

DOI: [10.23857/fipcaec.v5i3.269](https://doi.org/10.23857/fipcaec.v5i3.269)

## **Análisis del riel de presión de combustible en base a alternativas de combustible y rangos de trabajo en ruta**

*Fuel pressure rail analysis based on fuel alternatives and en-route working ranges*

*Análise do trilho de pressão de combustível com base em alternativas de combustível e faixas de trabalho em rota*

Carlos Salazar-Castillo<sup>I</sup>  
[csalazar.mdm@uisek.edu.ecguam](mailto:csalazar.mdm@uisek.edu.ecguam)  
<https://orcid.org/0000-0002-4013-1748>

Edwin Guamán<sup>III</sup>  
[eguaman.mdm@uisek.edu.ec](mailto:eguaman.mdm@uisek.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6305-6242>

Julio Cesar Leguísamo-Milla<sup>II</sup>  
[julio.leguisamo@uisek.edu.ec](mailto:julio.leguisamo@uisek.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5383-1746>

Andrés Sebastián Moreno-Constante<sup>IV</sup>  
[andressebas22@hotmail.com](mailto:andressebas22@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-1509-2329>

**Correspondencia:** [csalazar.mdm@uisek.edu.ecguam](mailto:csalazar.mdm@uisek.edu.ecguam)

\* **Recepción:** 05/05/ 2020 \* **Aceptación:** 20/06/ 2020 \* **Publicación:** 30 /07/ 2020

- I. Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Esmeraldas, Ecuador Universidad Internacional SEK del Ecuador, Esmeraldas, Ecuador.
- II. Magíster en Sistemas Automotrices, Ingeniero de Ejecución en Mecánica Automotriz, Universidad Internacional SEK del Ecuador, Esmeraldas, Ecuador.
- III. Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico”, Quito, Ecuador Universidad Internacional SEK del Ecuador, Esmeraldas, Ecuador
- IV. Ingeniero Automotriz, Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico”, Quito, Ecuador.



## Resumen

Esta investigación se realizó con el fin de generar re-ingeniería sobre autopartes, donde se valoró el trabajo del riel de presión de combustible utilizando técnicas de manejo apropiadas y combustibles ecológicos para evaluarse la optimización desde su geometría. En la primera parte de este trabajo se realiza pruebas de ruta en ciclos de conducción para obtener los datos de presión dentro del riel de combustible, luego se aplica la simulación en el programa CAD/CAE para luego validar los mismos en sus variantes de geometría y de bio-diésel B5. La simulación demostró que el diseño original del riel de combustible del vehículo de prueba presenta deficiencias, en el flujo del combustible dentro del conducto no se distribuía de forma homogénea por todas las salidas del riel haciendo que disminuyera el rendimiento de este. Por otro lado, los datos que se obtuvieron con el bio-diésel mostraron que con este combustible la presión en el riel era menor que cuando se utiliza el diésel normal. En conclusión, a través del re-diseño del riel se acortó las medidas en un 10% de todos sus componentes logrando así mermar las fallas antes mencionadas desde la simulación.

**Palabras claves:** Conducción ecológica; presión de combustible; diésel; diseño; simulación.

## Abstract

This research was carried out in order to generate re-engineering on auto parts, where the work of the fuel pressure rail was evaluated using appropriate handling techniques and ecological fuels to evaluate the optimization from its geometry. In the first part of this work, route tests are conducted in driving cycles to obtain the pressure data within the fuel rail, then the simulation is applied in the CAD/CAE program to then validate it in its geometry and of bio-diesel B5. The simulation showed that the original design of the fuel rail of the test vehicle shows deficiencies, in the fuel flow inside the duct was not distributed evenly across all the rail outlets causing the performance of the rail to decrease. On the other hand, the data obtained with biodiesel showed that with this fuel the pressure in the rail was lower than when using normal diesel. In conclusion, through the re-design of the rail the measures were shortened by 10% of all its components, thus reducing the aforementioned failures from the simulation.

