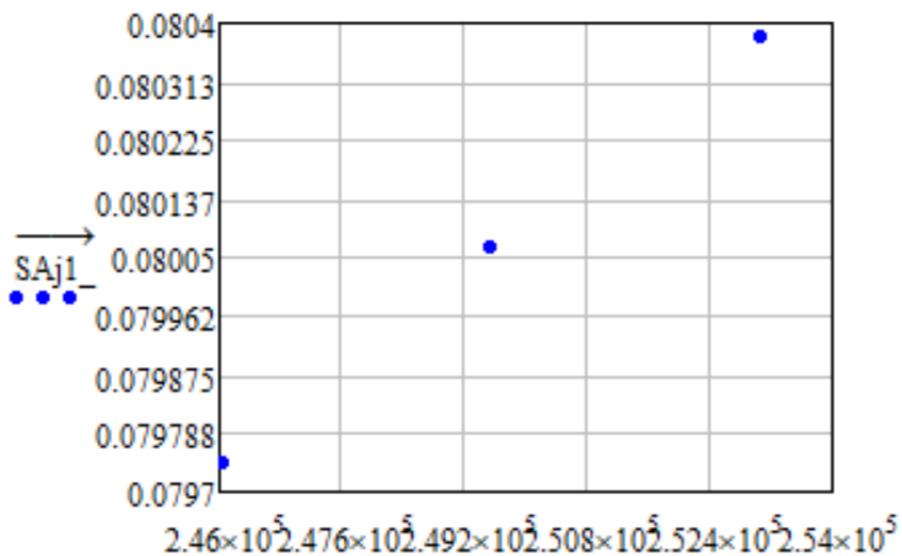


$$\overline{SA}_{jc} = 0.044 \text{ [m]}$$

$$S_{SA_{jc}}^2 = 1.639 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

Figura 101

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SA}'_{jc} = 0.08 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_{jc}}^2 = 6.403 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

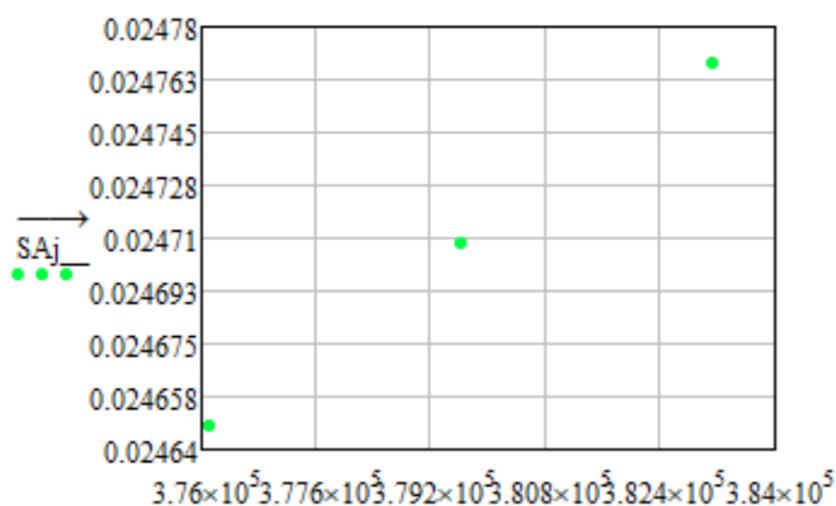
Tabla 61

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{jc} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{jc}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{jc} [m]$
1	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
2	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
3	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
4	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
5	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
6	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
7	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
8	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
9	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
10	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
11	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
12	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
13	3.706*10E5	0.02471	0.032	0.04803
14	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
15	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
16	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816
17	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
18	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
19	3.761*10E5	0.02465	0.032	0.04791
20	3.831*10E5	0.02477	0.032	0.04816

Figura 102

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*

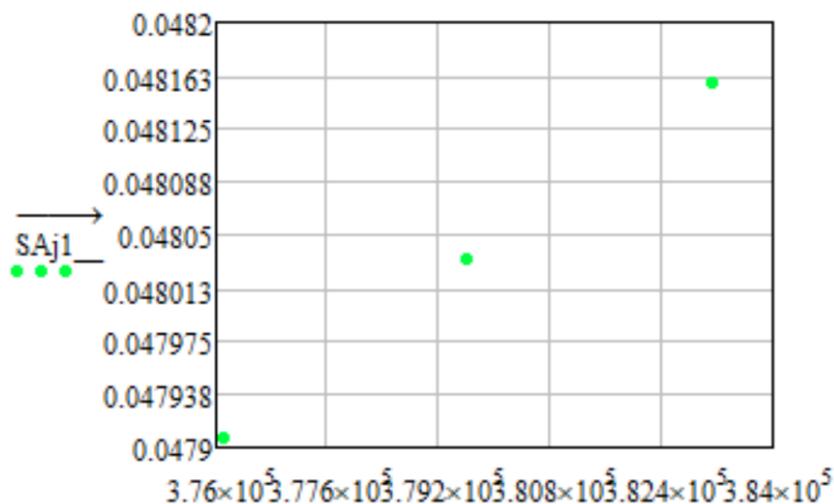


$$\overline{SA}_{jc} = 0.025 [m]$$

$$S^2_{SA_{jc}} = 1.967 * 10^{-9} [m^2]$$

Figura 103

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de *Jatropha Curcas*



$$\overline{SA'_{jc}} = 0.048 \text{ [m]}$$

$$S^2_{SA'_{jc}} = 8.673 * 10^{-9} \text{ [m}^2\text{]}$$

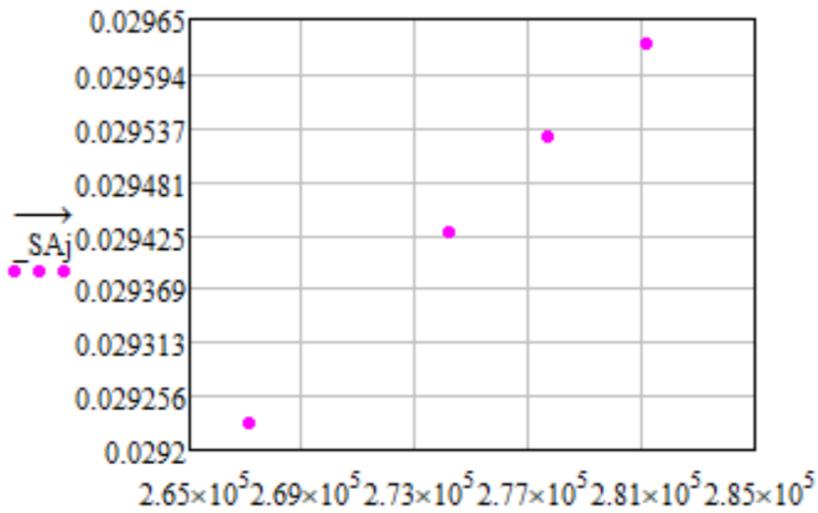
Tabla 62

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite *Jatropha Curcas*, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{jc} \text{ [m]}$	$\tan \left( \frac{\theta_{A_{jc}}}{2} \right) \text{ [rad]}$	$SA'_{jc} \text{ [m]}$
1	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
2	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
3	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
4	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
5	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
6	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
7	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
8	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
9	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
10	2.777*10E5	0.02943	0.032	0.05591
11	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
12	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
13	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
14	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
15	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
16	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
17	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
18	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
19	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05591
20	2.777*10E5	0.02953	0.032	0.05581

**Figura 104**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Jatropha Curcas*

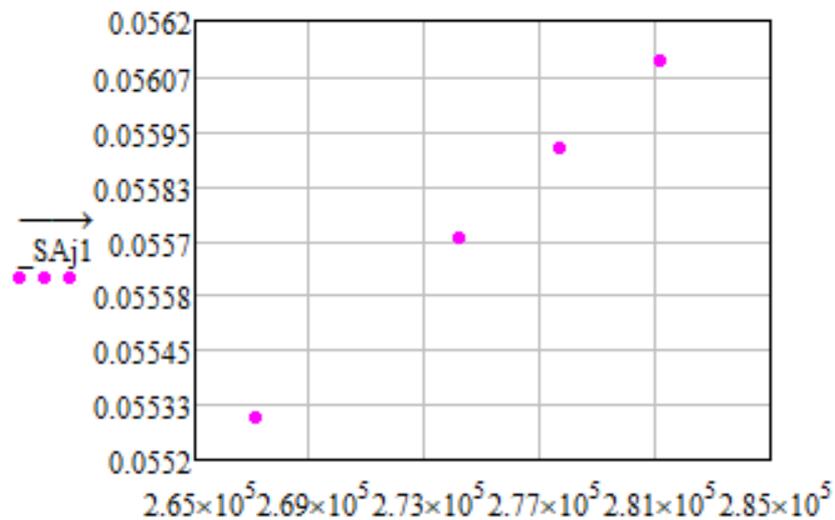


$$\bar{S}_{Ajc} = 0.029 \text{ [m]}$$

$$S_{SAjc}^2 = 1.565 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 105**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de aceite de Jatropha Curcas*



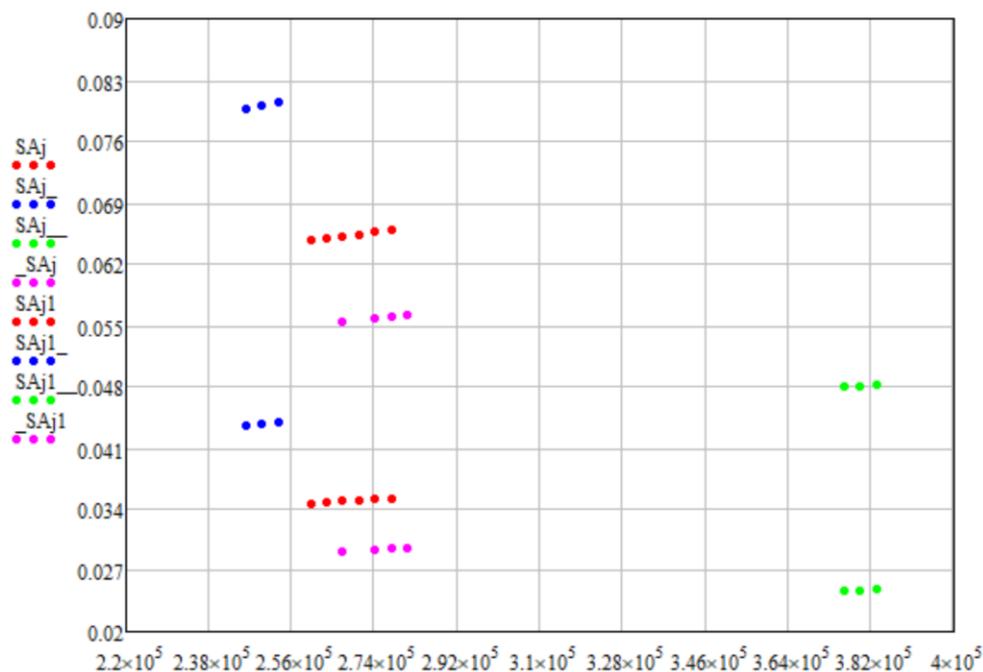
$$\bar{S}_{Ajc} = 0.056 \text{ [m]}$$

$$S_{SAjc}^2 = 6.539 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 106**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de *Jatropha Curcas*



Nota: En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

## Diésel

### Modelo de Hiroyasu

#### Longitud de ruptura.

$$Lb_D = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_D * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_D}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_D = 0.154 \text{ [m]}$$

#### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta_{H_D} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_D} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_D} = 13.24 \text{ [}^\circ\text{]}$$

#### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_D = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_D)^{0.5}$$

$$tb_D = 28.65 \left( \frac{\rho_D * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

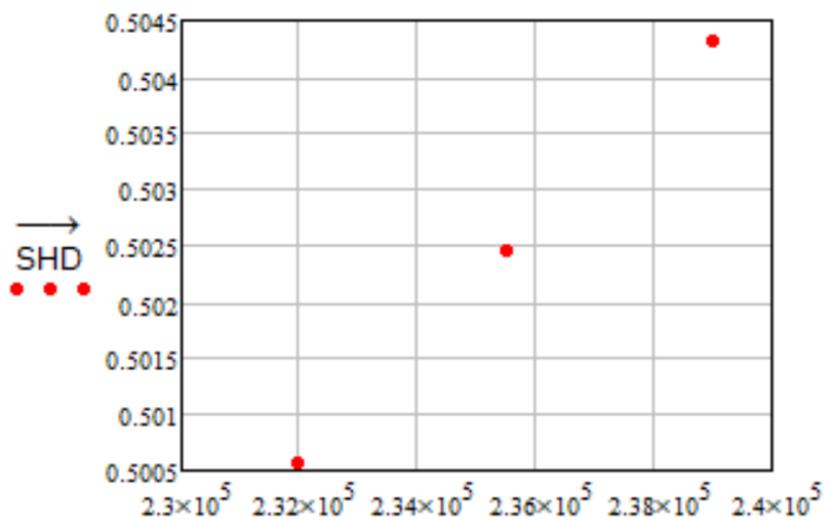
Tabla 63

Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_D [m^{0.5}]$	$SH_D [m]$
1	2.355*10E5	0.054	0.502
2	2.32*10E5	0.055	0.501
3	2.39*10E5	0.054	0.504
4	2.355*10E5	0.054	0.502
5	2.39*10E5	0.054	0.504
6	2.39*10E5	0.054	0.504
7	2.39*10E5	0.054	0.504
8	2.355*10E5	0.054	0.502
9	2.32*10E5	0.055	0.501
10	2.32*10E5	0.055	0.501
11	2.355*10E5	0.054	0.502
12	2.39*10E5	0.054	0.504
13	2.355*10E5	0.054	0.502
14	2.355*10E5	0.054	0.502
15	2.32*10E5	0.055	0.501
16	2.32*10E5	0.055	0.501
17	2.355*10E5	0.054	0.502
18	2.39*10E5	0.054	0.504
19	2.355*10E5	0.054	0.502
20	2.39*10E5	0.054	0.504

Figura 107

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de combustible Diésel



$$\overline{SH_D} = 0.503 [m]$$

$$S_{SHD}^2 = 2.073 * 10^{-6} [m^2]$$

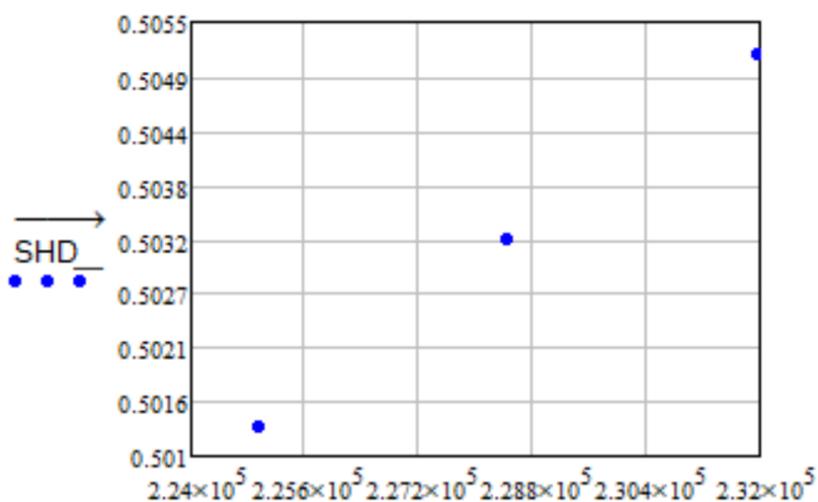
Tabla 64

Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión menor original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_D [m^{0.5}]$	$SH_D [m]$
1	2.32*10E5	0.055	0.505
2	2.32*10E5	0.055	0.505
3	2.285*10E5	0.055	0.503
4	2.285*10E5	0.055	0.503
5	2.32*10E5	0.055	0.505
6	2.249*10E5	0.055	0.501
7	2.249*10E5	0.055	0.501
8	2.285*10E5	0.055	0.503
9	2.249*10E5	0.055	0.501
10	2.249*10E5	0.055	0.501
11	2.285*10E5	0.055	0.503
12	2.285*10E5	0.055	0.503
13	2.249*10E5	0.055	0.501
14	2.249*10E5	0.055	0.501
15	2.32*10E5	0.055	0.505
16	2.249*10E5	0.055	0.501
17	2.32*10E5	0.055	0.505
18	2.249*10E5	0.055	0.501
19	2.285*10E5	0.055	0.503
20	2.285*10E5	0.055	0.503

Figura 108

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel



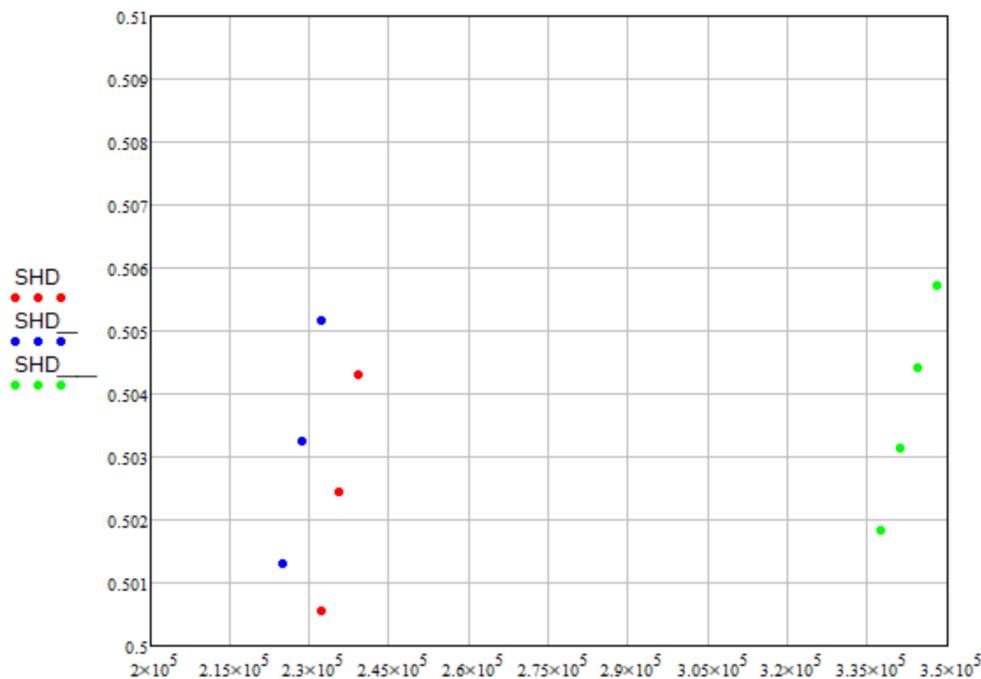
$$\overline{SH_D} = 0.503 [m]$$

$$S_{SH_D}^2 = 2.354 * 10^{-6} [m^2]$$



Figura 110

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en combustible Diésel



### Modelo de Castanheira

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan(\varphi_D) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_D} \right)$$

$$\theta_{C_D} = \varphi_D * \frac{180}{\pi} = 0.12940196 * \frac{180}{\pi} = 7.414 [^\circ]$$

$$\theta_{C_D} = 2 * 7.413 = 14.828 [^\circ]$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SC_D = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

Tabla 66

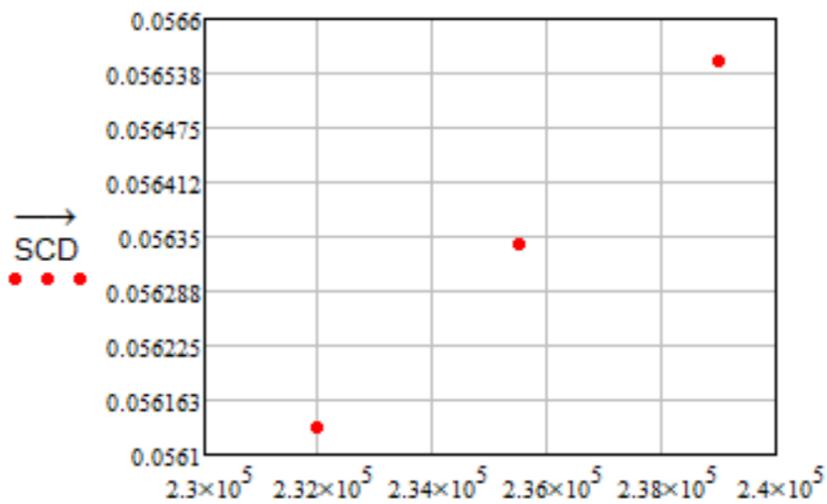
Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_D [m]$
1	2.355*10E5	0.056
2	2.32*10E5	0.056
3	2.39*10E5	0.057
4	2.355*10E5	0.056

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_D [m]$
5	2.39*10E5	0.057
6	2.39*10E5	0.057
7	2.39*10E5	0.057
8	2.355*10E5	0.056
9	2.32*10E5	0.056
10	2.32*10E5	0.056
11	2.355*10E5	0.056
12	2.39*10E5	0.057
13	2.355*10E5	0.056
14	2.355*10E5	0.056
15	2.32*10E5	0.056
16	2.32*10E5	0.056
17	2.355*10E5	0.056
18	2.39*10E5	0.057
19	2.355*10E5	0.056
20	2.39*10E5	0.057

Figura 111

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de combustible Diésel



$$\overline{SC_D} = 0.056 [m]$$

$$S_{SC_D}^2 = 2.607 * 10^{-8} [m^2]$$

Tabla 67

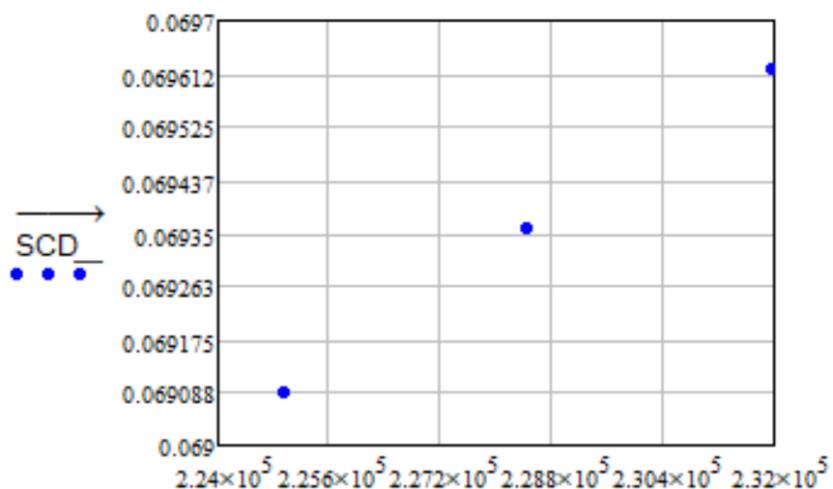
Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_D [m]$
1	2.32*10E5	0.07
2	2.32*10E5	0.07
3	2.285*10E5	0.069

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_D [m]$
4	2.285*10E5	0.069
5	2.32*10E5	0.07
6	2.249*10E5	0.069
7	2.249*10E5	0.069
8	2.285*10E5	0.069
9	2.249*10E5	0.069
10	2.249*10E5	0.069
11	2.285*10E5	0.069
12	2.285*10E5	0.069
13	2.249*10E5	0.069
14	2.249*10E5	0.069
15	2.32*10E5	0.07
16	2.249*10E5	0.069
17	2.32*10E5	0.07
18	2.249*10E5	0.069
19	2.285*10E5	0.069
20	2.285*10E5	0.069

Figura 112

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel



$$\overline{SC_D} = 0.069 [m]$$

$$S_{SC_D}^2 = 4.472 * 10^{-8} [m^2]$$

Tabla 68

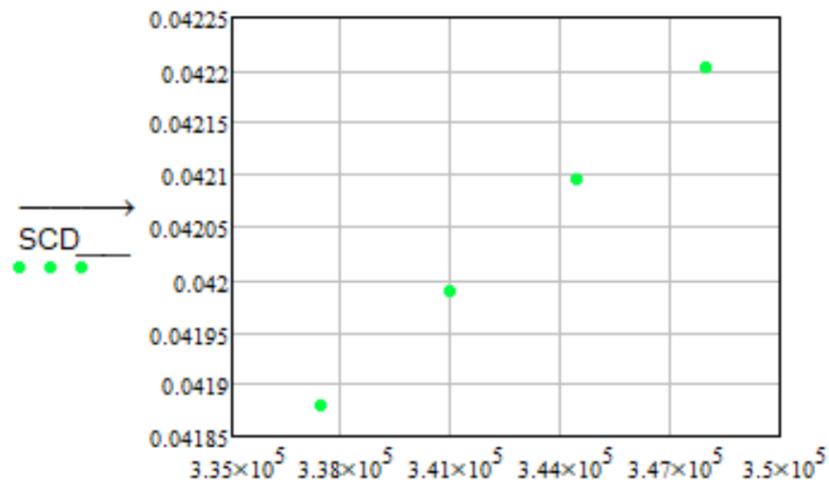
Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_D [m]$
1	3.409*10E5	0.042
2	3.374*10E5	0.042

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_D [m]$
3	3.409*10E5	0.042
4	3.374*10E5	0.042
5	3.48*10E5	0.042
6	3.445*10E5	0.042
7	3.48*10E5	0.042
8	3.374*10E5	0.042
9	3.374*10E5	0.042
10	3.409*10E5	0.042
11	3.374*10E5	0.042
12	3.374*10E5	0.042
13	3.374*10E5	0.042
14	3.409*10E5	0.042
15	3.374*10E5	0.042
16	3.445*10E5	0.042
17	3.445*10E5	0.042
18	3.445*10E5	0.042
19	3.409*10E5	0.042
20	3.409*10E5	0.042

**Figura 113**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de combustible Diésel*



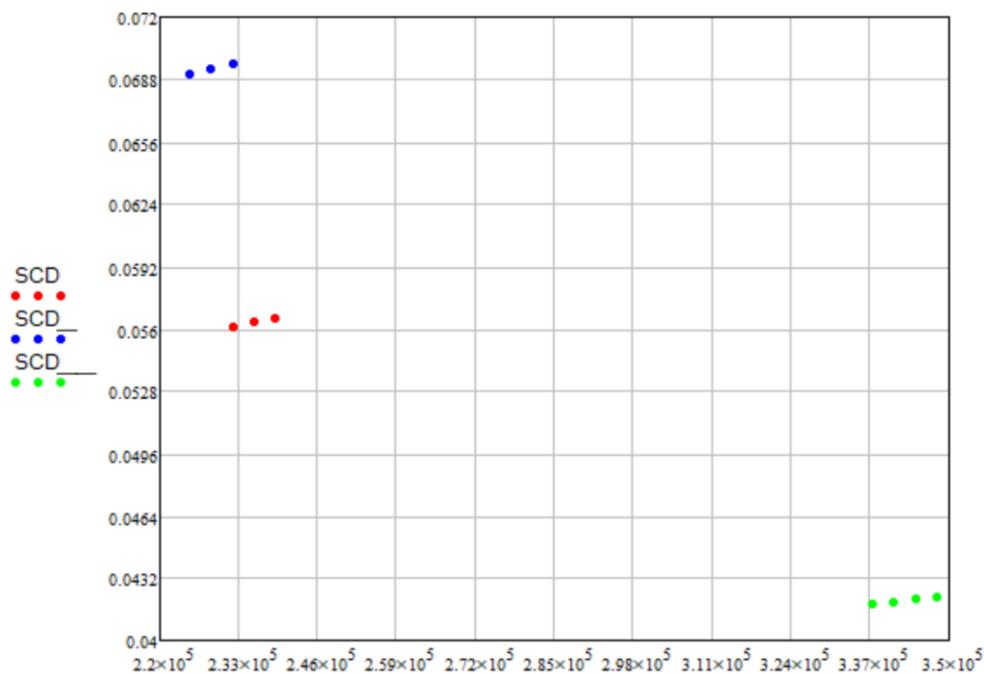
$$\overline{SC_D} = 0.042 [m]$$

$$S_{SC_D}^2 = 1.166 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 114**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en combustible Diésel



