

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Evaluación y simulación del flujo de combustible en el inyector de un motor mep al emplear combustibles alternativos.

Diego Javier Punina Guerrero

Nota del Autor

Diego Javier Punina Guerrero, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Julio Leguisamo M.Sc,

Codirector: Ing. Edilberto Llánes, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

dpunina.mdm@uisek.edu.ec

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Diego Javier Punina Guerrero, con cédula de identidad 1804259743, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Diego Javier Punina Guerrero

CI: 1804259743

ÍNDICE

Introducción	1
Antecedentes	1
Problemática	1
Justificación	2
OBJETIVOS	3
GENERAL	3
ESPECÍFICOS	3
Estado del Arte.....	4
Biocombustibles.....	4
Beneficios ecológicos.	9
Beneficios económicos.	9
Desventajas mecánicas.....	10
Materia prima.....	10
Aceites de frituras usados.	11
Métodos de diagnóstico.	12
Sistema de inyección diésel	12
Tipos de inyectores mecánicos	13
Inyector mecánico	14
Chorro Del Inyector.	15
Atomización y estructura del spray inerte	15

Características macroscópicas del chorro diésel.....	18
Inyección mecánica.....	18
Diésel y biodiésel.....	20
Diseño asistido por computador.....	21
CFD.....	21
Elementos finitos en softwares.	21
Método	24
Método analógico.....	24
Método experimental.	25
Método estadístico.	25
Equipos utilizados.....	26
Comprobador de inyectores.	26
Repetitividad y reproducibilidad de las mediciones	30
Gráficas de control para variables.....	30
Gráfico de control para la media (X).	31
Gráfico de control para la dispersión (R).....	32
Modelado 3D	33
Pre procesamiento.....	36
Resultados	43
Presión de apertura Diésel Vs B10, B20 y B100	43
Cálculo del ángulo de pulverización.....	45

Simulaciones del inyector mecánico.....	49
Simulación de la geometría original del inyector (calidad de malla 3 salidas).....	49
Simulación de la geometría original del inyector (calidad de malla 5 salidas).....	52
Post procesamiento.	54
Análisis del inyector de 3 salidas valores originales	54
Condiciones de borde para el análisis de velocidad, presión e intensidad de turbulencia del fluido.	55
Análisis de la velocidad en el inyector de 3 salidas con fluido diésel.	56
Análisis de la presión en el inyector de 3 salidas con fluido diésel.	57
Análisis de turbulencia en el inyector de 3 salidas con fluido diésel.....	58
Discusión de resultados.....	61
Presiones de apertura con los diferentes combustible.....	61
Ángulo de pulverización.....	62
Análisis de velocidades.....	63
Análisis de velocidades del fluido en geometría original 3 salidas.	63
Análisis de las velocidades del fluido en geometría 5 salidas.	64
Análisis de las velocidades del fluido en geometría variación de diámetros.....	66
Analisis de presiones.....	68
Análisis de presiones del fluido en geometría 5 salidas.	70
Análisis de presiones del fluido en geometría variación de diámetros.	71
Intensidad de turbulencia	73

Análisis de Intensidad de turbulencia del fluido en geometría 3 salidas.	73
Análisis de turbulencia del fluido en geometría 5 salidas.....	74
Análisis de turbulencia del fluido en geometría variación de diámetros.....	75
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
Anexos	82

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Inyector mecánico.....	6
<i>Figura 2.</i> Temperaturas del combustible en la entrada de la bomba de alta presión durante la prueba con combustible diésel.....	7
<i>Figura 3.</i> Acoplamiento de la aguja sobre su asiento (tobera)	14
<i>Figura 4.</i> Inyección, atomización y evaporación.....	16
<i>Figura 5.</i> Esquema de distribución de fases.	17
<i>Figura 6.</i> Parámetros geométricos del chorro diésel.	18
<i>Figura 7.</i> Comprobador de inyectores modelo H17.8	27
<i>Figura 8.</i> Biocombustible mezclas B10, B20 y B100	29
<i>Figura 9.</i> Prueba de estanqueidad.....	29
<i>Figura 10.</i> . Ejemplo de gráfica de control de medias.....	31
<i>Figura 11.</i> Inyector modelado en Cad Solidwork	33
<i>Figura 12.</i> Solido de flujo en forma paramétrica	34
<i>Figura 13.</i> Geometría del inyector y del solido del fluido en Cad Solidwork.....	35
<i>Figura 14.</i> Entrada y salida del fluido en el componente de análisis.	36
<i>Figura 15.</i> Característica general del análisis.....	37
<i>Figura 16.</i> Procedimiento de análisis (Pestaña Model).....	38
<i>Figura 17.</i> Selección del fluido.	39
<i>Figura 18.</i> Condiciones de frontera (Velocidad de entrada del fluido).....	40
<i>Figura 19.</i> Condiciones de frontera (Presión de salida del fluido).....	41
<i>Figura 20.</i> Ejecución del análisis.....	42
<i>Figura 21.</i> Grafica de control de rango de Carga Absoluta.....	44

<i>Figura 22.</i> Gráfica de control de medias de Carga Absoluta	45
<i>Figura 23.</i> Marca de pulverización usando diésel	46
<i>Figura 24.</i> Resultados del ángulo de pulverización de los combustibles	48
<i>Figura 25.</i> Tendencia polinómica de las mezclas de biocombustible.	49
<i>Figura 26.</i> Calidad de malla en el inyector de 3 salidas en función de la oblicuidad.	50
<i>Figura 27.</i> Calidad ortogonal de los elementos en inyector de 3 salidas.	51
<i>Figura 28.</i> Valores de oblicuidad de los elementos en inyector de 3 salidas	51
<i>Figura 29.</i> Calidad de malla en inyector de 5 salidas en función de la oblicuidad	52
<i>Figura 30.</i> Calidad ortogonal de los elementos en inyector de 5 salidas	53
<i>Figura 31.</i> Valores Calidad ortogonal de los elementos en inyector de 5 salidas.	53
<i>Figura 32.</i> Análisis de la velocidad en el inyector de 3 salidas usando diésel.	56
<i>Figura 33.</i> Análisis de la presión en el inyector usando Diésel en inyector de 3 salidas	57
<i>Figura 34.</i> Análisis de la turbulencia en inyector de Diésel de 3 salidas.	58
<i>Figura 35.</i> Velocidades del fluido geometría original 3 salidas.....	63
<i>Figura 36.</i> Variación de velocidades en geometría original.....	64
<i>Figura 37.</i> Velocidades del fluido geometría 5 salidas	65
<i>Figura 38.</i> Velocidades en geometría de 5 salidas	66
<i>Figura 39.</i> Velocidades del fluido geometría variación de diámetros.....	67
<i>Figura 40.</i> Velocidades en geometría variación de diámetros afecta en la presión de apertura.....	68
<i>Figura 41.</i> Presiones del fluido en geometría original 3 salidas.....	69
<i>Figura 42.</i> Presiones en geometría original 3 salidas	70
<i>Figura 43.</i> Presiones del fluido en geometría 5 salidas	70

<i>Figura 44.</i> Presiones en geometría 5 salidas	71
<i>Figura 45.</i> Presiones del fluido en geometría variación de diámetros	71
<i>Figura 46.</i> Presiones en geometría variación de diámetros	72
<i>Figura 47.</i> Intensidad de turbulencia del fluido en geometría original 3 salidas	73
<i>Figura 48.</i> Intensidad de turbulencia geometría original 3 salidas.....	74
<i>Figura 49.</i> Turbulencia en el fluido en geometría 5 salidas	74
<i>Figura 50.</i> Intensidad de turbulencia en geometría de 5 salidas.....	75
<i>Figura 51.</i> Turbulencia en el fluido en geometría variación de diámetros.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos y precisión de los principales parámetros de funcionamiento de las instalaciones	6
Tabla 2. <i>Principales materias primas para la producción de biodiesel.</i>	11
Tabla 3. <i>Procedimiento general en los softwares</i>	22
Tabla 4. <i>Análisis comunes aplicando FEA</i>	23
Tabla 5. <i>Especificaciones del comprobador de inyectores</i>	28
Tabla 6. <i>Skewness mesh</i>	35
Tabla 7. <i>Ortogonal quality</i>	355
Tabla 8. <i>Presiones de apertura del inyector</i>	43
Tabla 9. <i>Resultados del ángulo de pulverización usando diésel</i>	436
Tabla 10. <i>Resultados del ángulo de pulverización usando biodiésel B10</i>	467
Tabla 11. <i>Resultados del ángulo de pulverización usando biodiésel B20</i>	477
Tabla 12. <i>Resultados del ángulo de pulverización usando biodiésel B100</i>	47
Tabla 13. <i>Valores originales de la geometría del inyector</i>	48
Tabla 14. <i>Presiones de salida de los combustibles</i>	54
Tabla 15. <i>Valores de simulacion con geometría 3 salidas</i>	54

Tabla 16. <i>Valores de simulación con geometría 5 salidas</i>	56
Tabla 17. <i>Valores de simulación con disminución en diámetro de salida del inyector</i>	59
Tabla 18. <i>Ángulos de pulverización de los combustibles</i>	59
Tabla 19. <i>Valores máximos de velocidades presiones e intensidad de turbulencia de los combustibles</i>	60

LISTA DE ECUACIONES

	NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES
1	Límite de control superior para media formula general	$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + 3\sigma\bar{X}$	
2	Límite de control inferior para media formula general	$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - 3\sigma\bar{X}$	
3	Límite de control superior para media formula simplificada	$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2\bar{R}$	
4	Límite de control inferior para media formula simplificada	$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2\bar{R}$	
5	Promedio de muestras	$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}}{k}$	
6	Límite superior de control de rango	$LSC_R = D_4\bar{R}$	
7	Límite inferior de control de rango	$LIC_R = D_3\bar{R}$	
8	velocidad	$V = \frac{Q}{A}$	m/s
9	Área sección circular	$A = \frac{\pi d^2}{4}$	m^2

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado deseo dedicar a mis padres ya que siempre estuvieron ahí brindándome su sabiduría, consejos, a lo largo de mi vida tanto profesional como personal los mismos quienes han sabido guiarme y formarme como persona y profesional de éxito, a ellos por estar presentes una vez más viéndome cumplir este logro el cual ha sido muy anhelado para mí y que es para ellos.

Este trabajo se lo dedico a mis hermanos, esperando ser un ejemplo y que ellos también lo complementen para así lograr una meta en común.

Por otra parte, este logro se lo dedico a una persona muy especial que inició con este proceso, por su apoyo, consejos y amor y también a quien pudo ser parte especial ASPS ya que fueron parte de mi objetivo desde el inicio y con la bendición de Dios aún continúa siendo.

“No hay que sentirse vencido, ni aún vencido”

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos por siempre haber confiado en mí, por brindarme siempre sus consejos y el apoyo brindado, quienes me motivaron siempre a seguir adelante y luchar por mis sueños.

A mi bonita Andrea que de una u otra forma siempre me animo a seguir adelante a no rendirme y motivarme logrando de esta manera llegar a concluir un sueño.

A mis profesores quienes han sabido transmitir toda su información y experiencias de una manera extraordinaria con dedicación y responsabilidad los mismos que dejan grandes recuerdos.

TÍTULO

Evaluación y simulación del flujo de combustible en el inyector de un motor mep al emplear combustibles alternativos.

RESUMEN

Con la finalidad de usar combustibles alternativos como medio de generación de energía en la presente investigación se realizó la evaluación y simulación del flujo de combustible en los inyectores de un motor MEP, usando biodiésel a base de aceite de frituras el cual es un producto reciclado.

Con el propósito de demostrar y proponer mejoras la primera parte de esta investigación constituye la fase de pruebas las mismas que fueron realizadas en un laboratorio, en las pruebas se usó diésel normal, biodiésel con mezclas B10, B20 y B100 las pruebas se las realizó en el probador de inyectores mecánicos para de esta manera observar factores como presión de apertura, tiempo de cierre, ángulo de pulverización y goteo en los inyectores.

Como siguiente fase se procedió a la simulación, usando los datos obtenidos en el laboratorio e introduciéndolos en un software de simulación computacional ANSYS, el cual mediante un modelo unidimensional fluido dinámico, evalúa el comportamiento del fluido dentro del inyector, este programa proporciona valores de presiones y velocidades en el flujo del fluido dentro del inyector los que permite evaluar y proponer alternativas al usar este tipo de biodiésel como combustible alternativo de esta manera en base a experimentación y simulaciones realizadas se propone como mejor alternativa la geometría de 5 salidas debido a que la presión permanece constante con el uso del combustible diésel y el biocombustible de aceite de frituras con todas las combinaciones lo que es importante ya que de esta manera es necesario la variación ni cambio de otros accesorios complementarios en el motor.

Palabras clave: Inyectores, CFD, biocombustible

ABSTRACT

With the purpose of using alternative fuels as a means of generating energy in the present investigation, the evaluation and simulation of the fuel flow in the injectors of an engine was carried out, using biodiesel based on frying oil, which is a recycled product.

For the purpose of demonstrating and proposing improvements, the first part of this investigation is the testing phase, the same ones that are carried out in a laboratory, the tests are used in a normal way, biodiesel with B10, B20 and B100 mixtures. I perform in the mechanical injectors tester for this way to observe factors such as opening pressure, closing time, spray angle and drip in the injectors.

The next phase was processed to the simulation, using the data obtained in the laboratory and presenting an ANSYS computer simulation software, which by means of a dynamic fluid one-dimensional model, evaluating the behavior of the fluid inside the injector, this program provides pressure values. What is this? How does it work? What is this? How does it work? Alternatives to the geometry of 5 outlets due to the permanent pressure with the use of diesel fuel and the biofuel oil of fried foods with all the combinations that is important and that in this way it is necessary to change or change other complementary accessories in the motor.

Keywords: Injectors, CFD, biofuel

Introducción

Antecedentes

El combustible ha sido usado como la principal fuente de energía del funcionamiento en motores de combustión interna, tales como son los motores a diésel ya que son de beneficio neto y su consumo es reducido, por otra parte las ventajas de utilizar productos de otro origen ya puede ser vegetal o animal y transfórmalos en combustibles alternativos son de gran ventaja, un antecedente que se puede recalcar es del científico Rudolf Diésel el cual utilizó aceite de maní para impulsar una de sus múltiples creaciones, se puede notar claramente que este tipo de combustibles alternativos existió hace un centenar de años atrás.

Por otra parte, el decreto ejecutivo 1303 de la República del Ecuador, en su artículo Primero, abre las puertas a la producción de biocombustibles para el “impulso del fomento agrícola”, la parte central menciona que constituye una estrategia inclusiva de desarrollo rural que pre-cautela la Soberanía Alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Sujeta la producción de biocombustible a la comercialización estatal de diésel Premium en un 5% y la meta es llegar a 10%. El decreto marca su interpretación de los avances constitucionales, su orientación y posición sobre biocombustibles. (Decreto Ejecutivo 1303, 2012)

Problemática

Según Dorado (2011) el exceso de metanol disminuye el valor de calentamiento y el punto de inflamación y aumenta los depósitos de carbono, mientras que la presencia de glicerol puede causar coque de la punta del inyector y depósitos en la cámara de combustión al utilizar biocombustible, por lo que es muy importante el análisis de la pulverización y el diseño de los

ductos por donde circula el combustible, para de esta manera dar alternativas de diseño lo que permitiría una mejor distribución de fluido sin alterar la presión en la fase final.

Justificación

En la actualidad la utilización del biodiesel como combustible alternativo es cada vez más preponderante a nivel global con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes y es de importancia relevante ya que las propiedades del biodiesel influyen en el rendimiento del motor diésel y en el tiempo de vida de los elementos del mismo.

El estudio del ciclo de vida de los combustibles de transporte alternativo muestra claramente las ventajas de reducir el uso de combustibles fósiles no renovables frente a los combustibles novedosos renovables biológicos para disminuir emisiones de dióxido de carbono. Al estar basado en reciclaje natural del dióxido de carbono mediante el uso de alternativas como son la energía renovable, el uso de estos combustibles renovables no implica disminución de los mismos y, por lo tanto, es sostenible a largo plazo. Los combustibles renovables y los motores de combustión interna avanzados y las transmisiones son las tecnologías que, además de ser las más capaces de producir beneficios en términos de balance de carbono y ahorro de combustible fósil, también son las que tienen inequívocamente la menor huella ecológica considerando todas las implicaciones ambientales del transporte tecnologías, con todas las otras soluciones más exóticas que tienen costos ambientales mucho más altos para producir, usar y eliminar tecnologías de transporte alternativas. (Boretti, 2011)

El inyector de combustible es una pequeña boquilla en la que se inyecta combustible líquido a alta presión. La función de un inyector de combustible es rociar combustible atomizado en la cámara de combustión de un motor mep de combustión interna directamente en la válvula

de admisión. La colocación del inyector puede realizarse en una parte diferente del motor, dependiendo del tipo de sistema de inyección que se encuentre en uso. El inyector de combustible puede entregar una medición de combustible más uniforme para cada cilindro, y los resultados son más potencia y menos emisiones, debido a alta presión producida en la bomba alimenta de combustible (Gary, 2006).

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el comportamiento del fluido dentro del inyector mediante simulación en el software ANSYS CFD, para garantizar el buen funcionamiento del mismo al usar biocombustibles.

ESPECÍFICOS

- Realizar pruebas de funcionamiento y presión en los inyectores para determinar valores de funcionalidad.
- Proponer una mejora en la geometría del ducto de fluido.
- Evaluar el funcionamiento de los inyectores mediante el uso de combustible alternativo biodiesel al 10% ,20% y 100%.
- Simular el comportamiento del biodiesel en el inyector y observar las variaciones por causa del fluido dentro del inyector.

Estado del Arte

Biocombustibles

Según (Delalibera, 2012) en Brasil se está haciendo un gran esfuerzo para encontrar alternativas al diésel como combustible. Algunas líneas de estudio están orientadas al desarrollo de aceites vegetales utilizados como combustible, como fuente de abaratamiento y con mayor densidad de energía que los aceites vegetales convertidos, y menos riesgo de contaminación ambiental. El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento, la vida útil del lubricante y algunos componentes de un motor de ciclo diésel, con un sistema de inyección, en una prueba a largo plazo que funciona con una mezcla precalentada (65 ° C) de 50 % (v v-1) de aceite de soja en petrodiesel.

Hubo una reducción de la vida útil de los inyectores que presentó falla debido al alto desgaste con 264 horas de funcionamiento y mostró un aumento en las emisiones de material particulado (opacidad) que puede asignarse a las fallas ocurridas en el sistema de inyección. También se observó un aumento en la vida útil del lubricante.

El conocimiento de la velocidad de inyección durante un ciclo termodinámico es esencial debido a que es una información importante como parámetro de control de la formación de la mezcla aire-combustible y los procesos de combustión en un motor diésel. La velocidad de inyección se deriva de la combinación de diferentes parámetros tales como: diámetro de la boquilla, presión de inyección, duración de la inyección, número de inyecciones y también algunas propiedades del combustible tales como: densidad, viscosidad y módulo de volumen, que caracteriza la compresibilidad de los combustibles.

La velocidad de inyección tiene una influencia directa en el rendimiento derivado, las emisiones de contaminantes y el ruido de combustión. La tasa de inyección puede ser un parámetro de control de la funcionalidad de todo el sistema de inyección Diésel y, particularmente, de las boquillas de inyección después de largos períodos de trabajo, ya sea durante la vida real de un motor o vehículo, o durante estudios de durabilidad, especialmente diseñado para determinar, por ejemplo, el efecto de los combustibles (Rojas, 2012).

La importancia de la velocidad de inyección del diésel ha motivado el desarrollo de este trabajo, donde, después de evaluar diferentes métodos y equipos comerciales para determinar la tasa de inyección, se decidió utilizar el método comúnmente conocido como método Bosch ,debido a sus ventajas y fácil operación, en él se presenta la integración y configuración de un sistema, sus procedimientos y resultados para determinar la tasa de inyección al modificar diferentes parámetros de inyección con diferentes combustibles alternativos. (Armas, 2012)

Según López (2013), comparó los combustibles diésel y biodiesel en un orificio cónico para una variación de la diferencia de presión entre la presión de inyección y la contrapresión de 15 a 40 MPa. Llegaron a la conclusión de que la densidad es la propiedad única que impulsa el caudal másico y la velocidad efectiva. La viscosidad solo afecta la apertura y el cierre del inyector.

En la figura 1 según Armas (2012) muestra la sección transversal de un inyector mecánico. En él se indican las zonas internas, también muestra la posición de la boquilla.

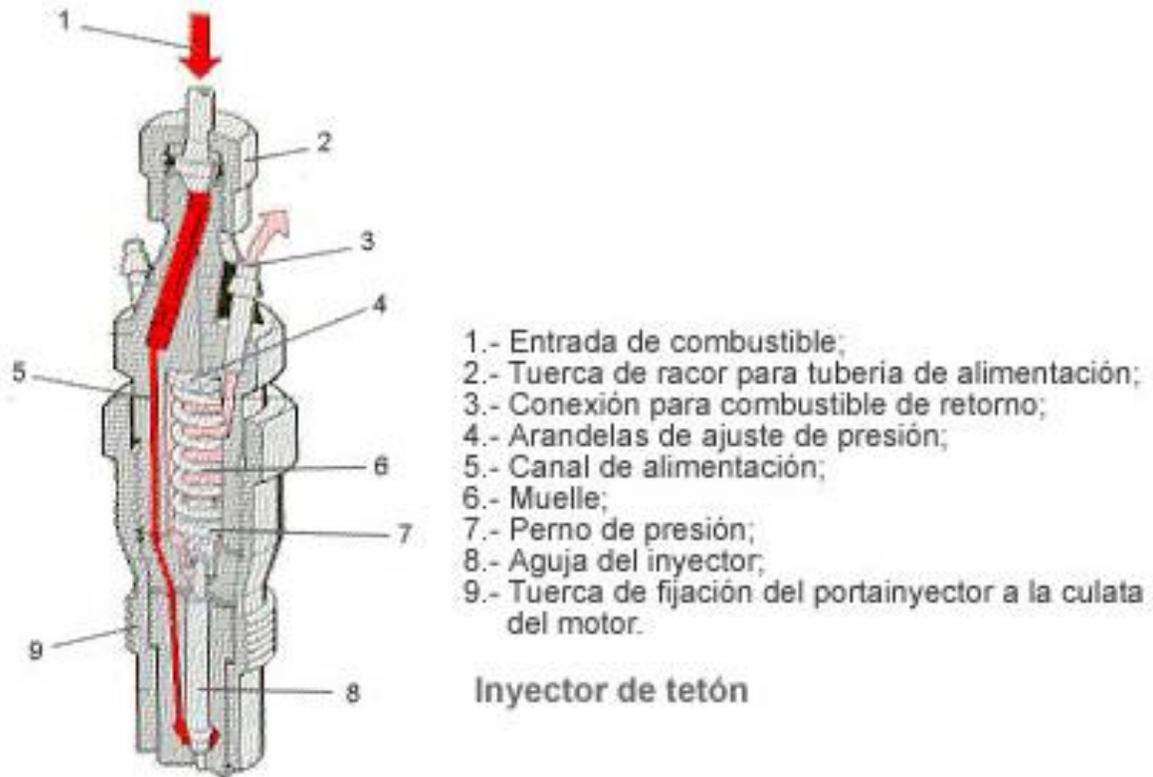


Figura 1. Inyector mecánico

Fuente: www.aficionadosalamecanica.net

Tabla 1.

Rangos y precisión de los principales parámetros de funcionamiento de las instalaciones.

Parámetros del equipo	Unidad	Rango operativo	% de lectura
Presión de Inyección	Mpa	2001300	±0.1
Presión posterior	MPa	1.....18	±0.1
Tiempo de energización	us	80.....9999	±0.05
Numero de Inyecciones		9	
Generador de frecuencia	MHz	0,0110	±0.05
Sonda de corriente	A	±140	±1% ... ± 100 mA
Temperaturas	°C	±70	±0,05
Balance	g	0.....40000	±0.0250

Nota: (Armas, 2012)

En la figura 2, según el estudio realizado por Armas (2012), muestra que la masa total de combustible inyectado es proporcional a la presión del conducto común, cuanto mayor es la presión de inyección, mayor es la masa total inyectada. Al comparar ambos combustibles diésel, se observó un ligero aumento en la masa total inyectada con DB.

Armas (2012), menciona que de acuerdo con las propiedades del combustible densidad y viscosidad, los resultados parecen ser inconsistentes. Sin embargo, este comportamiento puede explicarse por las diferencias en la temperatura del combustible en la entrada de la bomba de alta presión registrada con ambos combustibles durante las pruebas respectivas. Aunque la figura 2 a la derecha, muestra solo resultados a 90 y 105 MPa de PCR, los resultados son consistentes con la densidad y la temperatura de las pruebas.