**Keywords:** Ecological driving; fuel pressure; diesel; design; simulation.

## Resumo

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de gerar reengenharia em autopeças, onde o trabalho do trilho de pressão do combustível foi avaliado utilizando técnicas de manuseio apropriadas e combustíveis ecológicos para avaliar a otimização a partir de sua geometria. Na primeira parte deste trabalho, testes de rota são realizados em ciclos de condução para obter os dados de pressão no trilho de combustível e, em seguida, a simulação é aplicada no programa CAD/CAE para validá-lo em sua geometria e do biodiesel B5. A simulação mostrou que o projeto original do trilho de combustível do veículo de teste mostra deficiências, pois o fluxo de combustível dentro do duto não foi distribuído uniformemente por todas as saídas, causando uma diminuição no desempenho do trilho. Por outro lado, os dados obtidos com o biodiesel mostraram que, com esse combustível, a pressão no trilho era menor do que no diesel normal. Concluindo, com a reformulação do trilho, as medidas foram reduzidas em 10% de todos os seus componentes, reduzindo assim as falhas mencionadas na simulação.

**Palavras-chave:** direção ecológica; pressão de combustível; diesel; Projeto; simulação.

## Introducción

Actualmente se genera una búsqueda masiva para el uso de aceite vegetal en motores diésel, seguida del uso de bio-diésel con características técnicamente mejoradas (Patel, y Shrivastava, 2017; Dabi, y Saha, 2019). Junto con el progreso tecnológico, los biocombustibles han llamado la atención especialmente en la última década (Kolanjiappan, 2017). Solo desde 2009, se ha incorporado en Europa una legislación para que en 2020 al menos el 10% de la energía consumida en todos los transportes sea renovable. Actualmente, el biodiésel es el biocombustible más utilizado en Europa (Kousoulidou, Fontaras, Ntziachristos, y Samaras, 2010; Karolys, Llanes-Cedeño, Vega, Cevallos, y Rocha-Hoyos, 2019). El comportamiento adecuado del sistema de inyección de un motor de combustión interna MEP depende de la cantidad y calidad de aire, y combustible para llegar a una combustión completa. El diseño y estado del inyector influye directamente en la inyección de la cantidad del combustible al motor para llegar a una conveniente combustión sin fugas ni escapes de carburante (Llanes, Rocha-Hoyos, Peralta, Leguisamo, 2018; Rocha-Hoyos, Tipanluisa, Zambrano, y Portilla, 2018).



El sistema de riel común se diferencia de otros tipos de inyección diésel porque el diésel a presión no procede directamente de la bomba, sino de un riel común de inyección, este riel es una tubería de la que parte una ramificación para cada inyector (Cabascango, Davila, Mena, & Erazo, 2014). Según Bainchi, Pelloni, Corcione y Matarelli (2000) el sistema de inyección riel común ha permitido lograr un control de inyección de combustible más flexible en los motores diésel al permitir un mapeo libre del inicio de la inyección, la presión de inyección y la velocidad de inyección. Todos estos beneficios se obtuvieron al instalar este dispositivo en cámaras de combustión nacidas para trabajar con el distribuidor convencional y los sistemas de inyección de bombas en línea. Los experimentos han demostrado que las altas velocidades de inyección inducidas por los sistemas de riel común determinan una mejora de la mezcla de aire y combustible.

El transporte de carretera en los Estados Unidos consume una gran cantidad de combustible y representa alrededor de un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> de dicho país según Barth y Boriboonsomsim (2009). En este estudio se investigó el concepto de conducción ecológica dinámica, donde se brinda asesoramiento en tiempo real a los conductores que cambian las condiciones del tráfico en las proximidades del vehículo. Esta estrategia dinámica aprovecha la detección de tráfico en tiempo real y la telemática, lo que permite un sistema de gestión del tráfico para controlar la velocidad, densidad y flujo del tráfico, y luego comunica consejos en tiempo real a los vehículos. Al proporcionar asesoramiento dinámico a los conductores, aproximadamente 10-20% de ahorro de combustible y menores emisiones de CO<sub>2</sub> son posibles sin un aumento significativo en el tiempo de viaje (Barth & Boriboonsomsim, 2009). Un estudio realizado en Suecia por Stromberg, Karlsson y Rexfelt (2015), trató sobre explorar la difusión del concepto de conducción ecológica entre los conductores de automóviles suecos, con un enfoque especial en los efectos de la introducción de la conducción ecológica. Se compararon conductores nuevos con conductores experimentados con respecto a su comprensión y práctica de la conducción ecológica. Los resultados muestran que la mayoría de los conductores habían oído hablar de conducción ecológica, pero que su comprensión del concepto difería considerablemente. Se encontraron diferencias entre los conductores experimentados y los nuevos, la comprensión de los nuevos conductores se refería al nivel operativo, a la conducción

ecológica como técnica y claramente a la educación de manejo. La interpretación experimentada por los conductores de la conducción ecológica fue más amplia e incluía decisiones estratégicas y tácticas, como la elección del automóvil, la elección de la ruta y el mantenimiento.