### Modelo de Arregle

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan\left(\frac{\theta A_D}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SA_D = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_D = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta A_D}{2}\right)^{-0.5}$$

Tabla 69

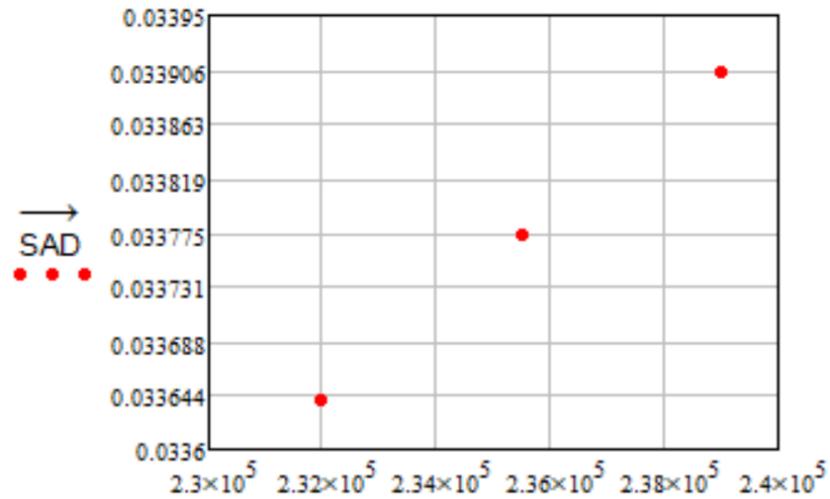
Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[\frac{kg}{m^2}\right]$	$SA_D [m]$	$\tan\left(\frac{\theta A_D}{2}\right) [rad]$	$SA'_D [m]$
1	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
2	2.32*10E5	0.03364	0.032	0.06261
3	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314
4	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
5	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314
6	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314
7	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314
8	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
9	2.32*10E5	0.03364	0.032	0.06261

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_D [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_D}{2} \right) [rad]$	$SA'_D [m]$
10	2.32*10E5	0.03364	0.032	0.06261
11	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
12	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314
13	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
14	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
15	2.32*10E5	0.03364	0.032	0.06261
16	2.32*10E5	0.03364	0.032	0.06261
17	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
18	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314
19	2.355*10E5	0.03377	0.032	0.06287
20	2.39*10E5	0.0339	0.032	0.06314

**Figura 115**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de combustible Diésel*



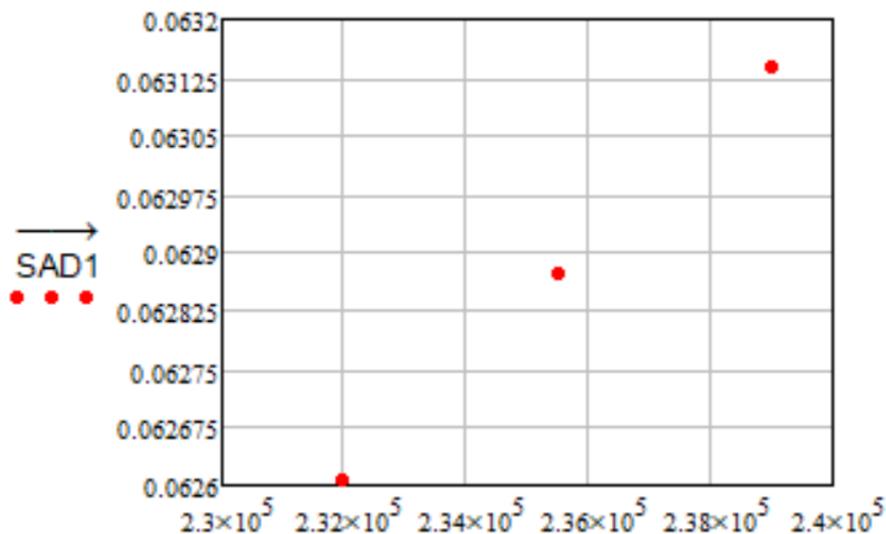
$$\overline{SA}_D = 0.034 [m]$$

$$S_{SA_D}^2 = 1.029 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 116**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que*

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de combustible Diésel



$$\overline{SA'_D} = 0.063 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_D}^2 = 4.16 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

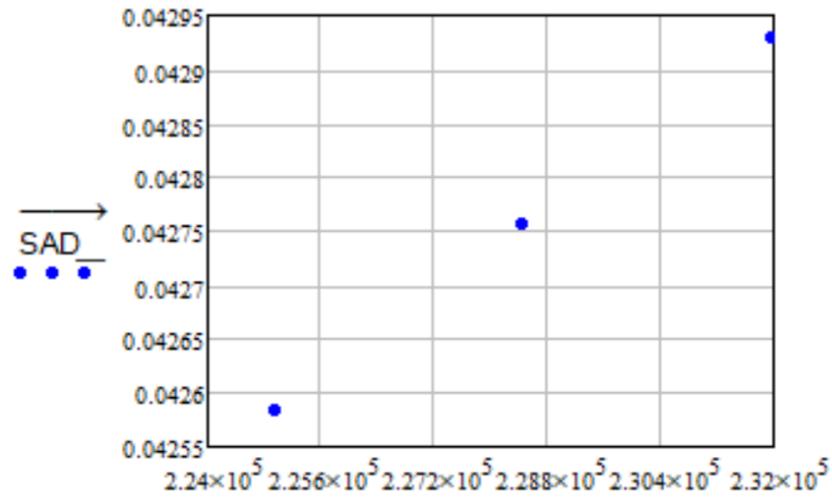
**Tabla 70**

Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Arregle a una compresión menor a la original

Mediciones	$\Delta P$ [ $\frac{kg}{m^2}$ ]	$SA_D$ [m]	$\tan\left(\frac{\theta A_D}{2}\right)$ [rad]	$SA'_D$ [m]
1	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
2	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
3	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
4	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
5	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
6	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
7	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
8	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
9	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
10	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
11	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
12	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
13	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
14	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
15	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
16	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
17	2.32*10E5	0.04293	0.032	0.07843
18	2.249*10E5	0.04258	0.032	0.07775
19	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809
20	2.285*10E5	0.04276	0.032	0.07809

Figura 117

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel

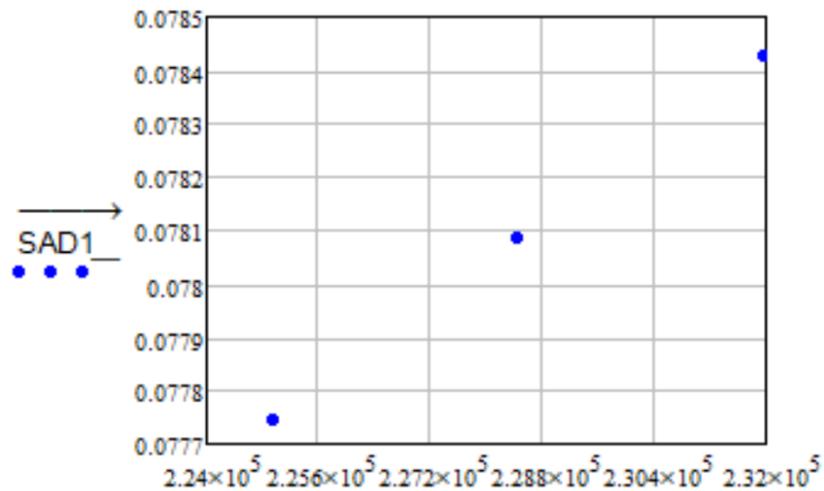


$$\overline{SA}_D = 0.043 \text{ [m]}$$

$$S_{SA_D}^2 = 1.867 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

Figura 118

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle menor a la original de combustible Diésel



$$\overline{SA}'_D = 0.078 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'D}^2 = 7.264 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

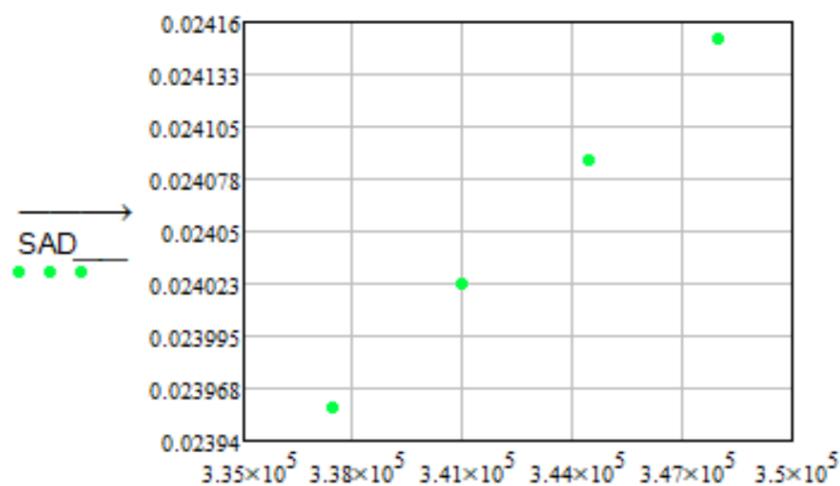
Tabla 71

Valores de punta de penetración de pulverización del diésel, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_D [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_D}{2} \right) [rad]$	$SA'_D [m]$
1	3.409*10E5	0.02402	0.032	0.04659
2	3.374*10E5	0.02415	0.032	0.04686
3	3.409*10E5	0.02402	0.032	0.04659
4	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
5	3.48*10E5	0.02415	0.032	0.04686
6	3.445*10E5	0.02409	0.032	0.04673
7	3.48*10E5	0.02415	0.032	0.04686
8	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
9	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
10	3.409*10E5	0.02402	0.032	0.04659
11	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
12	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
13	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
14	3.409*10E5	0.02402	0.032	0.04659
15	3.374*10E5	0.02396	0.032	0.04646
16	3.445*10E5	0.02409	0.032	0.04673
17	3.445*10E5	0.02409	0.032	0.04673
18	3.445*10E5	0.02409	0.032	0.04673
19	3.409*10E5	0.02402	0.032	0.04659
20	3.409*10E5	0.02402	0.032	0.04659

Figura 119

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de combustible Diésel



$$\overline{SA}_D = 0.024 [m]$$

$$S_{SA_D}^2 = 4.193 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 120

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de combustible Diésel

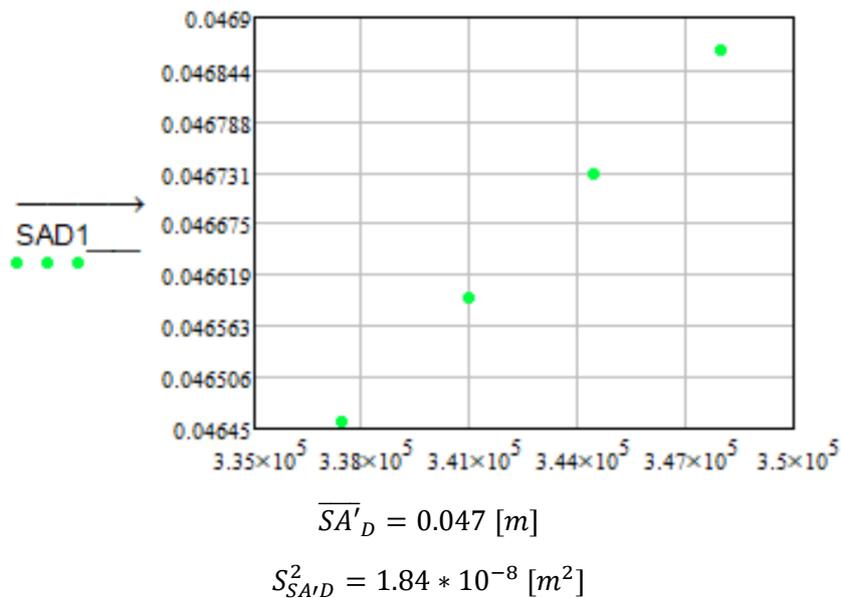
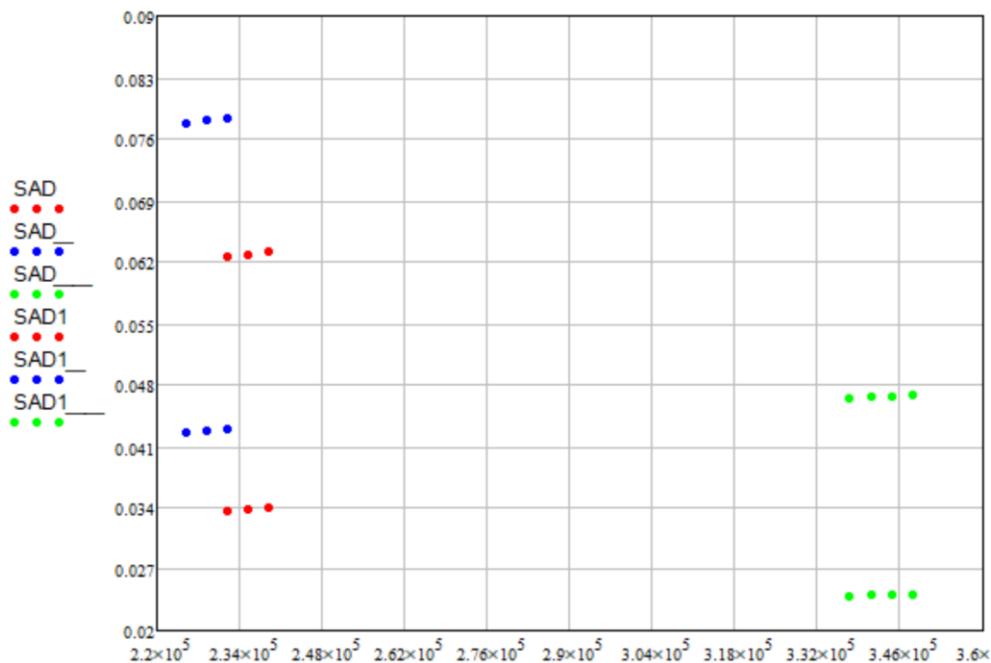


Figura 121

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en combustible Diésel



Nota: En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

## Aceite de Palma Usada

### Modelo de Hiroyasu

#### Longitud de ruptura.

$$Lb_{pu} = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_{pu} * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_{pu}}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_{pu} = 0.16 [m]$$

#### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta_{H_{pu}} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_{pu}} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_{pu}} = 12.949 [^\circ]$$

#### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_{pu} = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_{pu})^{0.5}$$

$$tb_{pu} = 28.65 \left( \frac{\rho_{pu} * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

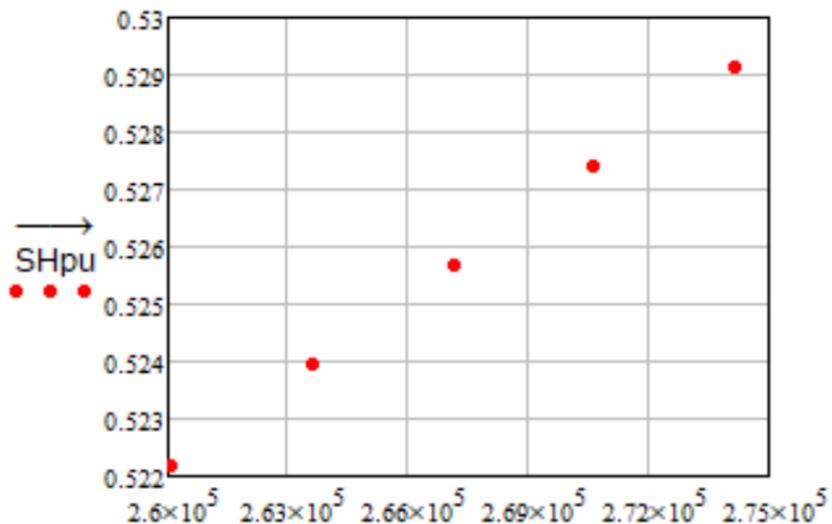
**Tabla 72**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pu} [m^{0.5}]$	$SH_{pu} [m]$
1	2.671*10E5	0.056	0.526
2	2.601*10E5	0.056	0.522
3	2.671*10E5	0.055	0.526
4	2.601*10E5	0.056	0.522
5	2.706*10E5	0.055	0.527
6	2.671*10E5	0.055	0.526
7	2.636*10E5	0.056	0.524
8	2.671*10E5	0.055	0.526
9	2.671*10E5	0.055	0.526
10	2.742*10E5	0.055	0.529
11	2.671*10E5	0.055	0.526
12	2.706*10E5	0.055	0.527
13	2.636*10E5	0.056	0.524
14	2.671*10E5	0.055	0.526
15	2.671*10E5	0.055	0.526
16	2.742*10E5	0.055	0.529
17	2.742*10E5	0.055	0.529
18	2.706*10E5	0.055	0.527
19	2.742*10E5	0.055	0.529
20	2.742*10E5	0.055	0.529

**Figura 122**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada*



$$\overline{SH}_{pu} = 0.526 \text{ [m]}$$

$$S^2_{SH_{pu}} = 4.551 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

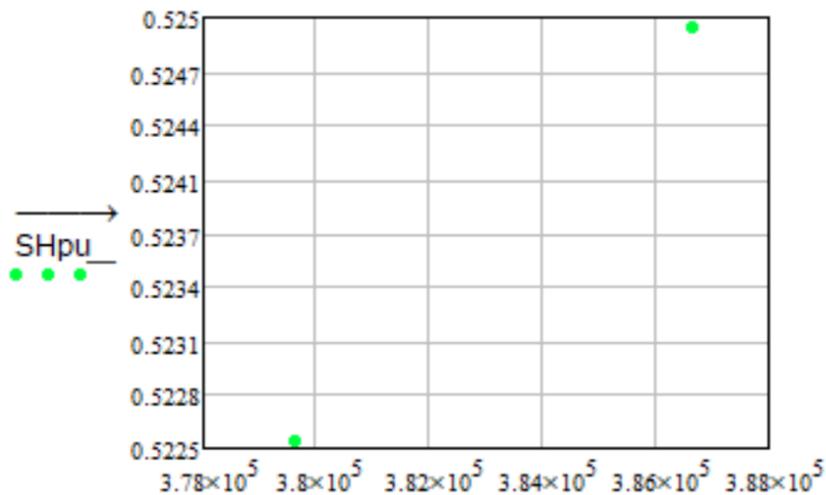
**Tabla 73**

*Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original*

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pu} [m^{0.5}]$	$SH_{pu} [m]$
1	3.796*10E5	0.046	0.523
2	3.796*10E5	0.046	0.523
3	3.796*10E5	0.046	0.523
4	3.866*10E5	0.046	0.525
5	3.766*10E5	0.046	0.523
6	3.866*10E5	0.046	0.525
7	3.796*10E5	0.046	0.523
8	3.796*10E5	0.046	0.523
9	3.796*10E5	0.046	0.523
10	3.796*10E5	0.046	0.523
11	3.796*10E5	0.046	0.523
12	3.866*10E5	0.046	0.525
13	3.866*10E5	0.046	0.525
14	3.866*10E5	0.046	0.525
15	3.866*10E5	0.046	0.525
16	3.866*10E5	0.046	0.525
17	3.866*10E5	0.046	0.525
18	3.866*10E5	0.046	0.525
19	3.796*10E5	0.046	0.523
20	3.866*10E5	0.046	0.525

Figura 123

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada



$$\overline{SH}_{pu} = 0.524 \text{ [m]}$$

$$S_{SH_{pu}}^2 = 1.443 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

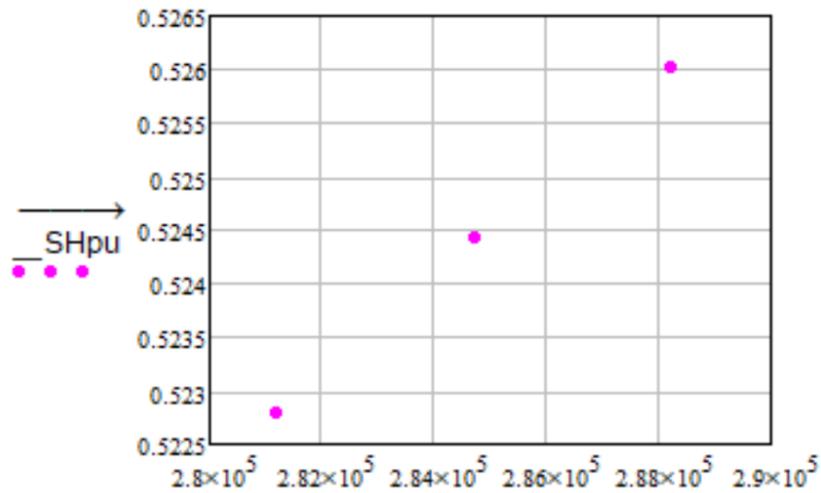
Tabla 74

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P$ [ $\frac{kg}{m^2}$ ]	$tb_{pu}$ [ $m^{0.5}$ ]	$SH_{pu}$ [m]
1	2.882*10E5	0.053	0.526
2	2.882*10E5	0.053	0.526
3	2.882*10E5	0.053	0.526
4	2.882*10E5	0.053	0.526
5	2.847*10E5	0.054	0.524
6	2.847*10E5	0.054	0.524
7	2.812*10E5	0.054	0.523
8	2.812*10E5	0.054	0.523
9	2.882*10E5	0.053	0.526
10	2.847*10E5	0.054	0.524
11	2.882*10E5	0.053	0.526
12	2.812*10E5	0.054	0.523
13	2.812*10E5	0.054	0.523
14	2.882*10E5	0.053	0.526
15	2.882*10E5	0.053	0.526
16	2.812*10E5	0.054	0.523
17	2.812*10E5	0.054	0.523
18	2.812*10E5	0.054	0.523
19	2.882*10E5	0.053	0.526
20	2.882*10E5	0.053	0.526

**Figura 124**

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada

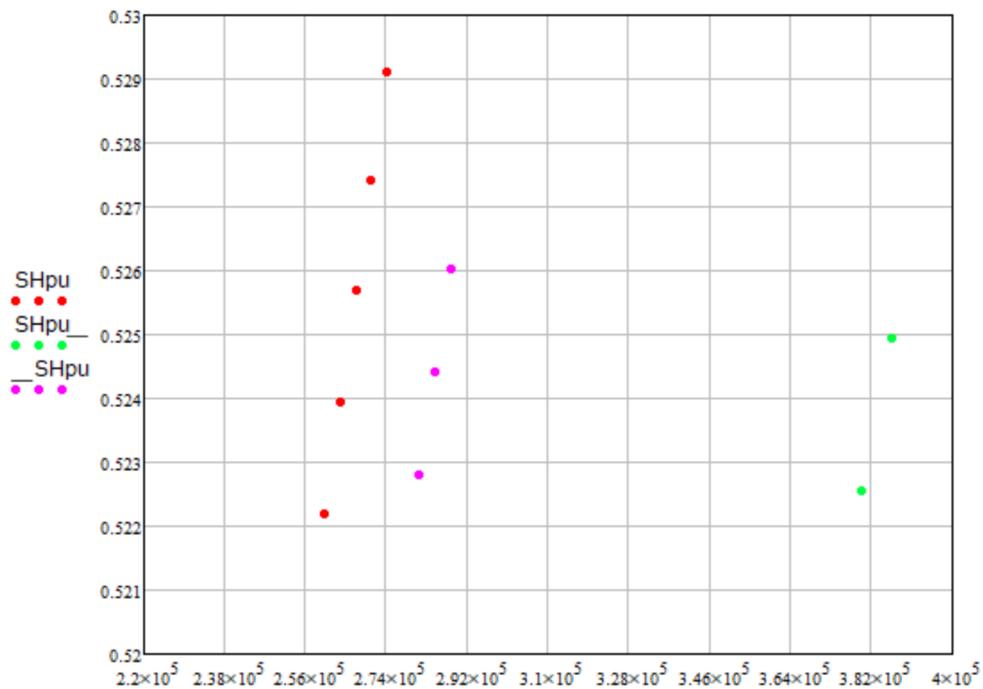


$$\overline{SH}_{pu} = 0.525 \text{ [m]}$$

$$S_{SHpu}^2 = 2.168 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 125**

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en aceite de Palma usada



**Modelo de Castanheira**

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan(\varphi_{pu}) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_{pu}} \right)$$

$$\theta C_{pu} = \varphi_{pu} * \frac{180}{\pi} = 0.129392 * \frac{180}{\pi} = 7.414 [^\circ]$$

$$\theta C_{pu} = 2 * 7.414 = 14.827 [^\circ]$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SC_{pu} = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

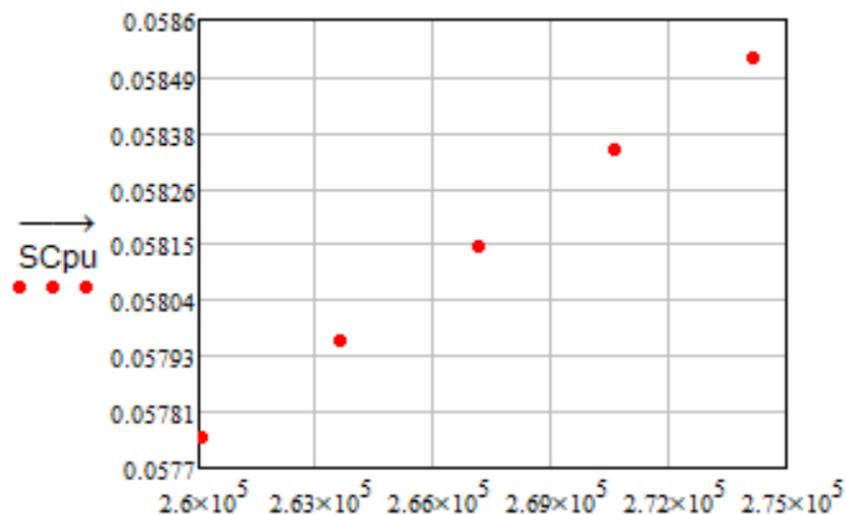
**Tabla 75**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pu} [m]$
1	2.671*10E5	0.058
2	2.601*10E5	0.058
3	2.671*10E5	0.058
4	2.601*10E5	0.058
5	2.706*10E5	0.058
6	2.671*10E5	0.058
7	2.636*10E5	0.058
8	2.671*10E5	0.058
9	2.671*10E5	0.058
10	2.742*10E5	0.059
11	2.671*10E5	0.058
12	2.706*10E5	0.058
13	2.636*10E5	0.058
14	2.671*10E5	0.058
15	2.671*10E5	0.058
16	2.742*10E5	0.059
17	2.742*10E5	0.059
18	2.706*10E5	0.058
19	2.742*10E5	0.059
20	2.742*10E5	0.059