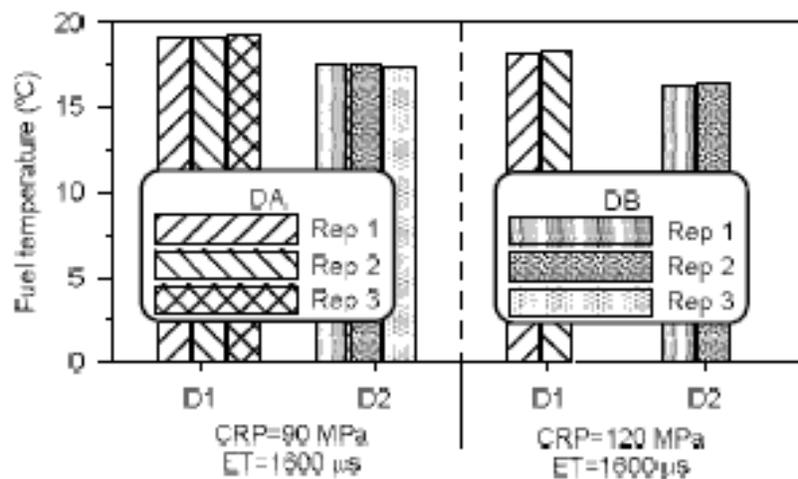


Figura 2. Temperaturas del combustible en la entrada de la bomba de alta presión durante la prueba con combustible diésel

Fuente: (Armas, 2012)

“El diésel no es más que un combustible, que a semejanza de la gasolina es un derivado del petróleo. Es obtenido como producto intermedio en la columna de destilación atmosférica a temperaturas entre los 190 a 400 (°C). La formación del diésel está conformada primeramente

por hidrocarburos parafínicos, aromáticos y naftalénicos que en general tienen entre 10 a 22 carbonos en su cadena. Adicionalmente, en su composición se encuentra nitrógeno, azufre, metales pesados como el vanadio, oxígeno, etc.” (Rodríguez, 2007).

El contenido de azufre causa corrosión y desgaste en las piezas del motor, de manera que su contenido debe ser mínimo. Y el número de cetano o clasificación de un combustible diésel es un método de indicación de la habilidad de un combustible diésel para evitar el golpeteo.

“El diésel debe cumplir con los siguientes requerimientos”, el tiempo de retardo de encendido debe ser lo suficientemente corto para permitir el arranque fácil del motor. El combustible diésel debe permitir la marcha suave del motor con poco golpeteo, el combustible debe permanecer líquido a bajas temperaturas, de tal modo que el motor arrancará fácilmente y marchará suavemente por lo cual el diésel sirve como lubricante para la bomba de inyección e inyectores, por lo tanto, deberá tener adecuadas propiedades de lubricación. (Castro, 2007).

Las (ASTM) lo define al biodiesel como “Ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplean en los motores de ignición de compresión (motores diésel) o en calderas de calefacción”. (Arredondo, 2008)

El biocombustible se lo puede utilizar puro (B100, conocido como “gasoil verde”), o a su vez se lo puede realizar mezclas en diferentes porciones. La mezcla que más se utiliza es al 20%, es decir 20 partes de éter vegetal y 80 partes de petro-diésel. Cuando se lo utiliza como aditivo, las concentraciones no superan el 5%.

El biodiesel posee un beneficio principal el cual es su bajo contenido de azufre, esto se debe a que en su composición química existe oxígeno, así la combustión es más completa,

disminuyendo la emisión de partículas, monóxido de carbono no quemado, y otros contaminantes.

El biodiésel reduce las emisiones de partículas sólidas menores a 10 micrones (PM10), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SOx), peligrosos agentes contaminantes. La Environmental Protection Agency (EPA) en un estudio compilatorio de diversas investigaciones sobre emisiones vehiculares con biodiésel, concluyó que las emisiones vehiculares de material particulado se reducían en un 47 % cuando se usaba biodiésel, y las de monóxido de carbono en un 48%, utilizando biodiésel de soya en autobuses de transporte urbano, observaron que las emisiones a lo largo del ciclo de vida del biodiésel se reducían en 44 %, 35 % y 8 % para PM10, CO y SOx, respectivamente. (Cedeño, 2017).

Beneficios ecológicos.

- Se obtiene de recursos renovables.
- Contamina en menor cantidad que el gasoil mineral.
- Disminuye la emisión de partículas (smoke) en más de un 50% y las emisiones de CO₂.
- No tiene sulfuro, benceno y aromatizantes los cuales son cancerígenos.
- Tiene productos derivados del residuo de su proceso como glicerina y fertilizantes orgánicos.

Beneficios económicos.

- La producción de biodiesel es premiada con incentivos y exenciones fiscales a nivel nacional e internacional.

- El Protocolo de Kioto financia la inversión otorgando “créditos de carbono” a quienes logren reducir las emisiones de CO₂.
- Da independencia a la indisponibilidad y variación de precios del diésel fósil.
- Es menos contaminante que el gasoil mineral.
- No existen riesgos ya sea en su manipulación o almacenamiento.
- Utiliza las mismas instalaciones que las empleadas para el diésel.
- Posibilita su propia producción en ciclo completo (cosecha de oleaginosas – prensado de aceite – producción de biodiésel) reduciendo costos e intermediarios.
- La comercialización de sus subproductos (Expeller de soja, girasol, etc. como base para alimento balanceado para ganado) constituye un negocio accesorio, rentable.

Desventajas mecánicas.

- Desgaste en las toberas del inyector.
- Efectos corrosivos de los aceites vegetales en la mezcla combustible.
- El gasoil sin azufre pierde cualidades lubricantes y para compensar esta pérdida se requiere el uso de aditivos.

Materia prima.

“Las materias primas más utilizadas para la fabricación de biodiésel son los aceites de frituras usados y el aceite de girasol (el contenido medio del girasol en aceite es de 44% por lo que sería la mejor opción en cuanto a agricultura energética). También se han realizado pruebas con aceite de colza y con Brassica carinata, como se muestra en la tabla 2. (Castro, 2007).

Tabla 2.

Principales materias primas para la producción de biodiesel.

Aceites Convencionales	Aceites Vegetales Alternativos	Otras Fuentes
Girasol	Brassica carinata	Aceite de semillas modificadas genéticamente
Coiza	Cynara	Grasas de animales
Coco	Curdunculus	Aceites de micro algas
Soja	Camelina sativa	Aceite de producciones microbianas
Palma	Pogianus	Aceites de frituras

Nota: Tomado de (Castro ,2007)

Aceites de frituras usados.

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Ecuador es un gran consumidor de aceites vegetales, centrándose el consumo en el aceite de palma. (Vargas, 2010)

Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, debido a este no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible.

Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo, el informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceites de frituras en biodiesel, este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática. El Ministerio del Medio Ambiente (a nivel nacional) y los Municipios (a nivel cantonal) son los llamados a crear un sistema de recogida de aceite frito, oleínas y grasas proponiéndoselo en tres etapas: industrial, hostería y doméstica, con especial atención a su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo. (Vargas, 2010).

En el país, dicha recogida no está siendo promovida pese a la existencia del TULAS que establece la prohibición de verter aceites usados, lo cual es un incentivo más para su utilización en la fabricación de biodiesel. (Vargas, 2010)

Métodos de diagnóstico.

Los resultados del método de estimación del estado del inyector diésel sobre la base del acumulador hidrodinámico del proceso de suministro de combustible, se obtuvieron recomendaciones sobre la selección del diseño y los parámetros de ajuste del soporte para comprobar los inyectores emitiendo un criterio para la estimación cuantitativa de la estimación del inyector del motor diésel. (Vrublevskyi, 2016)

El método propuesto aquí implica medir de los tres parámetros que varían con el tiempo presión del combustible en el sistema, el combustible que será inyectado y el combustible que puenta un drenaje. Las mediciones se llevan a cabo bajo suministro continuo de combustible en el volumen unido al niple del inyector. En este volumen, el nivel de presión excede el inicio de la inyección presión, preajuste apretado del inyector primavera, por 15-25%

Sistema de inyección diésel

Como ya se ha dicho anteriormente, la formación de la mezcla y la combustión en un MEC están tan estrechamente relacionadas que, en parte se producen simultáneamente. Por esto, es muy importante que quede claro lo que es un sistema de inyección y que parámetros se pueden modificar de este.

Existen dos filosofías de trabajo según el tipo de inyección:

- Inyección indirecta (IDI): En este caso la inyección se realiza previamente a la cámara de combustión, con lo que la mezcla con el aire se produce antes, y básicamente el encargado de realizar la mezcla es el propio aire.
- Inyección directa (DI): La inyección se realiza en la propia cámara de combustión, con lo que el responsable de la mezcla es el combustible, siendo necesario una elevada presión de inyección.

El hecho de que el rendimiento en Diésel del tipo DI sea mayor que los de IDI, este es prácticamente el que predomina en el mercado, llevando al segundo prácticamente al de su uso. Dos de los sistemas de inyección más utilizados en automoción son el inyector bomba y el common rail, pero el segundo es el que más versatilidad ofrece. En los sistemas mecánicos, no se puede variar la presión de inyección, de manera que cuando se necesitaba inyectar más combustible se tiene que hacer variando solamente el tiempo de inyección.

Tipos de inyectores mecánicos .

La misión del inyector es introducir el combustible alimentado a alta presión por la bomba de inyección a la cámara de combustión del motor. El inyector consta de cuerpo y aguja. Ambos están ensamblados con una precisión de ajuste del orden de 2 a 4 micrómetros y solo deben utilizarse como unidad completa. El conjunto inyector/porta inyector va montado en la culata del motor. El portainyector sirve para fijar el inyector en la culata, y para estanqueizarlo frente a la cámara de combustión. El tubo de alimentación desemboca en el portainyector, este tiene, además, una conexión para la fuga de combustible.

Se distinguen dos tipos de inyectores:

- Inyectores de orificios para motores de inyección directa.

- Inyectores de tetón para motores con precámara de combustión y cámara de turbulencia.

Dentro de estos dos tipos de inyectores existe, sin embargo, diversidad de variantes previstas para los diferentes tipos de motores.

Inyector mecánico

Inyector mecánico marca Nipondenso figura 3, en el que se encuentra el canal de entrada de combustible el mismo que permite llevar el combustible sobre el cono de levantamiento de la aguja. Cuando la presión es superior a la generada por el resorte de presión, la aguja se levanta y el combustible puede penetrar en la cámara de combustión. Una vez elevada la aguja, esta presenta una superficie mayor por el cono de estanqueidad, en consecuencia, una presión de cierre más suave. Esta histéresis contribuye a una buena estabilidad hidráulica, dentro de un inyector mecánico.

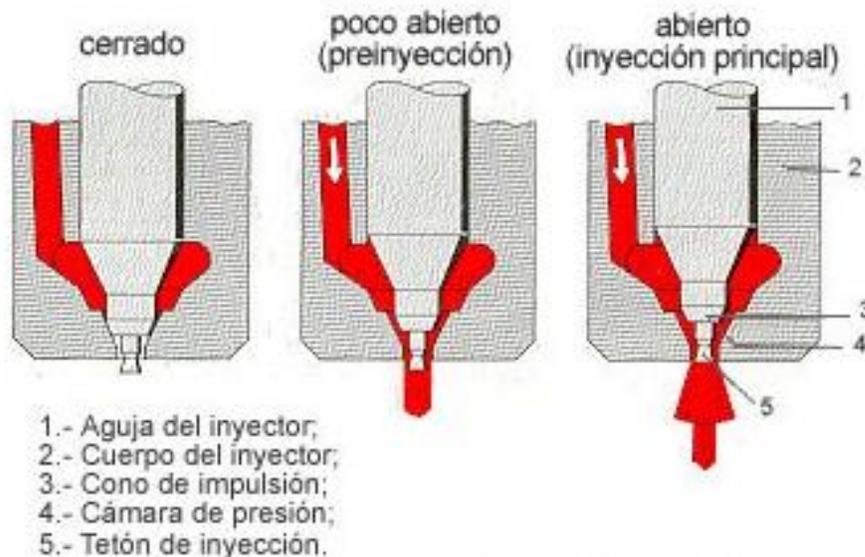


Figura 3. Acoplamiento de la aguja sobre su asiento (tobera)
Fuente: Check engine Taller digital

Chorro Del Inyector.

Un chorro se define como una porción de gas o líquido que se introduce con más o menos presión a través de un orificio estrecho, como puede ser un tubo, un grifo... En nuestro caso el chorro será inyectado a una atmósfera gaseosa (normalmente aire, o nitrógeno puro).

Además, los chorros en motores, inyectados en cámaras de combustión se pueden hacer diversas clasificaciones. En lo que respecta al tipo de fluido inyectado, se puede hablar de:

- Chorro gaseoso: La especie inyectada está en un chorro gaseoso.
- Spray: Siguiendo la nomenclatura anglosajona, este caso se corresponde, la especie inyectada está en estado líquido, y que se introduce en una atmósfera gaseosa. En este caso pues, se tendrá el fenómeno de atomización de la fase líquida y evaporación de las gotas del líquido a gas.

En este trabajo, y aunque el modelo permite ambos tipos de chorros, solo se utilizará el Spray, ya que es el caso del chorro Diésel. Adicionalmente, en la reacción química entre el combustible y el ambiente se pueden diferenciar dos tipos de chorros:

- Spray inerte: No se produce reacción química entre el ambiente y el combustible, es decir, no existirá combustión.
- Spray reactivo: Este caso es el más complejo, ya que además de tener fenómenos de evaporación también existirá el proceso de combustión.

Atomización y estructura del spray inerte

El fenómeno básico que ocurre en un chorro, que no tendrá combustión posterior, es el de atomización. Es decir, se inyecta un combustible líquido puro por el orificio de la tobera y se espera que se mezcle con el aire, para esto, se inyecta de manera que el combustible se divide en

gotas cada vez más pequeñas. De esta formase se llega a obtener más superficie de contacto con el aire para facilitar el intercambio de energía, para la evaporación del combustible.

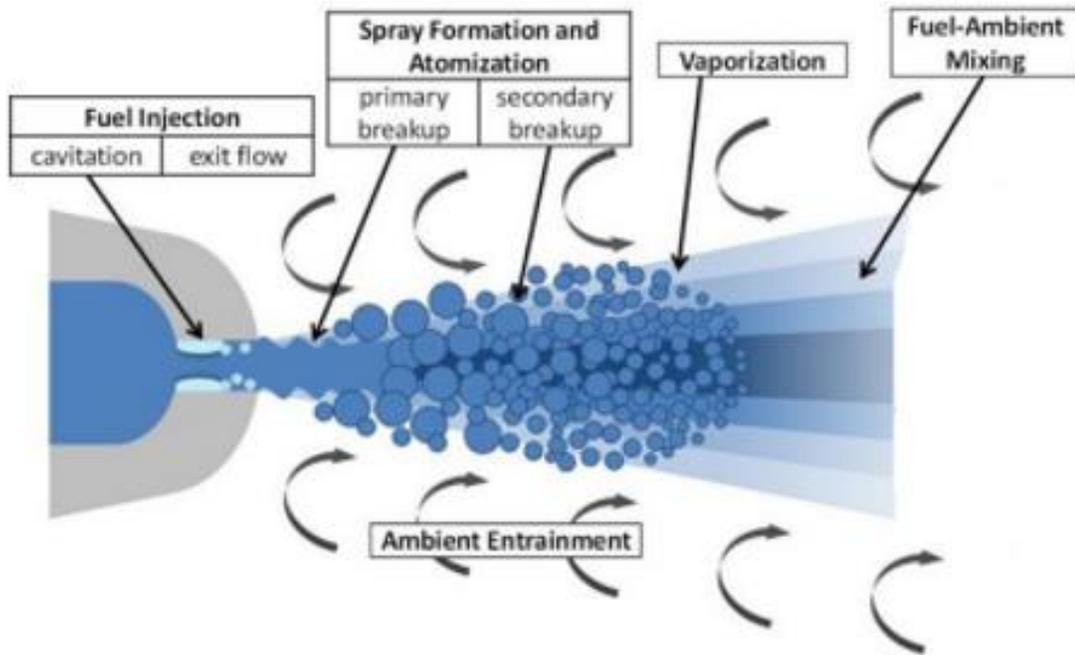


Figura 4. Inyección, atomización y evaporación.
Fuente: (Pavia,2014)

En la figura 4. se tiene la estructura de un chorro de spray inerte, dividido en las siguientes zonas.

- Fuel injection. - correspondería al orificio por donde se está inyectando el combustible y donde se observa que ocurre el fenómeno de cavitación, ya que el fluido pasa por un cambio de sección brusco donde se aumenta la velocidad y por tanto baja la presión, y donde también se tiene la salida de flujo del combustible.

Posteriormente se tiene el fenómeno de formación del spray y la atomización, cada vez las gotas se hacen más pequeñas hasta que se puede producir la vaporización, o paso del combustible de líquido a gas. Las flechas en la parte superior e inferior del chorro corresponden al englobe de aire del ambiente por parte del combustible inyectado.

Relacionados con estos procesos se tienen distintos conceptos:

- Longitud líquida (LL): Distancia axial al orificio donde termina el combustible
- líquido y únicamente se tiene vapor.
- Penetración de vapor (S): Distancia axial al orificio donde ya no se tiene combustible (en fase de vapor) y se tiene únicamente gases del ambiente.

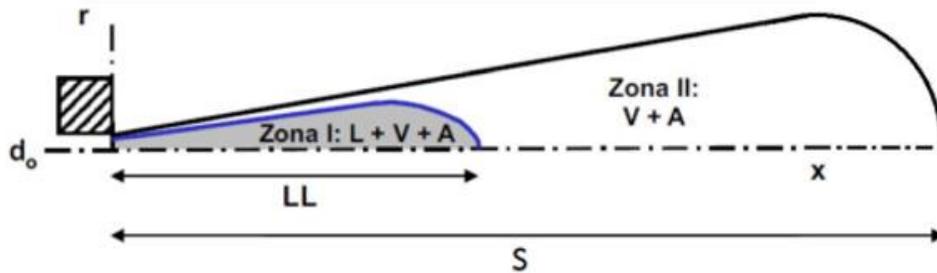


Figura 5. Esquema de distribución de fases.
Fuente: (Pavia,2014)

En la figura 5, se tiene la estructura de un spray inerte, donde se distinguen claramente las dos zonas explicadas anteriormente. La primera, en gris, corresponde a la zona donde se tiene: Líquido más vapor y aire del ambiente, el final de esta zona determina la longitud líquida.

La segunda zona, en fondo blanco, delimitada por la línea continua, corresponde al vapor del combustible más el aire del ambiente que se ha englobado, el final de esta zona corresponde a lo que se llama penetración del chorro. Además de los citados también se debe tener en cuenta otros conceptos importantes que serán utilizados más adelante:

- Ángulo chorro (θ): Se trata del ángulo que forma el chorro al salir del orificio. Si se considera el chorro simétrico será el doble del que forma el chorro con la horizontal (eje). Representará un concepto importante ya que será el parámetro a ajustar posteriormente, ya que es difícil de obtener su medida experimental. (Pavia, 2014)

Características macroscópicas del chorro diésel.

El esquema presentado en la figura 6 muestra la estructura simple del chorro diésel que analíticamente corresponde a un cono divergente con un ángulo de apertura, la cual muestra la figura los parámetros geométricos que caracterizan un chorro diésel tales como: la distancia radial en mm su longitud en mm y su ángulo característico. Esta geometría que caracteriza al chorro diésel influye directamente en la combustión de la mezcla aire combustible, afectando el rendimiento del motor y sus emisiones.

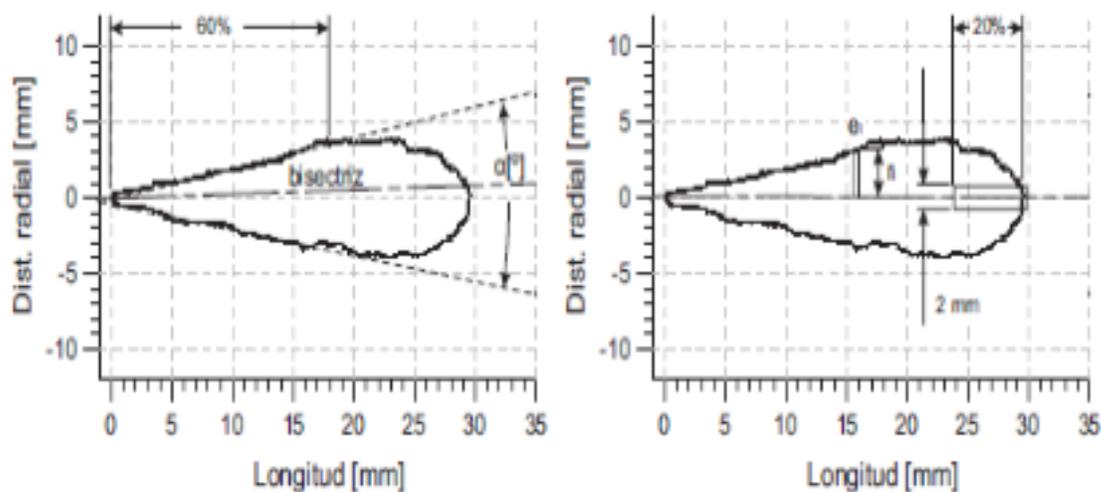


Figura 6. Parámetros geométricos del chorro diésel.
Fuente: (Pavia,2014)

Inyección mecánica

El motor diésel al igual que cualquier motor de combustión interna, funciona en un rango de potencia y velocidad de rotación que depende directamente de la entrega de combustible. La potencia generada en el motor depende directamente de la voluntad del conductor. La voluntad está representada en la presión aplicada en el pedal del acelerador y se acomoda a las condiciones del terreno. La inyección de combustible es un sistema de alimentación para los motores de combustión interna alternativo al carburador, un sistema obligatorio en los motores

de explosión. Que se utiliza en la mayoría de autos a nivel mundial desde 1990. Debido a la necesidad de reducir las emisiones contaminantes. El sistema de alimentación de combustible complementa el sistema de encendido del motor en el ciclo Otto, es el encargado de desencadenar la combustión de la mezcla aire/combustible.

Este sistema es obligatorio desde su creación en los motores diésel, debido a que el combustible tiene que ser inyectado dentro de la cámara en el momento de la combustión (aunque no siempre la cámara está en la cabeza del pistón).

El aire ingresa sin resistencia y de forma directa al cilindro o la pre cámara durante la carrera de admisión. Este volumen denominado cámara de combustión está sometido a una fuerte compresión y por ende eleva su temperatura en este momento se inyecta la cantidad adecuada de diésel pulverizado.

El proceso de inyectar combustible en el motor Diésel puede resumirse en pocas palabras, pero en realidad está rodeado de un gran número de particularidades. Este sistema debe inyectar con gran exactitud y a grandes presiones (entre 120 y 400 kg/cm²), volúmenes de líquido que pueden ser comparables con el de la cabeza de un alfiler, con un comienzo y tiempo de duración muy exactos, a frecuencias que pueden llegar a más de 2000 ciclos por segundo, y por un período de millones de ciclos sin fallo.

La inyección se produce en una cámara donde hay combustión simultánea a la inyección, en un ambiente caliente y agresivo. El sistema de inyección tiene como finalidad distribuir el combustible a alta presión en cada cilindro y en las cantidades convenientes y exactas, en intervalos iguales. Un sistema de inyección varía de acuerdo a la marca, tipo y aplicación del motor. Esto ha dado como resultado una serie de sistemas o bombas de inyección. (Garcia,2015)

Diésel y biodiésel

El carburante o combustible diésel, también conocido como gasóleo o gasoil, es un producto que se obtiene a partir de la destilación y la purificación del petróleo crudo. Este combustible se emplea en los motores diésel, que se trata de motores de combustión interna en los cuales, por la elevada temperatura que registra el aire comprimido en su cilindro, el combustible se autoinflama cuando es inyectado en la cámara. Un vehículo diésel, por su parte, utiliza esta clase de motor y funciona con el mencionado combustible.

El biodiésel que se obtiene tras ser procesados los aceites de frituras, suele ser mezclado con el diésel que procede del petróleo. Dicha combinación puede realizarse en distintas cantidades. El B100 es el biodiésel puro (o 100% biodiésel). En cambio, según la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiésel en la mezcla, puede hablarse de B5, B10, B15 etc.

Las tablas de caracterización de las diferentes mezclas de biodiesel ensayadas bajo normativa específica a cada uno de los parámetros de análisis se muestran en los anexos.

Dado que el biodiésel es menos contaminante que los que surgen del petróleo, existen muchas campañas que recomiendan su uso para la alimentación de diversos tipos de motores, entre los cuales sobresalen los de automóviles. Además los combustibles procedentes de hidrocarburos no son renovables: es decir, pueden agotarse. En cambio, el biodiésel fabricado con aceites vegetales puede renovarse a través de nuevas plantaciones.

El biodiesel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo. El biodiesel puede mezclarse con gasóleo procedente del refinado de petróleo en diferentes cantidades. (Berbel,2010)

Diseño asistido por computador.

La incorporación de la computada es en la producción el elemento puente que está permitiendo lograr la automatización integral de los procesos industriales, así como una integración tecnológica de sus áreas. Es así que los softwares profesionales están tendiendo a integrarse bajo un gran sistema CAD/CAM/CAE que ha puesto de relieve la importancia de automatizar informáticamente cualquier proceso industrial desde el diseño hasta la fabricación. Esta informatización incidirá de forma directa sobre el proceso de varias formas:

- Reducción de tiempos (time to market) y mayor sencillez en la etapa de diseño.
- Fácil integración en una cadena de fabricación y mejora en la gestión del proyecto.
- Obtención de un producto económico de óptima calidad y menor tiempo. (Rojas, 2006)

CFD.