La técnica de manejo Eco-Driving para vehículos a diésel se la obtuvo del manual que la empresa HINO capacita a sus clientes y es la siguiente (HINO, 2017): Arrancar lentamente y acelerar gradualmente una depresión del 80% sería suficiente; Al cambiar a una marcha superior durante la aceleración cambiar a un rango de 1500 a 1800rpm; Asegurarse de cambiar la marcha rápidamente y no dejar que las revoluciones caigan mucho; Tratar de mantener una velocidad constante en un rango entre 1000 y 2000rpm y los intervalos de velocidad que no fluctúen más del 10%; Conducir a una velocidad moderada de 80 a 90km/h, cuanto mayor sea la velocidad del vehículo mayor será la potencia; por lo tanto mayor velocidad implica mayor consumo; Dejar en ralentí el mínimo tiempo posible; Utilizar el freno de motor para desacelerar. Por lo anteriormente expuesto el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las características del riel a partir de las mezclas de combustibles tradicionales con porcentajes de bio-diésel.

## Metodología

En la presente investigación se adoptó una estrategia para que el procedimiento heurístico permita la toma de decisiones en condiciones específicas. Es una forma inteligente de resolver un problema. Además, las estrategias, son siempre conscientes e intencionales, dirigidas a un objetivo relacionado con el estudio. Una técnica de investigación es un procedimiento algorítmico (Guamán, Llanes-Cedeño, Celi-Ortega, y Rocha-Hoyos, 2019) que dará forma a la realización de la investigación planteada dividida en tres partes con pasos lógicos y ordenados a seguir para concretar el estudio. La primera es la elaboración de un protocolo de pruebas que contenga todos los procedimientos y consideraciones, para obtener los datos que se necesita del sistema de estudio del vehículo, la segunda son las pruebas en ciclo de conducción donde se recolectarán los datos esperados bajo las condiciones expresadas en el respectivo procedimiento de prueba (Cedeño, Rocha-Hoyos, Zurita, y Milla, 2018) y se obtendrán los valores de las condiciones de frontera para la simulación y la tercera el análisis de resultados de las simulaciones realizadas para emitir conclusiones y recomendaciones inherentes a la variación de la geometría de la riel.

## Metodología de pruebas dinámicas

En esta investigación se utiliza el ciclo europeo NEDC el cual permite tomar datos del comportamiento del motor en diversas etapas tales como: comportamiento en frío, conducción urbana y conducción de carretera; para determinar la presión de combustible en el riel de inyección. Además, el comportamiento de las curvas características del motor, las normativas internacionales vigentes aplicables a las pruebas dinámicas son: DIN 720 (Deutsches Institut Fur Normung) de Alemania, EWG 80/1269 (Enviromental Working Group) de Estados Unidos, ISO 1585 (International Standard Organization) y SAE J1349 (Society of Automotive Engineers). Dichas normas explican los métodos usados, el equipo requerido, las condiciones de prueba y las técnicas para la medición de las emisiones contaminantes (Quinchimbla & Solis, 2017). El nuevo ciclo de conducción europea New European Driving Cycle, según Milla, Cedeño, y Rocha-Hoyos, (2020) se utiliza a partir del año 2.000 para la homologación de las emisiones de gases contaminantes y el consumo de combustible de los vehículos ligeros y medianos. Dicha prueba se realiza en un banco dinamométrico, para la investigación se ajusta el ciclo NEDC para un ensayo de campo o prueba de ruta. En base a las condiciones especificadas por la norma NEDC se determina el tramo ubicado en la carretera San Mateo - Esmeraldas, entre el sector del control de San Mateo y la entrada a la ciudad de Esmeraldas conocido como el León, según figura 1.