**Figura 126**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada*



$$\overline{SC}_{pu} = 0.058 \text{ [m]}$$

$$S_{SC_{pu}}^2 = 5.568 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

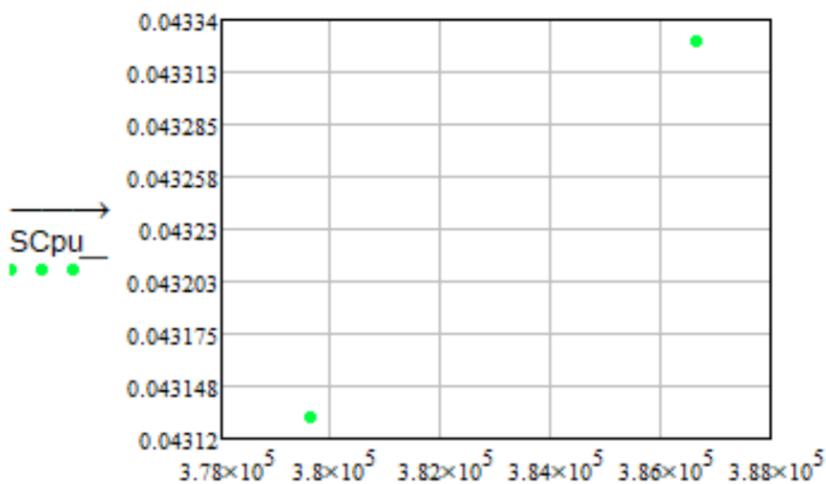
**Tabla 76**

*Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original*

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pu} [m]$
1	3.796*10E5	0.043
2	3.796*10E5	0.043
3	3.796*10E5	0.043
4	3.866*10E5	0.043
5	3.766*10E5	0.043
6	3.866*10E5	0.043
7	3.796*10E5	0.043
8	3.796*10E5	0.043
9	3.796*10E5	0.043
10	3.796*10E5	0.043
11	3.796*10E5	0.043
12	3.866*10E5	0.043
13	3.866*10E5	0.043
14	3.866*10E5	0.043
15	3.866*10E5	0.043
16	3.866*10E5	0.043
17	3.866*10E5	0.043
18	3.866*10E5	0.043
19	3.796*10E5	0.043
20	3.866*10E5	0.043

Figura 127

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada



$$\overline{SC}_{pu} = 0.043 \text{ [m]}$$

$$S_{SC_{pu}}^2 = 9.834 \times 10^{-9} \text{ [m}^2\text{]}$$

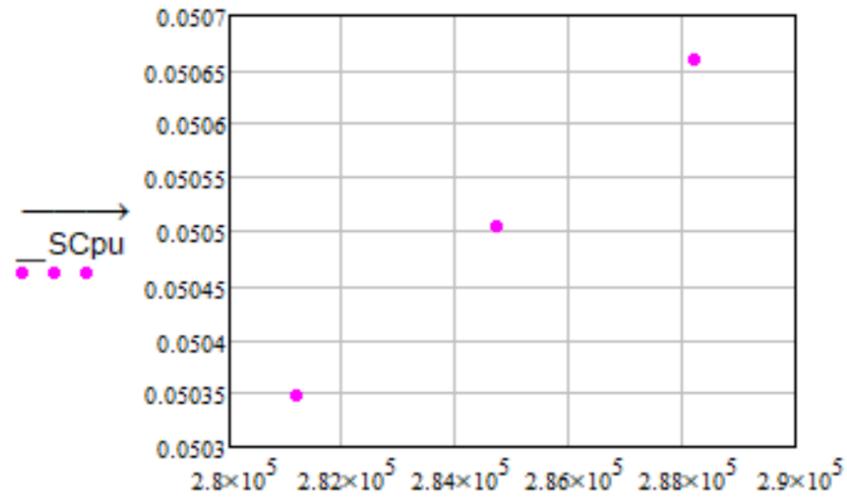
Tabla 77

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P$ $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$	$SC_{pu}$ [m]
1	2.882*10E5	0.051
2	2.882*10E5	0.051
3	2.882*10E5	0.051
4	2.882*10E5	0.051
5	2.847*10E5	0.051
6	2.847*10E5	0.051
7	2.812*10E5	0.05
8	2.812*10E5	0.05
9	2.882*10E5	0.051
10	2.847*10E5	0.051
11	2.882*10E5	0.05
12	2.812*10E5	0.05
13	2.812*10E5	0.05
14	2.882*10E5	0.051
15	2.882*10E5	0.051
16	2.812*10E5	0.05
17	2.812*10E5	0.05
18	2.812*10E5	0.05
19	2.882*10E5	0.051
20	2.882*10E5	0.051

Figura 128

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada

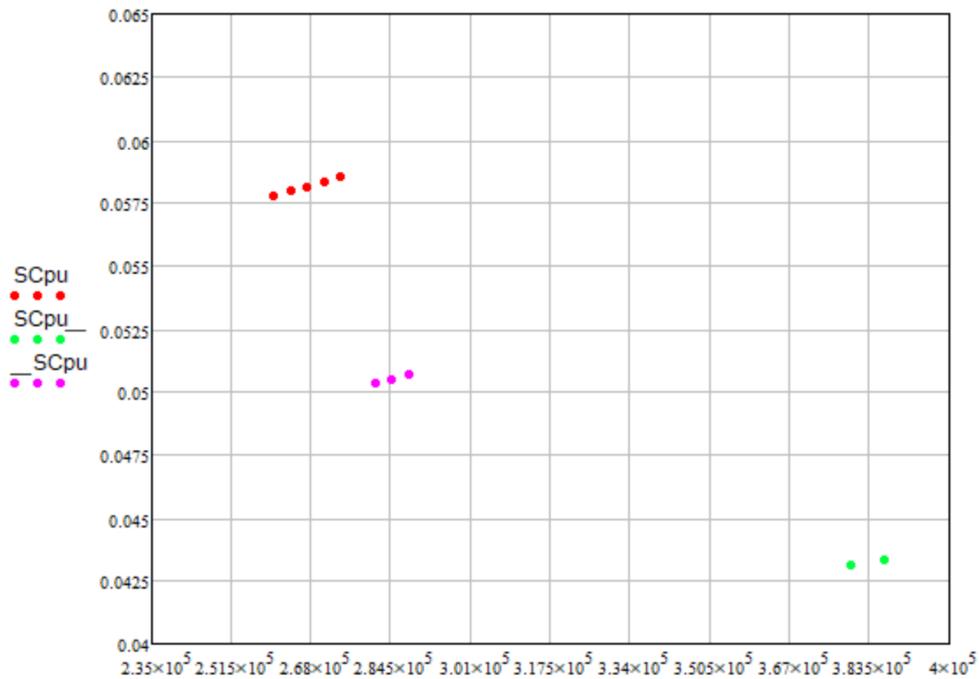


$$\overline{SC}_{pu} = 0.051 [m]$$

$$S^2_{SC_{pu}} = 2.011 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 129

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en aceite de Palma usada



**Modelo de Arregle****Ángulo de cono de pulverización.**

$$\tan\left(\frac{\theta A_{pu}}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

**Punta de penetración de pulverización.**

$$SA_{pu} = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_{pu} = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta A_{pu}}{2}\right)^{-0.5}$$

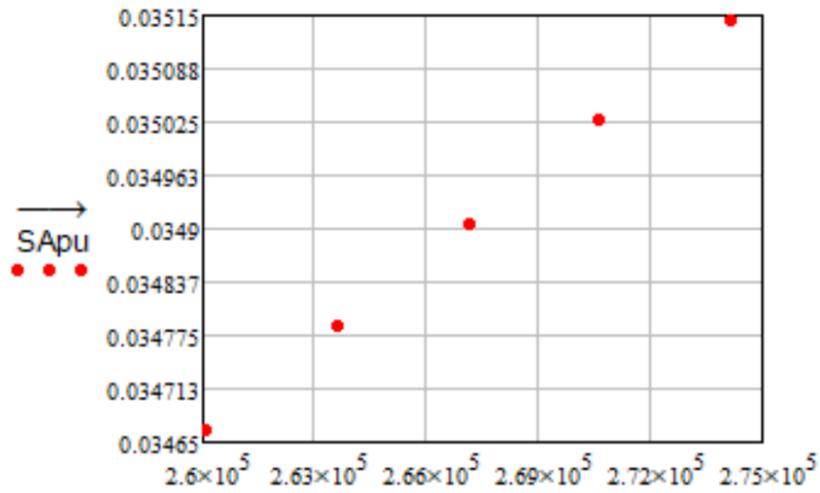
**Tabla 78**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pu} [m]$	$\tan\left(\frac{\theta A_{pu}}{2}\right) [rad]$	$SA'_{pu} [m]$
1	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
2	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
3	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
4	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
5	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
6	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
7	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
8	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
9	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
10	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
11	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
12	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
13	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
14	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
15	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
16	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
17	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
18	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
19	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
20	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564

**Figura 130**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada*

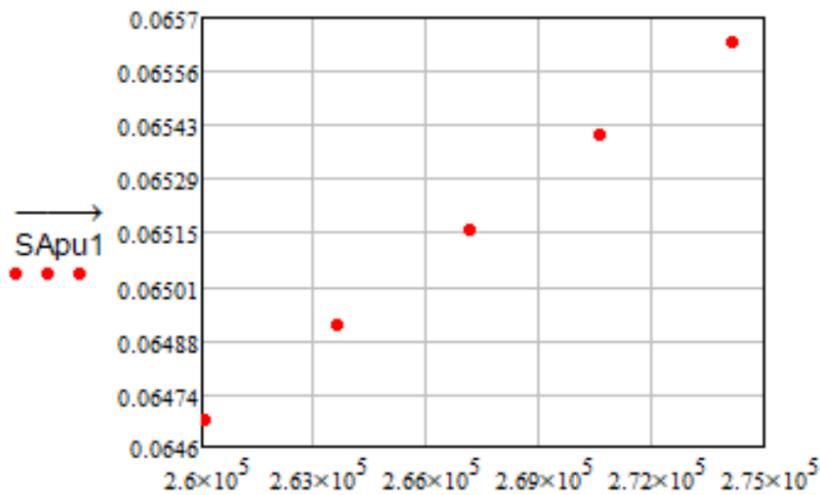


$$\overline{SA}_{pu} = 0.035 \text{ [m]}$$

$$S_{SApu}^2 = 2.204 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 131**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de aceite de Palma usada*



$$\overline{SA}'_{pu} = 0.065 \text{ [m]}$$

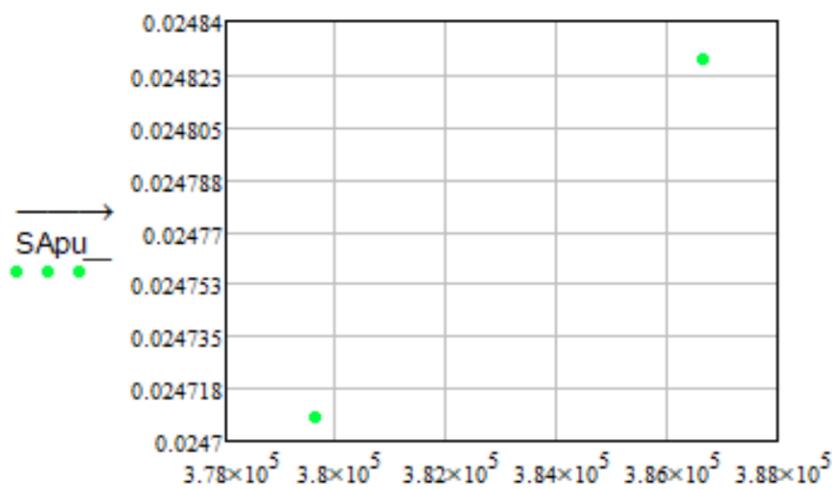
$$S_{SA'pu}^2 = 8.96 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Tabla 79**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pu} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{pu}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{pu} [m]$
1	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
2	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
3	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
4	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
5	3.766*10E5	0.02471	0.032	0.04803
6	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
7	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
8	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
9	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
10	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
11	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
12	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
13	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
14	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
15	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
16	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
17	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
18	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828
19	3.796*10E5	0.02471	0.032	0.04803
20	3.866*10E5	0.02483	0.032	0.04828

Figura 132 Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada



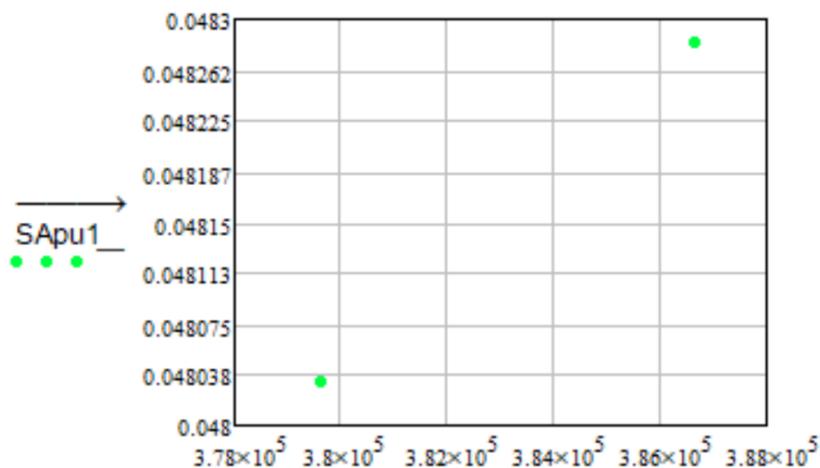
$$\overline{SA}_{pu} = 0.025 [m]$$

$$S_{SA_{pu}}^2 = 3.545 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 133

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de aceite de Palma usada



$$\overline{SA'_{pu}} = 0.048 \text{ [m]}$$

$$S^2_{SA'_{pu}} = 1.564 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

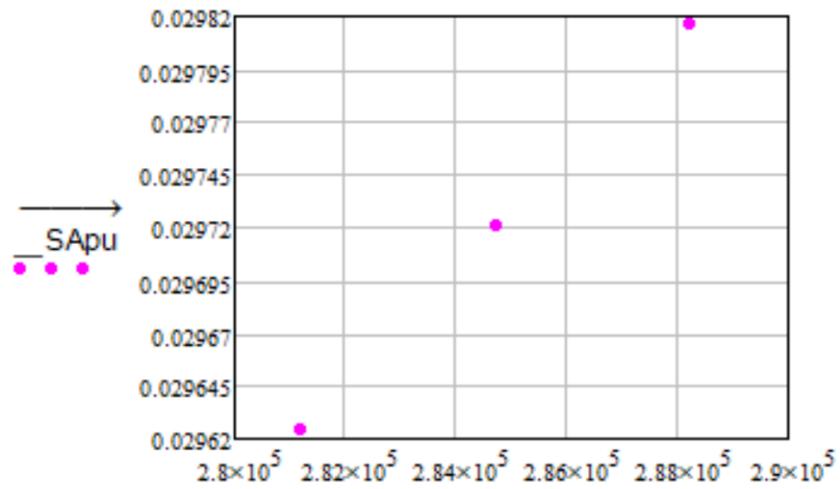
**Tabla 80**

Valores de punta de penetración de pulverización del aceite de palma usada, aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pu} \text{ [m]}$	$\tan \left( \frac{\theta A_{pu}}{2} \right) \text{ [rad]}$	$SA'_{pu} \text{ [m]}$
1	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
2	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
3	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
4	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
5	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
6	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
7	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
8	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
9	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
10	2.847*10E5	0.02962	0.032	0.05611
11	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.05611
12	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
13	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
14	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
15	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
16	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
17	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
18	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
19	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
20	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565

**Figura 134**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada*

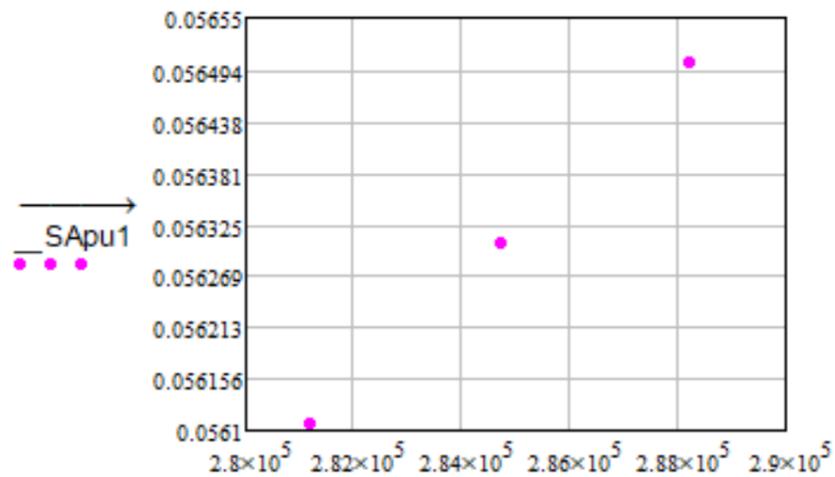


$$\overline{SA}_{pu} = 0.03 \text{ [m]}$$

$$S_{SApu}^2 = 7.649 \times 10^{-9} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 135**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de aceite de Palma usada*



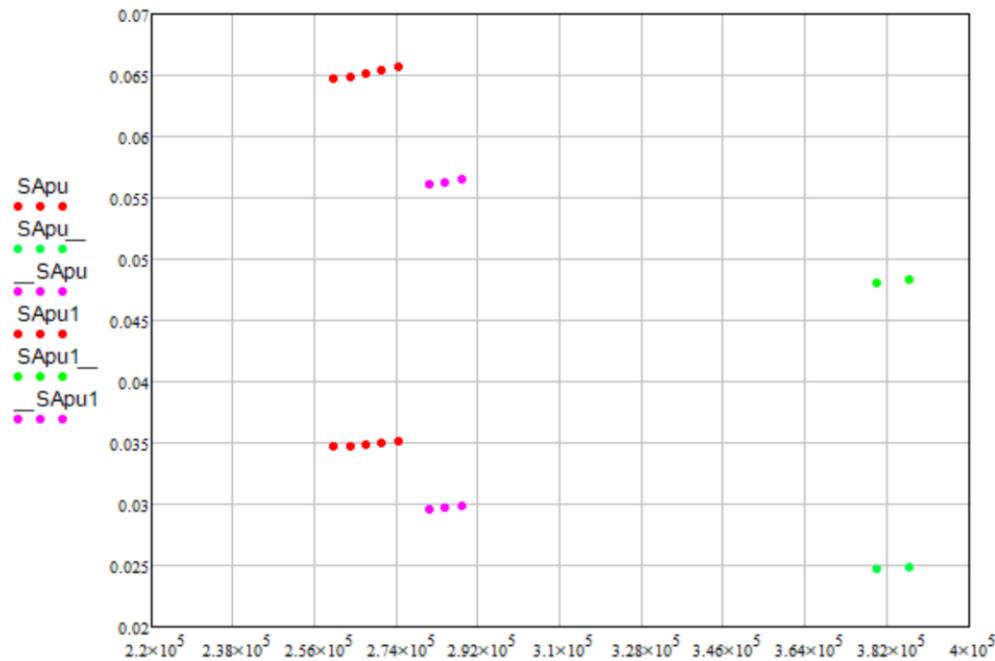
$$\overline{SA}'_{pu} = 0.056 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'pu}^2 = 3.203 \times 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 136**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en aceite de Palma usada



Nota: En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

### Mezcla de Palma Usada - Diésel

#### Modelo de Hiroyasu

##### Longitud de ruptura.

$$Lb_{puD} = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_{puD} * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_{puD}}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_{puD} = 0.16 [m]$$

##### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta H_{puD} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_{puD}} \right)^{0.26}$$

$$\theta H_{puD} = 12.96 [^\circ]$$

##### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_{puD} = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_{puD})^{0.5}$$

$$tb_{puD} = 28.65 \left( \frac{\rho_{puD} * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

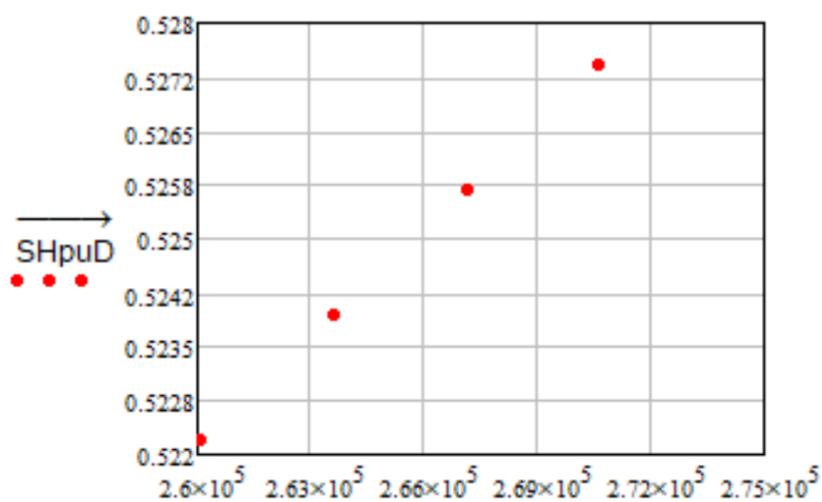
Tabla 81

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{puD} [m^{0.5}]$	$SH_{puD} [m]$
1	2.636*10E5	0.056	0.524
2	2.601*10E5	0.056	0.522
3	2.601*10E5	0.056	0.522
4	2.601*10E5	0.056	0.522
5	2.671*10E5	0.055	0.526
6	2.671*10E5	0.055	0.526
7	2.671*10E5	0.055	0.526
8	2.671*10E5	0.055	0.526
9	2.671*10E5	0.055	0.526
10	2.601*10E5	0.056	0.522
11	2.671*10E5	0.055	0.526
12	2.601*10E5	0.056	0.522
13	2.636*10E5	0.056	0.524
14	2.671*10E5	0.055	0.526
15	2.671*10E5	0.055	0.526
16	2.601*10E5	0.056	0.522
17	2.601*10E5	0.056	0.522
18	2.706*10E5	0.055	0.527
19	2.671*10E5	0.055	0.526
20	2.671*10E5	0.055	0.526

Figura 137

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel



$$\overline{SH}_{puD} = 0.524 [m]$$

$$S_{SH_{puD}}^2 = 3.005 * 10^{-6} [m^2]$$

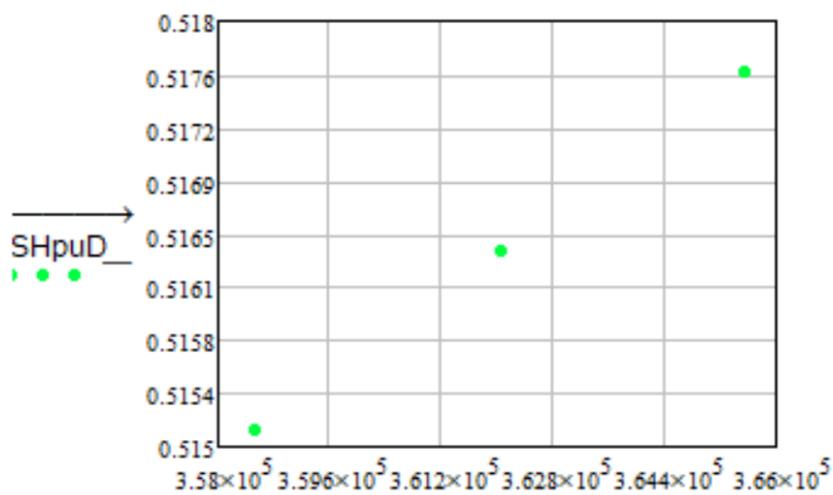
Tabla 82

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{puD} [m^{0.5}]$	$SH_{puD} [m]$
1	3.585*10E5	0.048	0.515
2	3.585*10E5	0.048	0.515
3	3.62*10E5	0.047	0.518
4	3.656*10E5	0.047	0.518
5	3.656*10E5	0.047	0.518
6	3.656*10E5	0.047	0.518
7	3.656*10E5	0.047	0.518
8	3.62*10E5	0.047	0.516
9	3.62*10E5	0.047	0.516
10	3.656*10E5	0.047	0.516
11	3.585*10E5	0.048	0.515
12	3.585*10E5	0.048	0.515
13	3.585*10E5	0.048	0.515
14	3.585*10E5	0.048	0.515
15	3.585*10E5	0.048	0.515
16	3.62*10E5	0.047	0.515
17	3.62*10E5	0.047	0.516
18	3.656*10E5	0.047	0.518
19	3.585*10E5	0.049	0.515
20	3.585*10E5	0.048	0.515

Figura 138

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel



$$\overline{SH}_{puD} = 0.516 [m]$$

$$S_{SH_{puD}}^2 = 1.242 * 10^{-6} [m^2]$$

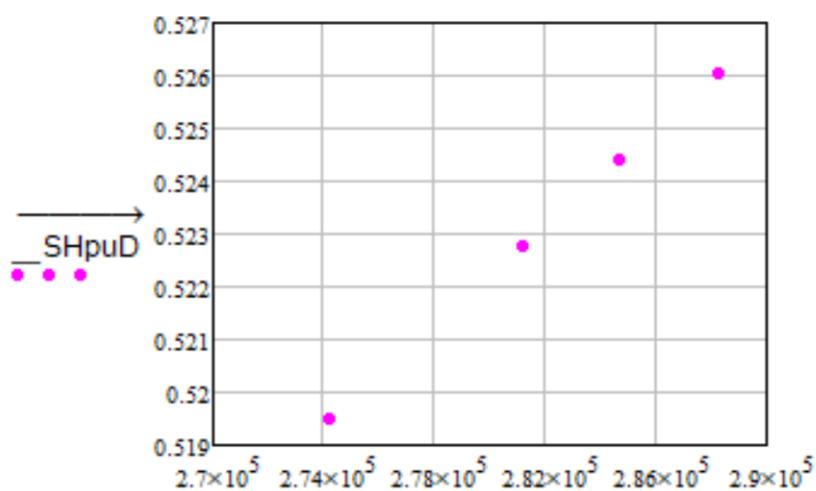
Tabla 83

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{puD} [m^{0.5}]$	$SH_{puD} [m]$
1	2.742*10E5	0.055	0.519
2	2.812*10E5	0.054	0.522
3	2.812*10E5	0.054	0.523
4	2.812*10E5	0.054	0.523
5	2.882*10E5	0.053	0.526
6	2.882*10E5	0.053	0.526
7	2.847*10E5	0.053	0.524
8	2.847*10E5	0.053	0.524
9	2.882*10E5	0.053	0.526
10	2.882*10E5	0.053	0.526
11	2.882*10E5	0.053	0.526
12	2.742*10E5	0.053	0.524
13	2.812*10E5	0.054	0.523
14	2.882*10E5	0.053	0.526
15	2.882*10E5	0.053	0.526
16	2.812*10E5	0.054	0.523
17	2.812*10E5	0.054	0.523
18	2.882*10E5	0.053	0.526
19	2.882*10E5	0.053	0.526
20	2.882*10E5	0.053	0.526