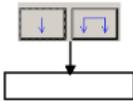
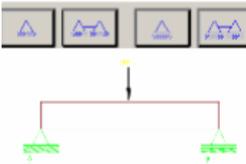
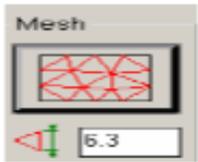
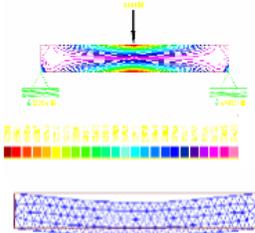
La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una herramienta que modela matemáticamente la solución de las ecuaciones fundamentales del flujo de fluidos. Se basa en la utilización de métodos numéricos para resolver las ecuaciones que describen la conservación de la masa, el momento y la energía de un fluido. El reciente avance en la capacidad computacional junto con la diversidad de software existente ha situado al CFD como una técnica viable para aportar soluciones eficaces y eficientes del diseño de productos. (Ojeda Pedro, 2009).

Elementos finitos en softwares.

El FEA (Finite Element Analysis) permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, que es más fácil y económico de modificar comparado con el de un prototipo, los prototipos siguen siendo necesarios, pero en menor número.

Tabla 3.

Procedimiento general en los softwares

Procedimiento	Vista
<p>a. Determinar el fenómeno físico o problema a resolver y definir sus características Modelado geométrico del objeto (Elaborado en un sistema Cad) Ejemplo una viga rectangular</p>	
<p>c. Trazado de las cargas que actúan sobre el objeto (concentradas o distribuidas).</p>	
<p>d. Sección de las condiciones de equilibrio o restricciones (constraints)</p>	
<p>e. Selección del material y sus propiedades</p>	
<p>f. Selección y/o trazado del enmallado</p>	
<p>g. Correr el programa</p>	
<p>h. Representar los resultados (gráficos y cuadros)</p>	

Un campo del FEA en pleno desarrollo es el cálculo con cargas dinámicas, vibraciones, impacto y fatiga. Dicho análisis se concentra en evitar que se trabaje con carga cíclicas con frecuencia cercanas a la natural (se podría generar efectos resonantes), así como la falla por fatiga (la pieza se somete a una carga cíclica y se rompe a pesar de que las tensiones, que producen la máxima amplitud de carga, ni siquiera se aproximan a las tensiones de rotura del material utilizado).

El procedimiento general que siguen los softwares que aplican la técnica de los elementos finitos se presenta en la tabla 3. De la misma manera en la tabla 4 se muestran los análisis comunes realizados con esta técnica. (Rojas, 2006)

Tabla 4.

Análisis comunes aplicando FEA

ANÁLISIS		DETALLE
A	Propiedades físicas térmicas y mecánicas	Resistencia, tamaño, volumen, peso, densidad, centro de gravedad, centro de rotación, transferencia de calor, conductividad térmica electromagnetismo, plasticidad, flujo hidráulico, acústica, etc.
B	Mecanismos	Movimientos , ensambles, interferencias , conexiones , cargas estáticas y dinámicas, etc.
C	Funcional	Cumple con las especificaciones funcionales,
D	Factores Humanos	Necesidades físicas, mentales, seguridad, formas y medidas ergonómicas, etc.
E	Estético	Apariencia y percepción forma , presentación , color , textura , etc.
F	Mercado	Preferencias , satisfacción , calidad, precio presentación , etc.
G	Financiero	Inversiones , presupuesto , costos , precio , etc.

Nota: Tomado de (Rojas,2006)

Método

En el presente trabajo se utilizó la investigación documental ya que es la primera etapa del proceso investigativo que proporciona el conocimiento de las investigaciones ya existentes, de un modo sistemático, a través de una amplia búsqueda de: información, conocimientos y técnicas sobre una cuestión determinada, la metodología de investigación cualitativa, que integra los relatos de determinadas etapas o acontecimientos biográficos de relevancia de investigaciones además brinda toda la información o documentos de los que se pueda disponer del tema con el propósito de conocer y analizar la percepción de investigaciones pasadas.

Método analógico.

El objetivo fundamental del método analógico consiste en la generalización empírica y la verificación de hipótesis. Se afirma que entre las ventajas que ofrece el método analógico se cuentan el comprender cosas desconocidas a partir de las conocidas, la posibilidad de explicarlas e interpretarlas, perfilar nuevos conocimientos, destacar lo peculiar de fenómenos conocidos, sistematizar la información distinguiendo las diferencias con fenómenos o casos similares. La aplicación del método comparativo, como cualquier método científico requiere un cierto proceso que tiene un punto de partida y una cierta secuencia lógica. Los pasos fundamentales son como primer etapa para conducir una investigación comparativa consiste en la configuración de una estructura teórica que sirva de apoyo para la elaboración de hipótesis, en una segunda etapa, deberán definirse los criterios asumidos para la selección de la muestra, es decir de los casos a elegir como objeto de estudio y en una tercera etapa debe procederse al análisis de los casos fundamentalmente a partir de la comparación de las variables para determinar, según sea el caso y la estrategia, las diferencias o las semejanzas (concordancias). (León, 2012)

Método experimental.

Es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental. Las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes (las que se quiere medir o el objeto de estudio del investigador) y las variables independientes (las que el investigador manipula para ver la relación con la dependiente). Además, se debe controlar todas las demás variables que puedan influir en el estudio (variables extrañas).

Se práctica la mayor parte de las veces dentro del marco ideal del laboratorio, aunque no está estrictamente ligado a él, este método está sustentado por dos pilares fundamentales: la reproducibilidad y la falsabilidad (Radrikan, 2005)

Método estadístico.

El método estadístico consiste en una secuencia de procedimientos para el manejo de los datos cualitativos y cuantitativos de la investigación. Dicho manejo de datos tiene por propósito la comprobación, en una parte de la realidad, de una o varias consecuencias verificables deducidas de la hipótesis general de la investigación.

Las características que adoptan los procedimientos propios del método estadístico dependen del diseño de investigación seleccionado para la comprobación de la consecuencia verificable en cuestión. El método estadístico tiene las siguientes etapas:

- Recolección (medición)
- Recuento (cómputo)
- Presentación

- Síntesis
- Análisis. (Obregón)

En el siguiente proyecto de investigación para sustento del marco teórico se utilizó una investigación documental ya que fue necesario diferentes fuentes de consulta entre los más usados, libros, sitios web, artículos relacionados con la investigación a más de eso se usaron tres métodos analógicos, experimental y estadístico. Analógico o comparativo para la evaluación del combustible diésel o gasóleo con biodiesel de aceite de frituras B10, B20 y B100. Experimental para la obtención de datos con pruebas en el laboratorio y así poder realizar una simulación en el software ANSYS y estadístico para obtener promedios de las diferentes pruebas y así observar los rangos en los cuales el inyector está funcionando.

Equipos utilizados

Comprobador de inyectores.

Para que los inyectores desempeñen correctamente su función deben probarse y regularse y regularse en un equipo comprobador de inyectores, el que se usara en la presente investigación es el H17.8 diésel probador de la boquilla se utiliza para ajustar y calibrar la boquilla de inyección a presión de apertura y para llevar a cabo la fuga, patrón de rociado.

El elemento principal del probador de inyectores es una bomba de alta presión, similar aun a bomba de inyección monocilindrica sin eje de accionamiento propio. Se acciona manualmente por medio de una palanca, los elementos adicionales que completan el equipo son:

- Depósito para el aceite que alimenta la bomba con petróleo especial, para probar inyectores
- Manómetro con rango de escala, graduada en Kg. /cm., la/pulg.

- Llave de paso para exclusión el manómetro
- Tubería para conectar los inyectores al probador
- Recipiente para recoger el combustible el combustible pulverizado
- Accesorio para conectar inyectores
- Inyector a probar



Figura 7. Comprobador de inyectores modelo H17.8
Fuente: Autor

Tabla 5.

Especificaciones del comprobador.

Tamaño de la boquilla	R, S y T
La velocidad del motor principal	0-4000 r/min puede ser ajustable
Diseño de manómetro	0-50 Mpa. (0-500 bar)
Presión más alta	50 Mpa.
Volumen de tanque	0.75 L.
Dimensiones	46*26*17 cm
Diámetro del manómetro	150 mm

Para dar inicio a la fase experimental se realizó la toma de datos de las pruebas realizadas en el inyector mecánico con el objetivo de tener valores que me permitan realizar la simulación, las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Presión de apertura del inyector mecánico
 2. Prueba de estanqueidad
 3. Cálculo del ángulo de chorro de inyección
1. Prueba de presión de apertura. - manteniendo abierto el medidor de presión, se empieza lentamente a aplicar la palanca del probador (0,5 ciclos/seg.) y se debe observar el manómetro. La presión de apertura alcanzada del inyector es la que marca en el manómetro, siendo esta la presión a la que se abre el inyector y pasa el fluido. Para esta prueba se evaluó el inyector mecánico con combustible diésel o gasóleo y biocombustible de aceite de frituras B10, B20 y B100 como se muestra en la figura 8, con el fin de obtener una medida exacta en base a un promedio dicha prueba se la repitió varias veces.

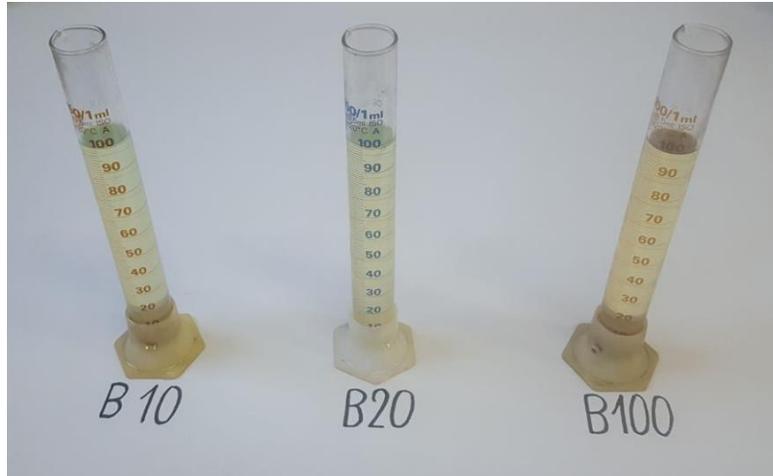


Figura 8. Biocombustible mezclas B10, B20 y B100

Fuente: Autor

2. Prueba de estanqueidad. - esta se la realiza con el medidor de presión abierto, se empieza lentamente a aplicar la palanca (0,5 ciclos/seg). Se observa el manómetro y se ajusta la presión hasta un nivel aproximadamente 20 bar inferior a la presión de apertura anterior. Con esa presión, ninguna gota de aceite de calibración debe gotear del inyector durante 10 segundos. Se debe observar de manera cautelosa siendo así que el aceite de calibración no debe estar escapando en ningún lugar como se muestra en la figura 9, excepto en la conexión combustible-escape. Una determinada cantidad de humedad (sudor) en la punta del inyector puede ser admisible.

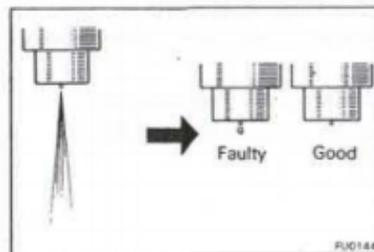


Figura 9. Prueba de estanqueidad

Fuente: Autor

3. Cálculo del ángulo de pulverización. – el cálculo se lo realiza con los datos que se puede obtener con el inyector , es decir altura, diámetro para esto se coloca a una altura determinada y se procede a la prueba de pulverización donde el chorro realizará una marca

en un papel blanco, de esta manera se puede determinar la longitud del diámetro y en función a los datos obtenidos se procede a calcular el ángulo de pulverización esta prueba se la realiza varias veces con el fin de poder obtener un promedio y que el valor sea lo más exacto.

En base a los resultados obtenidos en la fase de pruebas experimentales es necesario realizar un control de rango, para de esta manera garantizar los datos que se puedan obtener, ya que estos pueden ser erróneos debido a diferentes causas tales como fallas humanas o de equipos, los rangos obtenidos limitaran los datos proporcionando y será una forma de identificar valores erróneos en las pruebas.

Repetitividad y reproducibilidad de las mediciones

La repetitividad y reproducibilidad es aquel método aplicado en la investigación experimental se confirma por medio de gráficas de control de rango y medias, para rechazar la existencia de datos falsos debido a la aplicación de un procedimiento inadecuado, una conducción inapropiada, incorrecta utilización de equipos y una tabulación errónea.

Gráficas de control para variables.

Es necesario conocer en el ensayo hasta qué punto los datos obtenidos son fiables para dar a proceder un análisis de datos correctos. Debido a que estos valores obtenidos pueden mostrar desviaciones con respecto al objetivo específico las cuales se exponen en forma de datos erróneos y se puede producir una excesiva variabilidad respecto a los valores deseables que ocasiona una falta de precisión de datos (Gonzales, Hernandez, & Jimenez, 2013).

Por eso es necesario realizar gráficos de control que permitan conocer tanto la variabilidad como verificar si los datos obtenidos cumplen o no con los parámetros necesarios.

En caso de aceptar en tales gráficos tendencias no fortuitas o bien muestras que se posicionen más allá de los límites de control se considera que los datos obtenidos no son confiables.

Gráfico de control para la media (\bar{X}).

Se diseña para medir la variación en las medias muestrales alrededor de algún nivel generalmente admitido. En este grafico se debe disponer una gran media \bar{X} que se establece como una estimación de μ que puede ser un promedio, moda o media.

En base a este valor se alcanza un límite superior de control ($LSC_{\bar{X}}$) y un límite inferior ($LIC_{\bar{X}}$), si los datos alcanzados están dentro de este rango la variación aleatoria ocurre, caso contrario se ha descubierto una variación de causa establecida como se indica en la figura 10 (Gonzales, Hernandez, & Jimenez, 2013).

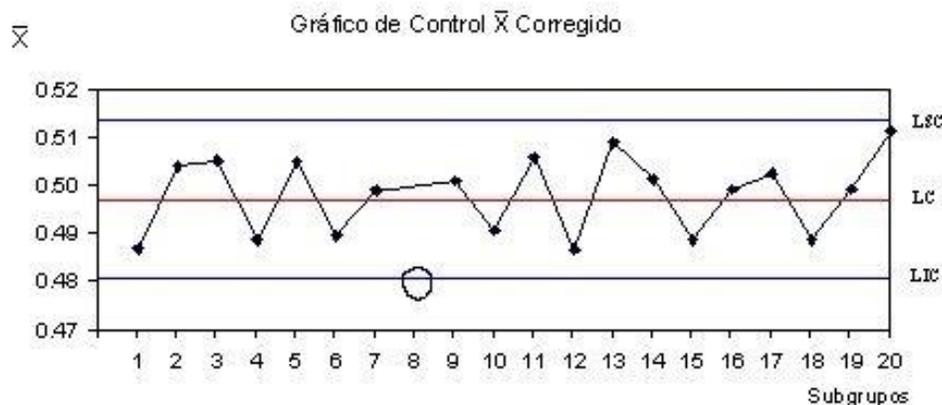


Figura 10. . Ejemplo de gráfica de control de medias.

Fuente: (Gonzales,2013)

El límite de control superior se consigue con la fórmula, tomado de (Suárez, 2012):

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + 3\sigma\bar{X} \quad (1)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - 3\sigma\bar{X} \quad (2)$$

Donde $\sigma\bar{X}$ es la desviación estándar para las medias. Sin embargo, en la práctica se estima $3\sigma\bar{X}$ como $A_2\bar{R}$ en donde \bar{R} es el rango promedio de los rangos muestrales y A_2 es una constante basada en el tamaño de la muestra. Los valores de A_2 se encuentran en la tabla de factores críticos de las gráficas o cartas de control indicado en el Anexo 4, utilizando $A_2\bar{R}$ en lugar de $3\sigma\bar{X}$ produce resultados similares, teniendo:

Límite superior de control para medias:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad (3)$$

Límite inferior de control para las medias

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (4)$$

Donde:

$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}}{k} \quad (5)$$

Siendo k = número de muestras

Gráfico de control para la dispersión (R).

Mide la variación en el rango de las muestras. Aunque la desviación estándar es una medida que necesita de la dispersión, las técnicas de control de calidad generalmente confían en el rango como un indicio de la variabilidad del proceso. (Suárez, 2012)

El límite superior de control para el rango se verifica con la siguiente ecuación:

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \quad (6)$$

El límite inferior de control para el rango se verifica con la siguiente ecuación:

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad (7)$$

Los valores D_3 y D_4 son tomados de la tabla de factores críticos de las gráficas o cartas de control de acuerdo al tamaño n de la muestra y el rango promedio de los rangos muestrales, siendo $k =$ número de muestras indicados en el Anexo 4.

Modelado 3D

En esta investigación después de haber realizado la fase de pruebas experimentales en los inyectores, se procede a desarmar al inyector y con la ayuda de instrumentos de medida y catálogos del fabricante se procede a modelar todas las partes del inyector en el software Cad Solidwork versión estudiantil para posteriormente realizar el ensamble y de esta manera obtener el sólido del flujo, considerando este sólido como la parte por donde circula el fluido.



Figura 11. Inyector modelado en Cad Solidwork
Fuente: Autor

Tabla 6.

Skewness mesh

Excelente	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Inaceptable
0-0,25	0,25-0,50	0,50-0,80	0,80-0,94	0,95-0,97	0,98-1,00

Tabla 7.

Orthogonal quality

Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
0 – 0,001	0,001 – 0,14	0,15 – 0,20	0,20 – 0,69	0,70 – 0,95	0,95 – 1,00

Como parte de la metodología experimental en el software se plantea la variación de la geometría de salida del fluido de tres ductos a cinco ductos, y la variación del diámetro de inyección, para los cuales se usa el mismo tipo de malla de elementos finitos. Se inicia realizado para la geometría de 3 ductos donde se procede a realizarlo también en las modificaciones es decir en la de 5 ductos y en la geometría que se varia el diámetro.

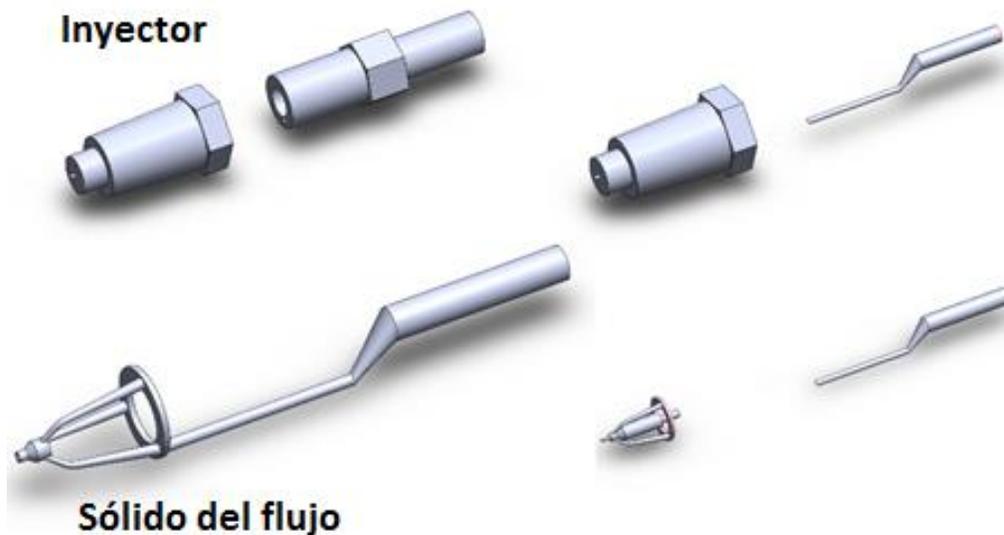


Figura 13. Geometría del inyector y del sólido del fluido en Cad Solidwork
Fuente: Autor

Pre procesamiento

Para los respectivos análisis es necesario especificar los parámetros de entrada y salida del fluido tanto del combustible diésel como del biocombustible de aceite de frituras.

SALIDA
12/07/2018 10:54
A ENTRADA
B SALIDA

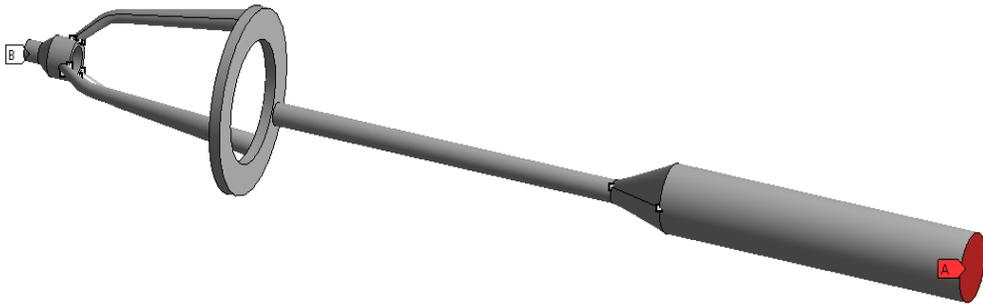


Figura 14. Entrada y salida del fluido en el componente de análisis.
Fuente: Autor

En la figura 14 se observa el punto de entrada como A y de salida como B, nótese que el componente empleado corresponde al inyector de 3 salidas; sin embargo, la misma caracterización se presenta en el inyector de 5 salidas y cuando se varia el diámetro de salida del fluido debido a que los componentes son los mismos. Para el respectivo análisis del fluido y su comportamiento dentro del inyector, se procede a emplear Ansys Fluent, y como parámetro general se selecciona el tipo de análisis a realizarse, que, en este caso, corresponderá a flujo transitorio, como se observa en la figura 15.

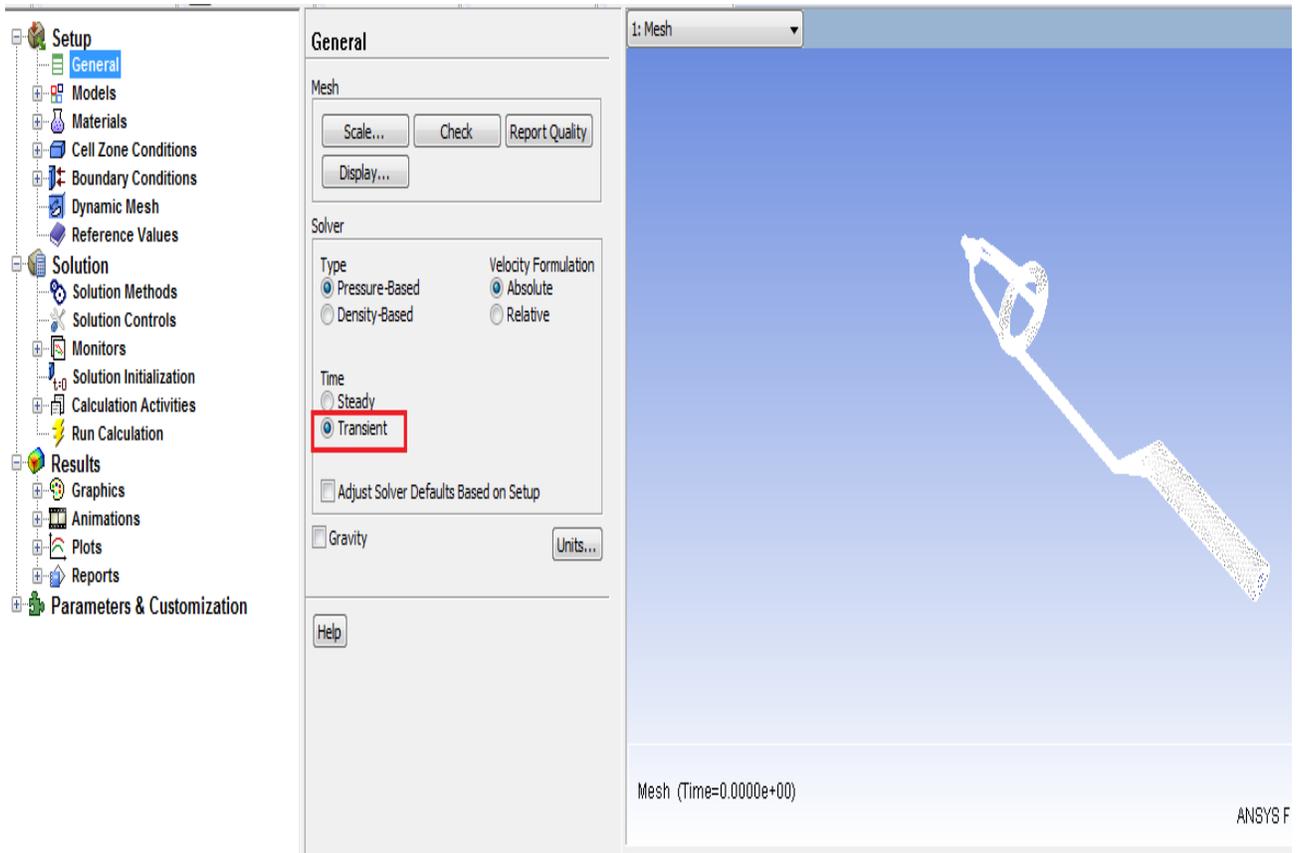


Figura 15. Característica general del análisis.
Fuente: Autor

Una vez determinado el tipo de análisis, se procede a la pestaña de Models y se escoge la 3ra opción llamada Viscous y se activan las características k-epsilon, standard y Scalable Wall Functions, como se observa en la figura 16.