**Figura 1.** Tramo para pruebas en rutas 11 Km, Esmeraldas Ecuador

### **Protocolo del tramo de prueba**

Inicio; Ubicar el vehículo en el punto de partida; reposo 6 horas; monitorear y regular condiciones iniciales; monitorear condiciones de ruta y ambientales; preparar e instalar instrumentación necesaria para realizar las mediciones; realizar Ciclo Urbano; recolectar datos; realizar Ciclo Carretera; recolectar datos; apagar el motor; fin. La prueba en ruta determina la presión de combustible que se produce en el riel y la temperatura del combustible real de un vehículo durante el ciclo de conducción de prueba, el mismo que permite analizar el comportamiento de la entrega de combustible en la conducción urbana y conducción de carretera. La recolección de datos del ciclo de conducción se realiza en los tiempos donde se registran las velocidades más estables para evitar la variabilidad de los datos y obtener los valores más estables para nuestro estudio.

Ciclo urbano: Identificar el lugar de prueba de acuerdo a la hoja de ruta establecida; Verificar que las condiciones ambientales sean las indicadas para ejecutar la prueba; Conectar los equipos para realizar las mediciones; Verificar el correcto funcionamiento de los equipos; Chequear que la transmisión se encuentre en parking o neutro de acuerdo al tipo de caja; Apagar todos los accesorios del vehículo; Confirmar temperatura de funcionamiento sea 90°C; Encender el vehículo y en condición de marcha mínima con el escáner revisar la línea de datos de rpm y revisar el ralentí y empezar a grabar datos; Esperar 15 segundos de tiempo de respuesta; Iniciar de 0 a 5 segundos poner el vehículo en ralentí; De 11 a 15 segundos partiendo de 0km/h alcanzar una velocidad de 15km/h; De 16 a 22 segundos mantener 15km/h se mantiene esta velocidad; De 23 a 28 desacelerar hasta llegar a 0km/h; De 29 a 48 segundos mantener en ralentí; De 49 a 61 segundos acelerar hasta llegar a 32km/h; De 62 a 84 segundos mantener 32 km/h constante; De 85 a 96km/h desacelerar hasta llegar a 0km/h; De 97 a 116 segundos mantener ralentí; De 117 a 143 segundos acelerar hasta 50km/h; De 144 a 154 mantener 50km/h de velocidad constante; De 155 a 163 reducir la velocidad de 50km/h a 35km/h; De 164 a 175 mantener 35km/h de velocidad constante; De 176 a 188 reducir a 0km/h; De 189 a 195 segundos mantener ralentí; Parar la grabación en escáner y guardar; Apagar el vehículo; Verificar la grabación de datos; Repetir la prueba cinco veces cada prueba.



Ciclo de carretera: A continuación, se detalla el procedimiento de las pruebas de ruta en carretera; Identificar el lugar de prueba de acuerdo a la hoja de ruta establecida. Proceder después del ciclo urbano. De 20 a 25 acelerar hasta llegar a 15km/h; En 26 mantener una velocidad constante de 15km/h; De 27 a 36 segundos acelerar hasta 35km/h; En 37 mantener 35km/h; De 38 a 46 segundos acelerar de 35km/h a 50km/h; En 47 segundos mantener la velocidad de 50km/h; De 48 a 61 acelerar de 50km/h a 70km/h; De 62 a 110 segundos mantener 70km/h de velocidad constante; De 111 a 119 segundos bajar la velocidad de 70km/h a 50km/h; De 120 a 187km/h mantener 50km/h; De 188 a 201 acelerar de 50km/h a 70km/h; De 202 a 250 segundos mantener velocidad constante de 70km/h; De 251 a 286 acelerar de 70km/h a 100km/h; De 287 a 315 segundos mantener 100km/h de velocidad constante; De 316 a 336 acelerar de 100km/h a 120km/h; De 337 a 345 segundos mantener 120km/h de velocidad constante; De 346 a 380 segundos desacelerar de 120km/h a 0km/h; De 381 a 400 segundos mantener ralentí; Luego de estar el vehículo detenido por 5 segundos se termina el ciclo. Parar la grabación en escáner y guardar; Apagar el vehículo; Verificar la grabación de datos; Repetir la prueba cinco veces en cada lugar de prueba.