Figura 139

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel

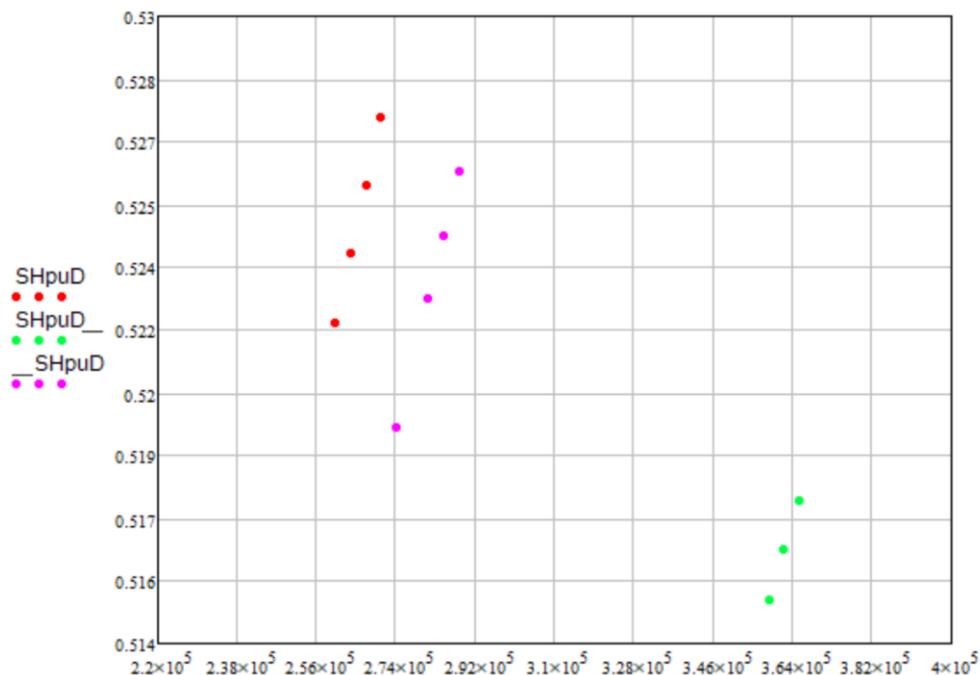


$$\overline{SH}_{puD} = 0.524 [m]$$

$$S_{SH_{puD}}^2 = 3.3 \times 10^{-6} [m^2]$$

Figura 140

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en la mezcla entre Palma usada - Diésel



### Modelo de Castanheira

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan(\varphi_{puD}) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_{puD}} \right)$$

$$\theta_{C_{puD}} = \varphi_{puD} * \frac{180}{\pi} = 0.129392 * \frac{180}{\pi} = 7.414 [^\circ]$$

$$\theta_{C_{puD}} = 2 * 7.414 = 14.827 [^\circ]$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SC_{puD} = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

Tabla 84

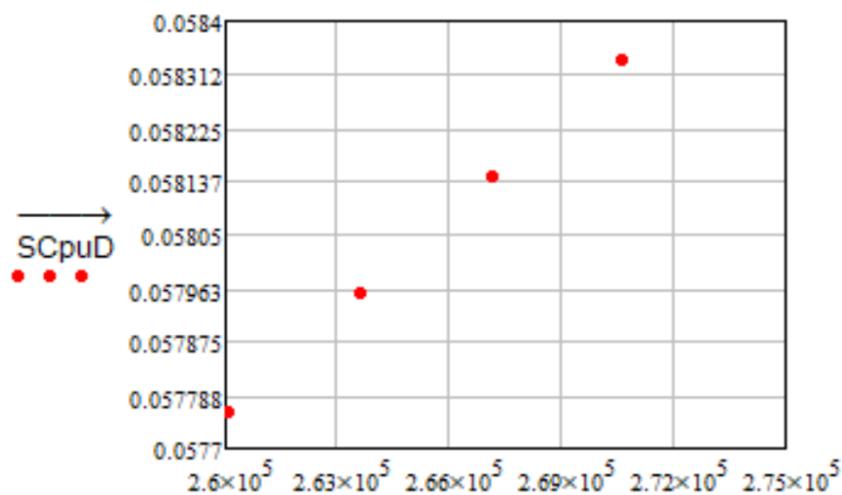
Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{puD} [m]$
1	$2.636 * 10^5$	0.058
2	$2.601 * 10^5$	0.058
3	$2.601 * 10^5$	0.058

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{puD} [m]$
4	2.601*10E5	0.058
5	2.671*10E5	0.058
6	2.671*10E5	0.058
7	2.671*10E5	0.058
8	2.671*10E5	0.058
9	2.671*10E5	0.058
10	2.601*10E5	0.058
11	2.671*10E5	0.058
12	2.601*10E5	0.058
13	2.636*10E5	0.058
14	2.671*10E5	0.058
15	2.671*10E5	0.058
16	2.601*10E5	0.058
17	2.601*10E5	0.058
18	2.706*10E5	0.058
19	2.671*10E5	0.058
20	2.671*10E5	0.058

Figura 141

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel



$$\overline{SC}_{puD} = 0.058 [m]$$

$$S_{SC_{puD}}^2 = 3.676 * 10^{-8} [m^2]$$

Tabla 85

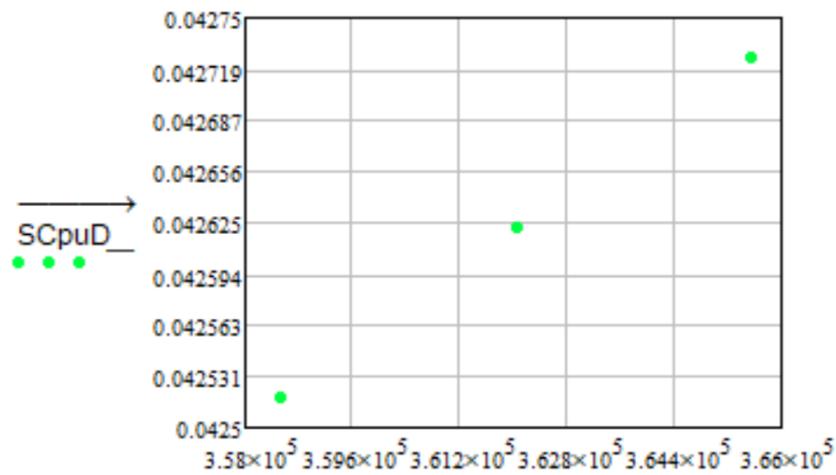
Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{puD} [m]$
1	3.585*10E5	0.043
2	3.585*10E5	0.043

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{puD} [m]$
3	3.62*10E5	0.043
4	3.656*10E5	0.043
5	3.656*10E5	0.043
6	3.656*10E5	0.043
7	3.656*10E5	0.043
8	3.62*10E5	0.043
9	3.62*10E5	0.043
10	3.656*10E5	0.043
11	3.585*10E5	0.043
12	3.585*10E5	0.043
13	3.585*10E5	0.043
14	3.585*10E5	0.043
15	3.585*10E5	0.043
16	3.62*10E5	0.043
17	3.62*10E5	0.043
18	3.656*10E5	0.043
19	3.585*10E5	0.043
20	3.585*10E5	0.043

Figura 142

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel*



$$\overline{SC}_{puD} = 0.043 [m]$$

$$S_{SC_{puD}}^2 = 8.459 \times 10^{-9} [m^2]$$

Tabla 86

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{puD} [m]$
1	2.742*10E5	0.05
2	2.812*10E5	0.05
3	2.812*10E5	0.05
4	2.812*10E5	0.05
5	2.882*10E5	0.051
6	2.882*10E5	0.051
7	2.847*10E5	0.051
8	2.847*10E5	0.051
9	2.882*10E5	0.051
10	2.882*10E5	0.051
11	2.882*10E5	0.051
12	2.742*10E5	0.051
13	2.812*10E5	0.05
14	2.882*10E5	0.051
15	2.882*10E5	0.051
16	2.812*10E5	0.05
17	2.812*10E5	0.05
18	2.882*10E5	0.05
19	2.882*10E5	0.051
20	2.882*10E5	0.051

Figura 143

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel

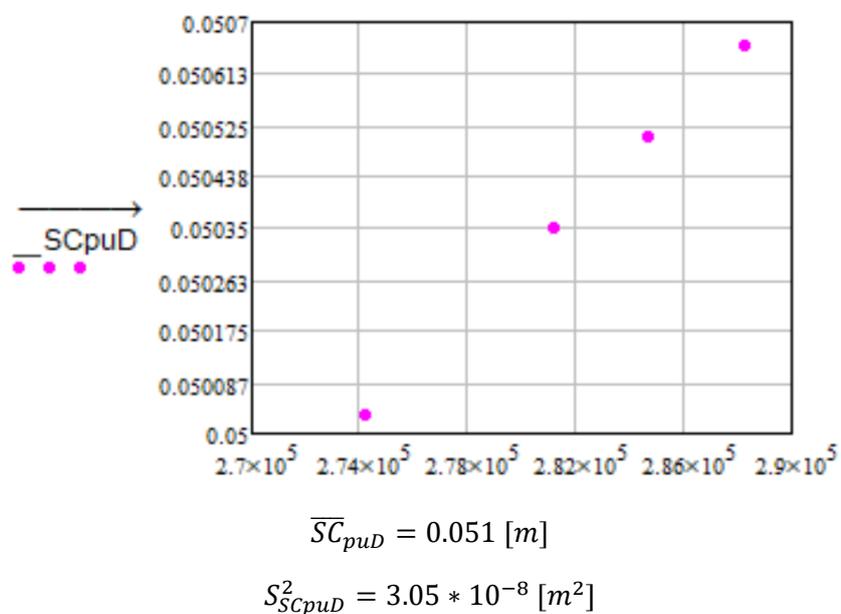
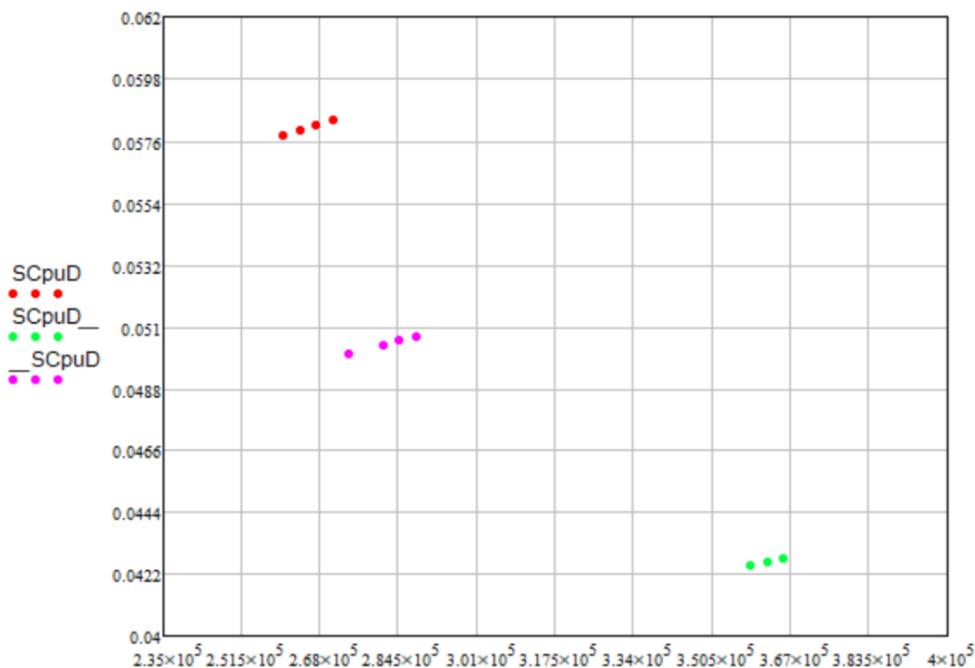


Figura 144

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en la mezcla entre Palma usada - Diésel



### Modelo de Arregle

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan\left(\frac{\theta_{A_{puD}}}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SA_{puD} = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_{puD} = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta_{A_{puD}}}{2}\right)^{-0.5}$$

Tabla 87

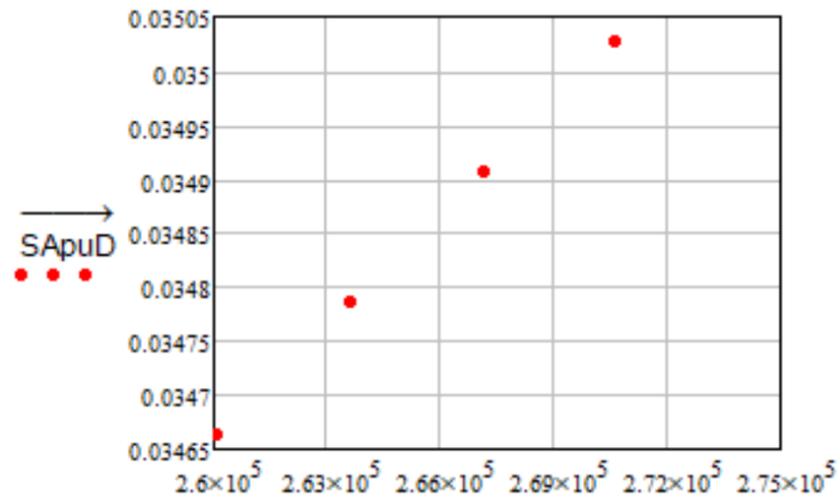
Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{puD} [m]$	$\tan\left(\frac{\theta_{A_{puD}}}{2}\right) [rad]$	$SA'_{puD} [m]$
1	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
2	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
3	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
4	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
5	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
6	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
7	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
8	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
9	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
10	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{puD} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta_{ApuD}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{puD} [m]$
11	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
12	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
13	2.636*10E5	0.03479	0.032	0.06491
14	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
15	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
16	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
17	2.601*10E5	0.03466	0.032	0.06467
18	2.706*10E5	0.03503	0.032	0.0654
19	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516
20	2.671*10E5	0.03491	0.032	0.06516

Figura 145

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel



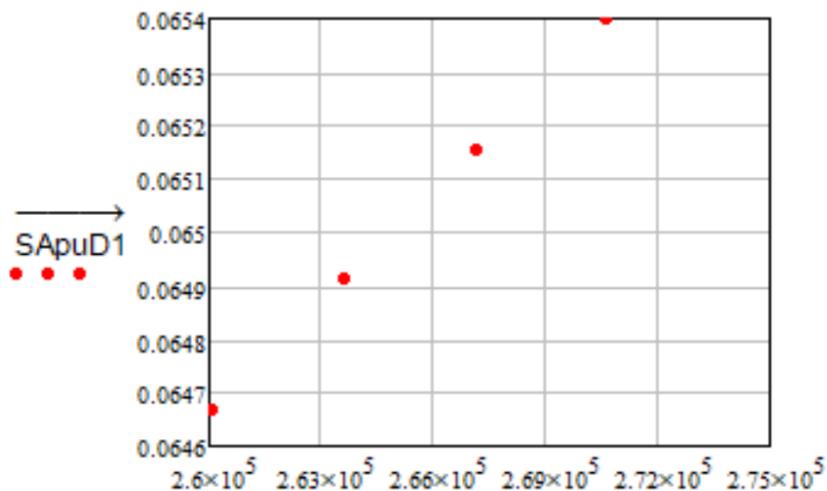
$$\bar{SA}_{puD} = 0.035 [m]$$

$$S_{SApuD}^2 = 1.455 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 146

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma usada - Diésel



$$\overline{SA'}_{puD} = 0.065 [m]$$

$$S_{SA'puD}^2 = 5.911 * 10^{-8} [m^2]$$

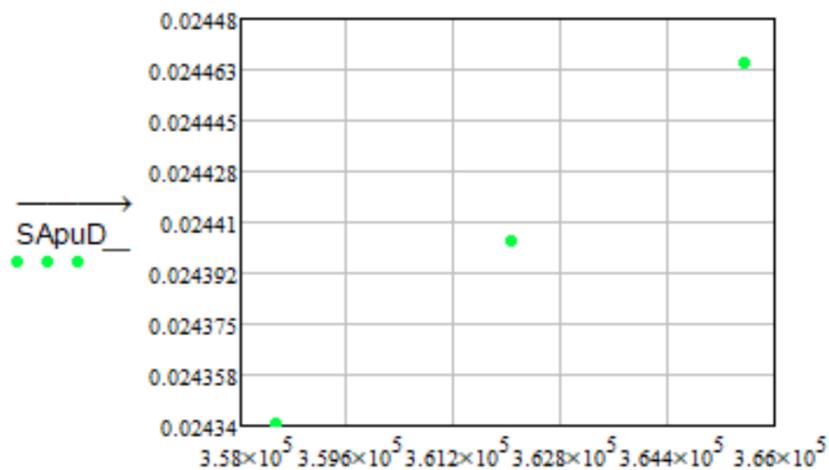
**Tabla 88**

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{puD} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{puD}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{puD} [m]$
1	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
2	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
3	3.62*10E5	0.02447	0.032	0.04752
4	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
5	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
6	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
7	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
8	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
9	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
10	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
11	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
12	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
13	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
14	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
15	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
16	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
17	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
18	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
19	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
20	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726

Figura 147

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel

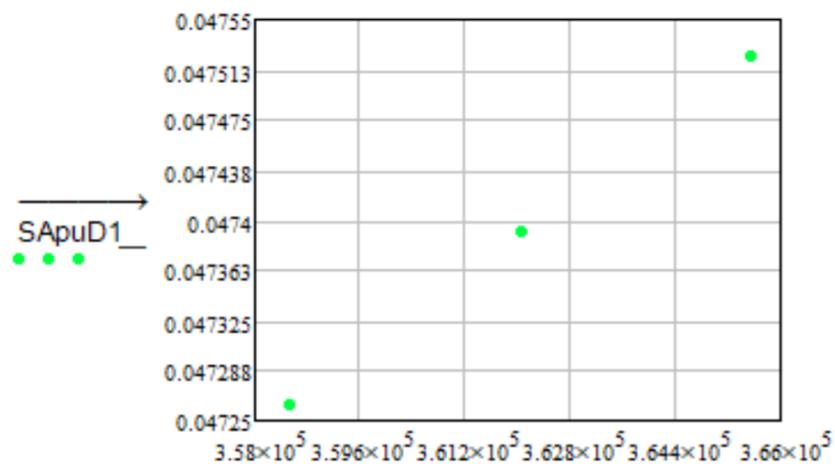


$$\overline{SA}_{puD} = 0.024 [m]$$

$$S_{SApuD}^2 = 3.045 * 10^{-9} [m^2]$$

Figura 148

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma usada - Diésel



$$\overline{SA}'_{puD} = 0.047 [m]$$

$$S_{SA'puD}^2 = 1.34 * 10^{-8} [m^2]$$

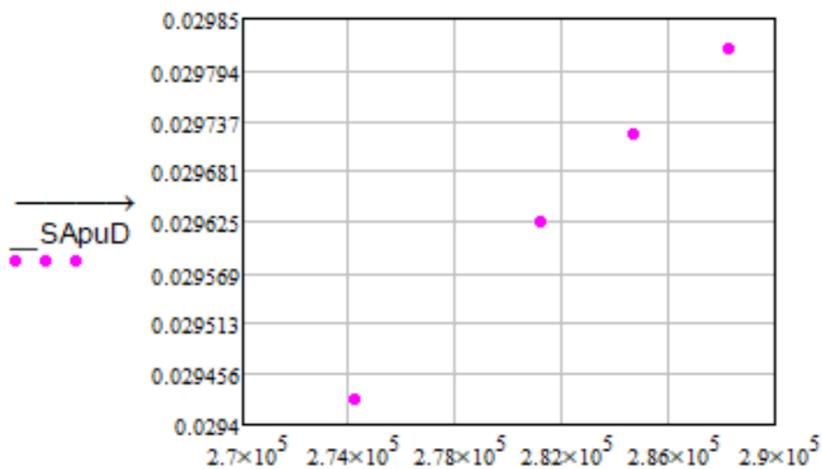
Tabla 89

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma usada (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{puD} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{puD}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{puD} [m]$
1	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
2	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
3	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
4	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
5	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
6	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
7	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
8	2.847*10E5	0.02972	0.032	0.05631
9	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
10	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
11	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
12	2.742*10E5	0.02972	0.032	0.0531
13	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
14	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
15	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
16	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
17	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
18	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
19	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565
20	2.882*10E5	0.02982	0.032	0.0565

Figura 149

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel



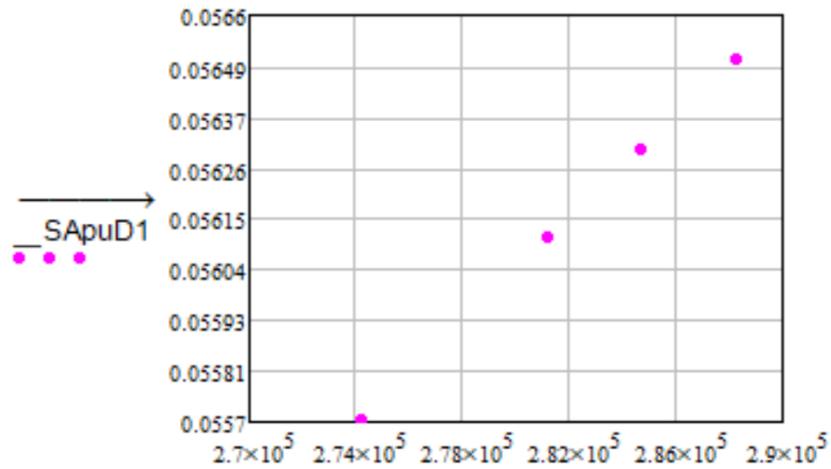
$$\overline{SA}_{puD} = 0.03 [m]$$

$$S_{SA_{puD}}^2 = 1.164 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 150

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma usada - Diésel

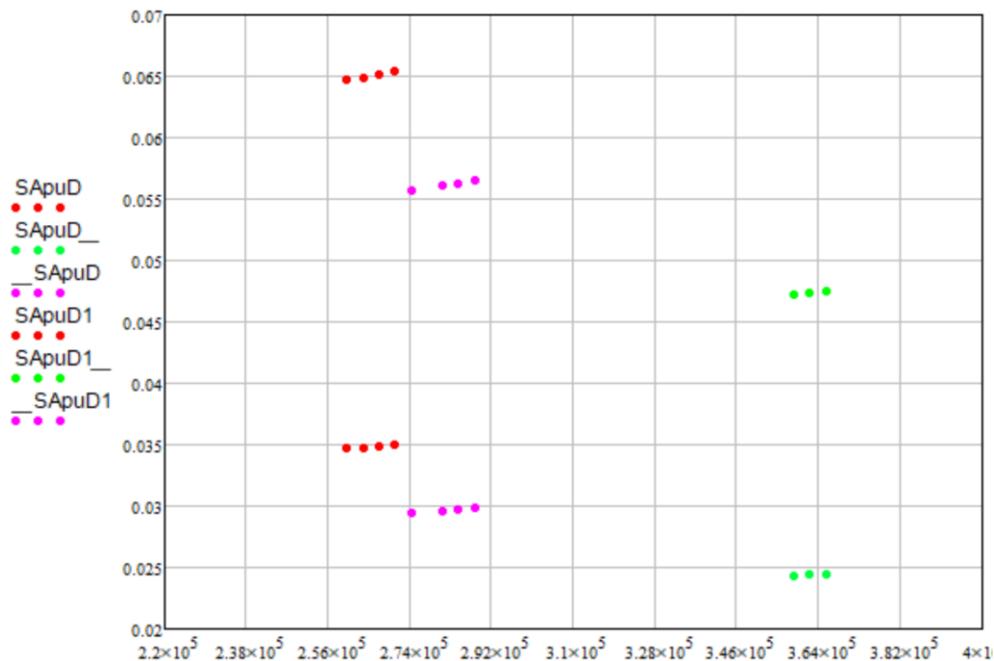


$$\overline{SA'}_{puD} = 0.056 [m]$$

$$S^2_{SA'puD} = 4.872 * 10^{-8} [m^2]$$

Figura 151

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en la mezcla entre Palma usada - Diésel



Nota: En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

## Mezcla de Palma Virgen - Diésel

### Modelo de Hiroyasu

#### Longitud de ruptura.

$$Lb_{pvD} = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_{pvD} * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_{pvD}}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_{pvD} = 0.159 \text{ [m]}$$

#### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta_{H_{pvD}} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_{pvD}} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_{pvD}} = 12.998 \text{ [}^\circ\text{]}$$

#### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_{pvD} = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_{pvD})^{0.5}$$

$$tb_{pvD} = 28.65 \left( \frac{\rho_{pvD} * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