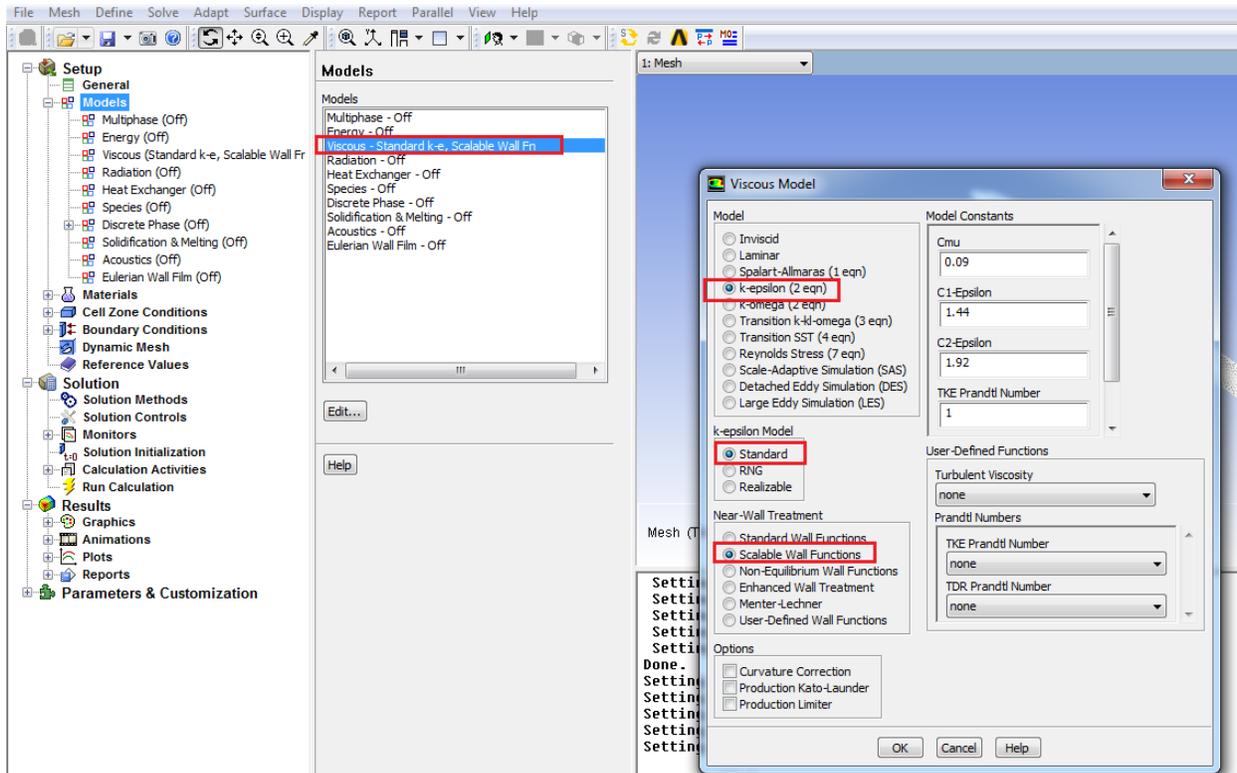


Figura 16. Procedimiento de análisis (Pestaña Model)

Fuente: Autor

Determinado el parámetro model, se procede a la pestaña Material, donde se selecciona Fluid y Database, donde se ubica los datos del combustible y el biocombustible de aceite de frituras y se da énfasis en las unidades que se planea trabajar, en este caso se emplea el Sistema Internacional, esto se observa en la figura 17.

Nótese además que, en el análisis, se deben establecer la zona por la cual recorre el fluido, para lo cual se selecciona la pestaña Cell Zone Conditions, se escoge el fluido a emplearse.

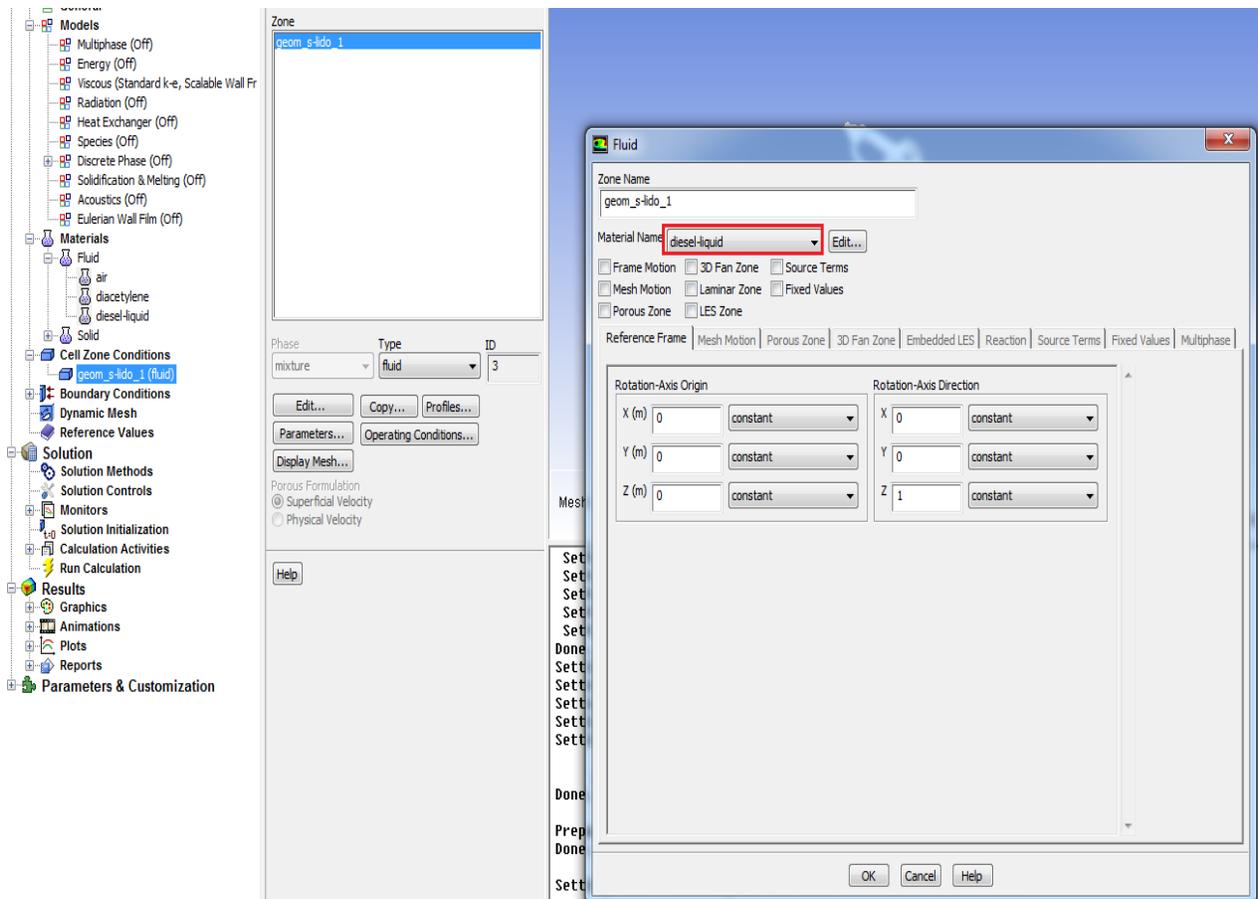


Figura 17. Selección del fluido.

Fuente: Autor

Una vez determinada la zona de recorrido del fluido se procede a establecer las condiciones de frontera del análisis, se selecciona el parámetro de entrada y se digita la velocidad de entrada del fluido previamente calculada utilizando datos obtenidos de caudal y área como se observa en la figura 18.

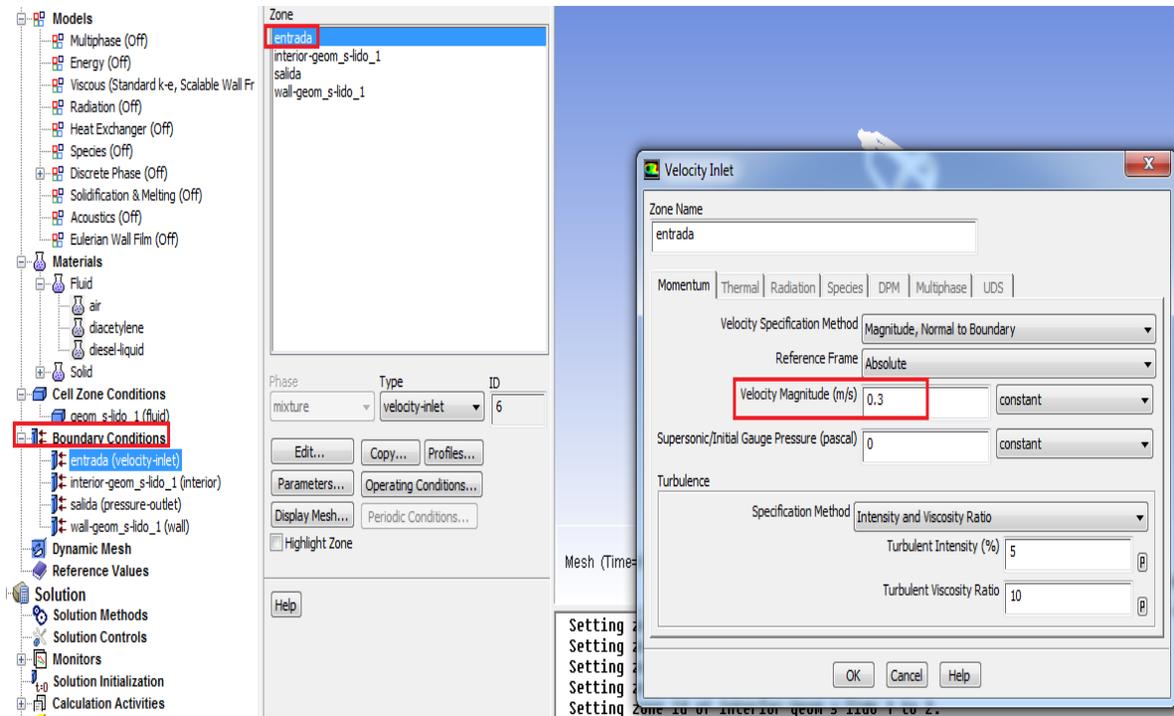


Figura 18. Condiciones de frontera (Velocidad de entrada del fluido).
Fuente: Autor

De la misma forma, se determina la condición de salida del fluido, por lo que se procede a seleccionar Pressure Outlet y se digita la presión de salida previamente obtenida en la fase experimental para cada uno de los fluidos en análisis, como se puede observar en la figura 19.

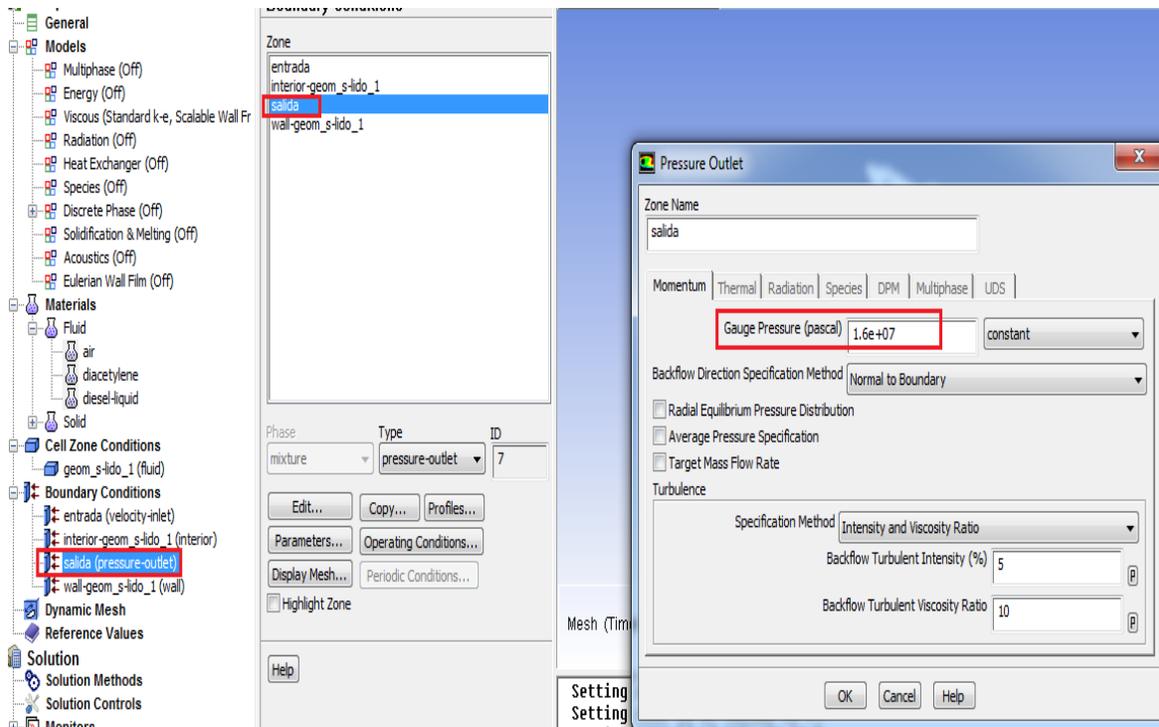


Figura 19. Condiciones de frontera (Presión de salida del fluido).

Fuente: Autor

Una vez determinadas las condiciones de frontera, se selecciona Run Calculation, en Time Step Size se procede a introducir el valor de 0.1, en número de Time Steps se digita 5 estos valores representan tiempo en el que se procederá a realizar la simulación, y en Max Iterations se digita 20 que es el número de iteraciones que se va a realizar, y se procede a calcular como se observa en la figura 20.

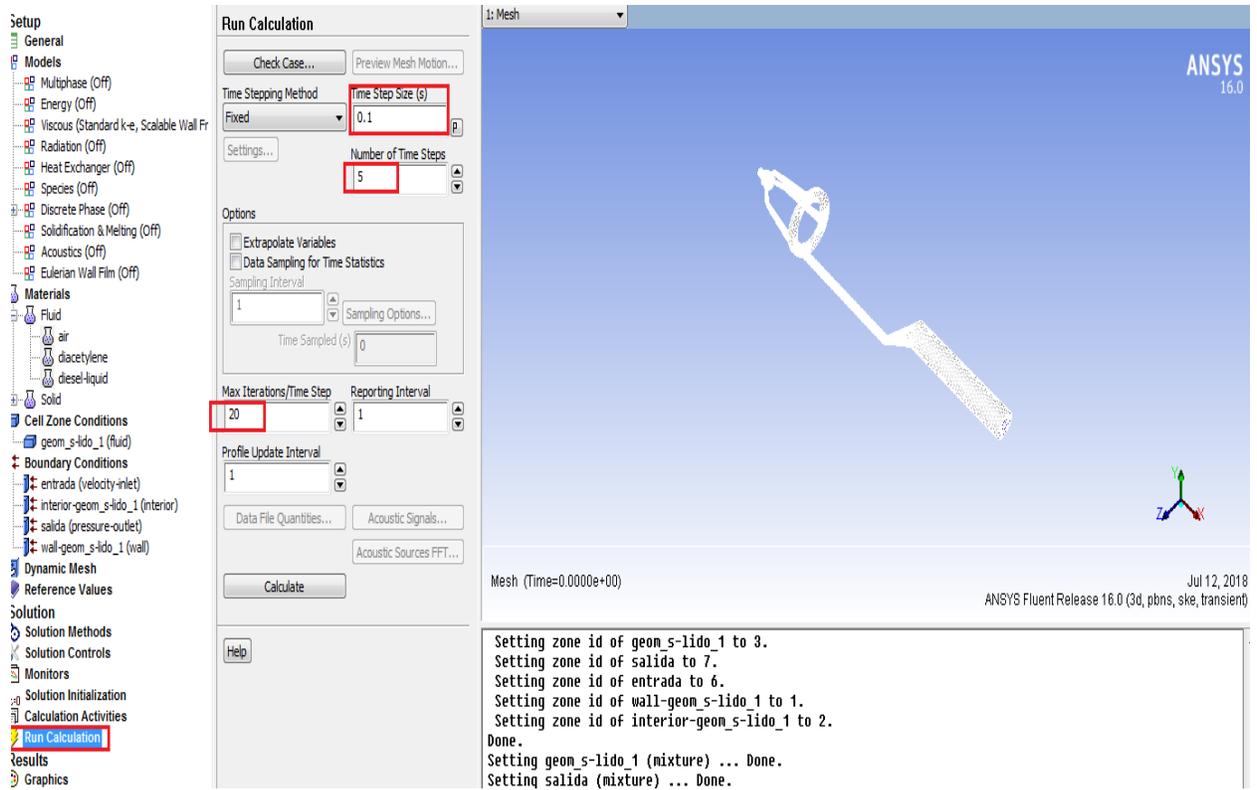


Figura 20. Ejecución del análisis
Fuente: Autor

Resultados

Presión de apertura Diésel Vs B10, B20 y B100

En esta parte se muestran todos los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas en el inyector mecánico marca Nipondenso, al cual se lo realizó en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior Guayaquil. Estas pruebas fueron realizadas con diésel en comparación con biocombustible de aceite de frituras B10, B20 y B100 obteniendo los resultados de presión de apertura que se muestran en la tabla 8, además se adjunta los valores promedios y rango para realizar el cálculo de límite superior e inferior tanto de rangos como de medias.

Tabla 8.

Presiones de apertura del inyector

# Prueba	Presión Diésel (MPa)	Presión B10 (MPa)	Presión B20 (MPa)	Presión B100 (MPa)	Promedio (X)	Rango (R)
1	16	21	22	25	21	9
2	16	20	23	25	21	9
3	16	21	23	24	21	8
4	16	21	22	24	20,75	8
5	15	20	22	25	20,5	10
6	16	20	23	25	21	9
7	17	21	22	25	21,25	8
8	16	20	23	25	21	9
9	17	21	22	24	21	7
10	15	20	23	24	20,5	9
Promedio	16	20,5	22,5	24,6	X=20,9	R=8,6

La muestra está determinada por $n=4$ y $k=10$. Según el ANEXO 4 se obtienen los valores de $A_2=0,729$; $d_2=2,059$; $D_3=0$; $D_4=2,282$; $d_3=0,8798$, con estos datos se procede a la aplicación de la ecuación (6) y (7) para el límite superior e inferior del control de rango y se obtiene:

$$LSC_R = D_4 R$$

$$LSC_R = 2,282 \times 8,6$$

$$LSC_R = 19,6$$

$$LIC_R = D_3 R$$

$$LIC_R = 0 (8,6)$$

$$LIC_R = 0$$

En la figura 21 se puede observar que no existe ningún valor de carga absoluta que salga de los límites de control, indicando que los valores obtenidos en la fase experimental son correctos y que no existen errores de ninguna causa.

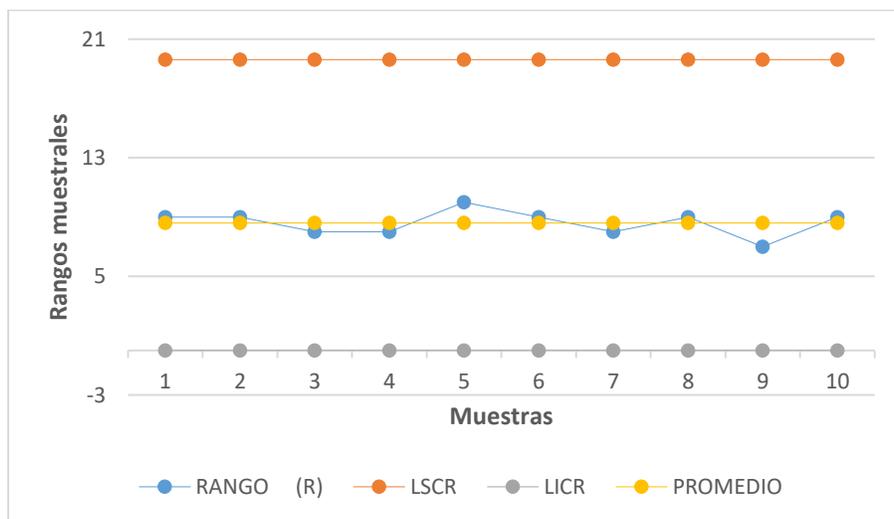


Figura 21. Grafica de control de rango de Carga Absoluta
Fuente: Autor

Posteriormente se procede a realizar el cálculo de los límites superior e inferior de medias, mediante las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2\bar{R}$$

$$LSC_{\bar{X}} = 20,9 + 0,729(8,6) = 27,17$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2\bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = 20,9 - 0,729(8,6) = 14,63$$

En la figura 22 se detalla los valores obtenidos y se verifica que no existe errores de ningún tipo, ya que ninguno de los valores sale de lo estipulado.

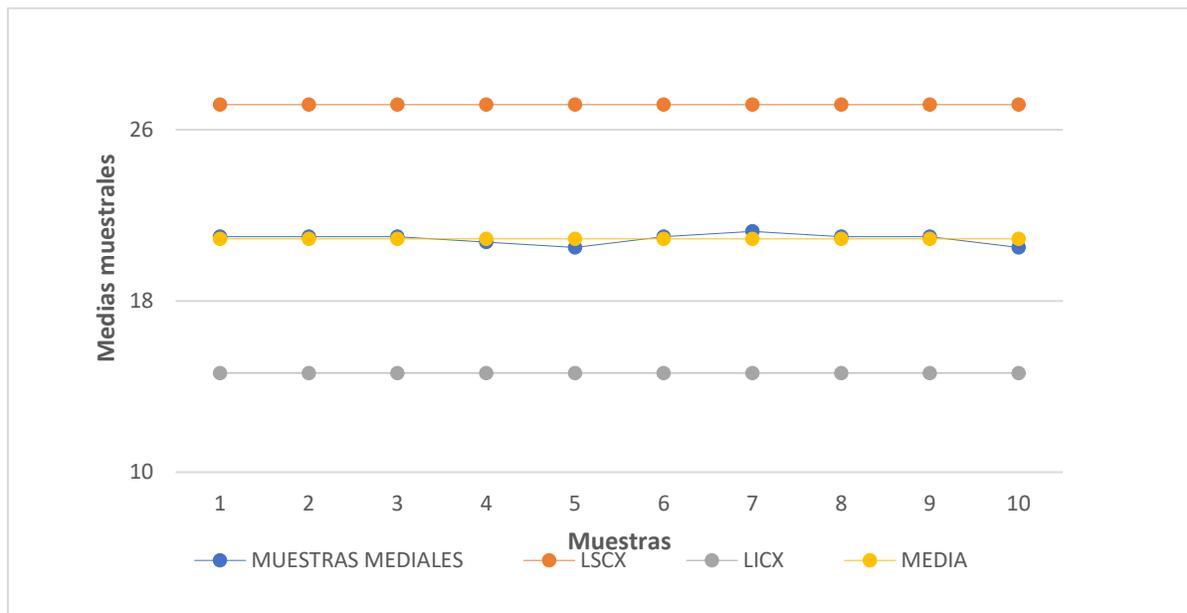


Figura 22. Gráfica de control de medias de Carga Absoluta
Fuente: Autor

Cálculo del ángulo de pulverización

Como parte de la fase experimental se realizó el cálculo del ángulo de pulverización, para lo cual se colocó al inyector en el probador de inyectores diésel a una altura de 15cm este valor es considerado debido a que el ángulo de pulverización es efectivo en un 60% de su totalidad

y el valor seleccionado se encuentra dentro de los límites, con esta distancia y la ayuda de una hoja de papel se acciona el comprobador de inyectores el cual realiza una marca de chorro y con la medida de diámetro obtenida se procede a calcular el ángulo de pulverización.

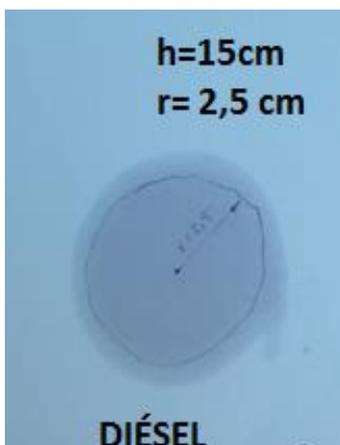


Figura 23. Marca de pulverización usando diésel
Fuente: Autor

Tabla 9.

Resultados del ángulo de pulverización usando diésel

COMBUSTIBLE	ALTURA (cm)	Diámetro (cm)	Ángulo de pulverización (°)	Promedio (°)
DIÉSEL	15	4,5	17,06	16,80
	15	4,2	15,94	
	15	4,3	16,31	
	15	4,4	16,69	
	15	4,6	17,43	
	15	4,4	16,69	
	15	4,7	17,81	
	15	4,6	17,43	
	15	4,35	16,50	
	15	4,25	16,13	

Una vez realizado las pruebas en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior Guayaquil al inyector mecánico, cuando trabaja con diésel y biocombustible a las diferentes mezclas se presenta la tabla donde se muestra la variación del ángulo de pulverización con los diferentes combustibles.