### Gráficos de control para Rangos (R) y Medias (X) para el Valor de Carga Absoluta

A continuación, se indica en la tabla 1 los valores obtenidos en los formatos para la toma de datos que se encuentran de factores críticos de control para realizar el cálculo de los promedios:

**Tabla 1.** Valores medidos en la prueba de ruta

PRUEBA	Velocidad Estimada (km/h)	Tramo de ciclo 16 a 22 s. Presión en el riel							PROMEDIO (X)	RANGO (R)
		16	17	18	19	20	21	22		
1	15	516	545	557	579	578	581	582	562,6	66
2	15	522	537	559	573	580	580	576	561	54
3	15	518	541	556	579	576	575	586	561,6	68
4	15	527	545	543	576	572	570	587	560	60
5	15	517	536	555	576	570	570	587	558,7	70
									<b>X = 561</b>	<b>R = 66,3</b>

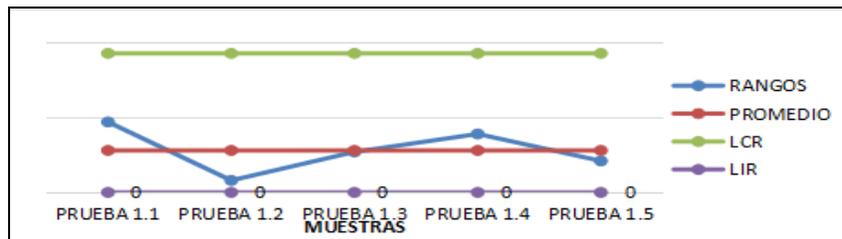
El tamaño de la muestra está determinado por  $n= 2$  y  $k= 5$ . En la tabla de factores críticos de las gráficas de control se obtiene  $A2= 1.88$ ,  $D3= 0$  y  $D4 = 3,267$ . Aplicando la ecuación del límite de rango superior se obtiene:

$$LSCR = D4R = (3.267) * 66.3 = 216,60$$

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

$$LICR = D3R = (0) * 66.3 = 0$$

Se puede observar en la figura 2 que ninguno de los valores de carga absoluta obtenidos sale de los límites de control lo que indica que los valores obtenidos son correctos y no existen errores de causa asignable.



**Figura 2.** Control de rango de presión de combustible.

El gráfico de medias se lo realiza de la siguiente manera aplicando la fórmula:

$$LSCX = X + A2R = 561 + (1.88) * 66.3 = 685.64$$

$$LICX = X - A2R = 561 - (1.88) * 66.3 = 436.35$$

En el gráfico se puede verificar que todos los valores obtenidos no poseen errores de causa asignable, ya que ninguno de los límites calculados sale de los límites de control, como se puede observar en la figura 3.

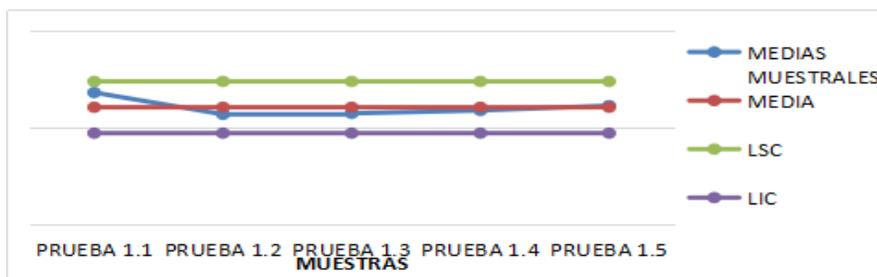


Figura 3. Control de medias de la Carga Absoluta.