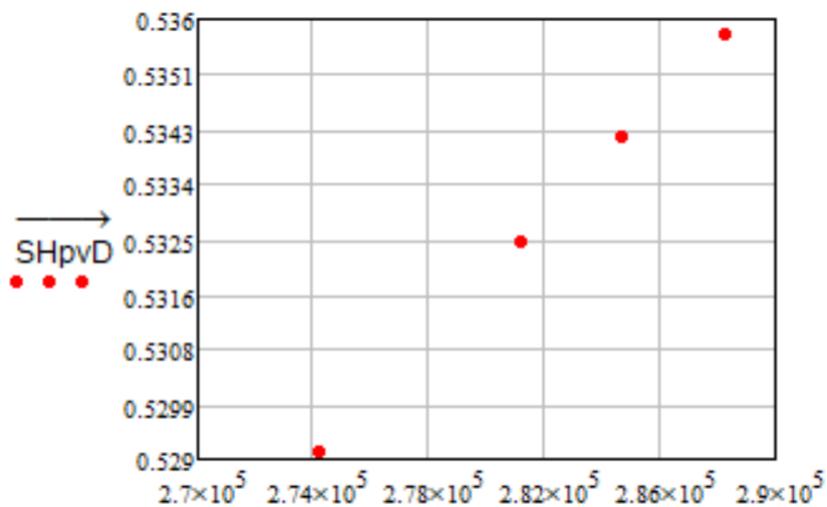
**Tabla 90**

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pvD} [m^{0.5}]$	$SH_{pvD} [m]$
1	2.742*10E5	0.054	0.529
2	2.742*10E5	0.054	0.529
3	2.742*10E5	0.054	0.529
4	2.742*10E5	0.054	0.529
5	2.812*10E5	0.053	0.532
6	2.812*10E5	0.053	0.532
7	2.812*10E5	0.053	0.532
8	2.882*10E5	0.053	0.536
9	2.882*10E5	0.053	0.536
10	2.812*10E5	0.053	0.532
11	2.812*10E5	0.053	0.532
12	2.812*10E5	0.053	0.532
13	2.812*10E5	0.053	0.532
14	2.847*10E5	0.053	0.534
15	2.847*10E5	0.053	0.534
16	2.847*10E5	0.053	0.534
17	2.882*10E5	0.053	0.535
18	2.812*10E5	0.053	0.532
19	2.812*10E5	0.053	0.532
20	2.882*10E5	0.053	0.536

Figura 152

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel



$$\overline{SH}_{pvD} = 0.53271 \text{ [m]}$$

$$S_{SH_{pvD}}^2 = 4.78914 * 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

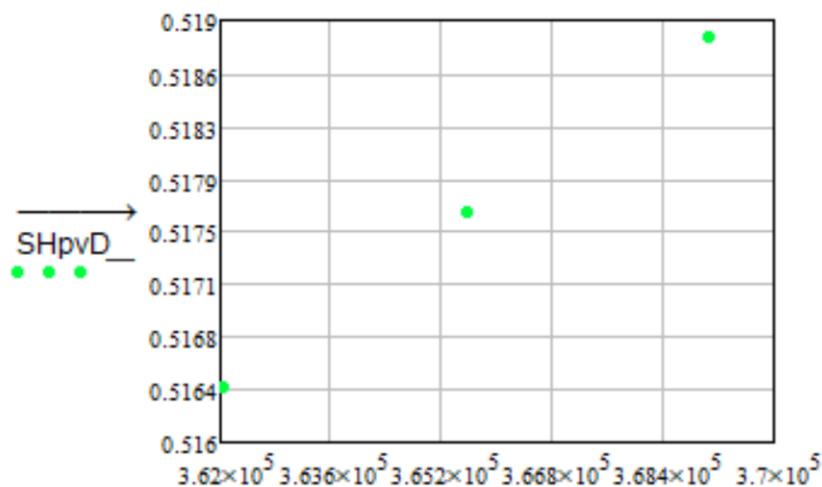
Tabla 91

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P$ [ $\frac{kg}{m^2}$ ]	$tb_{pvD}$ [ $m^{0.5}$ ]	$SH_{pvD}$ [m]
1	3.691*10E5	0.046	0.519
2	3.691*10E5	0.046	0.519
3	3.656*10E5	0.047	0.518
4	3.62*10E5	0.047	0.516
5	3.62*10E5	0.047	0.516
6	3.62*10E5	0.047	0.516
7	3.62*10E5	0.047	0.516
8	3.62*10E5	0.047	0.516
9	3.656*10E5	0.047	0.518
10	3.691*10E5	0.046	0.519
11	3.691*10E5	0.046	0.519
12	3.656*10E5	0.047	0.518
13	3.656*10E5	0.047	0.518
14	3.62*10E5	0.047	0.516
15	3.656*10E5	0.047	0.518
16	3.62*10E5	0.047	0.516
17	3.62*10E5	0.047	0.516
18	3.62*10E5	0.047	0.516
19	3.691*10E5	0.046	0.519
20	3.691*10E5	0.046	0.519

Figura 153

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel



$$\overline{SH}_{pvD} = 0.51744 \text{ [m]}$$

$$S_{SHpvD}^2 = 1.12715 * 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

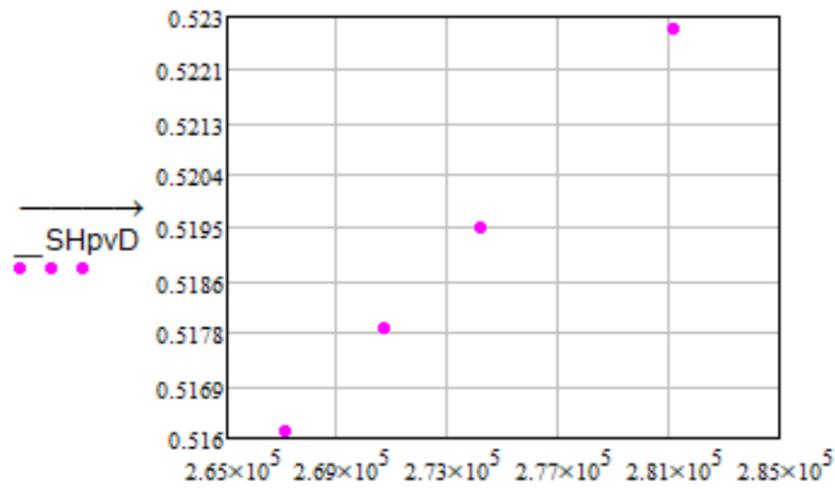
Tabla 92

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_{pvD} [m^{0.5}]$	$SH_{pvD} [m]$
1	2.671*10E5	0.055	0.516
2	2.671*10E5	0.055	0.516
3	2.742*10E5	0.054	0.519
4	2.742*10E5	0.054	0.519
5	2.742*10E5	0.054	0.519
6	2.812*10E5	0.053	0.523
7	2.812*10E5	0.053	0.523
8	2.742*10E5	0.054	0.519
9	2.742*10E5	0.054	0.519
10	2.706*10E5	0.054	0.518
11	2.706*10E5	0.054	0.518
12	2.671*10E5	0.055	0.516
13	2.742*10E5	0.054	0.519
14	2.742*10E5	0.054	0.519
15	2.742*10E5	0.054	0.519
16	2.671*10E5	0.055	0.516
17	2.671*10E5	0.055	0.516
18	2.671*10E5	0.055	0.516
19	2.677*10E5	0.055	0.516
20	2.677*10E5	0.055	0.516

**Figura 154**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel*

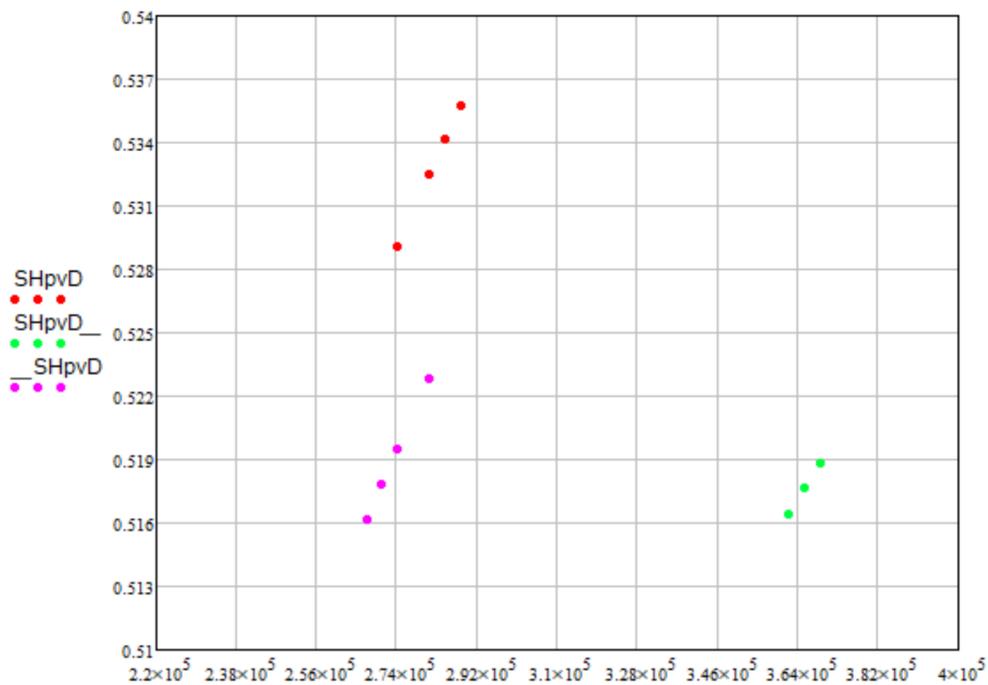


$$\overline{SH}_{pvD} = 0.51831 [m]$$

$$S^2_{SH_{pvD}} = 4.49402 * 10^{-6} [m^2]$$

**Figura 155**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en la mezcla entre Palma virgen - Diésel*



**Modelo de Castanheira**

**Ángulo de cono de pulverización.**

$$\tan(\varphi_{pvD}) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_{pvD}} \right)$$

$$\theta_{C_{pvD}} = \varphi_{pvD} * \frac{180}{\pi} = 0.129393 * \frac{180}{\pi} = 7.414 [^\circ]$$

$$\theta_{C_{pvD}} = 2 * 7.414 = 14.827 [^\circ]$$

**Punta de penetración de pulverización.**

$$SC_{pvD} = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

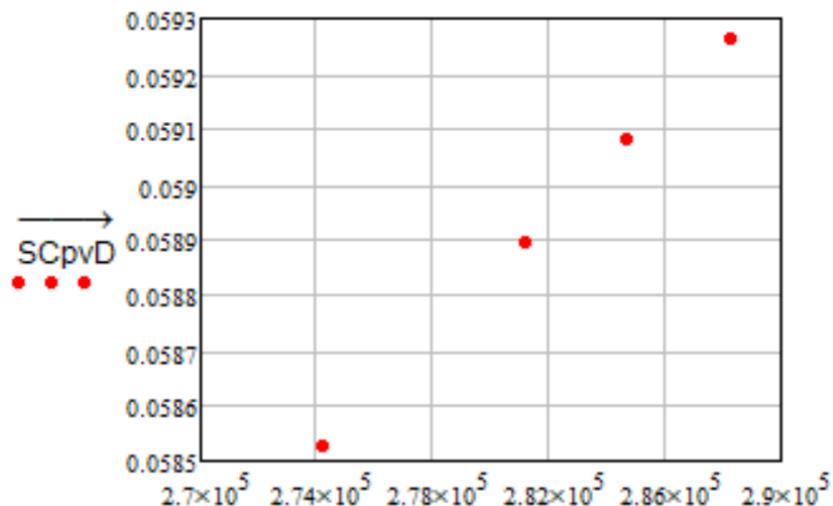
**Tabla 93**

*Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original*

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pvD} [m]$
1	2.742*10E5	0.059
2	2.742*10E5	0.059
3	2.742*10E5	0.059
4	2.742*10E5	0.059
5	2.812*10E5	0.059
6	2.812*10E5	0.059
7	2.812*10E5	0.059
8	2.882*10E5	0.059
9	2.882*10E5	0.059
10	2.812*10E5	0.059
11	2.812*10E5	0.059
12	2.812*10E5	0.059
13	2.812*10E5	0.059
14	2.847*10E5	0.059
15	2.847*10E5	0.059
16	2.847*10E5	0.059
17	2.882*10E5	0.059
18	2.812*10E5	0.059
19	2.812*10E5	0.059
20	2.882*10E5	0.059

**Figura 156**

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel



$$\overline{SC}_{pvD} = 0.05892 \text{ [m]}$$

$$S_{SC_{pvD}}^2 = 5.85927 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

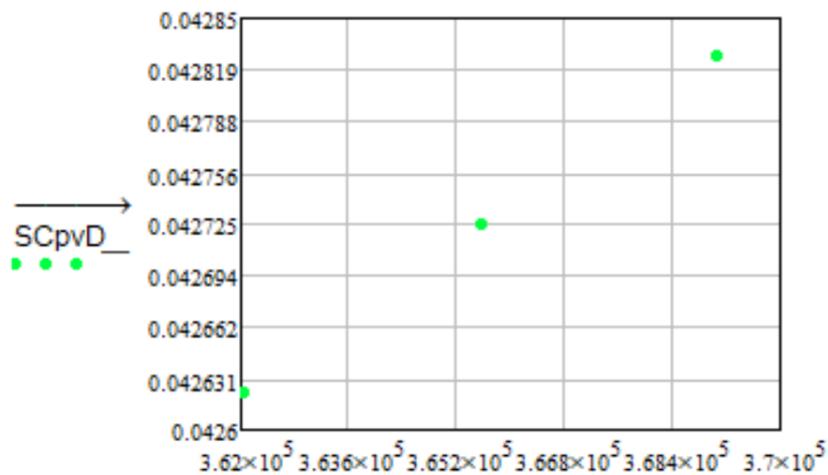
**Tabla 94**

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_{pvD} \text{ [m]}$
1	3.691*10E5	0.043
2	3.691*10E5	0.043
3	3.656*10E5	0.043
4	3.62*10E5	0.043
5	3.62*10E5	0.043
6	3.62*10E5	0.043
7	3.62*10E5	0.043
8	3.62*10E5	0.043
9	3.656*10E5	0.043
10	3.691*10E5	0.043
11	3.691*10E5	0.043
12	3.656*10E5	0.043
13	3.656*10E5	0.043
14	3.62*10E5	0.043
15	3.656*10E5	0.043
16	3.62*10E5	0.043
17	3.62*10E5	0.043
18	3.62*10E5	0.043
19	3.691*10E5	0.043
20	3.691*10E5	0.043

Figura 157

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel



$$\overline{SC}_{pvD} = 0.04271 \text{ [m]}$$

$$S^2_{SC_{pvD}} = 7.67911 * 10^{-9} \text{ [m}^2\text{]}$$

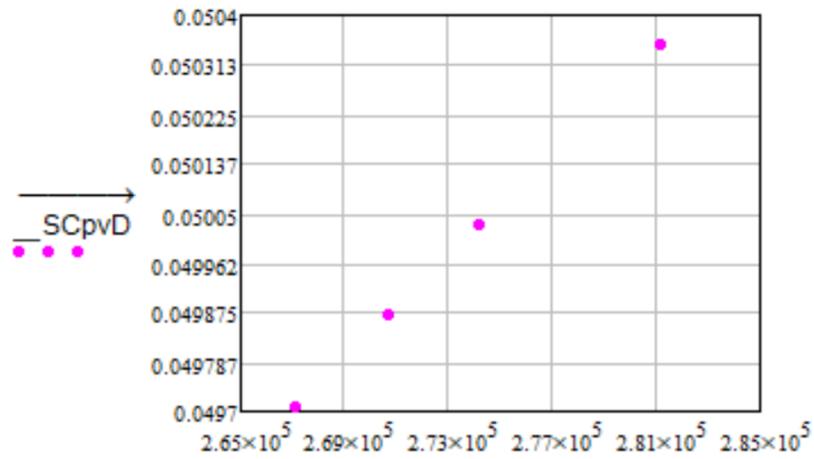
Tabla 95

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Castanheira a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P$ [ $\frac{kg}{m^2}$ ]	$SC_{pvD}$ [m]
1	2.671*10E5	0.05
2	2.671*10E5	0.05
3	2.742*10E5	0.05
4	2.742*10E5	0.05
5	2.742*10E5	0.05
6	2.812*10E5	0.05
7	2.812*10E5	0.05
8	2.742*10E5	0.05
9	2.742*10E5	0.05
10	2.706*10E5	0.05
11	2.706*10E5	0.05
12	2.671*10E5	0.05
13	2.742*10E5	0.05
14	2.742*10E5	0.05
15	2.742*10E5	0.05
16	2.671*10E5	0.05
17	2.671*10E5	0.05
18	2.671*10E5	0.05
19	2.677*10E5	0.05
20	2.677*10E5	0.05

**Figura 158**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel*

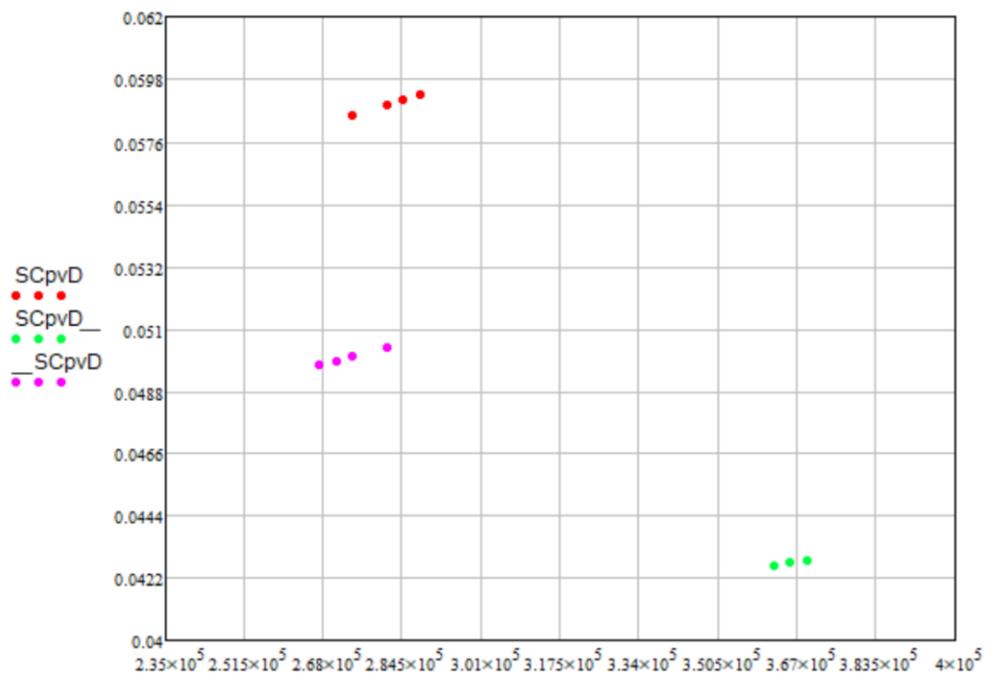


$$\overline{SC_{pvD}} = 0.04992 [m]$$

$$S^2_{SC_{pvD}} = 4.16813 * 10^{-8} [m^2]$$

**Figura 159**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en la mezcla entre Palma virgen - Diésel*



**Modelo de Arregle****Ángulo de cono de pulverización.**

$$\tan\left(\frac{\theta A_{pvD}}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

**Punta de penetración de pulverización.**

$$SA_{pvD} = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_{pvD} = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta A_{pvD}}{2}\right)^{-0.5}$$

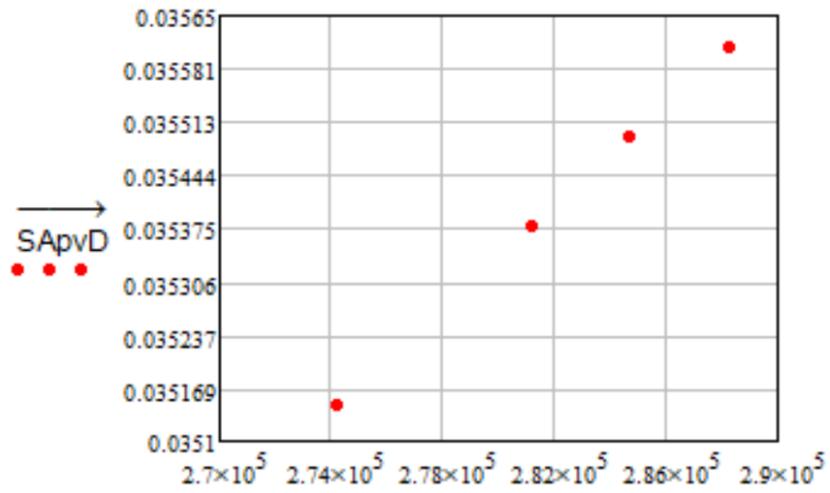
**Tabla 96**

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pvD} [m]$	$\tan\left(\frac{\theta A_{pvD}}{2}\right) [rad]$	$SA'_{pvD} [m]$
1	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
2	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
3	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
4	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
5	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
6	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
7	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
8	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657
9	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657
10	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
11	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
12	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
13	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
14	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
15	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
16	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
17	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657
18	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
19	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
20	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657

**Figura 160**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel*

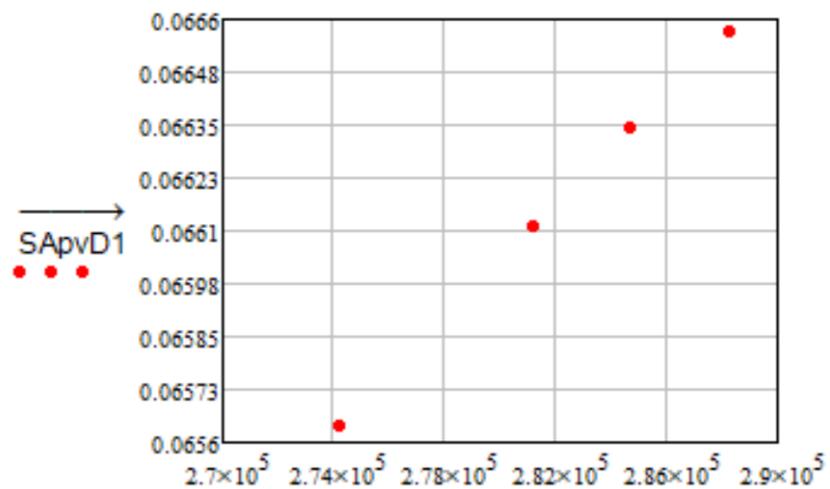


$$\overline{SA}_{pvD} = 0.0354 \text{ [m]}$$

$$S_{SApvD}^2 = 2.32203 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 161**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel*



$$\overline{SA}'_{pvD} = 0.06614 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'pvD}^2 = 9.45918 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

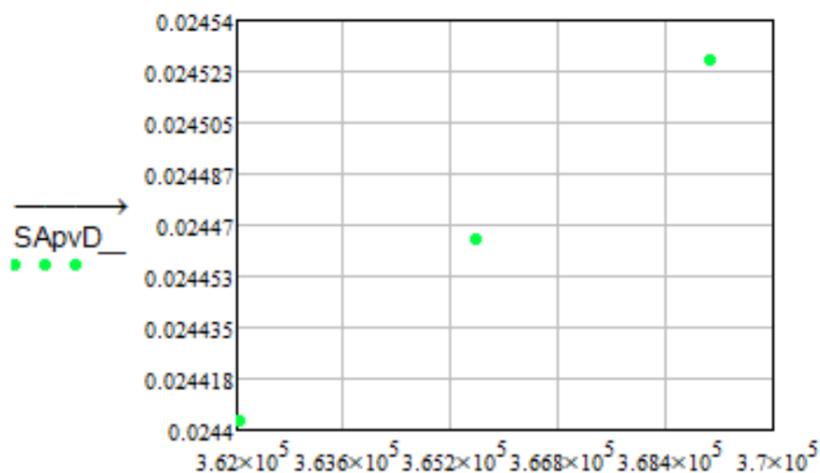
**Tabla 97**

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pvD} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta A_{pvD}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{pvD} [m]$
1	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
2	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
3	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
4	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
5	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
6	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
7	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
8	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
9	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
10	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
11	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
12	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
13	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
14	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
15	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
16	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
17	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
18	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
19	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765
20	3.691*10E5	0.02453	0.032	0.04765

Figura 162

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel



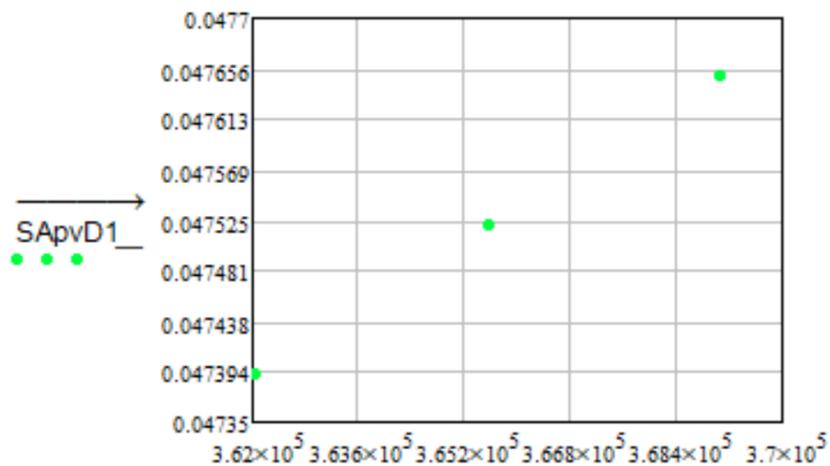
$$\overline{SA}_{pvD} = 0.02446 [m]$$

$$S_{SA_{pvD}}^2 = 2.76535 * 10^{-9} [m^2]$$

Figura 163

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla entre Palma virgen - Diésel



$$\overline{SA'}_{pvD} = 0.0475 \text{ [m]}$$

$$S^2_{SA'_{pvD}} = 1.21733 * 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

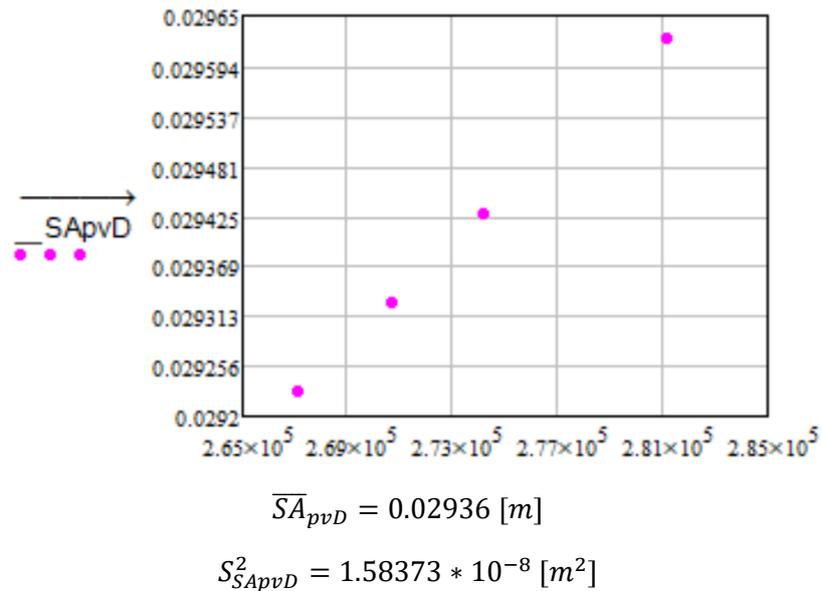
**Tabla 98**

Valores de punta de penetración de pulverización de la mezcla entre aceite de palma virgen (50%) y diésel (50%), aplicando el modelo de Arregle a una compresión regulada