Tabla 10.

Resultados del ángulo de pulverización usando biodiesel B10

COMBUSTIBLE	ALTURA (cm)	Diámetro (cm)	Ángulo de pulverización (°)	Promedio (°)
B10	15	5,3	20,04	19,59
	15	5,1	19,30	
	15	5,1	19,30	
	15	5,24	19,82	
	15	5,25	19,85	
	15	5,15	19,48	
	15	5,1	19,30	
	15	5,3	20,04	
	15	5,2	19,67	
	15	5,05	19,11	

Como se puede observar en la tabla 10 el ángulo de pulverización usando biodiesel B10 es de 19,59° luego de haber realizado 10 pruebas.

Tabla 11.

Resultados del ángulo de pulverización usando biodiesel B20

COMBUSTIBLE	ALTURA (cm)	Diámetro (cm)	Ángulo de pulverización (°)	Promedio (°)
B20	15	5,4	20,41	20,63
	15	5,4	20,41	
	15	5,5	20,78	
	15	5,45	20,59	
	15	5,5	20,78	
	15	5,6	21,15	
	15	5,4	20,41	
	15	5,45	20,59	
	15	5,4	20,41	
	15	5,5	20,78	

Como se puede observar en la tabla 11 el ángulo de pulverización usando biodiesel B20 es de 20,63° luego de haber realizado 10 pruebas.

Tabla 12.

Resultados del ángulo de pulverización usando biodiesel B100

COMBUSTIBLE	ALTURA (cm)	Diámetro (cm)	Ángulo de pulverización (°)	Promedio (°)
B100	15	5,9	22,25	22,29
	15	6	22,62	
	15	5,7	21,52	
	15	5,8	21,88	
	15	6,1	22,99	
	15	5,9	22,25	
	15	6	22,62	
	15	5,8	21,88	
	15	6,1	22,99	
	15	5,8	21,88	

Como se puede observar en la tabla 12 el ángulo de chorro usando biodiesel B100 es de 22,29° luego de haber realizado 10 pruebas, en la figura 24 se muestra las curvas de los ángulos de pulverización con los datos obtenidos en la fase experimental al usar diésel y biodiesel con las combinaciones B10, B20 Y B100.

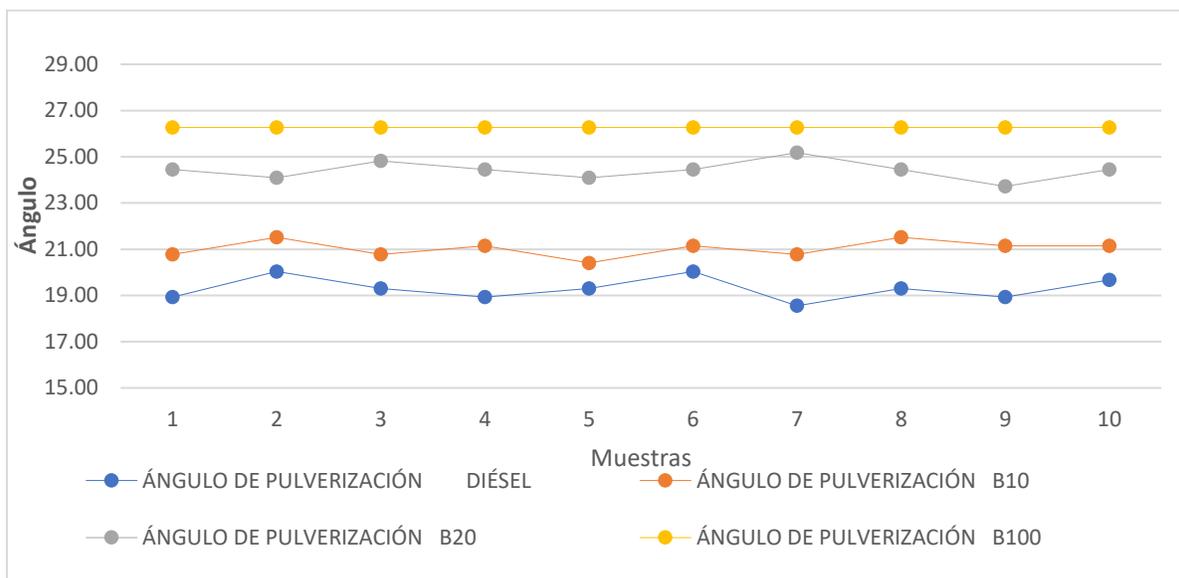


Figura 24. Resultados del ángulo de pulverización de los combustibles

Fuente: Autor

Lo que analíticamente representa una tendencia polinómica de la distribución de datos donde la variante es la relación de mezcla del biodiesel. Como se muestra en la gráfica que continua, la variable “ x ” es el porcentaje de concentración de la mezcla en estudio y la variable “ y ” será el valor de la presión de salida.

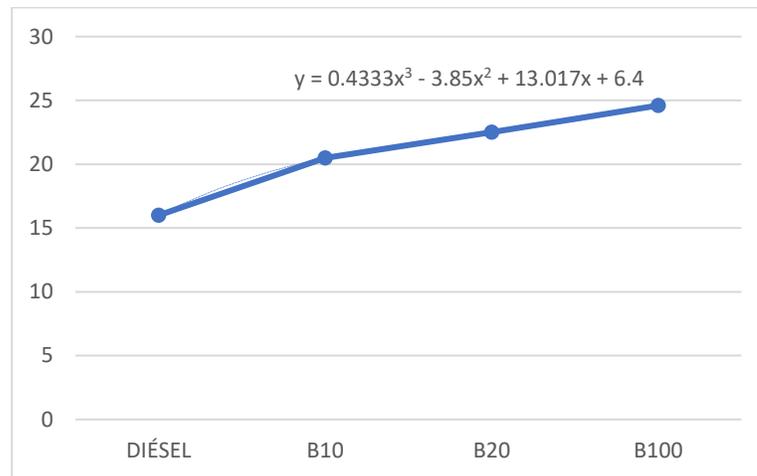


Figura 25. Tendencia polinómica de las mezclas de biocombustible.
Fuente: Autor

Simulaciones del inyector mecánico

Simulación de la geometría original del inyector (calidad de malla 3 salidas) .

En la fase de simulación se puede visualizar la calidad de malla empleada en el software Ansys Fluent la misma que se encuentra dentro de los parámetros recomendados por Ansys para la geometría en análisis como se puede observar en la figura 26.

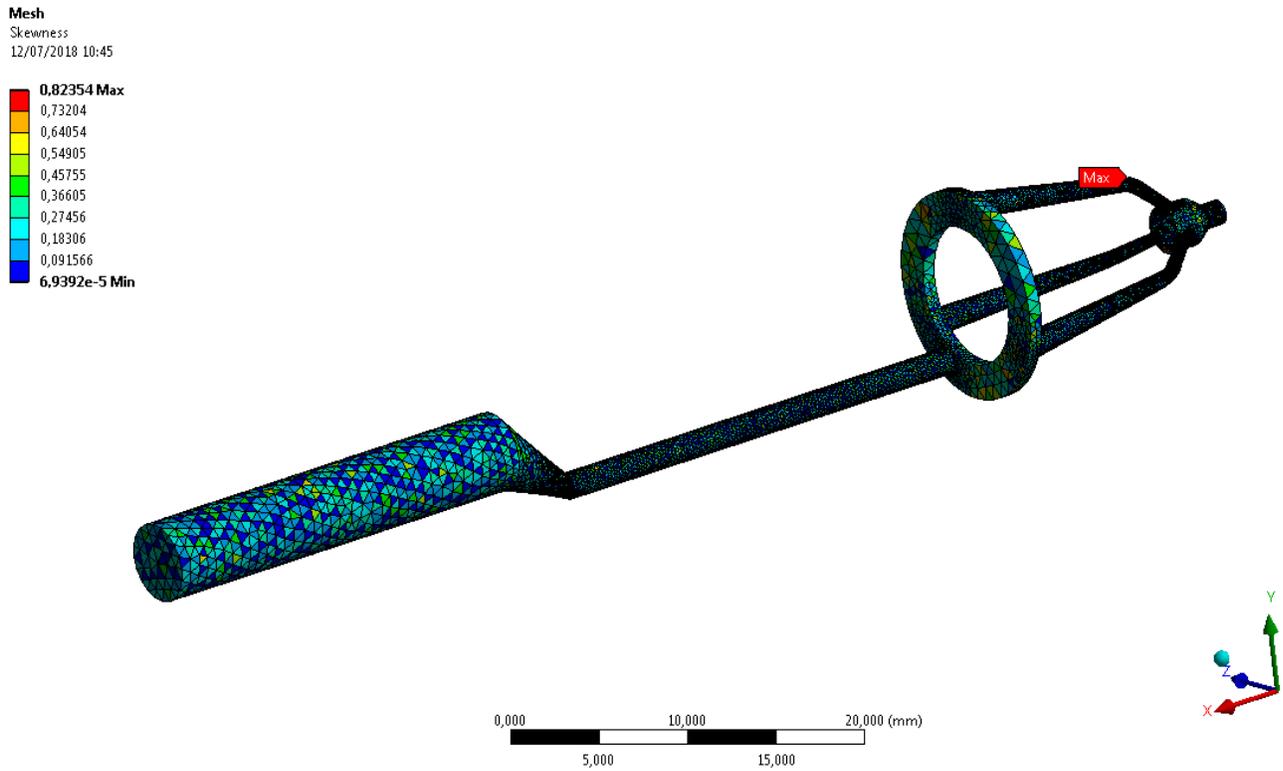


Figura 26. Calidad de malla en el inyector de 3 salidas en función de la oblicuidad.
Fuente: Autor

Como puede observarse en la figura 26, el mallado del componente presenta en su mayoría una coloración azul con un valor de oblicuidad máximo de 0,82354, este valor es adimensional y se presenta en las salidas del fluido debido a la dimensión del diámetro que presentan las mismas.

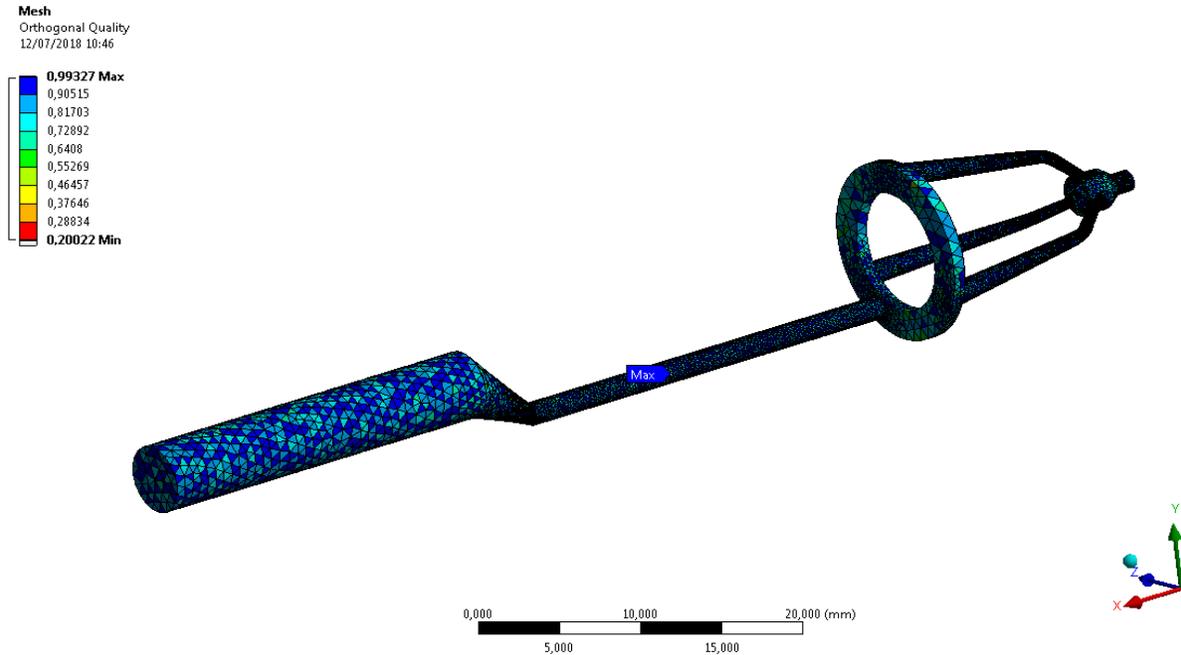


Figura 27. Calidad ortogonal de los elementos en inyector de 3 salidas.
Fuente: Autor

Como se observa en la figura 27, el mallado del componente presenta en su mayoría una coloración azul con un valor de calidad ortogonal máximo de 0,99327. De igual manera, este valor es adimensional. De lo anterior expuesto, en la figura 28 se observa los valores de oblicuidad y la cantidad de elementos que poseen dicho valor.

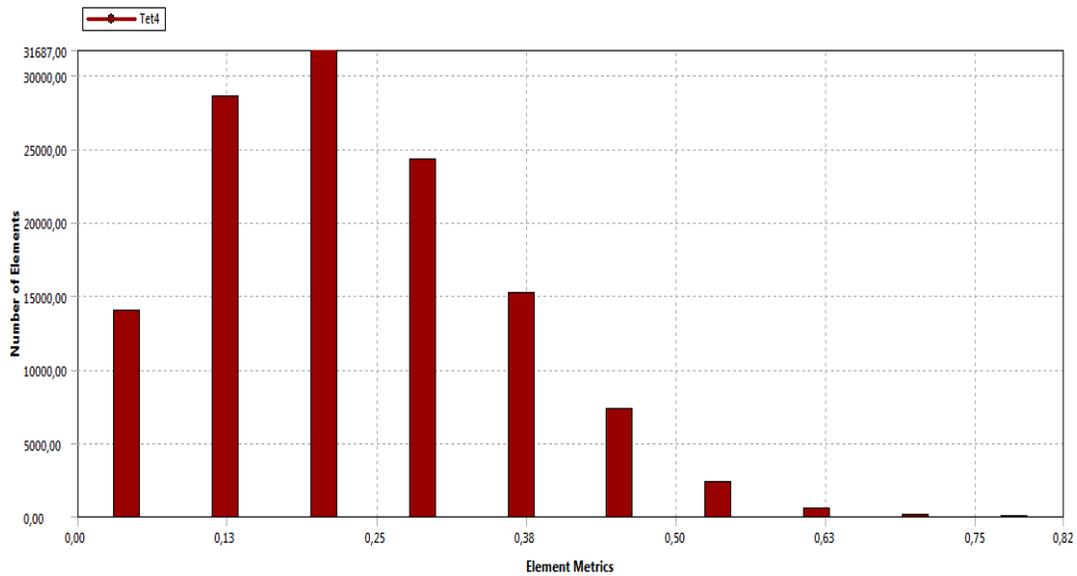


Figura 28. Valores de oblicuidad de los elementos en inyector de 3 salidas
Fuente: Autor

Nótese también que aproximadamente un total 32687 elementos poseen un valor de oblicuidad de 0,22 y que alrededor de 150 elementos tienen un valor de 0,8254. Este valor a pesar de ser el máximo, afecta al 0,121% de los elementos, por lo cual es aceptable el mallado y se puede continuar con el análisis.

Simulación de la geometría original del inyector (calidad de malla 5 salidas) .

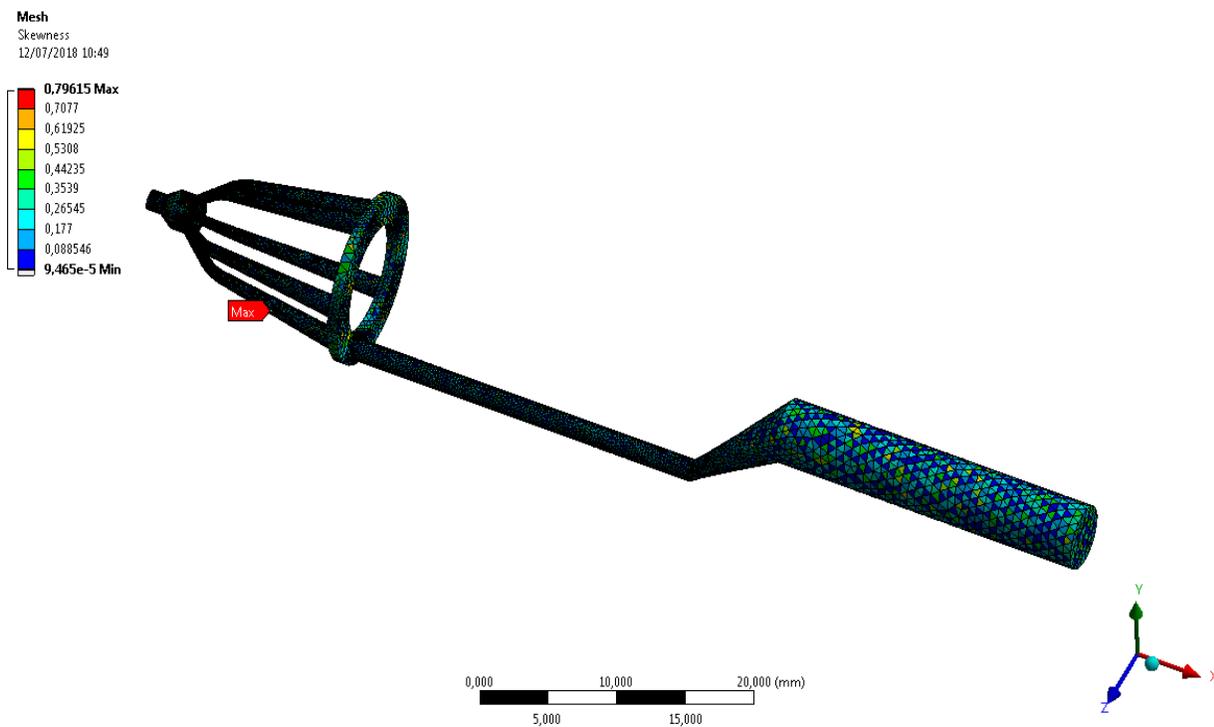


Figura 29. Calidad de malla en inyector de 5 salidas en función de la oblicuidad
Fuente: Autor

En la figura 29, nótese que el control de calidad de malla esta vez se lo realiza en un inyector de 5 salidas; de igual manera, presenta un valor máximo de oblicuidad de los elementos de 0,79615.

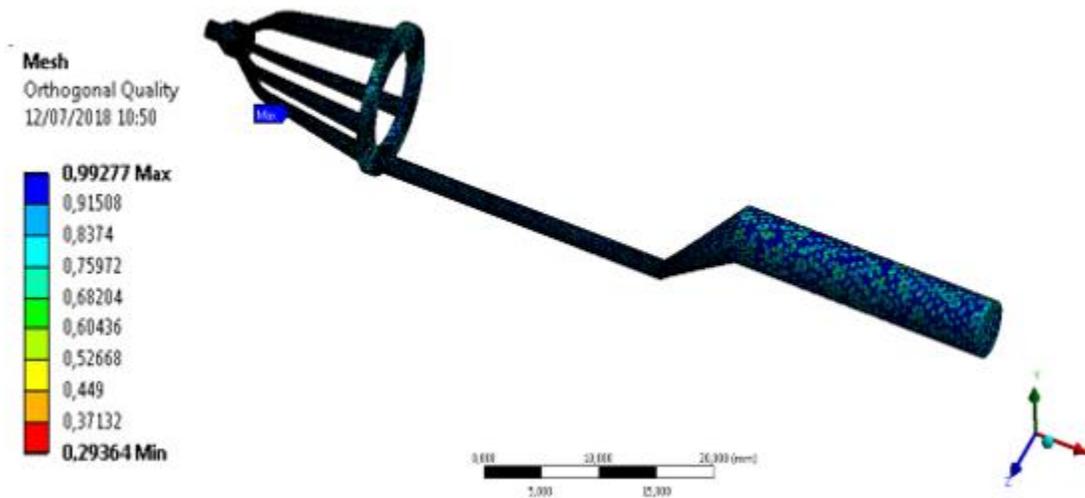


Figura 30. Calidad ortogonal de los elementos en inyector de 5 salidas
Fuente: Autor

En la figura 30 se observa que el mallado del componente presenta en su mayoría una coloración azul con un valor de calidad ortogonal máximo de 0,99277, lo cual es excelente en el componente y en la figura 31 se muestra la calidad ortogonal.

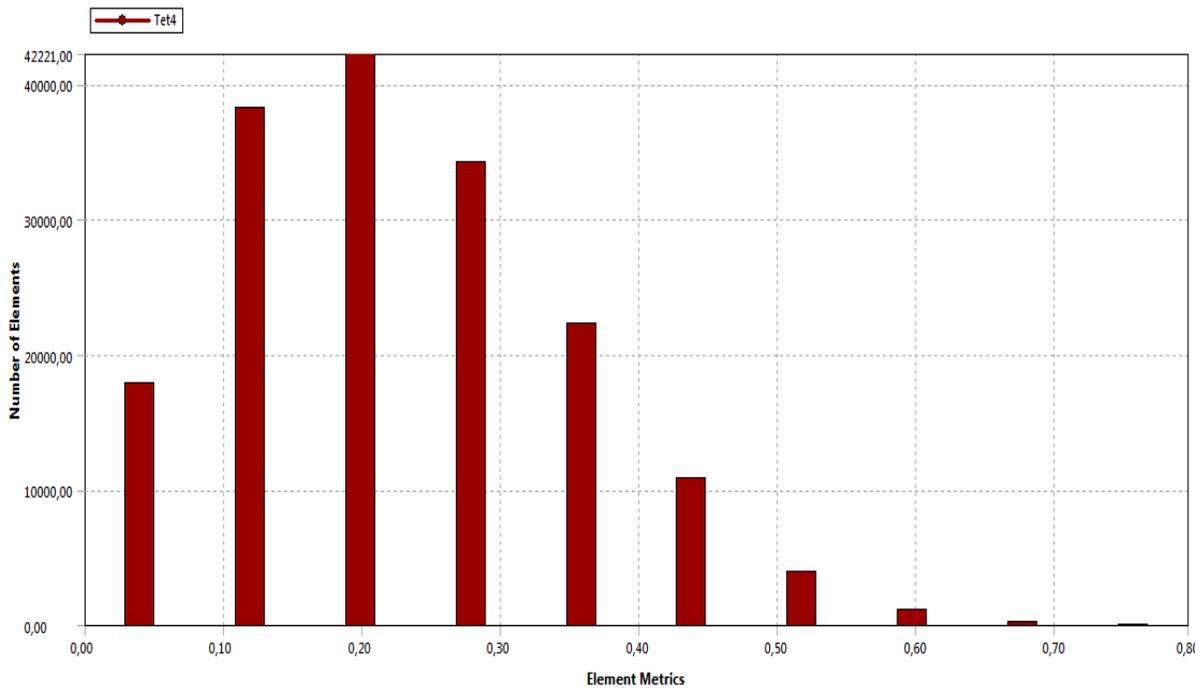


Figura 31. Valores Calidad ortogonal de los elementos en inyector de 5 salidas.
Fuente: Autor

Para el respectivo análisis del fluido y su comportamiento dentro del inyector, se procede a emplear Ansys Fluent una vez realizados todos los cambios necesarios en Workbench Ansys, y como parámetro general se selecciona el tipo de análisis a realizarse, en este caso corresponderá a flujo transitorio.

Post procesamiento.

En este apartado se procede al análisis del inyector en función del fluido empleado y el número de salidas que presenta, con énfasis a la velocidad, presión y turbulencia como se detalla a continuación.

Análisis del inyector de 3 salidas valores originales .

En la presente investigación se inicia con el análisis del inyector usando sus variables originales como se puede observar en el Anexo V y en la tabla 13, el respectivo análisis se lo realiza con fluido diésel, y el biocombustible de aceite de frituras B10, B20 y B100, para cada uno de los casos se procede al análisis de velocidad, presión y turbulencia en el fluido.

Tabla 13.

Valores originales de la geometría del inyector

Variables originales		
Número	Denominación	Valor
1	p1	24
2	e	6.5
3	p2	27
4	a	4.25
5	d1	4.5
6	d2	1.5
7	e3	0.8
8	d3	1
9	p3	13.3
10	d4	1.5
11	D5	0.75

Condiciones de borde para el análisis de velocidad, presión e intensidad de turbulencia del fluido.

En la fase de análisis en el inyector mecánico se consideró las siguientes condiciones de borde obtenidas en la fase experimental, para de esta manera introducirlo al software Ansys versión estudiantil.

Para obtener el valor de velocidad de entrada del fluido se procedió a calcular mediante la ecuación (8) donde se conoce el caudal y el diámetro de entrada del fluido.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

$$A_{\text{circunferencia}} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (9)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$V = \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$A = \text{Área} (m^2)$$

Reemplazando datos de caudal $= 4,7E-6 \frac{m^3}{s}$ y con el diámetro de ingreso de fluido de 4,5 mm reemplazando en la ecuación (9) se obtiene la velocidad de entrada del fluido.

$$A_{\text{circunferencia}} = \frac{\pi 4,5^2}{4} = 1,59E - 5 m^2$$

$$\text{Velocidad de entrada : } V = \frac{4,76 E - 6 \frac{m^3}{s}}{1,5 E - 5 m^2} = 0,3 \frac{m}{s}$$

Salida: presión de salida de los fluidos, tabla 14.