### Vehículo de prueba

La selección del vehículo es en base a las características del parque automotor del país, considerando que el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es el más representativo en automotores. Es decir, existen varias marcas que están presentes en nuestro país y la mayoría de ellos utilizan el sistema de inyección riel común de segunda generación y con normas Europeas Euro III, Euro IV, es decir de inyección múltiple de 1600 bar e inyectores tipo solenoide o piezo eléctricos. El vehículo en el cual se realizan las pruebas para la investigación es un vehículo coreano modelo Carnaval, (CINAE, 2018). En la tabla 2 se detalla las especificaciones de los vehículos seleccionados.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los vehículos seleccionados

Especificación	Vehículo 1
Modelo	Carnival
Año	2014
Kilometraje	60000
Posición de motor	Delantera Transversal
No. de cilindros	4 en línea
Transmisión	Manual
Cilindraje (cm3)	2900
Potencia (hp@rpm)	182@3800
Torque (Nm@rpm)	350@1500
Inyección	Riel Común 2ª. Generación (Delphi)

### Equipos de prueba

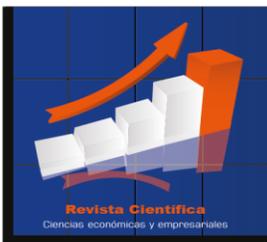
El escáner automotriz como se observa en la figura 4, es un equipo de diagnóstico que puede ser original o genérico. Posee varias funciones como son: Acceso a la lectura y borrado de códigos de falla almacenados en la ECU del motor y también permite la lectura de lista de datos que detalla toda la información de sensores y actuadores que se envían a las computadoras de motor, airbag, ABS, híbrida, control de tracción, etc. De acuerdo a los módulos que posea el auto; Programación de módulos, sensores y actuadores dependiendo del modelo y fabricante del vehículo; Ejecutar pruebas de actuadores; Grabar las pruebas de ruta efectuadas, en las cuales se graba todo el funcionamiento de los diferentes sensores y actuadores.



**Figura 4.** Escáner de diagnóstico GSCAN II (OB2D, 2017).

Las características del Scanner GSCAN II son: Scanner oficial de las marcas Hyundai y Kia; CPU de triple núcleo con estructura de alto rendimiento; Pantalla de 7 pulgadas con resolución 1024 x 600 píxeles; Construcción rígida y robusta para trabajos en taller; Wi-Fi; Preparado para trabajar con buses y camiones; Completamente retro compatible con las funciones de la plataforma G-scan 1; Batería de litio de 2100 mAh; Tarjeta de memoria SD de 16GB, expandible; Encendido ultrarrápido.

Es el Sistema de Posicionamiento Global de navegación por satélite que funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta a 20 200km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada reales del punto de medición con una precisión de entre 2,5 y 3 metros en más del 95% del tiempo. Para



verificar la ubicación del vehículo en las diferentes posiciones de prueba del auto se utiliza un GPS Garmin e-trex 20 que se puede observar las características técnicas detalladas en la figura 5.

Dimensiones de la unidad (Ancho/Alto/Profundidad):	2,1" x 4" x 1,3" (5,4 x 10,3 x 3,3 cm)
Tamaño de la pantalla (Ancho/Alto):	1,4" x 1,7" (3,5 x 4,4 cm); 2,2" en diagonal (5,6 cm)
Resolución de pantalla (Ancho/Alto):	176 x 220 píxeles
Tipo de pantalla:	TFT transreflectiva de 65.000 colores
Peso:	5 oz (141,7 g) con pilas
Batería:	2 pilas AA (no incluidas); se recomienda NiMH o litio
Duración de la batería:	25 horas
Resistente al agua:	Sí (IPX7)
Flotante:	No
Receptor de alta sensibilidad:	Sí
Interfaz del equipo:	USB
<b>Cartografía y Memoria:</b>	
Mapa base:	Sí
Preloaded maps:	no
Posibilidad de agregar mapas:	Sí
Memoria interna:	1,7 GB
Admite tarjetas de datos:	Tarjeta microSD™ (no incluida)
Waypoints:	2000
Rutas:	200
Track log:	10.000 puntos, 200 tracks guardados