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_{pvD} [m]$	$\tan \left( \frac{\theta_{A_{pvD}}}{2} \right) [rad]$	$SA'_{pvD} [m]$
1	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
2	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
3	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
4	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
5	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
6	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
7	2.812*10E5	0.02962	0.032	0.05611
8	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
9	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
10	2.706*10E5	0.02933	0.032	0.0555
11	2.706*10E5	0.02933	0.032	0.0555
12	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
13	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
14	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
15	2.742*10E5	0.02943	0.032	0.05571
16	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
17	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
18	2.671*10E5	0.02923	0.032	0.0553
19	2.677*10E5	0.02923	0.032	0.0553
20	2.677*10E5	0.02923	0.032	0.0553

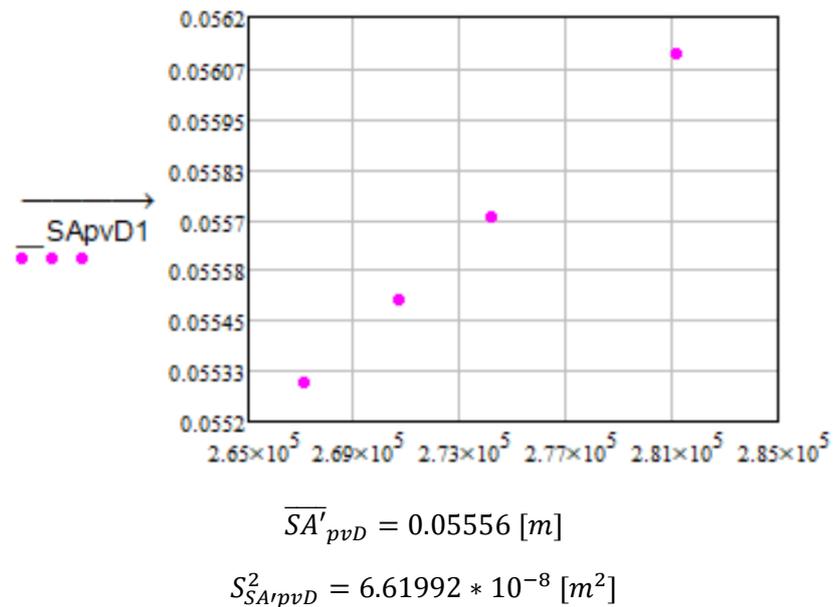
**Figura 164**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel*



**Figura 165**

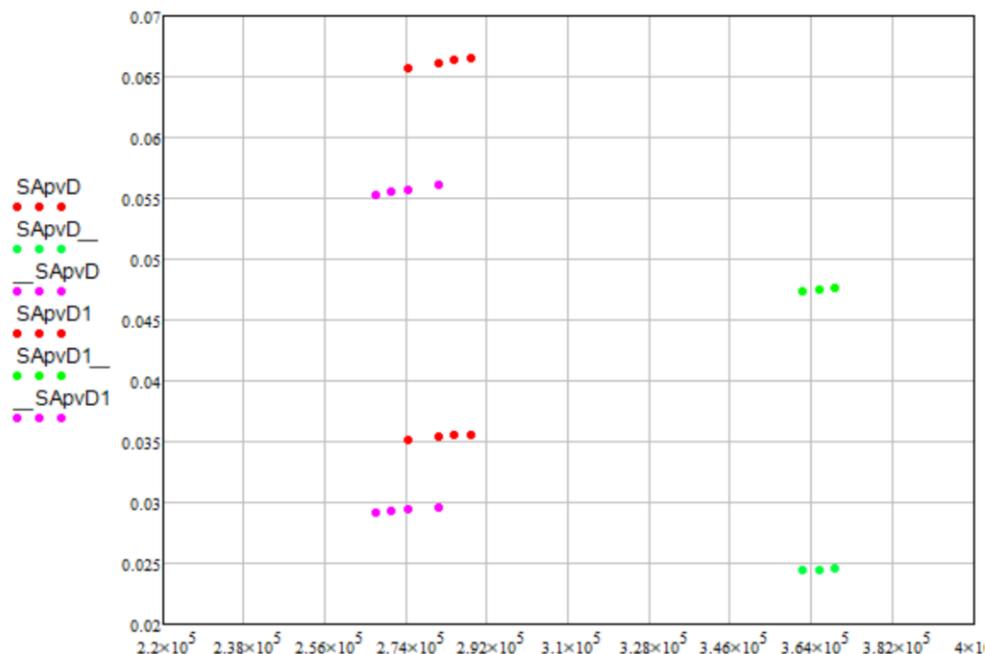
*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle regulada de la mezcla entre Palma virgen - Diésel*



**Figura 166**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en la mezcla entre Palma virgen - Diésel



Nota: En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

**Emulsión (Palma virgen (70%), Etanol (20%), Agua (5%), Tween 80 (5%))**

#### Modelo de Hiroyasu

##### Longitud de ruptura.

$$Lb_E = 7.0 * D_o \left( 1 + 0.4 * \frac{r_r}{D_o} \right) \left( \frac{P_a}{\rho_E * V_i^2} \right)^{0.05} \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{0.13} \left( \frac{\rho_E}{\rho_a} \right)^{0.5}$$

$$Lb_E = 0.168 \text{ [m]}$$

##### Ángulo de cono de pulverización.

$$\theta_{H_E} = 83.5 \left( \frac{L_o}{D_o} \right)^{-0.22} \left( \frac{D_o}{D_c} \right)^{0.15} \left( \frac{\rho_a}{\rho_E} \right)^{0.26}$$

$$\theta_{H_E} = 12.61 \text{ [}^\circ\text{]}$$

##### Punta de penetración de pulverización.

$$SH_E = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} (D_o * tb_E)^{0.5}$$

$$tb_E = 28.65 \left( \frac{\rho_E * D_o}{(\rho_a * \Delta P)^{0.5}} \right)$$

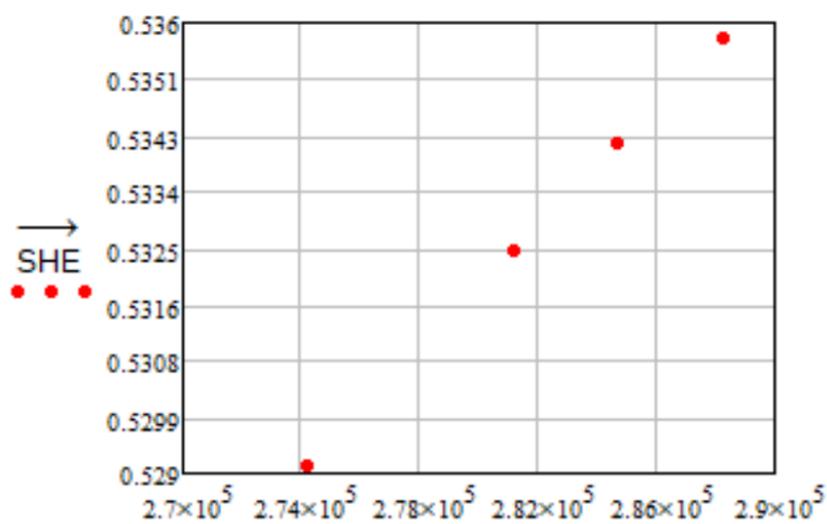
Tabla 99

Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_E [m^{0.5}]$	$SH_E [m]$
1	2.742*10E5	0.061	0.529
2	2.812*10E5	0.06	0.532
3	2.812*10E5	0.06	0.532
4	2.812*10E5	0.06	0.532
5	2.812*10E5	0.06	0.532
6	2.882*10E5	0.06	0.536
7	2.882*10E5	0.059	0.536
8	2.882*10E5	0.059	0.536
9	2.847*10E5	0.059	0.534
10	2.847*10E5	0.059	0.534
11	2.847*10E5	0.059	0.534
12	2.847*10E5	0.059	0.534
13	2.742*10E5	0.061	0.529
14	2.847*10E5	0.059	0.534
15	2.847*10E5	0.059	0.534
16	2.742*10E5	0.061	0.529
17	2.812*10E5	0.06	0.532
18	2.812*10E5	0.06	0.532
19	2.812*10E5	0.06	0.532
20	2.812*10E5	0.06	0.532

Figura 167

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión



$$\overline{SH_E} = 0.533 [m]$$

$$S_{SH_E}^2 = 3.91 * 10^{-6} [m^2]$$

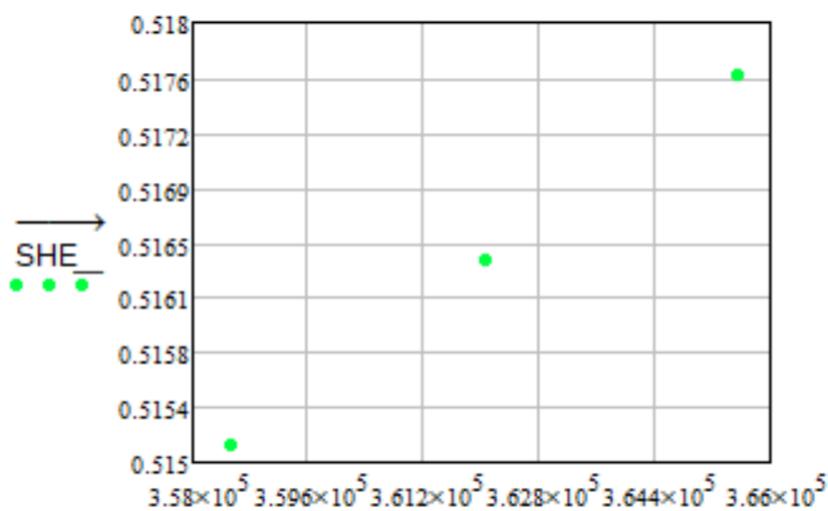
Tabla 100

Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$tb_E [m^{0.5}]$	$SH_E [m]$
1	3.585*10E5	0.053	0.529
2	3.585*10E5	0.053	0.53
3	3.656*10E5	0.052	0.53
4	3.656*10E5	0.052	0.532
5	3.656*10E5	0.052	0.53
6	3.585*10E5	0.053	0.529
7	3.585*10E5	0.053	0.53
8	3.585*10E5	0.053	0.532
9	3.656*10E5	0.052	0.53
10	3.656*10E5	0.052	0.53
11	3.656*10E5	0.052	0.533
12	3.62*10E5	0.053	0.533
13	3.62*10E5	0.053	0.53
14	3.656*10E5	0.052	0.53
15	3.585*10E5	0.053	0.532
16	3.63*10E5	0.053	0.533
17	3.62*10E5	0.053	0.532
18	3.656*10E5	0.052	0.53
19	3.62*10E5	0.053	0.529
20	3.656*10E5	0.052	0.53

Figura 168

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión

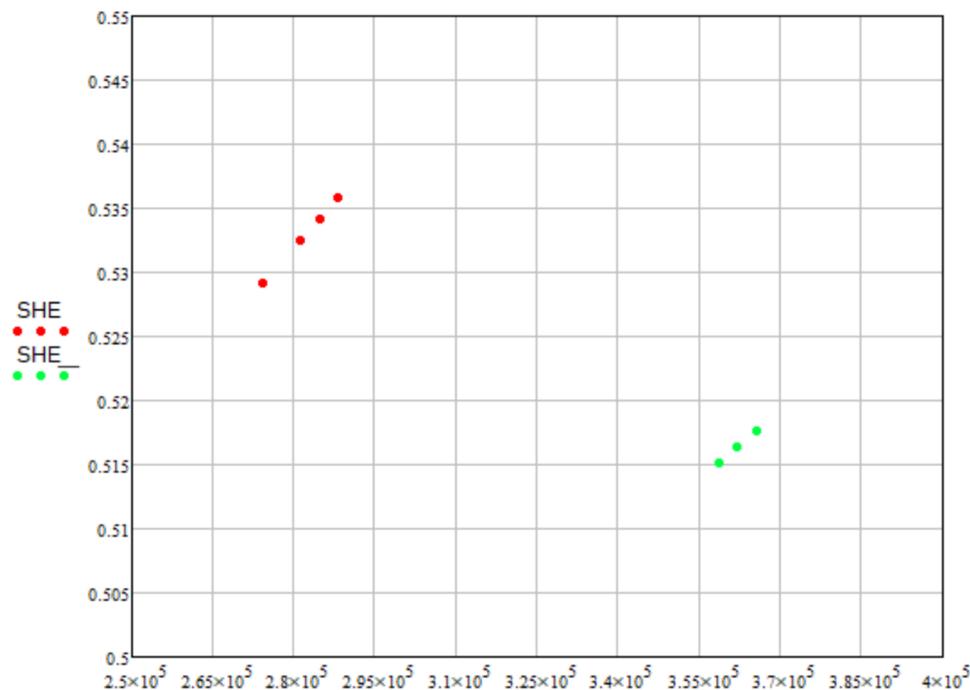


$$\overline{SH}_E = 0.517 [m]$$

$$S_{SH_E}^2 = 1.143 * 10^{-6} [m^2]$$

Figura 169

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Hiroyasu en la mezcla de Emulsión



### Modelo de Castanheira

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan(\varphi_E) = 0.13 \left( 1 + \frac{\rho_a}{\rho_E} \right)$$

$$\theta_{C_E} = \varphi_E * \frac{180}{\pi} = 0.129380 * \frac{180}{\pi} = 7.414 [^\circ]$$

$$\theta_{C_E} = 2 * 7.413 = 14.827 [^\circ]$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SC_E = 3.01 \left( \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.5} * D_o * t \right)^{0.5} \left( \frac{295}{T_a} \right)^{0.25}$$

Tabla 101

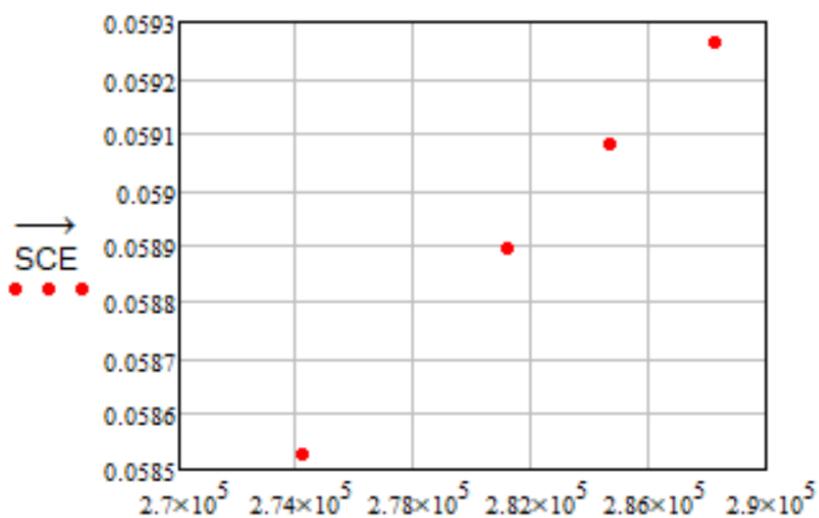
Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_E [m]$
1	2.742*10E5	0.059
2	2.812*10E5	0.059
3	2.812*10E5	0.059

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_E [m]$
4	2.812*10E5	0.059
5	2.812*10E5	0.059
6	2.882*10E5	0.059
7	2.882*10E5	0.059
8	2.882*10E5	0.059
9	2.847*10E5	0.059
10	2.847*10E5	0.059
11	2.847*10E5	0.059
12	2.847*10E5	0.059
13	2.742*10E5	0.059
14	2.847*10E5	0.059
15	2.847*10E5	0.059
16	2.742*10E5	0.059
17	2.812*10E5	0.059
18	2.812*10E5	0.059
19	2.812*10E5	0.059
20	2.812*10E5	0.059

Figura 170

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión*



$$\overline{SC}_E = 0.059 [m]$$

$$S_{SC_E}^2 = 4.784 * 10^{-8} [m^2]$$

Tabla 102

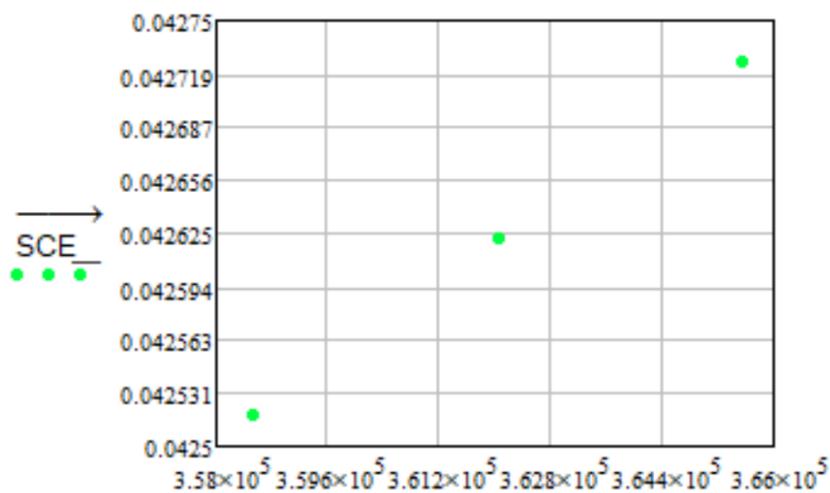
*Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión mayor a la original*

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_E [m]$
1	3.585*10E5	0.043

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SC_E [m]$
2	3.585*10E5	0.043
3	3.656*10E5	0.043
4	3.656*10E5	0.043
5	3.656*10E5	0.043
6	3.585*10E5	0.043
7	3.585*10E5	0.043
8	3.585*10E5	0.043
9	3.656*10E5	0.043
10	3.656*10E5	0.043
11	3.656*10E5	0.043
12	3.62*10E5	0.043
13	3.62*10E5	0.043
14	3.656*10E5	0.043
15	3.585*10E5	0.043
16	3.63*10E5	0.043
17	3.62*10E5	0.043
18	3.656*10E5	0.043
19	3.62*10E5	0.043
20	3.656*10E5	0.043

Figura 171

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión*



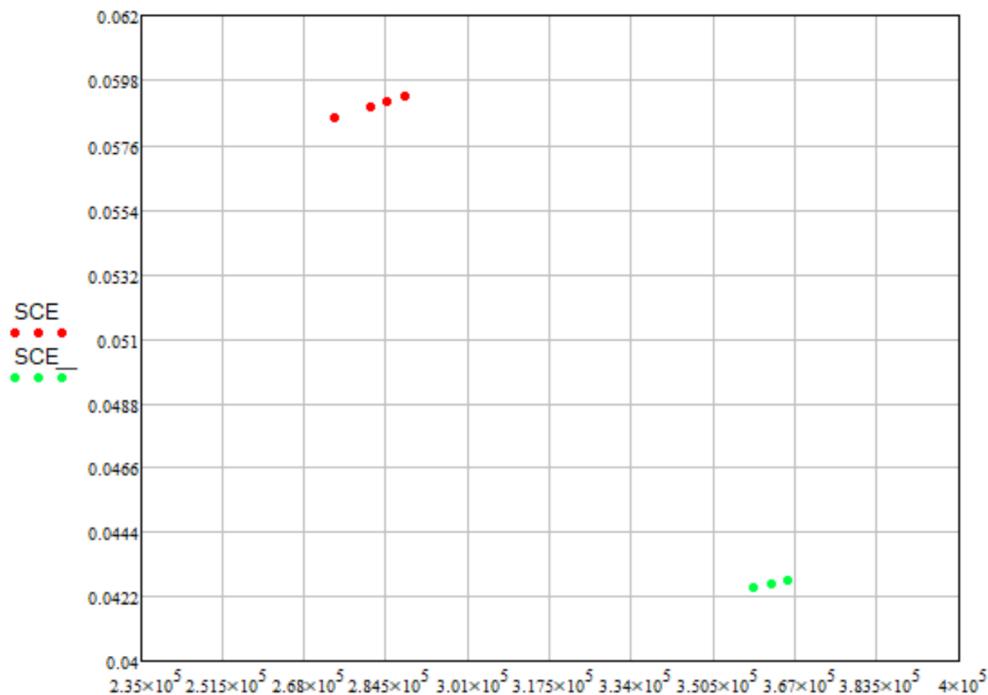
$$\overline{SC_E} = 0.043 [m]$$

$$S_{SC_E}^2 = 7.785 * 10^{-9} [m^2]$$

Figura 172

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Castanheira en la mezcla de Emulsión



**Modelo de Arregle**

Ángulo de cono de pulverización.

$$\tan\left(\frac{\theta_{A_E}}{2}\right) = D_o^{0.508} * \Delta P^{0.00943} * \rho_a^{0.335}$$

Punta de penetración de pulverización.

$$SA_E = D_o^{0.370} * \Delta P^{0.262} * \rho_a^{-0.406} * t^{0.566}$$

$$SA'_E = D_o^{0.608} * \Delta P^{0.283} * \rho_a^{-0.242} * t^{0.523} * \tan\left(\frac{\theta_{A_E}}{2}\right)^{-0.5}$$

**Tabla 103**

Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_E [m]$	$\tan\left(\frac{\theta_{A_E}}{2}\right) [rad]$	$SA'_E [m]$
1	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
2	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
3	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
4	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
5	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
6	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657
7	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657
8	2.882*10E5	0.03561	0.032	0.06657
9	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_E [m]$	$\tan \left( \frac{\theta_{AE}}{2} \right) [rad]$	$SA'_E [m]$
10	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
11	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
12	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
13	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
14	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
15	2.847*10E5	0.03549	0.032	0.06634
16	2.742*10E5	0.03515	0.032	0.06564
17	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
18	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
19	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611
20	2.812*10E5	0.03538	0.032	0.06611

Figura 173

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión

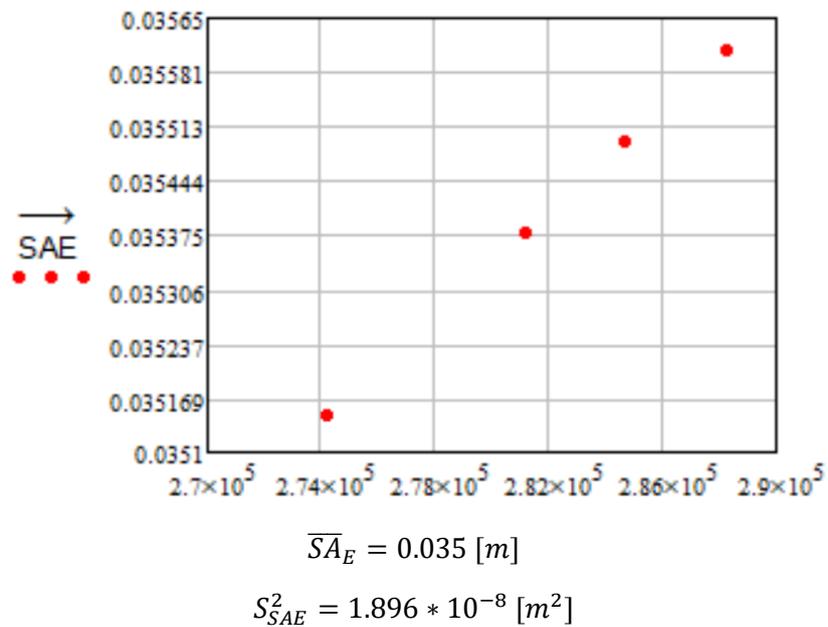
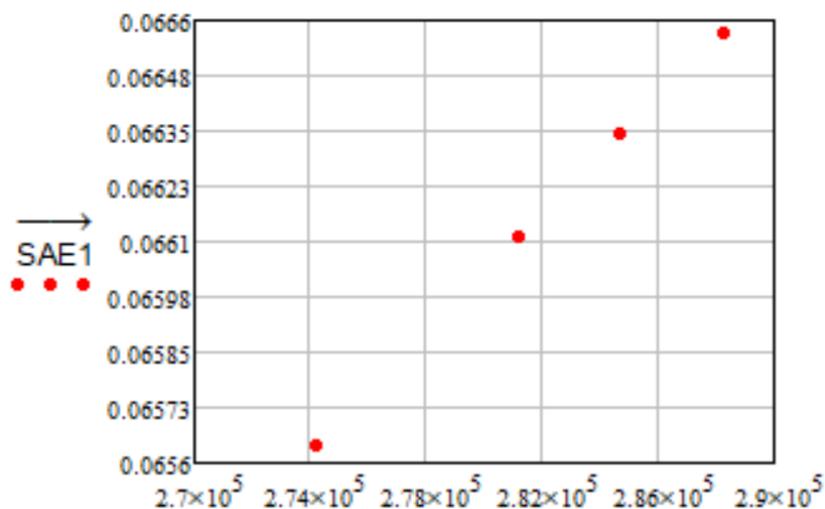


Figura 174

Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que

integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle original de la mezcla de Emulsión



$$\overline{SA'_E} = 0.066 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'_E}^2 = 7.723 \times 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

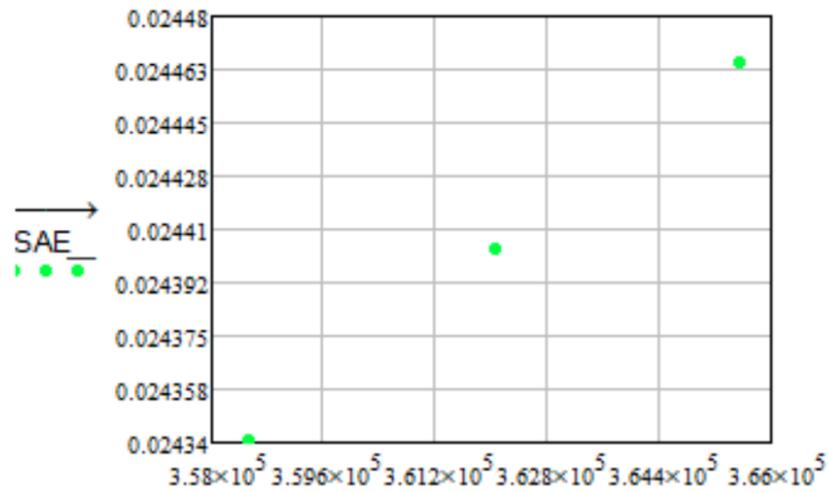
**Tabla 104**

Valores de punta de penetración de pulverización de emulsión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión mayor a la original

Mediciones	$\Delta P \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	$SA_E \text{ [m]}$	$\tan\left(\frac{\theta A_E}{2}\right) \text{ [rad]}$	$SA'_E \text{ [m]}$
1	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
2	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
3	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
4	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
5	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
6	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
7	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
8	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
9	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
10	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
11	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
12	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
13	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
14	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
15	3.585*10E5	0.02434	0.032	0.04726
16	3.63*10E5	0.0244	0.032	0.04739
17	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
18	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752
19	3.62*10E5	0.0244	0.032	0.04739
20	3.656*10E5	0.02447	0.032	0.04752