Tabla 14.

Presiones de salida de los combustibles

Diésel (MPa)	Biocombustible B10 (MPa)	Biocombustible B20 (MPa)	Biocombustible B100 (MPa)
16	20,5	22,5	24,6

Análisis de la velocidad en el inyector de 3 salidas con fluido diésel.

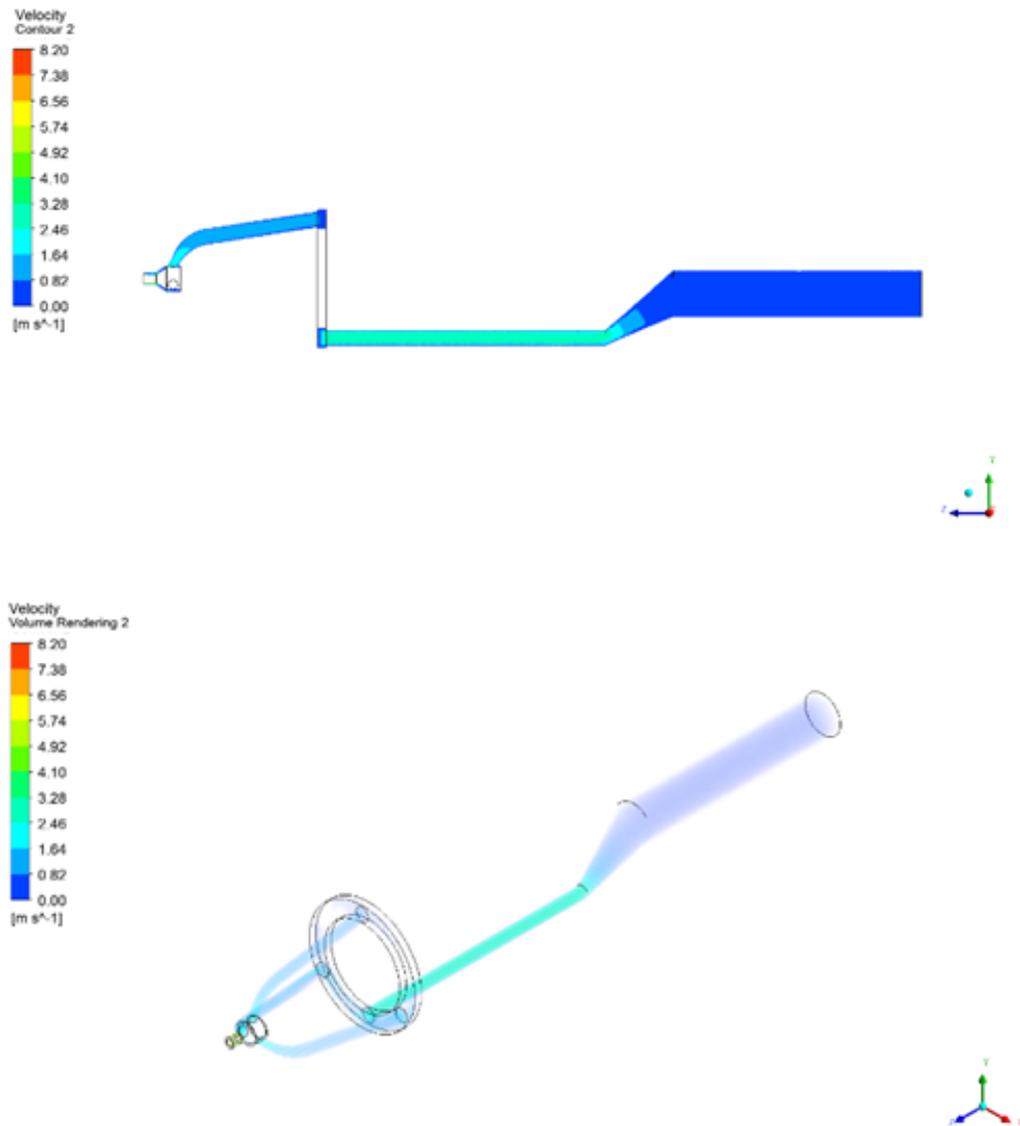


Figura 32. Análisis de la velocidad en el inyector de 3 salidas usando diésel.
Fuente: autor

Como se observa en la figura 32 la velocidad máxima del fluido usando diésel es de 8,20 m/s, siendo esta la velocidad máxima del fluido.

Análisis de la presión en el inyector de 3 salidas con fluido diésel.

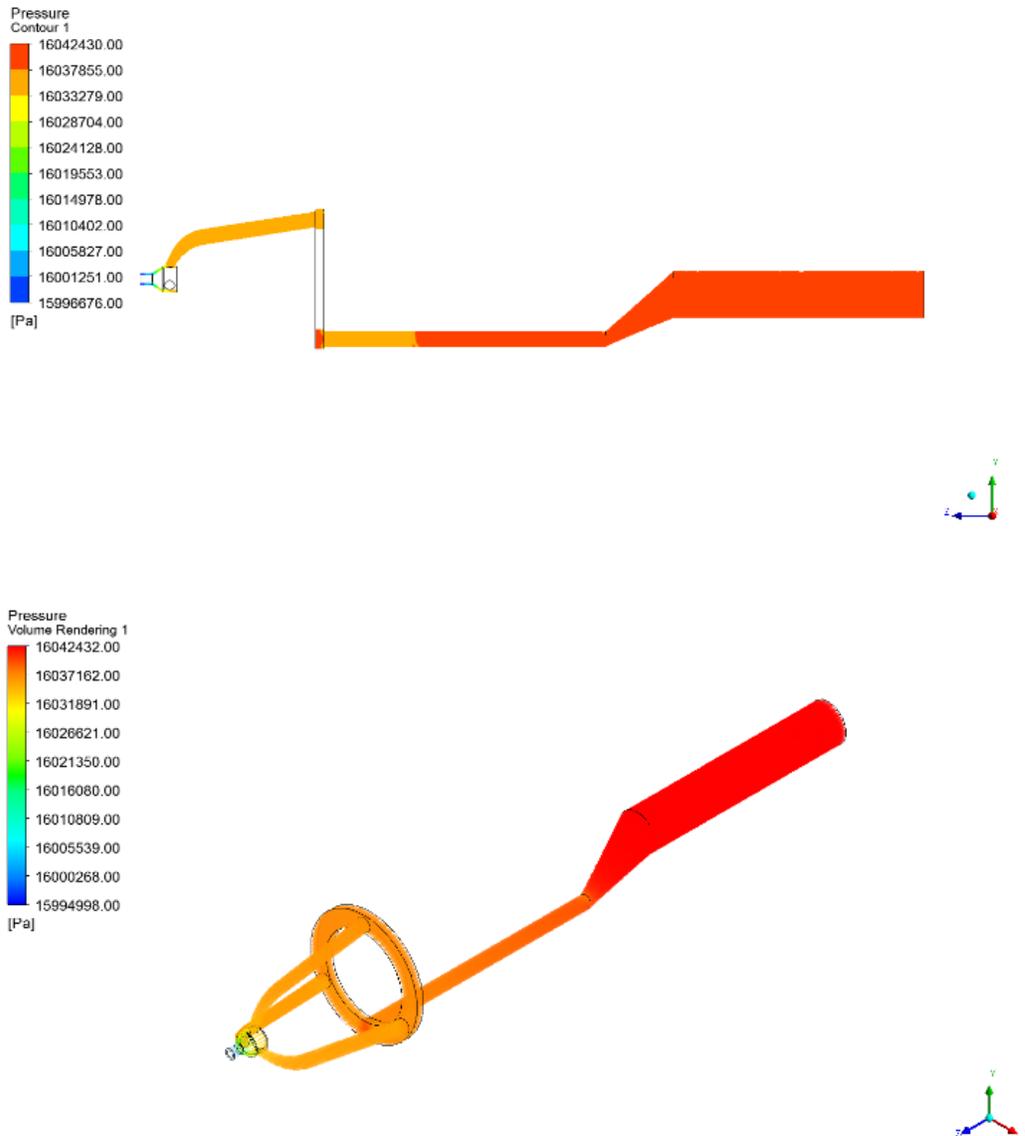


Figura 33. Análisis de la presión en el inyector usando Diésel en inyector de 3 salidas
Fuente: Autor

Como se observa en la figura 33, la presión máxima alcanzada es de 16,024 Mpa, al usar combustible diésel.

Análisis de turbulencia en el inyector de 3 salidas con fluido diésel

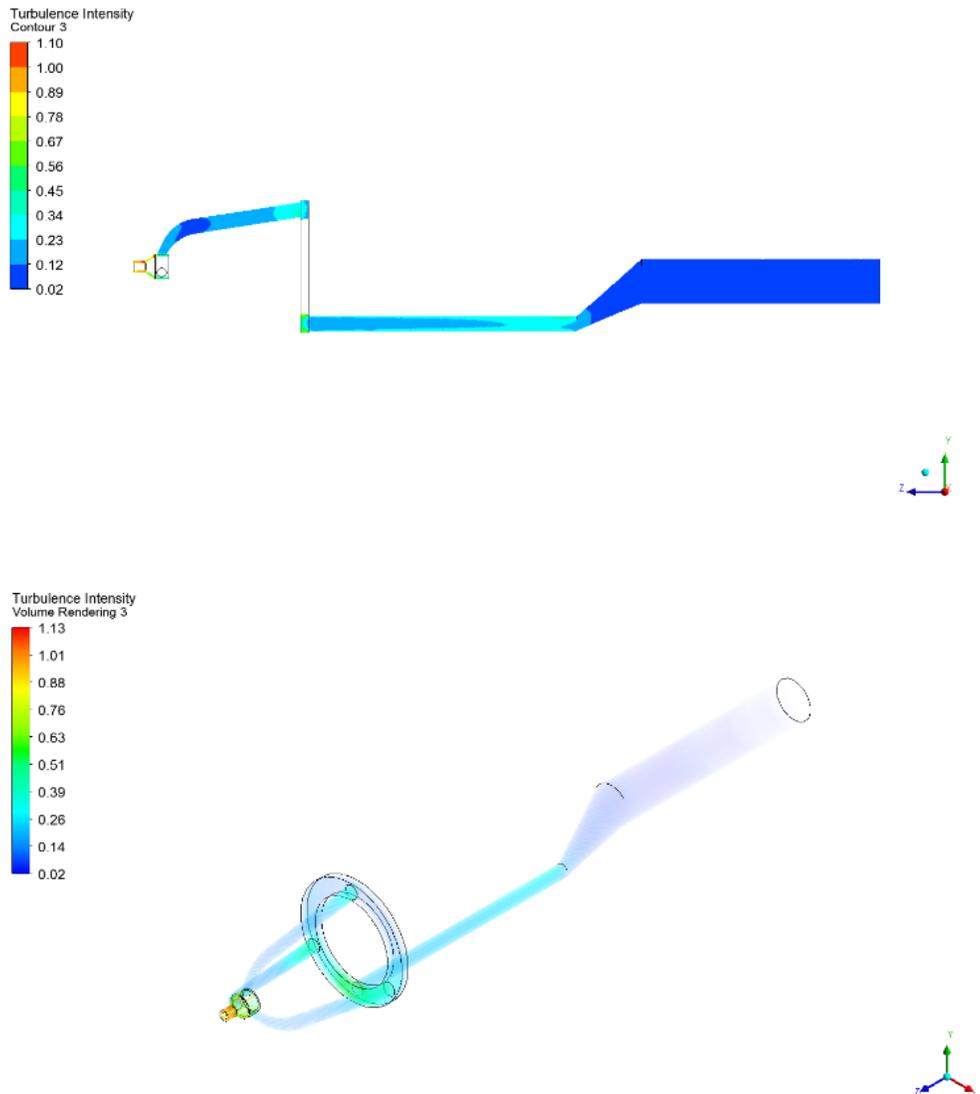


Figura 34. Análisis de la turbulencia en inyector de Diésel de 3 salidas.
Fuente: Autor

Como se observa en la figura 34, el máximo flujo turbulento es de 1,13 al usar combustible diésel, de la misma manera con las condiciones de borde y presiones de salida del fluido se procedió a la simulación en el software Ansys Fluent versión estudiantil con la variación de condiciones originales tanto de 3 a 5 salidas como la disminución del diámetro de salida del fluido y el uso de todos los combustibles obteniendo los resultados que se detallan a continuación.

Tabla 15.

Valores de simulación con geometría 3 salidas

FLUIDO	DENSIDAD (Kg/m³)	VISCOCIDAD CINEMATICA (cSt)	VISCOSIDAD DINAMICA (cP)	PRESION DE SALIDA (MPa)	VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	PRESION MAXIMA (MPa)	INTENSIDAD DE TURBULENCIA
DIESEL	730	5	0,0024	16	0,3	8,20	16,04	1,13
B10	468	3,44	0,00160992	20,5	0,3	8,20	20,53	1,14
B20	480	3,45	0,001656	22,5	0,3	8,20	22,52	1,14
B100	882	6,069	0,00535285	24,6	0,3	8,19	24,65	1,28

Como se observa en la tabla 15 mediante la simulación con el software Ansys versión estudiantil, se obtuvo valores de velocidad, presión, e intensidad de turbulencia simulando en la geometría original del inyector.

Tabla 16.

Valores de simulación con geometría de 5 salidas

FLUIDO	DENSIDAD (Kg/m³)	VISCOCIDAD CINEMATICA (cSt)	VISCOSIDAD DINAMICA (cP)	PRESION DE SALIDA (MPa)	VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	PRESION MAXIMA (MPa)	INTENSIDAD DE TURBULENCIA
DIESEL	730	5	0,0024	16	0,3	5,07	16,018	0,91
B10	468	3,44	0,00160992	20,5	0,3	5,10	16,020	0,94
B20	480	3,45	0,001656	22,5	0,3	5,13	16,021	0,98
B100	882	6,069	0,00535285	24,6	0,3	5,18	16,024	1,07

Los valores que se muestran en la tabla 16 son de la simulación en el software Ansys versión estudiantil, usando una geometría diferente a la original realizando una variación de 3 salidas a 5 salidas, en la que muestra valores de velocidad, presión e intensidad de turbulencia.

Tabla 17.

Valores de simulación con disminución en el diámetro de salida del inyector

FLUIDO	DENSIDAD (Kg/m³)	VISCOCIDAD CINEMATICA (cSt)	VISCOSIDAD DINAMICA (cP)	PRESION DE SALIDA (MPa)	VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	PRESION MAXIMA (MPa)	INTENSIDAD DE TURBULENCIA
DIESEL	730	5	0,0024	16	0,3	11,62	16,08	1,53
B10	468	3,44	0,00160992	20,5	0,3	11,65	20,52	1,55
B20	480	3,45	0,001656	22,5	0,3	11,67	20,53	1,56
B100	882	6,069	0,00535285	24,6	0,3	11,89	24,70	1,79

La tabla 17 presenta valores de velocidad, presión e intensidad de turbulencia obtenidos en la simulación con el software Ansys versión estudiantil.

Discusión de resultados

Una vez realizada los análisis del diésel y biodiésel en los inyectores de 3 salidas, 5 salidas y la variación de los diámetros de la salida del fluido, se procede a la discusión de los resultados obtenidos tanto en la fase experimental como en la de simulación en el software Ansys versión estudiantil llegando a determinar lo siguiente:

Presiones de apertura con los diferentes combustible

Según la tabla 8, se puede observar la variación de presiones de apertura en el inyector mecánico al usar diferentes combustibles es importante mencionar que se realizó un control de media y rango para las diferentes pruebas experimentales observando en la figura 22 se concluye que las mismas se encuentran bajo control ya que no existen variaciones de causa asignable es decir que todos los datos obtenidos se encuentran dentro de los límites de control.

Por otra parte, según análisis de los resultados obtenidos se evidencia que el biocombustible con mayor densidad requiere de una presión mayor de apertura, en este caso para biocombustible B10 se requiere 16Mpa, B20 requiere 20,5 Mpa y B100 es necesario una presión de apertura de 24,6Mpa.

Además, lo que analíticamente representa una tendencia polinómica de la distribución de datos donde la variante es la relación de mezcla del biodiesel, en comparación con (Guerrero, 2018) al usar biocombustible de origen vegetal presenta la misma tendencia de forma polinómica.

Ángulo de pulverización

Al momento de realizar las pruebas de la medición del ángulo de pulverización del inyector mecánico tipo tetón marca Nipondenso en el laboratorio de Mecánica Automotriz del Instituto Tecnológico Superior Guayaquil se determinó que cuando este se encuentra trabajando con biocombustible de mayor densidad el ángulo aumenta como se puede ver en la tabla 18, mientras que cuando trabaja con combustible diésel el ángulo es menor como se puede observar en la tabla 8, además según Guerrero (2018) el ángulo varía debido a la densidad del combustible, el mismo que es un parámetro muy importante según Pavía (2015), ya que el chorro influye directamente en la combustión de la mezcla aire combustible lo que podría llegar a afectar el rendimiento del motor y sus emisiones, con los datos obtenidos se realizó un control de media y rango para garantizar que los datos obtenidos se encuentren dentro de los límites de control.

Tabla 18.

Ángulos de pulverización de los combustibles

Diésel	Biocombustible B10	Biocombustible B20	Biocombustible B100
16,8°	19,59°	20,63°	22,29°

Análisis de velocidades

Análisis de velocidades del fluido en geometría original 3 salidas.

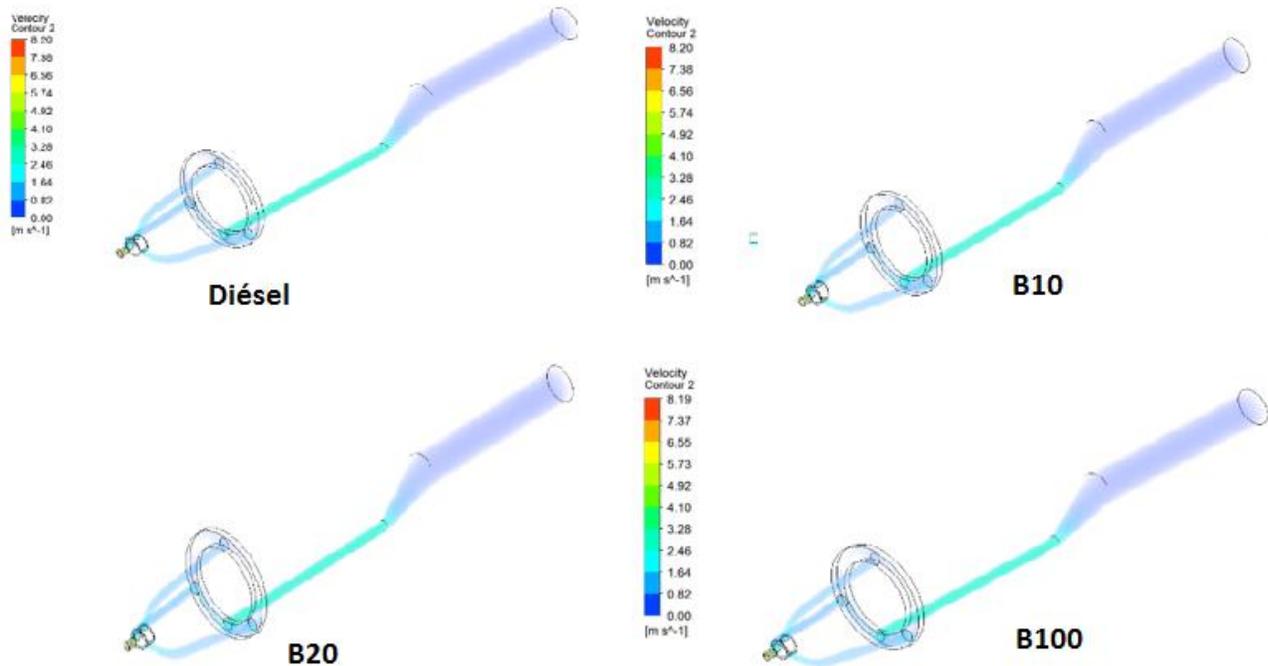


Figura 35. Velocidades del fluido geometría original 3 salidas

Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 35 se tiene los valores de simulación de velocidades con los diferentes combustibles, obteniendo para el diésel una velocidad de 8,20 m/s , biocombustible B10 una velocidad de 8,20 m/s, biocombustible B20 una velocidad de 8,20 m/s y biocombustible B100 una velocidad de 8,19m/s como se observa en la figura 36, determinando así que entre el diésel y el biocombustible B10 y B20 no existe variación mientras que entre la velocidad mínima que viene a ser del biocombustible B100 y biocombustible B10, B20 y diésel existe una variación del 0,12%, además se observa que la máxima velocidad se da en la punta del inyector ya que al ser de un área menor en comparación al resto de la geometría la velocidad tiende a incrementar.

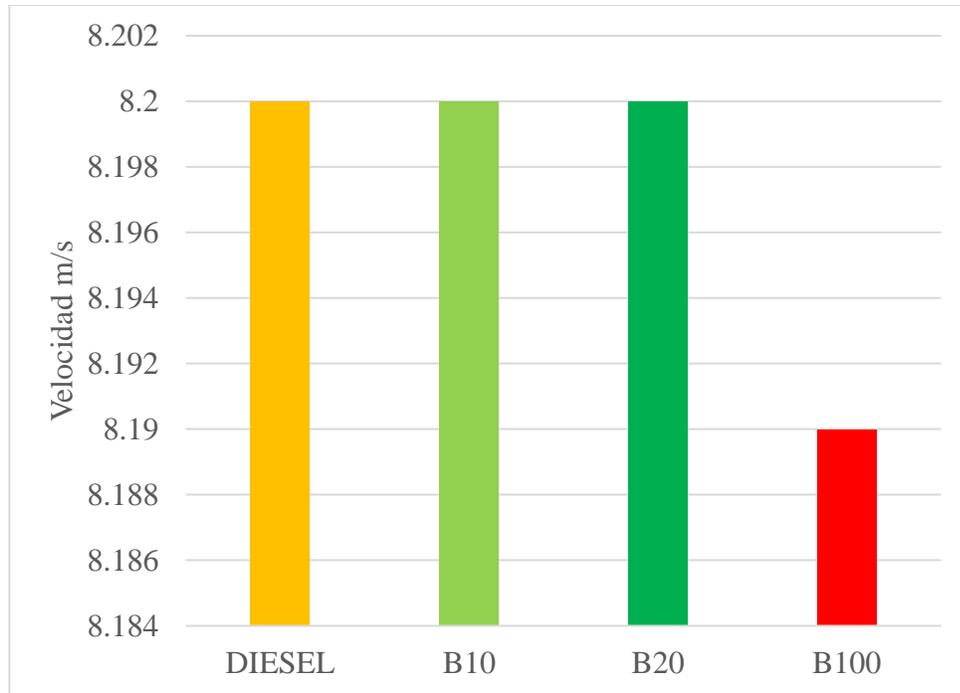


Figura 36. Variación de velocidades en geometría original
Fuente: Autor

Según Rojas (2012) la velocidad de inyección durante un ciclo termodinámico es esencial debido a que es una información importante como parámetro de control de la formación de la mezcla aire-combustible.

Análisis de las velocidades del fluido en geometría 5 salidas.

En la figura 37, se puede observar la simulación para analizar la velocidad del diésel, biodiésel B10, B20 y B100, en la que se concentra el análisis del mayor valor de velocidad porque es el más influyente en la combustión.