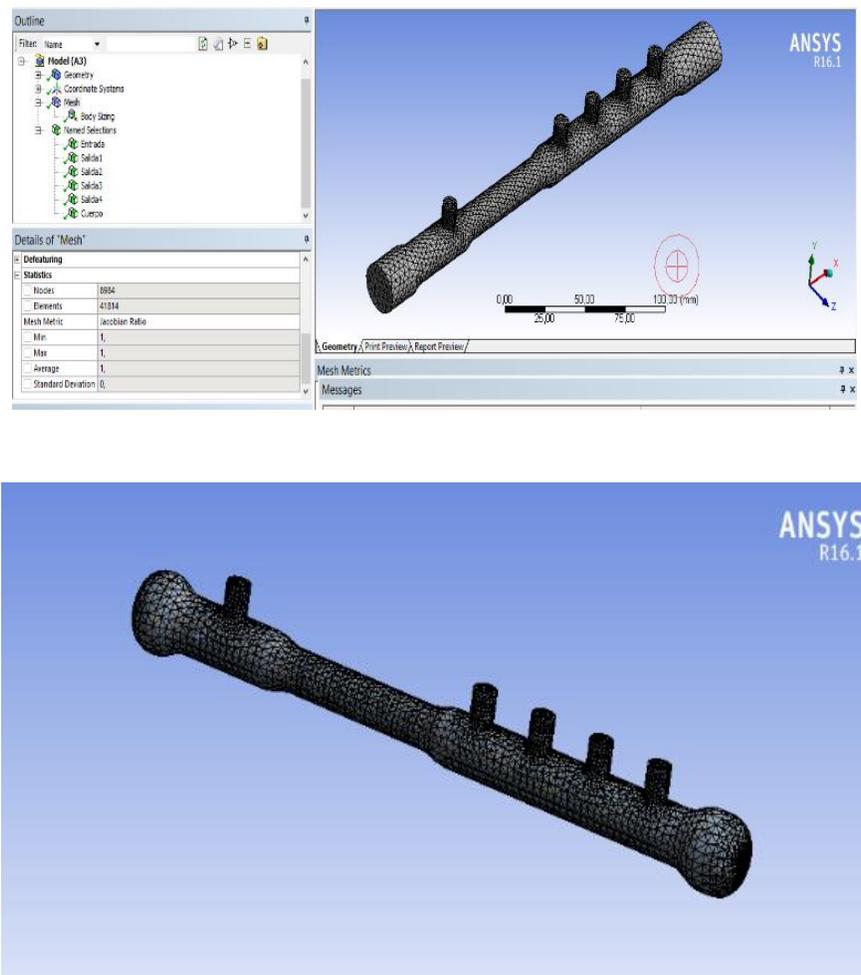
Figura 5. Especificación Técnica GPS;Error! No se encuentra el origen de la referencia..

### Simulación del riel

Según Xamán (2016) la solución a un problema en mecánica de fluidos se puede abordar desde tres enfoques distintos: analítico, experimental y a través de métodos numéricos, en los campos de la investigación aplicada es común encontrar que para muchos problemas los tres métodos se aplican, es más, se habla de que para tener éxito en una investigación los métodos deben complementarse. El uso de distintos métodos también permite la comparación de resultados y por tanto la validación de los mismos, adicionalmente, dado el hecho de que se necesitan datos puntuales que son más factibles de obtener por un método específico que por otro, el estudio aborda estos tres enfoques, con lo cual se pretende complementariedad, verificación y validación de los resultados (Remache, Leguisamo, y Tamayo, 2019).

Mallado: Después de realizar el CAD, se lo importa al software ansys 16.1 para realizar el mallado del mismo. El proceso de mallado es un procedimiento que discretiza el volumen de influencia del flujo en un numero finito de volúmenes. Mediante partición de ecuaciones diferenciales, cada nodo cada punto de la malla va a ser una ecuación diferencial que va ser analizada y resuelta mediante el programa. Para que la simulación sea correcta en el mallado el radio jacobiano tiene que tender a uno y tiene que converger. La figura 6 que el mallado converge correctamente en la riel y además se segmento la malla, se puede ver que en los extremos el mallado es mas grueso y en la parte de las salidas es mas delgado, esto se hizo para que el análisis sea exacto en la entrada y salida de la riel.

**Figura 6.** Mallado Re-diseño del riel



### Condiciones de Análisis y pre procesamiento

Para el proceso de simulación se tomaron los datos obtenidos en las pruebas en ruta y se procedió a seleccionar el análisis multifísica donde se va analizar el comportamiento del flujo que es de carácter turbulento dentro del riel, como se observa en la figura 7.