**Figura 175**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión*

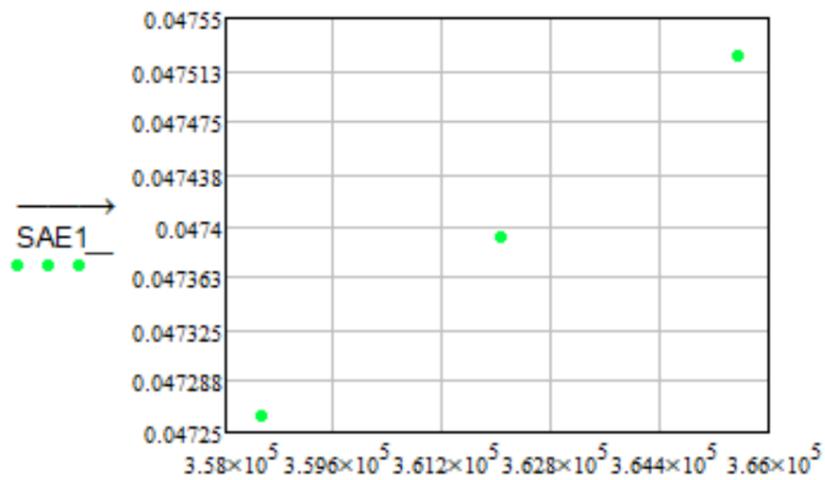


$$\overline{SA}_E = 0.024 \text{ [m]}$$

$$S_{SAE}^2 = 2.803 \times 10^{-9} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 176**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, aplicando el modelo de Arregle que integra como factor de cálculo el ángulo de cono de pulverización a una compresión de muelle mayor a la original de la mezcla de Emulsión*



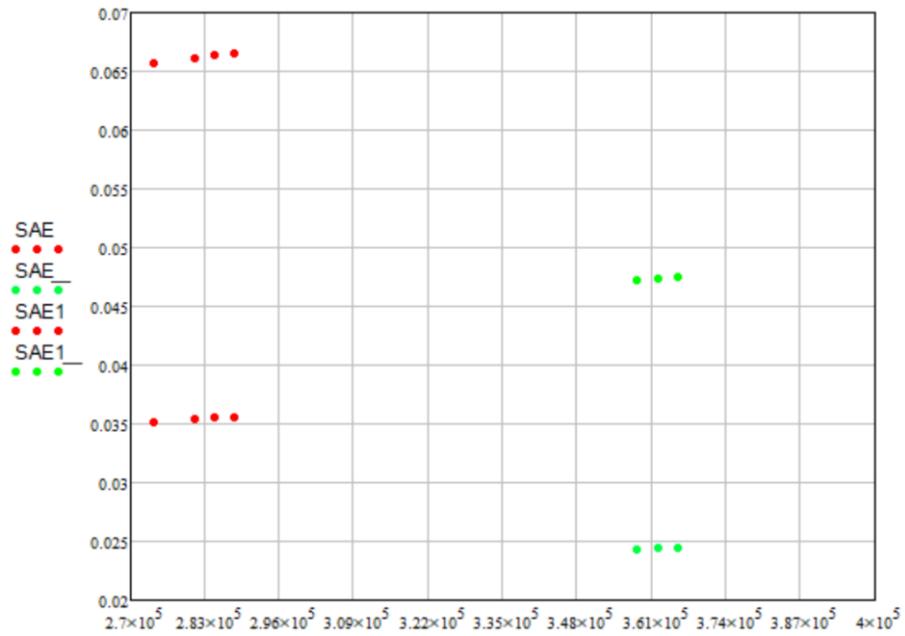
$$\overline{SA}'_E = 0.047 \text{ [m]}$$

$$S_{SA'E}^2 = 1.233 \times 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$$

**Figura 177**

*Punta de penetración de pulverización vs. Diferencia de presión, representado todas las*

compresiones que se trabajaron experimentalmente y aplicando el modelo de Arregle en la mezcla de Emulsión



*Nota:* En esta figura podemos observar la diferencia de valores que se obtienen en la punta de penetración de pulverización, al usar el modelo de Arregle normal y el modelo de Arregle el cual se integra el ángulo de cono de pulverización como factor de cálculo, y se entiende que el valor se duplica al usar el modelo modificado.

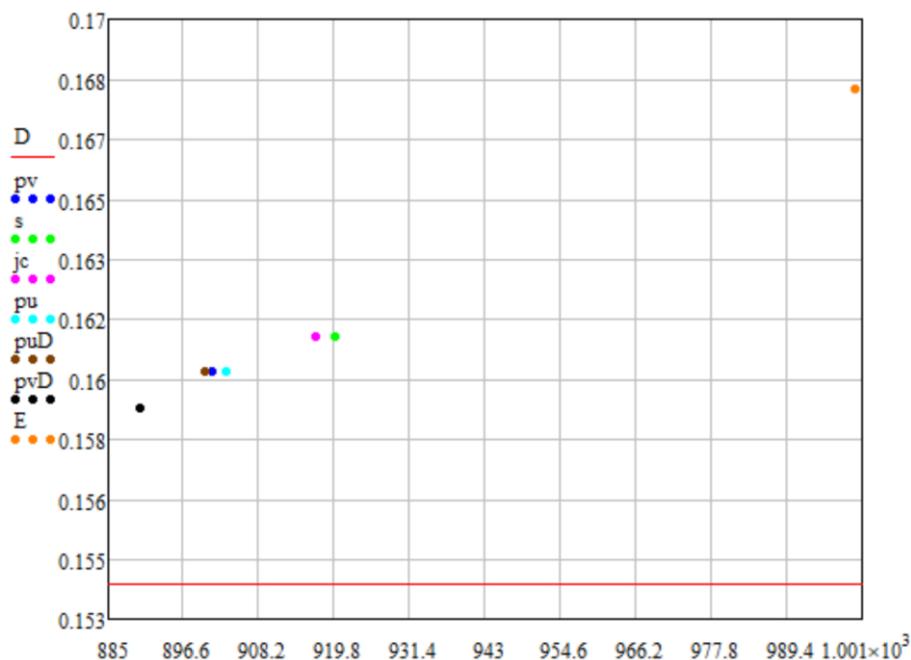
## CAPITULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados que se mencionaran en este capítulo, se obtuvieron mediante análisis gráfico y matemático, estos fueron analizados para diferentes parámetros de pulverización en los distintos modelos convencionales que se trabajó a lo largo de la investigación, cabe mencionar que la mayoría de dichos modelos fueron realizados específicamente para combustible diésel; por lo tanto, al momento de realizar nuestras graficas comparativas, nuestros valores centrales y punto de comparación principal se tomó a la prueba realizada con combustible diésel, estos valores obtenidos nos servirán para obtener el desfase y la variación que ocurre al utilizar un biocombustible o aceite vegetal en un modelo convencional obtenido para combustible fósil.

### Longitud de ruptura de pulverización en Modelo de Hiroyasu

#### Figura 178

*Longitud de ruptura de pulverización de Hiroyasu vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de longitud de ruptura de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Hiroyasu, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

#### Tabla 105

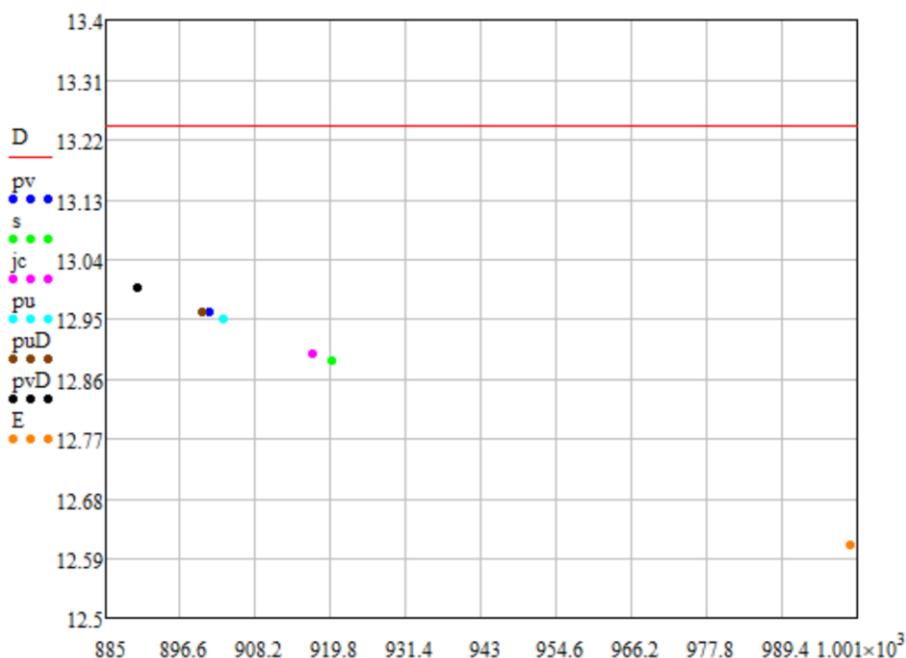
Errores obtenidos para las longitudes de ruptura de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu.

Combustible	Longitud de ruptura [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.16	3.896
Soja	0.161	4.545
Jatropha curcas	0.161	4.545
Diésel	0.154	0
Palma usada	0.16	3.896
Palma usada – diésel	0.16	3.896
Palma virgen – diésel	0.159	3.247
Emulsión	0.168	9.091
<b>Promedio</b>		<b>4.14</b>

### Ángulo de cono de pulverización en Modelo de Hiroyasu

Figura 179

Ángulo de cono de pulverización de Hiroyasu vs. densidad



Nota: Los valores obtenidos de ángulo de cono de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Hiroyasu, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

Tabla 106

Errores obtenidos para el ángulo de cono de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu.

Combustible	Ángulo de cono de pulverización [°]	ERROR [%]
Palma virgen	12.956	2.115
Soja	12.886	2.674
Jatropha curcas	12.897	2.591
Diésel	13.24	0

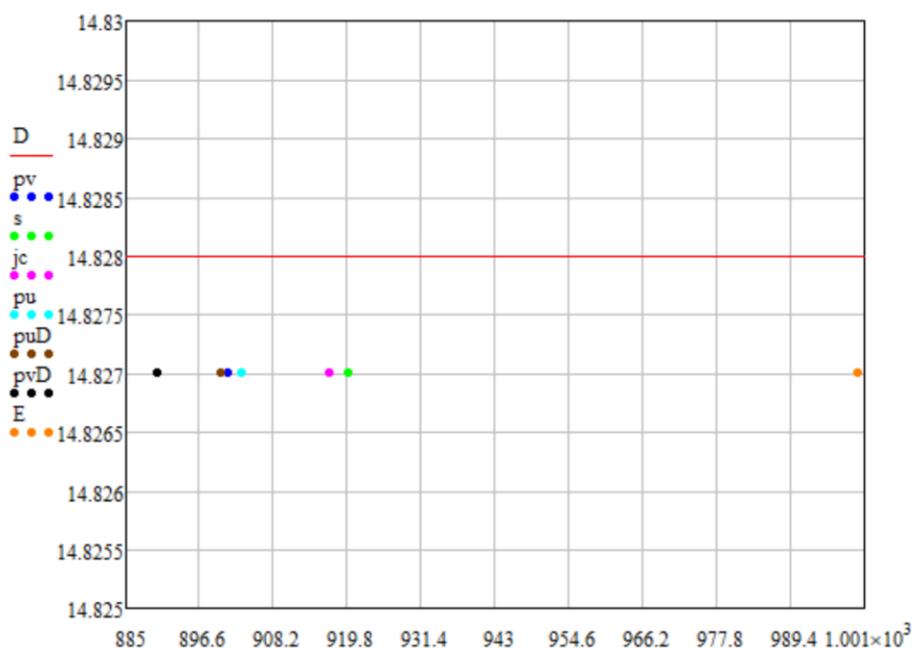
Combustible	Ángulo de cono de pulverización [°]	ERROR [%]
Palma usada	12.949	2.198
Palma usada – diésel	12.96	2.115
Palma virgen – diésel	12.998	1.828
Emulsión	12.61	4.758
<b>Promedio</b>		<b>2.285</b>

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 105 y tabla 106, al evaluar todos los aceites vegetales y sus diferentes mezclas en el modelo establecido por Hiroyasu, conociendo que este modelo se empleó para combustible diésel, tenemos errores pequeños al usar solamente biocombustible, pero al usarlos en proporciones iguales con diésel los valores decrecen, mas no es así en el caso de la emulsión, ya que al usar palma virgen y etanol, los valores se incrementan demostrando que no es factible evaluar este tipo de combustible con este modelo.

### Ángulo de cono de pulverización en Modelo de Castanheira

**Figura 180**

*Ángulo de cono de pulverización de Castanheira vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de ángulo de cono de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Castanheira, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

En el caso de este modelo, no se realizó cálculo de errores ya que como se puede observar en la figura 180, los valores tienen a ser los mismos, esto se da que en las formulas establecidas

por Castanheira, la densidad del combustible a evaluar no afecta en el valor del ángulo de cono de pulverización que se obtendrá.

**Tabla 107**

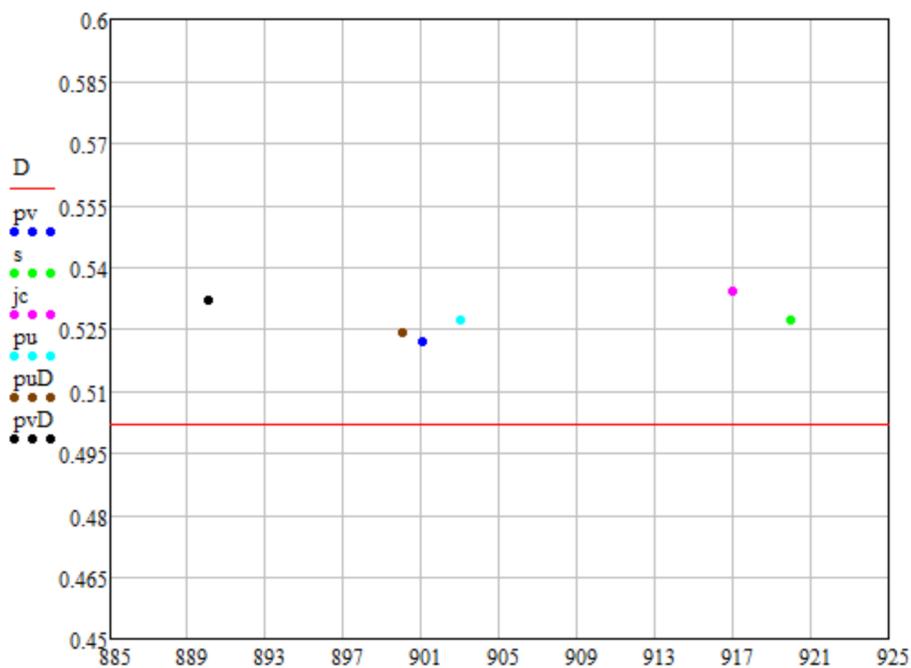
*Resumen de valores de punta de penetración de pulverización de diferentes fluidos de trabajo aplicados a diferentes modelos matemáticos*

Fluido	Modelo	Compresión original [m]	Menor compresión [m]	Mayor compresión [m]	Compresión regulada [m]
Palma virgen	$SH_{pv}$	0.522	0.525	0.523	0.5265
	$SC_{pv}$	0.058	0.069	0.043	0.051
	$SA_{pv}$	0.03479	0.04276	0.02471	0.02972
	$SA'_{pv}$	0.06491	0.07809	0.04803	0.05631
Soja	$SH_s$	0.527	0.532	0.53	0.527
	$SC_s$	0.058	0.067	0.043	0.05
	$SA_s$	0.03479	0.04131	0.02445	0.02948
	$SA'_s$	0.06491	0.07524	0.04739	0.05586
Jatropha Curcas	$SH_{jc}$	0.534	0.529	0.527	0.527
	$SC_{jc}$	0.058	0.071	0.043	0.051
	$SA_{jc}$	0.03485	0.0436	0.02474	0.02943
	$SA'_{jc}$	0.06414	0.07974	0.04805	0.05571
Diésel	$SH_D$	0.502	0.503	0.502	-
	$SC_D$	0.056	0.069	0.042	-
	$SA_D$	0.03364	0.04258	0.02409	-
	$SA'_D$	0.06261	0.07775	0.04673	-
Palma usada	$SH_{pu}$	0.527	-	0.523	0.524
	$SC_{pu}$	0.058	-	0.043	0.051
	$SA_{pu}$	0.03491	-	0.02471	0.02972
	$SA'_{pu}$	0.06516	-	0.04803	0.05631
Palma usada - Diésel	$SH_{puD}$	0.524	-	0.516	0.524
	$SC_{puD}$	0.058	-	0.043	0.051
	$SA_{puD}$	0.03470	-	0.02447	0.02982
	$SA'_{puD}$	0.06467	-	0.04752	0.0565
Palma virgen - Diésel	$SH_{pvD}$	0.532	-	0.517	0.516
	$SC_{pvD}$	0.059	-	0.043	0.05
	$SA_{pvD}$	0.03524	-	0.0244	0.02943
	$SA'_{pvD}$	0.06572	-	0.04739	0.05571
Emulsión	$SH_E$	0.534	-	0.533	-
	$SC_E$	0.059	-	0.043	-
	$SA_E$	0.03551	-	0.02444	-
	$SA'_E$	0.06652	-	0.04743	-

## Punta de penetración de pulverización en Modelo de Hiroyasu

Figura 181

*Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

Tabla 108

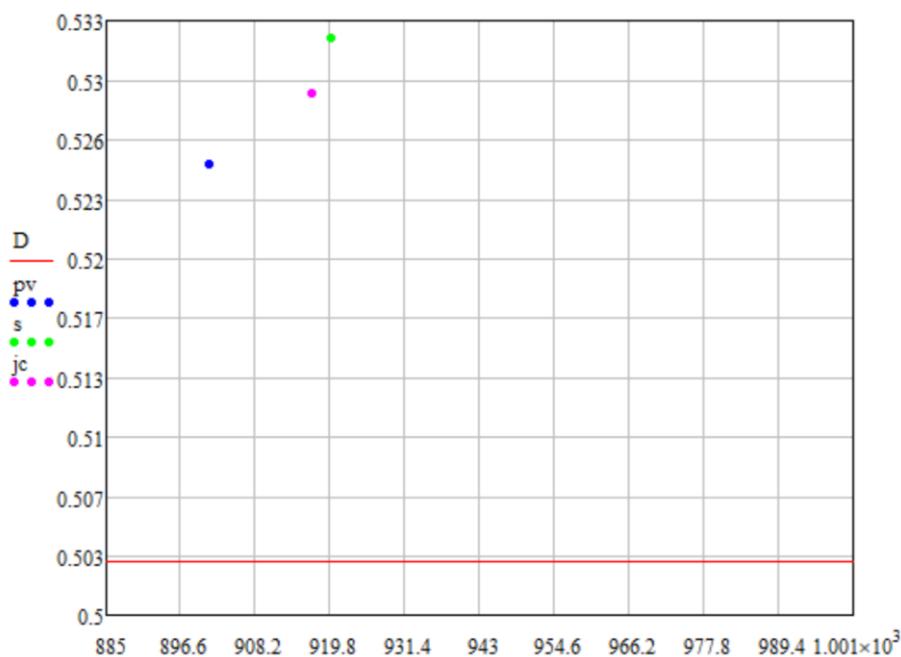
*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle original.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.522	3.984
Soja	0.527	4.98
Jatropha curcas	0.534	6.375
Diésel	0.502	0
Palma usada	0.527	4.98
Palma usada – diésel	0.524	4.382
Palma virgen – diésel	0.532	5.976
Emulsión	0.534	6.375
<b>Promedio</b>		<b>4.631</b>

Al analizar estos resultados tanto de la gráfica 181, con los valores de errores obtenidos en la tabla 108, el aceite que mejor se ajusta a este modelo, y en condiciones de prueba a compresión de muelle original, es el aceite de palma virgen.

**Figura 182**

*Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión menor a la original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 109**

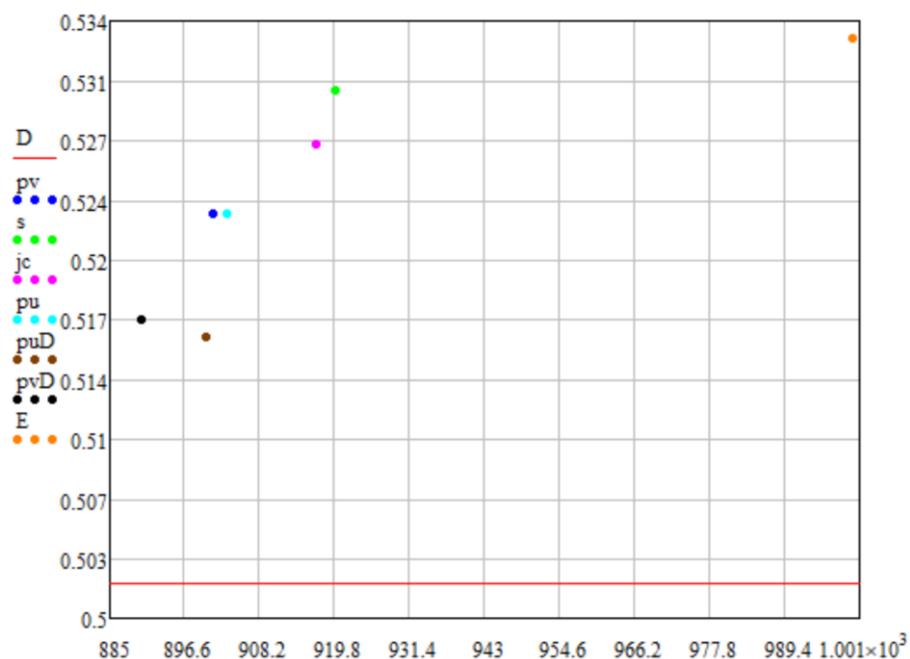
*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle menor a la original.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.525	4.374
Soja	0.532	5.765
Jatropha curcas	0.529	5.169
Diésel	0.503	0
Palma usada	-	-
Palma usada – diésel	-	-
Palma virgen – diésel	-	-
Emulsión	-	-
<b>Promedio</b>		<b>1.914</b>

En este caso, en pruebas realizadas a compresión de muelle menor a la original, el aceite vegetal que se comportaría de mejor manera con el modelo convencional de Hiroyasu es el aceite de palma virgen.

**Figura 183**

*Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión mayor a la original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 110**

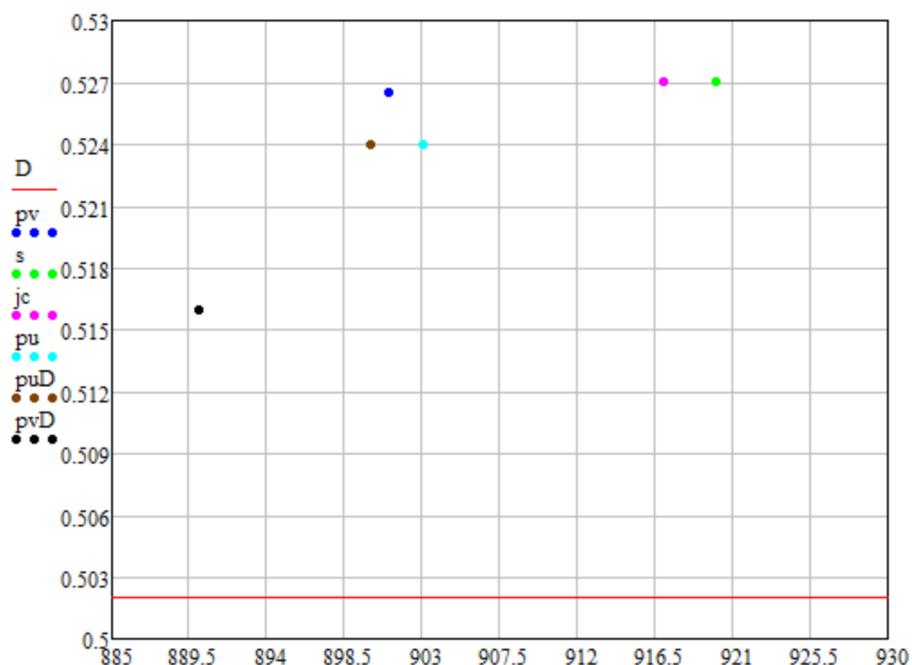
*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle mayor a la original.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.523	4.183
Soja	0.53	5.578
Jatropha curcas	0.527	4.98
Diésel	0.502	0
Palma usada	0.523	4.183
Palma usada – diésel	0.516	2.789
Palma virgen – diésel	0.517	2.988
Emulsión	0.533	6.175
<b>Promedio</b>		<b>3.86</b>

Para condiciones de prueba de compresión mayor a la original, las mezclas que se ajustan de mejor manera al modelo de Hiroyasu son las de palma virgen y palma usada con diésel.

**Figura 184**

*Punta de penetración de pulverización de Hiroyasu a compresión regulada vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 111**

*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Hiroyasu a una compresión de muelle regulada.*

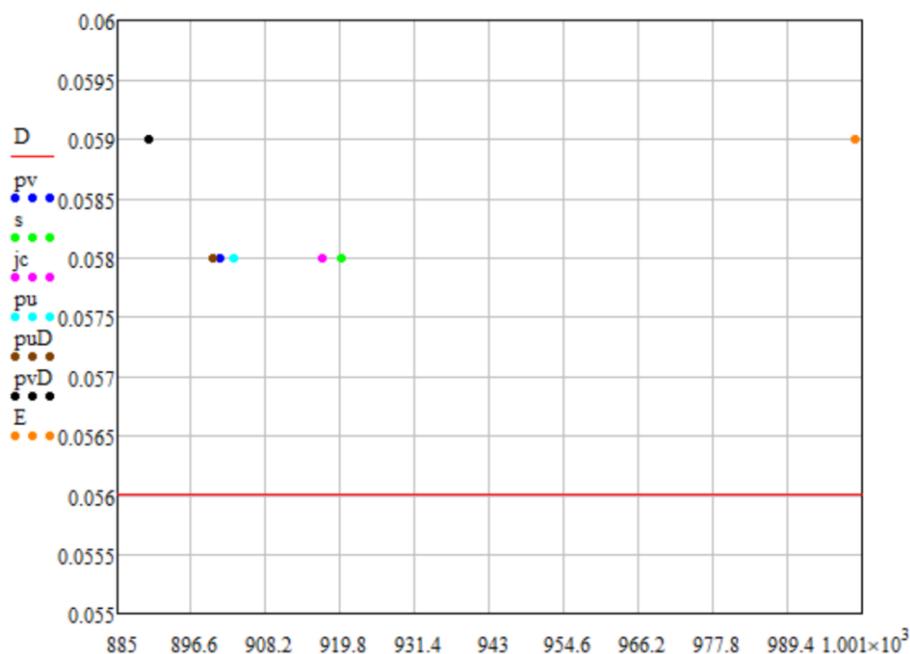
Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.5265	4.88
Soja	0.527	4.98
Jatropha curcas	0.527	4.98
Diésel	0.502	0
Palma usada	0.524	4.382
Palma usada – diésel	0.524	4.382
Palma virgen – diésel	0.516	2.789
Emulsión	-	-
<b>Promedio</b>		<b>3.299</b>

En el caso de condiciones de prueba, regulando la compresión en el muelle con el fin de obtener valores similares a los de pruebas con combustible diésel, la mezcla entre aceite de palma virgen y diésel es el que mejor se comportaría.