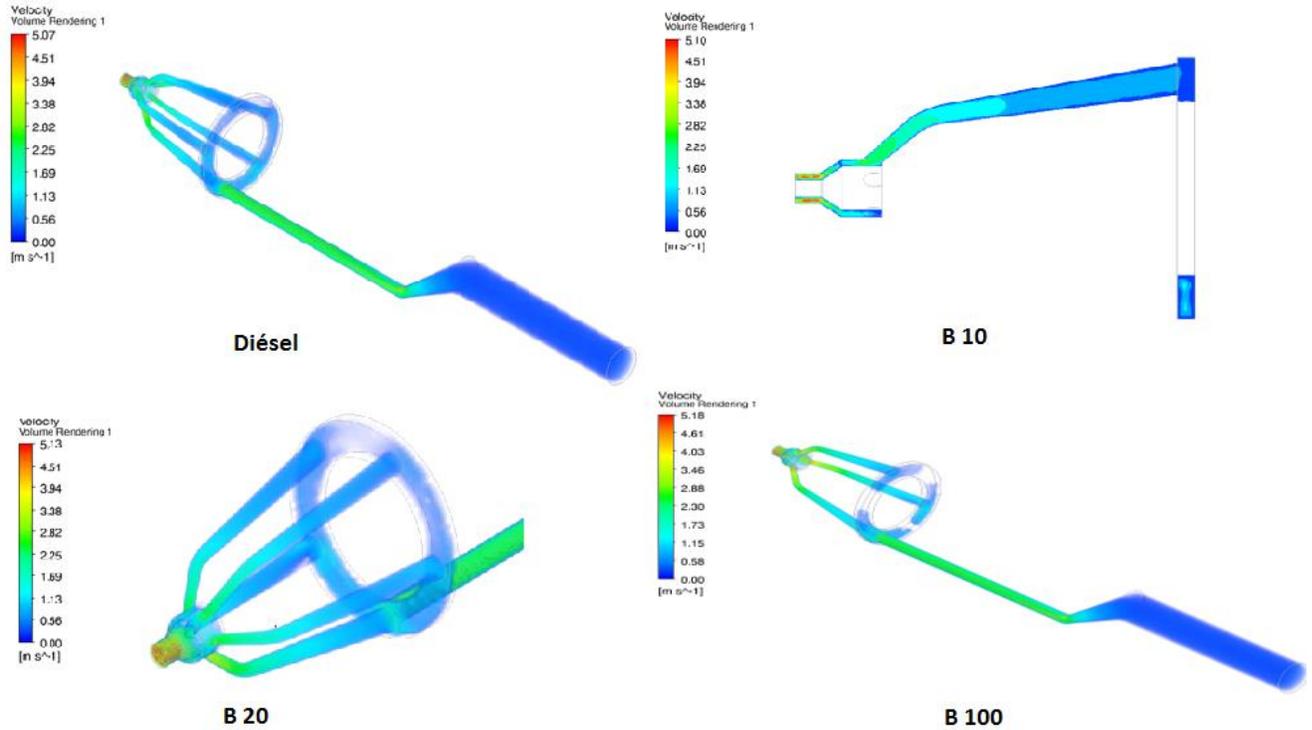


Figura 37. Velocidades del fluido geometría 5 salidas
Fuente: Autor

Al realizar la variación en la geometría del inyector aumentando el número de ductos de 3 a 5 se observa en la figura 38 que para el fluido diésel la velocidad es de 5,07 m/s, biocombustible B10 velocidad de 5,10 m/s , biocombustible B20 velocidad de 5,13 y biocombustible B100 velocidad de 5,18 m/notándose que la máxima velocidad se da con el uso del biocombustible B100 y la mínima en combustible diésel con un incremento del 2,12% , y en comparación con la máxima velocidad de la geometría original de 3 salidas , se produce un decremento del 36,8% en velocidad. Rojas, (2012) menciona que la velocidad a la salida es importante para la formación aire combustible lo que se puede evidenciar en la figura 37, ya que las velocidades a la salida es la más alta con todos los combustibles.

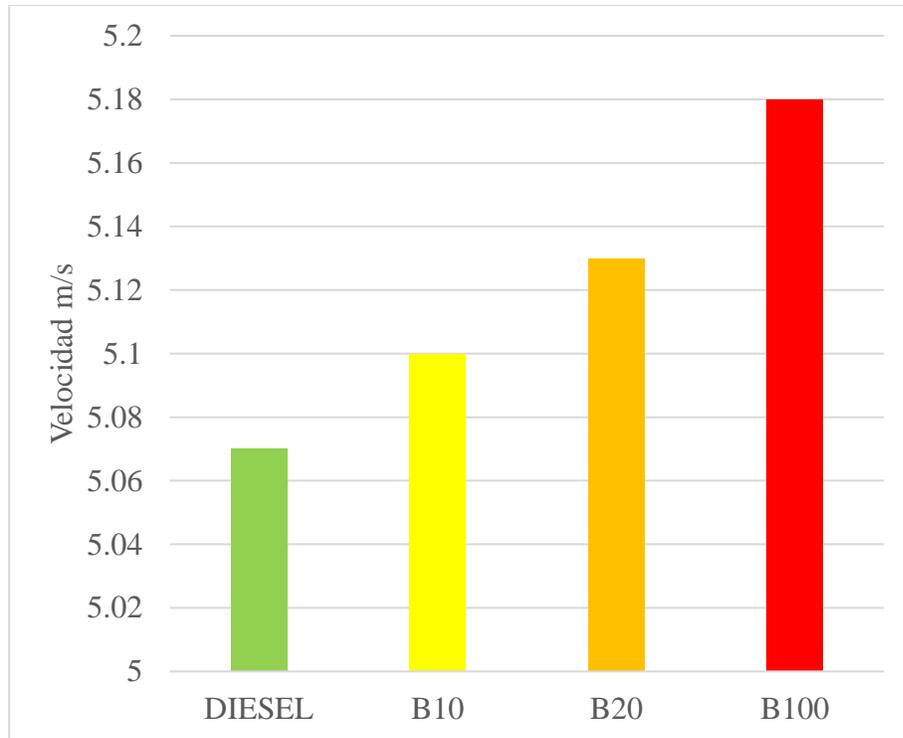


Figura 38. Velocidades en geometría de 5 salidas
Fuente: Autor

Análisis de las velocidades del fluido en geometría variación de diámetros.

En la figura 39, se presenta una variación a la geometría original de 3 salidas, donde se ha variado el diámetro de salida del fluido de 0,7mm a 0,5 mm en la cual se procede a analizar la máxima velocidad entre combustible diésel y biodiesel B10, B20 y B100 y prestará mayor énfasis en aquel que posea la mayor velocidad en este caso con el uso de biocombustible B100, Pavía (2015) menciona que cuando la velocidad es la máxima la presión será la mínima.

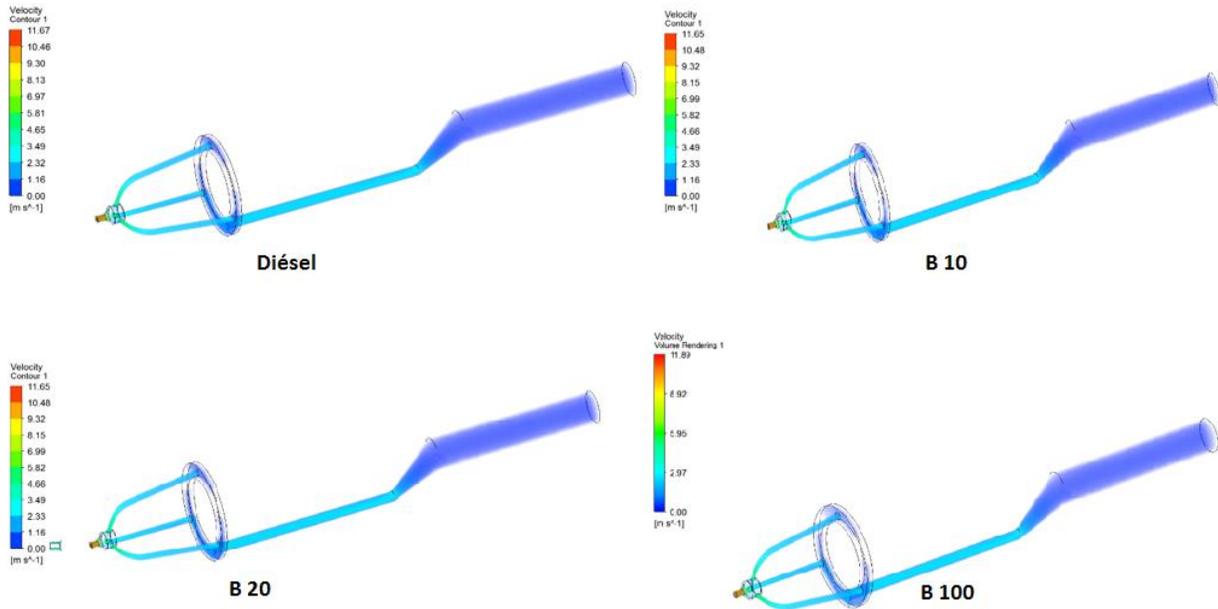


Figura 39. Velocidades del fluido geometría variación de diámetros
Fuente: Autor

En la figura 39, se puede apreciar una geometría similar a la original, en este caso se ha procedido a variar el diámetro de inyección como se observa en el Anexo, la variación arroja resultados al usar combustible diésel cuya velocidad es de 11,62, m/s, con biocombustible B10 la velocidad es de 11,65m/s, biocombustible B20 la velocidad es de 11,67m/s, biocombustible B100 la velocidad es de 11,89 m/s, evidenciando que la velocidad máxima se obtiene con el uso de biocombustible B100.

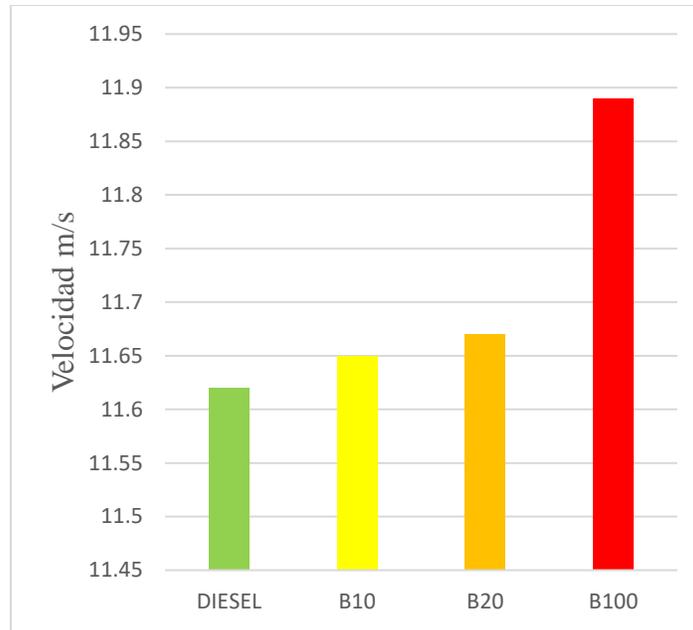


Figura 40. Velocidades en geometría variación de diámetros afecta en la presión de apertura
Fuente: Autor

S. Rojas, (2016) menciona que la viscosidad de un fluido únicamente afecta a la apertura y cierre del inyector, y que la densidad es directamente proporcional a la velocidad, como se muestra en la figura 40, el biocombustible B100 al tener una densidad de 882 sCt tiene una velocidad máxima de 11,89 m/s y en relación a la velocidad máxima obtenida con la geometría original 3 salidas existe un incremento del 31%.

Análisis de presiones

En la figura 41, se puede observar la simulación para análisis de presiones en el combustible diésel y biocombustible B10, B20 y B100 donde se concentrará el análisis en los que tengan mayor presión en la salida del fluido debido a que puede existir disminución de velocidad.

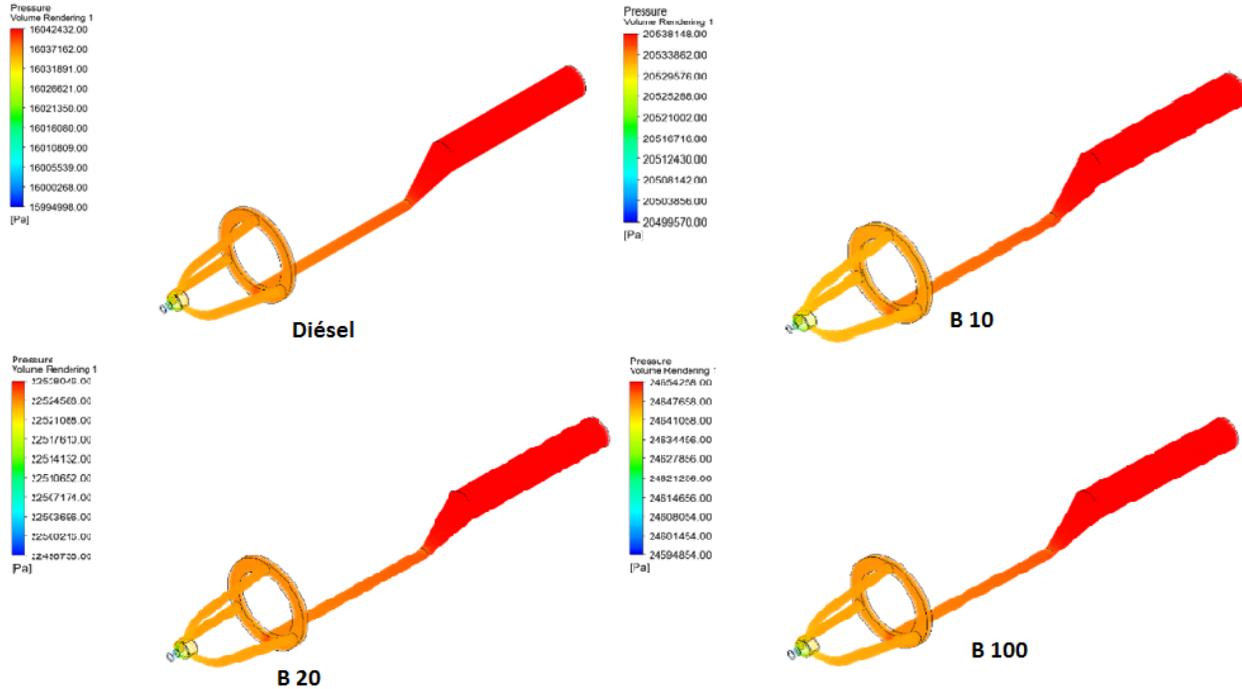


Figura 41. Presiones del fluido en geometría original 3 salidas
Fuente: Autor

Por otra parte Pavía (2015) hace énfasis que a mayor presión menor velocidad y viceversa, como se observa en la figura 41 para el análisis de presiones es importante considerar a mayor área mayor presión y a menor área menor presión, en la geometría original se obtiene para el combustible diésel una presión de 16,042 Mpa, biocombustible B10 presión de 20,5 Mpa, biocombustible B20 presión de 22,52 Mpa, y para biocombustible B100 presión de 24,65 Mpa, notándose que la presión máxima es con el uso del biocombustible B100 y que las zonas de mayor presión son en la entrada del fluido, según López, (2013) la viscosidad afecta al cierre y apertura del inyector, y al tener una viscosidad de 6,09 sCt para un biocombustible B100 siendo esta un 43,5% más alta que las mezclas B10 con 3,44 sCt y B20 3,45sCt.

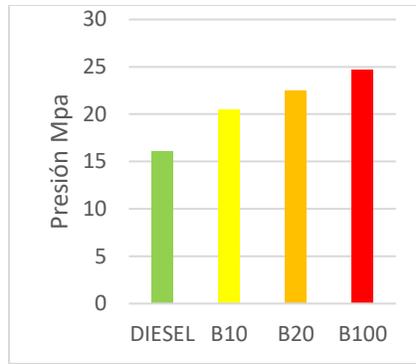


Figura 42. Presiones en geometría original 3 salidas
Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la figura 42 se debe considerar que la presión se incrementa proporcionalmente al porcentaje de mezcla (porcentajes de presiones) del biocombustible, lo que en condiciones de diseño puede señalar que en su construcción sean inyectores más robustos o de alta resistencia, lo que puede llevar a analizar un material alternativo.

Análisis de presiones del fluido en geometría 5 salidas.

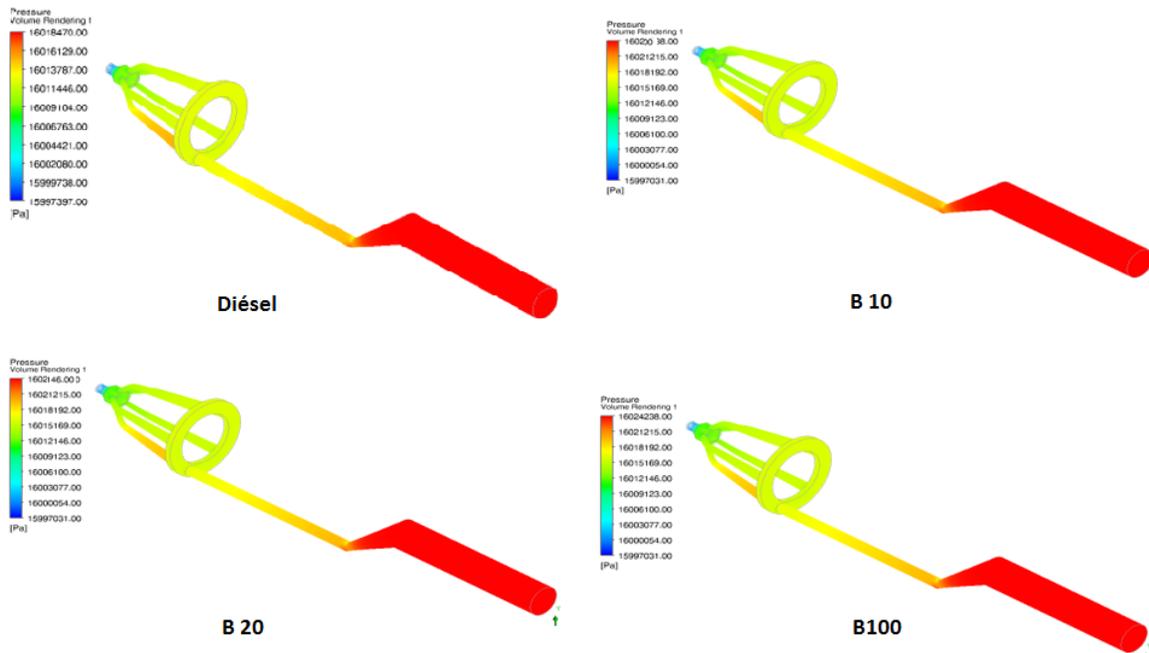


Figura 43. Presiones del fluido en geometría 5 salidas
Fuente: Autor

En la figura 43 se presenta la variación de la geometría original a la geometría de 5 salidas obteniendo con el combustible diésel una presión de 16,018 Mpa, con biocombustible B10 una presión de 16,020Mpa, con biocombustible B20 una presión de 16,021 Mpa y con biocombustible B100 16,024 Mpa, siendo esta la presión máxima como se muestra en la figura 44 y en comparación con el combustible diésel presenta un incremento del 0,03%.

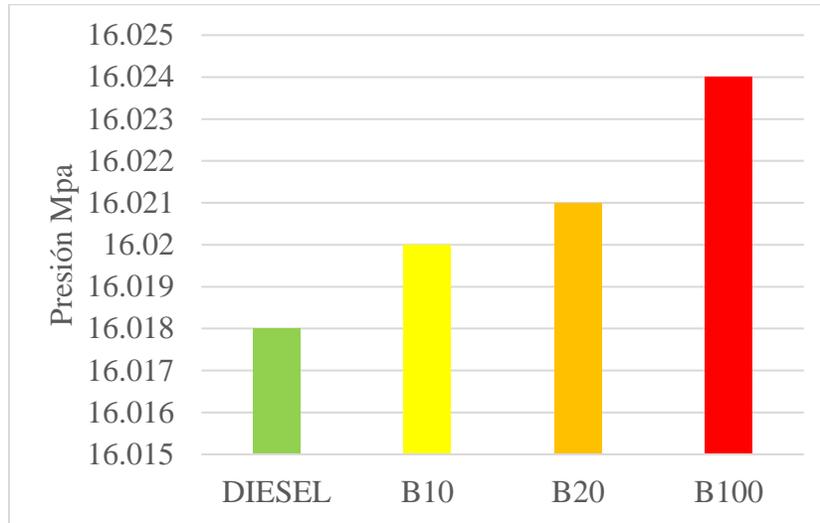


Figura 44. Presiones en geometría 5 salidas
Fuente: Autor

Análisis de presiones del fluido en geometría variación de diámetros.

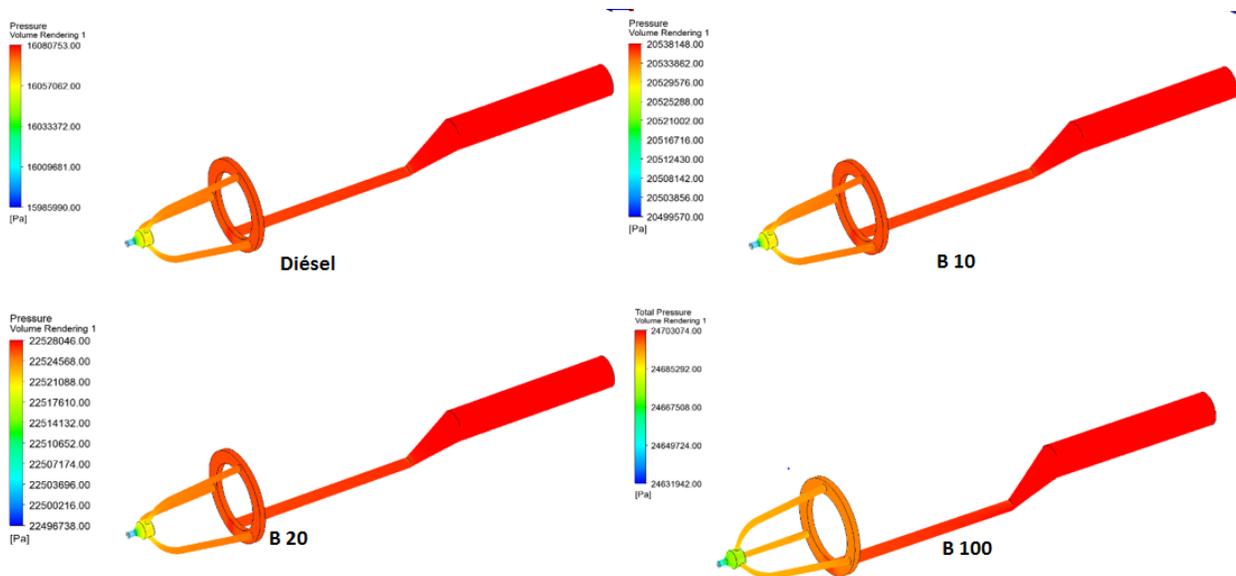


Figura 45. Presiones del fluido en geometría variación de diámetros
Fuente: Autor

En la figura 45 se presenta las presiones en la geometría donde se varió los diámetros como se puede observar en el Anexo V, obteniendo para un combustible diésel una presión de 16,08 Mpa, biocombustible B10 presión de 20,53 Mpa, biocombustible B20 una presión 20,52Mpa y para biocombustible B100 una presión de 24,7 Mpa como se muestra en la figura 46.

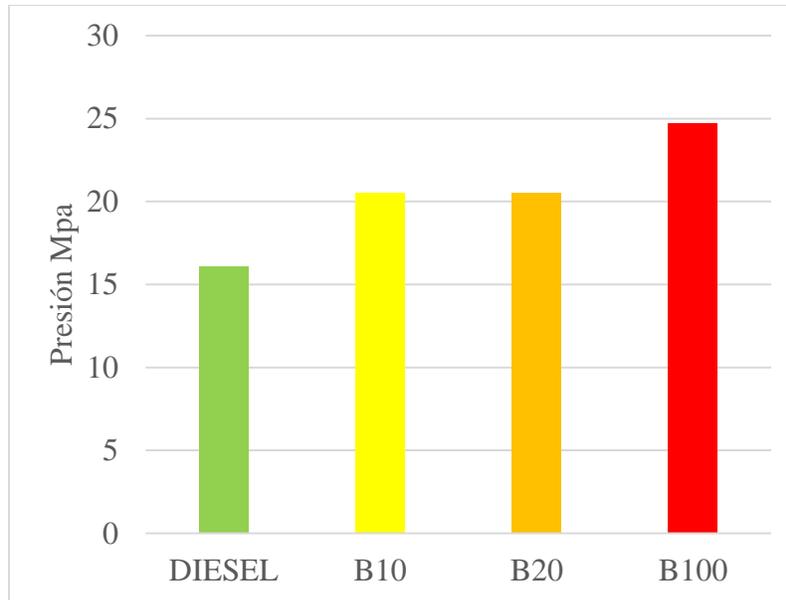


Figura 46. Presiones en geometría variación de diámetros

Fuente: Autor

En el estudio de S Rojas, (2016) se comprobó que para presiones de estancamiento de aire mayor a 180 kpa el diámetro de las gotas es óptimo, mientras que para presiones que se acercan a condiciones atmosféricas, menores a 150 kpa, los resultados son técnicamente ineficaces con lo que en comparación la presión obtenida se encuentra dentro del rango óptimo, sin embargo, García (2008) menciona que a mayor presión de inyección existe una mayor penetración de vapor.

Intensidad de turbulencia

Análisis de Intensidad de turbulencia del fluido en geometría 3 salidas.

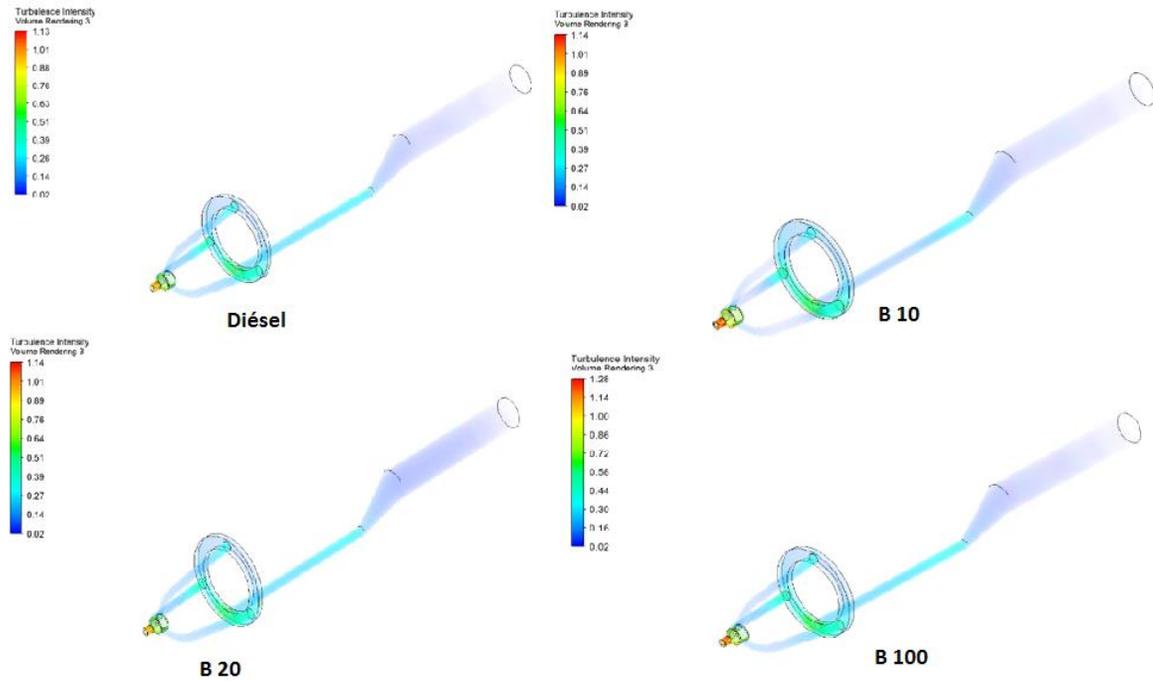


Figura 47. Intensidad de turbulencia del fluido en geometría original 3 salidas
Fuente: Autor

En la figura 47 se observa que la intensidad de turbulencia que presenta el fluido en su geometría original de 3 salidas con uso de combustible diésel presenta un valor de 1,13, el biocombustible B10 un valor de 1,14, biocombustible B20 un valor de 1,14 y biocombustible B100 un valor de 1,26, de esta manera se observa en la figura 48 que la mayor intensidad de flujo que presenta el fluido es con el uso de biocombustible B100, el cual presenta un incremento del 10,3% en comparación al combustible diésel

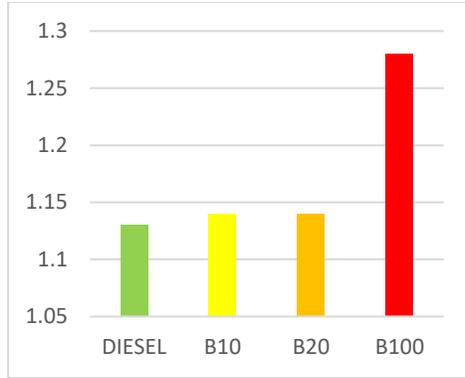


Figura 48. Intensidad de turbulencia geometría original 3 salidas
Fuente: Autor

Según Martínez (2013) para bajos levantamientos a 80 MPa la fuerza del chorro se mantiene prácticamente constante, para una presión de inyección de 30 MPa el flujo de cantidad de movimiento aumenta debido a la ausencia de cavitación con esto y nuestros datos de intensidad de turbulencia y presión se garantiza la ausencia de cavitación.

Análisis de turbulencia del fluido en geometría 5 salidas.

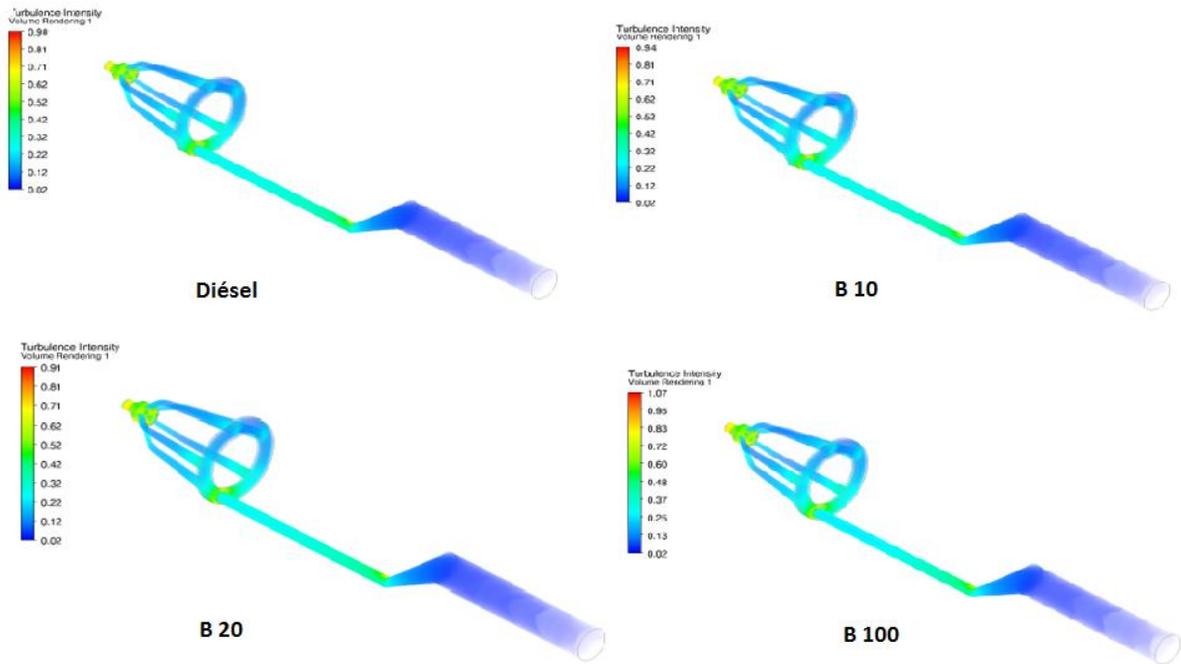


Figura 49. Turbulencia en el fluido en geometría 5 salidas
Fuente: Autor

Como se observa en la figura 49 en la geometría de 5 salidas la intensidad de turbulencia con el uso de combustible diésel es de 0,91, con biocombustible B10 es de 0,94, con biocombustible B20 es de 0,98 y con biocombustible B100 es de 1,07 notándose que la intensidad de turbulencia más alta se presenta cuando se usa biocombustible B100 y realizando la comparación con el combustible diésel que es el de menos intensidad de flujo presenta un aumento del 12,1% de intensidad de turbulencia como se observa en la figura 50.

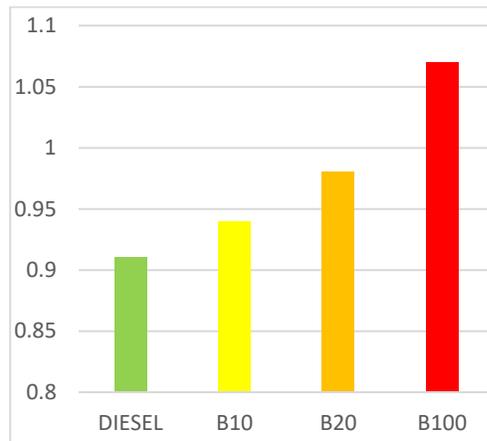


Figura 50. Intensidad de turbulencia en geometría de 5 salidas
Fuente: Autor

Análisis de turbulencia del fluido en geometría variación de diámetros.

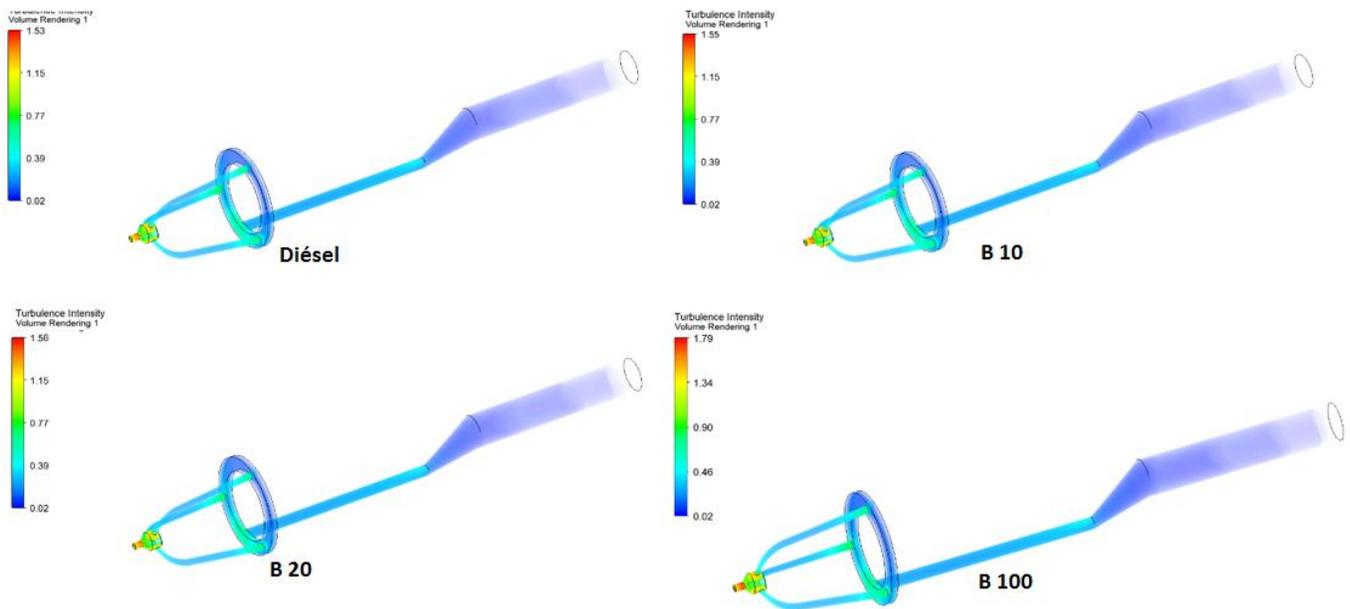


Figura 51. Turbulencia en el fluido en geometría variación de diámetros

Fuente: Autor

La figura 51 muestra la simulación al variar los diámetros en la salida del inyector donde se llegó a obtener para un combustible diésel una intensidad de turbulencia de 1,53 mientras que para un biocombustible B10 se obtuvo 1,55 de intensidad de turbulencia, para biocombustible B20 1,56 de intensidad de turbulencia y para un biocombustible B100 1,79 de intensidad de turbulencia, determinando que la mayor intensidad de turbulencia se lo encuentra al usar biocombustible B100 y coincide con Pavía (2015) quien menciona que existirá un flujo turbulento en la salida del inyector.

En función a los valores obtenidos en la tabla 19 se ha realizado un análisis comparativo donde se observa que la mejor propuesta es la de variación de diámetros en la geometría original.

Tabla 19.

Valores máximos de velocidades presiones e intensidad de turbulencia de los combustibles.

Geometría	Velocidad m/s	Presión Mpa	Turbulencia
Geometría original 3 salidas	8,20 con B10	24,65 con B100	1,26 con B100
Geometría 5 salidas	5,18 con B100	16,024 con B100	1,07 con B100
Geometría variación de diámetros	11,89 con B100	24,7 con B100	1,79 con B100

Conclusiones

- En la presente investigación se ha realizado una evaluación y simulación del flujo de combustible en el inyector mecánico de un motor mep al emplear combustibles alternativos como es el biodiesel de aceite de frituras en mezclas B10, B20 y B100, realizando una serie de pruebas experimentales y simulaciones que arrojo como resultados que variando la geometría del inyector en la salida se obtiene beneficios en la inyección de combustible al utilizar biocombustibles.
- En la presente investigación se ha desarrollado una metodología de evaluación y simulación del flujo de combustible en el inyector mecánico de un motor mep mediante pruebas experimentales para establecer los puntos de frontera de las simulaciones, que arrojo resultados en un inyector mecánico con variación de diámetros de salida del fluido una velocidad máxima de 11,89 m/s usando biocombustible B100, una presión máxima de 24,7Mpa y una intensidad de flujo turbulento de 1,79.
- De acuerdo a los datos de presión obtenidos en la fase experimental se pudo observar que la presión de apertura del inyector varia de una forma polinómica es decir que a más mezcla de biodiesel mayor presión de apertura debido a que su viscosidad cinemática aumenta de manera polinómica $y = 0,4333x^3 - 3,85x^2 + 13,017x + 6,4$
- Se pudo evidenciar en la presente investigación que el ángulo de pulverización es diferente según la presión de apertura, misma que varía en función del combustible a ensayar ya que su viscosidad afecta en la apertura y cierre del inyector llegando a obtener el mayor ángulo al ensayar con biocombustible B100 un ángulo de 22,29°.
- En esta investigación se determinó que mediante el criterio de velocidad la geometría que presenta el valor máximo es cuando se procede a variar los diámetros en la salida del

fluido y mediante el uso de biocombustible B100, de esta manera superando la velocidad de salida del inyector de geometría original 3 salidas con biocombustible B100 en un 31%.

- Mediante criterio de presiones en la investigación se determinó que la mayor presión se obtiene al usar la geometría de variación de diámetros con uso de biocombustible B100 con una presión de 24,7 Mpa, aunque la intensidad de turbulencia también es mayor con un valor de 1,79.
- En la presente investigación se propuso 2 geometrías diferentes a la original, variando el número de salidas de 3 salidas a 5 salidas y la variación del diámetro de salida del fluido llegando a determinar en base a resultados experimentales y simulación que la geometría que presenta mejores resultados es la variación a 5 ductos de salida debido a que la presión permanece constante en 16mpa y dentro del rango establecido para los inyectores tipo tetón que es una presión de entre 8 a 16 bar , además que con el uso de diésel y biocombustibles no se ve alterada ,en la presente geometría se presenta una disminución en la velocidad misma que se puede compensar con el cambio del ángulo de adelanto de inyección que es una operación que se la puede realizar manualmente.
- Se llegó a determinar que con la geometría de variación de diámetro se obtiene presiones altas. por lo que presenta un riesgo debido a que esto puede generar una detonación previa en el cilindro lo cual causaría daños mecánicos en el motor, también e evidencia los valores más altos de intensidad de turbulencia lo que no es beneficioso debido a que el diésel o el biocombustible tiende a calentarse.

Recomendaciones

- En base a los resultados obtenidos en la fase experimental y simulación se recomienda el uso de biocombustible B10 ya que en función a su viscosidad y densidad presenta condiciones de trabajo optimas, a más que en el país se encuentra ya en proceso de comercialización.
- El tipo de malla a ser utilizado se recomienda que sea tetraédrico y que los Time Step Size sean de ciclos moderados no cortos y realizar más iteraciones dependiendo de la maquina en la que se está realizando las simulaciones por el peso computacional que se generado esta manera se puede obtener datos lo más cercanos a la realidad.
- Se recomienda realizar estudios del desgaste de los equipos antes del inyector como en la bomba de inyección al ser usado en un determinado número de horas de funcionamiento.
- La metodología aplicada con los diferentes tipos de mezcla del biocombustible de aceite de frituras analizadas puede ser ampliada a otras mezclas con diferentes tipos de combustibles y con diferentes combinaciones.
- En caso de querer realizar pruebas con el inyector variando la dimensión de los diámetros de salida se recomienda cambiar la sección de las cañerías que lleva el combustible al inyector. lo que ayudar a la disminución de la intensidad de turbulencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armas, O. a. (2012). Effect of diesel injection parameters on instantaneous fuel delivery using a solenoid-operated injector with different fuels. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 64.
- Arredondo, L. E. (2008). GENERACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE GRASAS ANIMALES MEZCLADAS CON ACEITES VEGETALES.
- Berbel, L. (2010). Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible. Catalunya,
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9403/3.3.%20Biodiesel.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- Boretti, A. (2011). Use of bio-ethanol and bio-diesel the key solution for a more sustainable road transport. *SAE Technical Paper*.
- Castro, P. (2007). Fabricación de biodiesel. *Ra Ximhai*, 10.
- Cedeño, E. A. (2017). Producción e Impacto del Biodiesel. *INNOVA Research Journal*, 59-76.
- Check engine Taller digital*. (s.f.). Obtenido de <http://tallerdigitalweb.com/2017/07/injector-mecanico-codigos-funcionamiento>
- Delalibera, H. C. (2012). Performance of a diesel engine fueled with a preheated blend of soybean oil and petrodiesel. *SciELO Brasil*, 1058--1067.
- Dorado, M. P.-O. (2011). Visible and NIR Spectroscopy to assess biodiesel quality: Determination of alcohol and glycerol traces. *Elsevier*, 2321--2325.
- García, G. (s.f.). *Prueba de ruta.com*. Obtenido de <https://www.pruebaderuta.com/inyeccion-mecanica-de-combustible-diesel.php>
- Gary, E. (2006). Function of a fuel Injector. *FIND A DENSO*, 22.
- Gonzales, B., Hernandez, D., & Jimenez, M. (2013). *Muestreo y Estimacion*. Obtenido de https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/6115/mod_resource/content/1/tema9/ME9-muestreo.pdf
- León, C. G. (s.f.). Método Comparativo.

Lopez, J. M. (2013). Estudio computacional de la influencia del levantamiento de aguja sobre el flujo interno y el fenómeno de la cavitación en toberas de inyección diésel. *Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València*.

Obregón, J. R. (s.f.). pag 32.

Ojeda Pedro, L. M. (2009). CFD como una herramienta de diseño para productos. *SOMIM*.

Pavia. (2014). *Cálculo de un sistema de inyección multifuel para motores diesel*. Valencia.

Radrikan, M. (2005). http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_emp%C3%ADrico-anal%C3%ADtico#Clasificaciones. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_emp%C3%ADrico-anal%C3%ADtico#Clasificaciones

Rodríguez Guerra, F. J. (2007). Estudio de la mezcla óptima diesel aceite de palma usada como combustible de un motor a diesel . *Bachelor's thesis*.

Rojas, O. (2006). Diseño asistido por computador. *redalyc*.

Vargas, A. (2010). Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. *TDR*, 244.

Vrublevskyi, O. (2016). METHODS OF DIAGNOSING VEHICLE DIESEL INJECTORS. *ABTOMO*, 38.

Anexos

ANEXO I

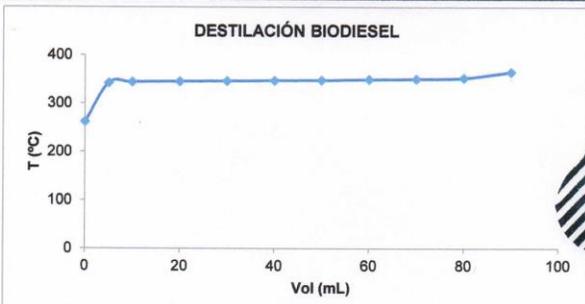
Tabla de caracterización de biocombustible B100

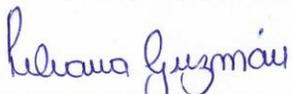
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE PETRÓLEOS	Página 1 de 6
		H101

REPORTE DE ANÁLISIS Nº ALPEP 045-017 ORDEN DE TRABAJO 5421			
INFORMACIÓN GENERAL:			
CLIENTE	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK		
MUESTRA	BIDIESEL	NÚMERO DE MUESTRAS	1
FECHA RECEPCIÓN	25-08-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	06-10-2017

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
B100 – NaOH Biodiesel	LPM103-SEP	Biodiesel	Vidrio	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM103-SEP	*Densidad a 15 °C	ASTM D1298-12b	kg/m ³	882
	*Punto de inflamación copa cerrada	ASTM-D93	°C	170
	*Contenido de agua por centrifugación (BSW)	ASTM D1796	%	<0.05
	*Contenido de agua por destilación	ASTM D95	mg/kg	290.02
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM-D445	mm ² /s	6.069
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	mg/kg	6.6
	*Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D130-12	Clasificación	1A
	*Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	---	47.7
	*Temperatura de destilación al 90% recuperado	ASTM D1160	°C	365
	*Número de Acidez (TAN)	ASTM D664-11a	mg KOH/g	3.87

INFORMACIÓN ADICIONAL:	
	

	
Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefa del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

NOTA:

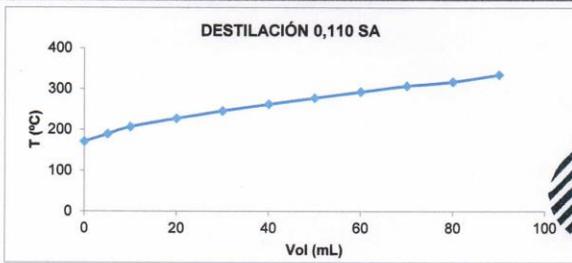
- *Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

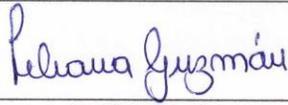
Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328
 lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec

ANEXO II

Tabla de caracterización de biocombustible B10

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE PETRÓLEOS	Página 2 de 6
		H101

REPORTE DE ANÁLISIS Nº ALPEP 041-017 ORDEN DE TRABAJO 5406				
INFORMACIÓN GENERAL:				
CLIENTE	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
MUESTRA	DIÉSEL	NÚMERO DE MUESTRAS	1	
FECHA RECEPCIÓN	25-08-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	06-10-2017	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
0.110 mL SIN ADITIVO	LPM104-SEP	Mezcla Diésel-Biodiesel	Vidrio	1 L
RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM104-SEP	*Punto de inflamación	ASTM D93 – 16a	°C	63
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	122.7
	*Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	*Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	---	53.2
	*Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	336
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm ² /s	3.445
	*Agua y sedimentos	ASTM D1796 – 11	%	<0.05
INFORMACIÓN ADICIONAL:				
				
 LABORATORIO DE PETRÓLEOS <small>INGENIERÍA QUÍMICA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</small>				

	
Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefa del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

NOTA:

- *Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328
 lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec

ANEXO III

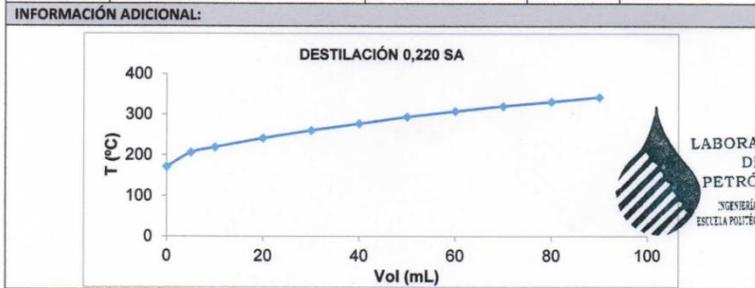
Tabla de caracterización de biocombustible B20

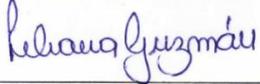
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE PETRÓLEOS	Página 4 de 6
		H101

REPORTE DE ANÁLISIS Nº ALPEP 041-017 ORDEN DE TRABAJO 5406			
INFORMACIÓN GENERAL:			
CLIENTE	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK		
MUESTRA	DIÉSEL	NÚMERO DE MUESTRAS	1
FECHA RECEPCIÓN	25-08-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	06-10-2017

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
0.220 mL SIN ADITIVO	LPM106-SEP	Mezcla Diésel-Biodiesel	Vidrio	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM106-SEP	*Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	66
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	106.76
	*Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	*Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	---	53.2
	*Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	343
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm ² /s	3.459
	*Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	<0.05



 Ing. Liliana Guzmán Jefa del Laboratorio de Petróleos	 Ing. Tania Parra Especialista de Laboratorio de Petróleos
--	--

NOTA:

- *Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso
 02976-300 Ext. 4329/4317/4328
 lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec

ANEXO IV

Factores críticos de las gráficas de control

TABLA					
Factores críticos de las gráficas o cartas de control					
	Gráfica para medias	Gráfica para rangos			
n	Factor para el Límite de control $A_2=3/(d_2\sqrt{n})$	Factores para la recta central d ₂	Factores de los límites de control		
			$D_3 = 1-3(d_3/d_2)$	$D_4 = 1+3(d_3/d_2)$	d ₃
2	1,881	1,128	-1,267=0	3,267	0,8525
3	1,023	1,693	-0,574=0	2,574	0,8884
4	0,729	2,059	-0,282=0	2,282	0,8798
5	0,577	2,326	-0,114=0	2,114	0,8641
6	0,483	2,534	-0,004=0	2,004	0,8480
7	0,419	2,704	0,076	1,924	0,8330
8	0,373	2,847	0,136	1,864	0,8200
9	0,337	2,970	0,184	1,816	0,8080
10	0,308	3,078	0,223	1,777	0,7970
11	0,285	3,173	0,256	1,744	0,7870
12	0,266	3,258	0,284	1,716	0,7780
13	0,249	3,336	0,308	1,692	0,7700
14	0,235	3,407	0,329	1,671	0,7620
15	0,223	3,472	0,348	1,652	0,7550
16	0,212	3,532	0,364	1,636	0,7490
17	0,203	3,588	0,379	1,621	0,7430
18	0,194	3,640	0,392	1,608	0,7380
19	0,187	3,689	0,404	1,596	0,7330
20	0,180	3,735	0,414	1,586	0,7290
21	0,173	3,778	0,425	1,575	0,7240
22	0,167	3,819	0,434	1,566	0,7200
23	0,162	3,858	0,443	1,557	0,7160
24	0,157	3,895	0,452	1,548	0,7120
25	0,153	3,931	0,459	1,541	0,7090