## Punta de penetración de pulverización en Modelo de Castanheira

Figura 185

*Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

Tabla 112

*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle original.*

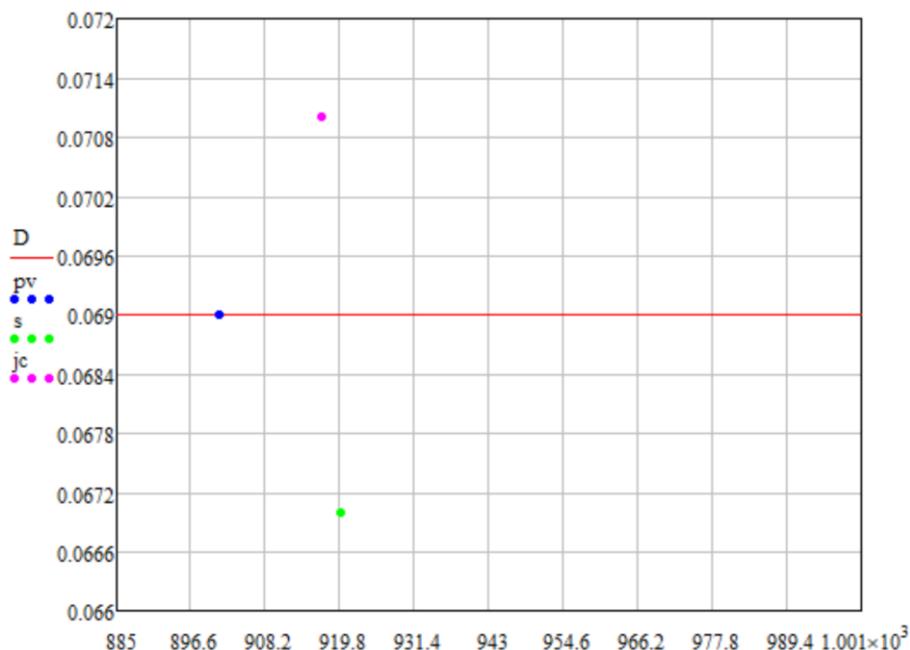
Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.058	3.571
Soja	0.058	3.571
Jatropha curcas	0.058	3.571
Diésel	0.056	0
Palma usada	0.058	3.571
Palma usada – diésel	0.058	3.571
Palma virgen – diésel	0.059	5.357
Emulsión	0.059	5.357
<b>Promedio</b>		<b>3.571</b>

En el caso del modelo de Castanheira, el estudio del mismo está realizado para biocombustibles, por ende, el comportamiento de varios de ellos como se puede observar en la figura 185, es similar, mas no es así en el caso de la mezcla de aceite de palma virgen con diésel, y

en el caso de la emulsión, siendo estos los que mayor valor de error representan en el caso de pruebas realizadas a compresión de muelle original.

**Figura 186**

*Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión menor a la original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 113**

*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle menor a la original.*

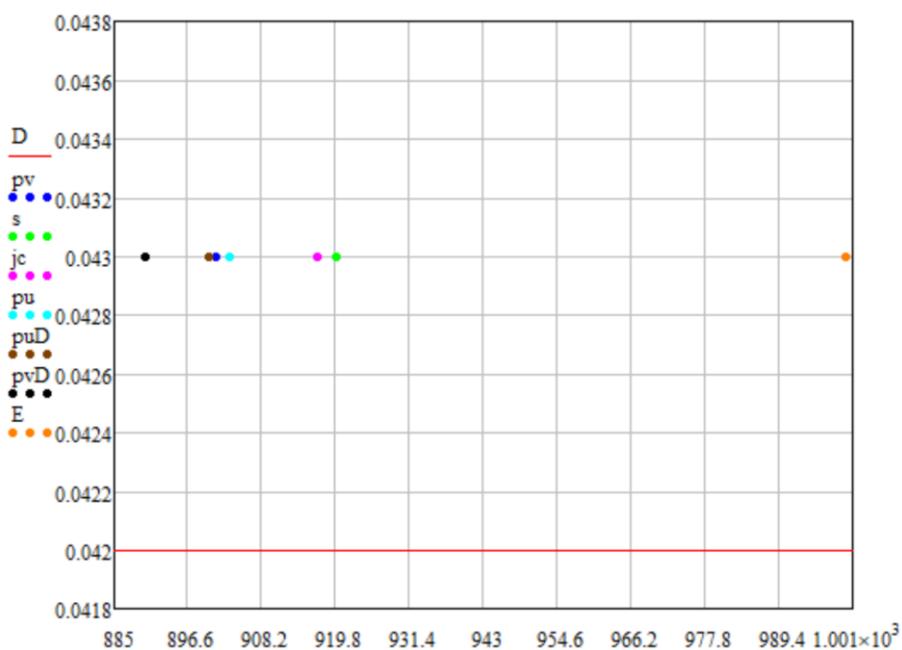
Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.069	0
Soja	0.067	2.899
Jatropha curcas	0.071	2.899
Diésel	0.069	0
Palma usada	-	-
Palma usada – diésel	-	-
Palma virgen – diésel	-	-
Emulsión	-	-
<b>Promedio</b>		<b>2.899</b>

En el caso de la prueba realizada a compresión de muelle menor a la original, podemos notar que el combustible que se asimila de mejor manera a nuestro modelo convencional es el

aceite de palma virgen.

**Figura 187**

*Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión mayor a la original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 114**

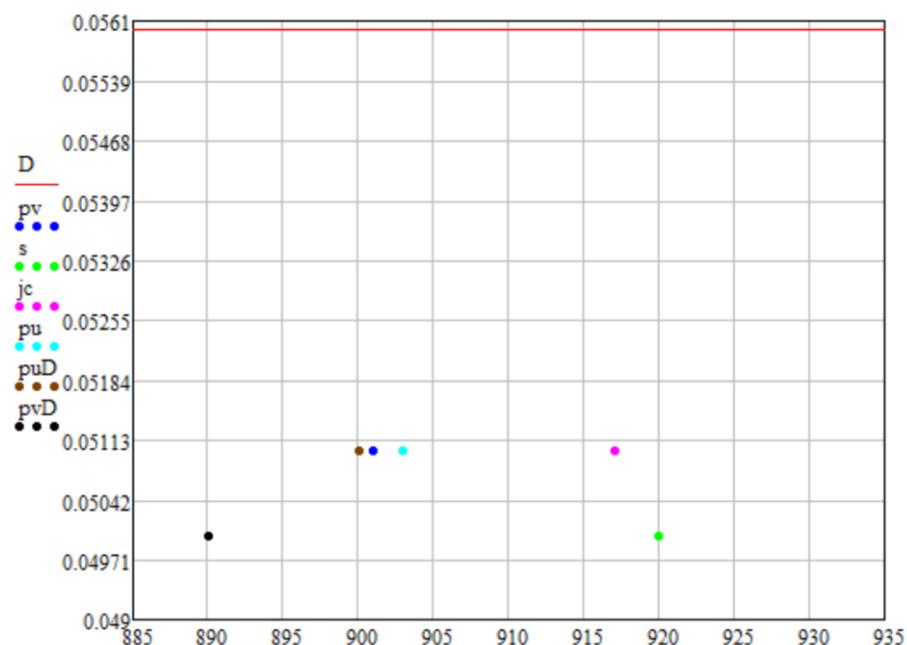
*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle mayor a la original.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.043	0.199
Soja	0.043	0.199
Jatropha curcas	0.043	0.199
Diésel	0.042	0
Palma usada	0.043	0.199
Palma usada – diésel	0.043	0.199
Palma virgen – diésel	0.043	0.199
Emulsión	0.043	0.199
<b>Promedio</b>		<b>0.174</b>

En el caso de la prueba realizada a compresión de muelle mayor a la original, podemos notar que todos los combustibles tienden a comportarse de manera similar al aplicarlos en este modelo.

**Figura 188**

*Punta de penetración de pulverización de Castanheira a compresión regulada vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 115**

*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Castanheira a una compresión de muelle regulada.*

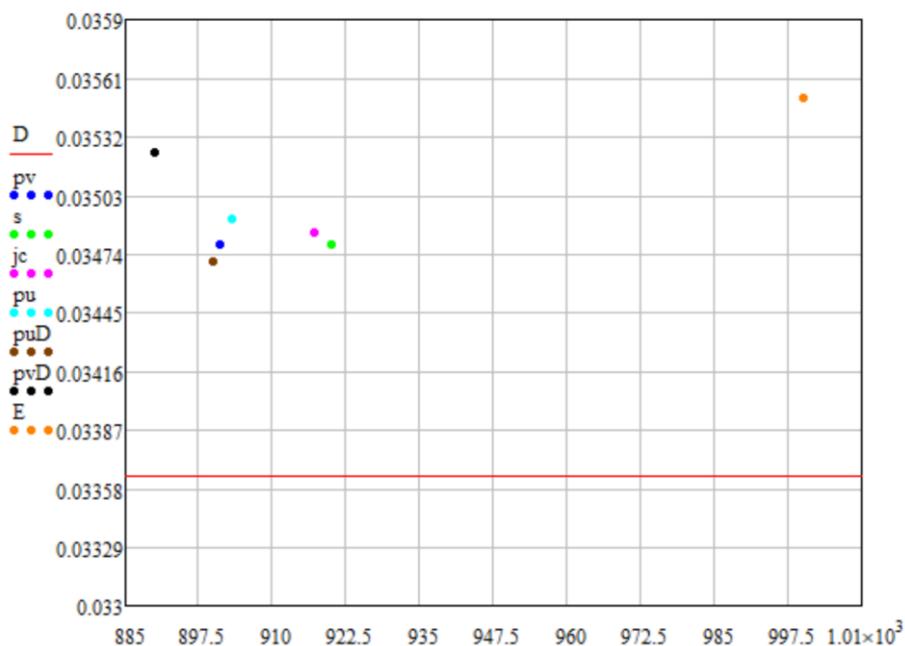
Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.051	8.929
Soja	0.05	10.714
Jatropha curcas	0.051	8.929
Diésel	0.056	0
Palma usada	0.051	8.929
Palma usada – diésel	0.051	8.929
Palma virgen – diésel	0.05	10.714
Emulsión	-	-
<b>Promedio</b>		<b>7.143</b>

En este caso, optando por regular la compresión del muelle de prueba, se puede observar y entender que existen varios combustibles que se comportan de manera similar al aplicarse en este modelo, mas no así el aceite de soja, y la mezcla entre palma virgen y diésel.

## Punta de penetración de pulverización en Modelo de Arregle

Figura 189

*Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

Tabla 116

*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle original.*

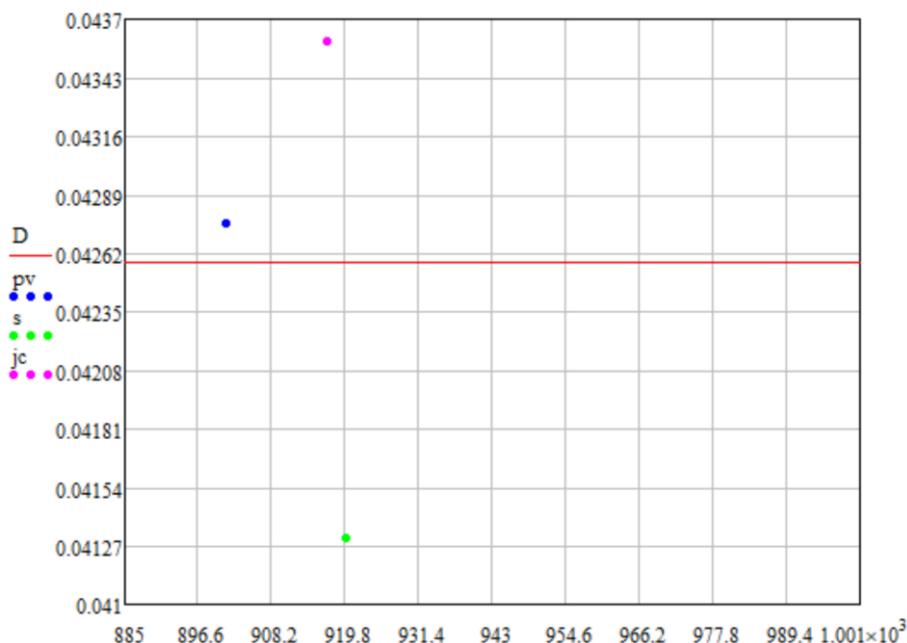
Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.03479	3.419
Soja	0.03479	3.419
Jatropha curcas	0.03485	3.597
Diésel	0.03364	0
Palma usada	0.03491	3.775
Palma usada – diésel	0.03470	3.151
Palma virgen – diésel	0.03524	4.756
Emulsión	0.03551	5.559
<b>Promedio</b>		<b>3.459</b>

Con los resultados obtenidos al aplicar el modelo convencional de arregle, en una prueba realizada a compresión original, el aceite vegetal o mezcla que mejor se ajusta a este modelo es la

mezcla entre aceite de palma usada y diésel en proporciones similares, pero a su vez al tratarse de valores pequeños, se podrían ajustar también a otros aceites vegetales como palma virgen y soja.

**Figura 190**

*Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión menor a la original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 117**

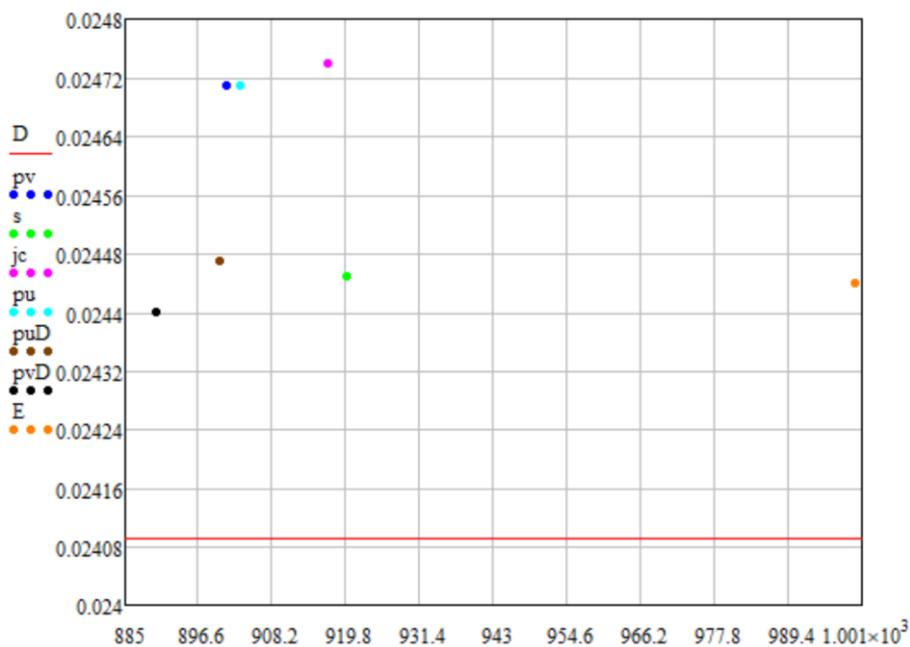
*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle menor a la original.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.04276	0.423
Soja	0.04131	2.983
Jatropha curcas	0.0436	2.395
Diésel	0.04258	0
Palma usada	-	-
Palma usada – diésel	-	-
Palma virgen – diésel	-	-
Emulsión	-	-
<b>Promedio</b>		<b>0.021</b>

Realizando el análisis en pruebas a compresión de muelle menor a la original, podemos observar gráficamente que el aceite vegetal que se comporta de mejor manera con este modelo, es el aceite de palma virgen.

**Figura 191**

*Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión mayor a la original vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 118**

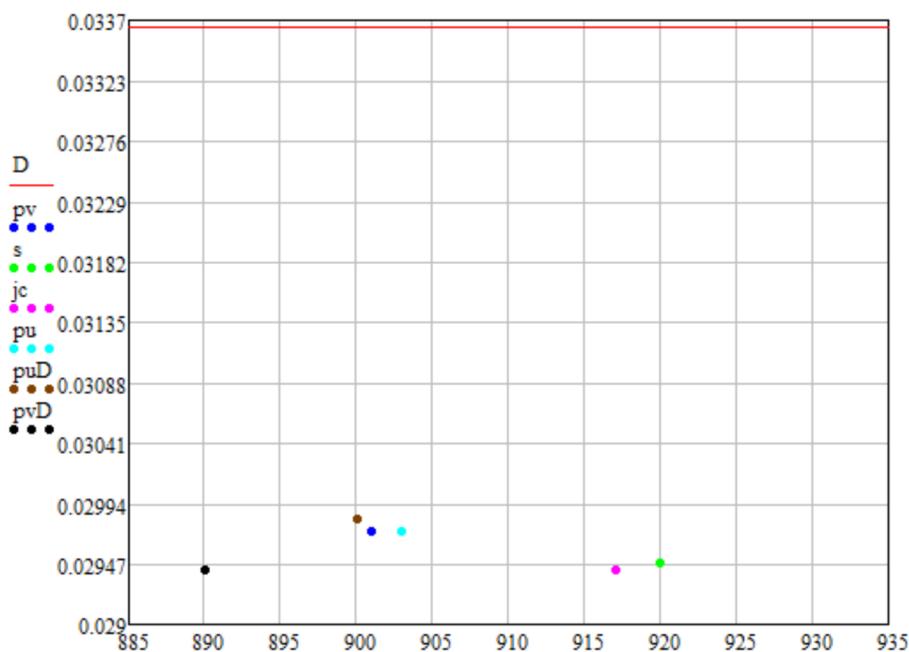
*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle mayor a la original.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.02471	2.574
Soja	0.02445	1.494
Jatropha curcas	0.02474	2.698
Diésel	0.02409	0
Palma usada	0.02471	2.574
Palma usada – diésel	0.02447	1.577
Palma virgen – diésel	0.0244	1.287
Emulsión	0.02444	1.453
<b>Promedio</b>		<b>1.707</b>

En pruebas a compresión de muelle mayor a la original, concluimos que el mejor aceite vegetal, o en este caso, mezcla entre aceite de palma virgen y diésel en cantidades proporcionales, es el que mejor se comporta con el modelo convencional de Arregle, y el que más error se obtuvo es el aceite de Jatropha Curcas.

**Figura 192**

*Punta de penetración de pulverización de Arregle a compresión regulada vs. densidad*



*Nota:* Los valores obtenidos de la punta de penetración de pulverización de todos nuestros aceites vegetales y mezclas, aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada, se comparan con los valores del combustible Diésel que está representado por la línea continua de color rojo.

**Tabla 119**

*Errores obtenidos para la punta de penetración de pulverización de los combustibles aplicados en el modelo de Arregle a una compresión de muelle regulada.*

Combustible	Punta de penetración de pulverización [m]	ERROR [%]
Palma virgen	0.02972	11.653
Soja	0.02948	12.366
Jatropha curcas	0.02943	12.515
Diésel	0.03364	0
Palma usada	0.02972	11.653
Palma usada – diésel	0.02982	11.356
Palma virgen – diésel	0.02943	12.515
Emulsión	-	-
<b>Promedio</b>		<b>9.007</b>

En el caso de la prueba a compresión de muelle regulado, se observa que ningún aceite vegetal se comporta de manera satisfactoria con el modelo de Arregle, dándonos valores altos de errores, concluyendo que en este caso ningún aceite es adecuado.

## CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis realizado en la presente tesis, así como de la información y datos levantados, se desprenden las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Al evaluar los resultados obtenidos gráficamente, en el caso del modelo de Hiroyasu, se puede concluir que el aceite vegetal que posee mejor comportamiento con dicho modelo, es la mezcla entre el aceite de palma virgen y diésel en proporciones iguales, ya que al realizar el análisis tanto para la longitud de ruptura y el ángulo de cono de pulverización, el mismo posee un menor error al comparar sus valores con un valor base del combustible diésel, esto se realizó tomando en cuenta que este modelo convencional fue realizado para comportamientos de combustible diésel.

Al evaluar los resultados obtenidos la longitud de ruptura y ángulo de cono de pulverización en los diferentes métodos, se hace evidente que este parámetro tiende a aumentar a medida que aumenta el contenido de biodiesel en la mezcla en todas las condiciones operativas. Esto es una consecuencia de los efectos de una mayor gravedad específica, tensión superficial y viscosidad de las mezclas de diésel / biodiesel, esto se puede observar en las figuras 178 y 179, que al incrementar su densidad también incrementa sus valores en comparación a valores base de combustible diésel.

Con los datos obtenidos y los análisis realizados, se puede concluir que el modelo matemático que valida y se ajusta a los comportamientos de los aceites vegetales y sus mezclas es el modelo presentado por Castanheira; dado que este modelo es el único de los estudiados que trabaja con biocombustibles y estudia los diferentes comportamientos de los parámetros de pulverización en su investigación, a su vez se puede mencionar que este modelo utiliza como base matemática de estudio los modelos de Dent, Abramovich y Elkbot.

Al observar los comportamientos de las gráficas de puntas de penetración de pulverización en el modelo convencional de Hiroyasu, y los análisis presentados en el capítulo 5, el aceite que

mejor se comporta con este modelo es el aceite de palma virgen, así como su mezcla con diésel en cantidades similares, mencionando que un mayor contenido de biodiesel en este tipo de mezclas podría comprometer la calidad de atomización. En tales casos, podría esperarse un mayor consumo de combustible y emisiones de niveles más altos de hidrocarburos no quemados.

De acuerdo con lo analizado en el capítulo 5 de este proyecto, mencionando el modelo matemático de Castanheira, se destaca la importancia del estudio del mismo al ser realizado específicamente para biocombustibles; ya que, de esta manera podríamos asemejar de mejor forma el comportamiento de varios de los aceites vegetales y mezclas usados en este trabajo, así pues, se puede decir que entre los aceites que mejor se ajustan a este modelo están la mayoría, exceptuando a la mezcla de aceite de palma virgen con diésel, y a la emulsión, que se obtuvo errores mayores en diferentes pruebas a distintas compresiones.

Al terminar el análisis para el modelo convencional de Arregle, interesante en su pleno desarrollo, ya que en este modelo específicamente tenemos ecuaciones directas que relacionan el ángulo de cono de pulverización con la punta de penetración de pulverización, las cuales nos sirvieron para comprender el efecto que tiene un parámetro sobre el otro, por otro lado, con los análisis gráficos y los errores obtenidos, podemos concluir que entre los aceites que mejor se comportan a este método es el aceite de palma virgen, en ciertas pruebas realizadas, mas no en todas, ya que en la prueba a compresión regulada, no existe ningún biocombustible que se asemeje a los valores del diésel que se tiene como punto de comparación.

Los efectos observados sobre los parámetros que definen la calidad de la atomización fueron más pronunciados a medida que se usaba diferentes tipos de biodiesel en las mezclas o ya sea una mezcla entre biodiesel/ diésel, esto se puede observar claramente al incrementar la densidad del combustible utilizado, o en si al realizar alteraciones en el muelle de compresión del banco de pruebas; por consiguiente, para tratar de obtener resultados exactos del comportamiento de los parámetros de atomización es recomendable unas mejores calidades de

operación tanto como instrumentos de medidas experimentales, con el fin de obtener valores más exactos con los cuales trabajar en los modelos convencionales, ya que dichos modelos, fueron realizados en mejores condiciones de prueba.

Se sugiere, al realizar las pruebas experimentales, buscar métodos de medida de mayor exactitud, los instrumentos de medida que se utilizaron al obtener los diferentes parámetros de pulverización no fueron los adecuados, ya que existe otro parámetro importante en la pulverización que es el tiempo de ruptura, y para medir el mismo se necesita un tipo de cámara con mayor exactitud ya que este parámetro se relaciona directamente con la longitud de ruptura y al no poseer valores experimentales adecuados, tendríamos problemas al evaluar los aceites vegetales y sus mezclas en los modelos matemáticos, obteniendo valores no acordes a la realidad.

**BIBLIOGRAFIA**

Arrégle, J., Pastor, J., & Ruiz, S. (1999). The Influence of Injection Parameters on Diesel Spray Characteristics. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: SAE International.

Castanheira, M., & Murta, M. (2005). The influence of physico-chemical Properties of diesel/biodiesel mixtures on Atomization Quality in diesel Injection Engines. PETROBRAS. Sao Paulo: SAE International.

Dent, J. C. (1971). A Basis for the Comparison of various Experimental Methods for Studying Spray Penetration. Michigan: SAE International.

Desantes, J. M., & Payri, R. (2005). Study of the Influence of Geometrical and Injection Parameters on Diesel Sprays Characteristics in Isothermal Conditions. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: SAE International.

Elkotb, M. (1982). Fuel Atomization for Spray Modelling. Universidad del Cairo. Egipto: SAE International.

Hiroyasu, H., & Masataka, A. (1990). Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines. Universidad de Hiroshima. Japan: SAE International.

Oda, Y., & Kajitani, S. (2003). Characteristics of Spray Formation and Combustion in Diesel Engines Operated with Dimethyl Ether. Japan: SAE International.

Payri, R., & Molina, S. (2004). A Study of the Relation between Nozzle Geometry, Internal flow and Sprays Characteristics in Diesel Fuel Injection Systems. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: KSME International Journal.

Sanguano, E. (2007). Estudio del comportamiento del cono de inyección de diferentes mezclas y emulsiones de aceites de Glycine Max, Jatropha Curcas y Elaeis Guineensis en estado virgen y usado. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí: ESPE.

Wakuri, Y., Fujii, M., Amitani, T., & Tsuneya, R. (1969). Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine. Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Company. Japan: SAE International.

Woo, Y., & Lee, Y. (2008). Effects of Sprays Characteristics with Different Geometries on the Performance of a DI Diesel Engines. Korea Institute of Energy Research. Korea: SAE International.

Yoshizaki, T., Yusaki, K., Nishida, K., & Hiroyasu, H. (1996). Experiments and Modeling on Spray Distributions in the Combustion Chamber of a Direct Injection Diesel Engine. Universidad de Hiroshima. Japan: SAE International.

**ANEXOS**

ANEXO 1: Nomenclatura