También se procedió a ingresar los datos del combustible como se observa en la tabla 3, en este caso el diésel que se comercializa en el país y el biodiésel B5 que por decreto Ejecutivo 1303 señala que el diésel del país debe tener una mezcla de biocombustible del 5%. También se ingresa la presión de entrada que en este caso varía de 400 Bares a 1800 Bares y seleccionamos las 4 salidas del riel para a continuación obtener los resultados, que debemos comparar con los datos que se obtuvieron en las pruebas de ruta.

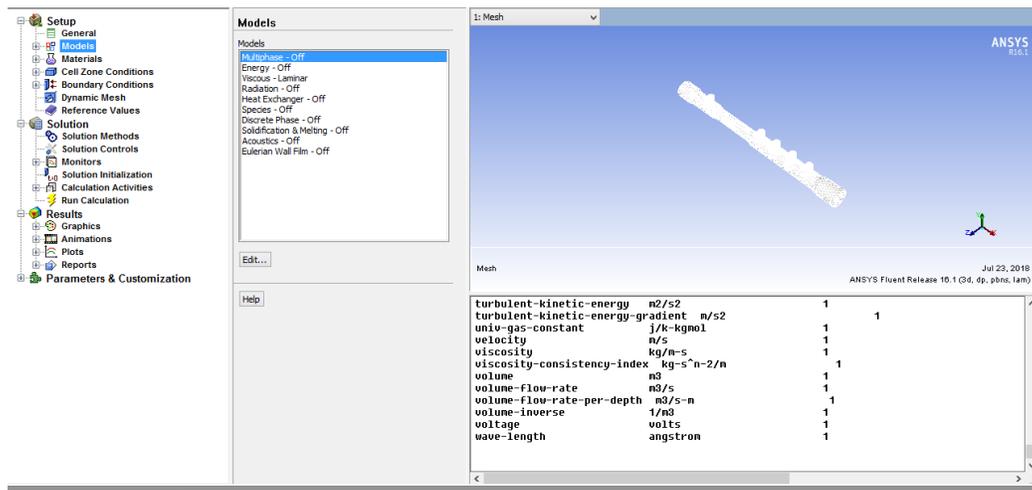


Figura 7. Mallado

Tabla 3. Caracterización del diésel de acuerdo a la norma NTE INEN 1489: 2012 (Valencia, 2013)

Nº	Ensayo	Unidad	Min.	Max	Diesel	Biodiésel	Método de Ensayo
1	Densidad a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	-----	-----	826,2	835,48	ASTM D 287
2	Punto de Inflamación	°C	51	-----	62	65	ASRM D 93

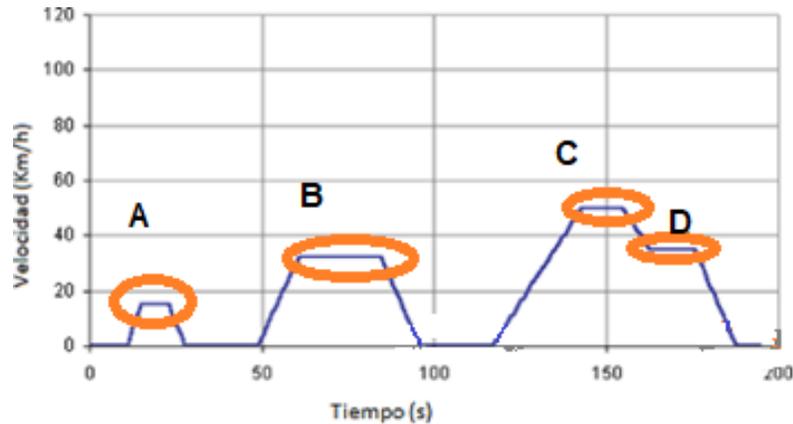
3	Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2	5	2,65	2,90	NTE INEN 810 ASTM D 445
---	------------------------------	--------------------	---	---	------	------	----------------------------

## Resultados

### Presiones en el ciclo urbano y ciclo carretera

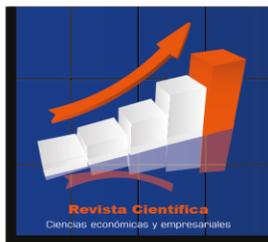
Los resultados que se utilizarán en el ciclo urbano serán los que se indican en la figura 9 y se escogieron los datos señalados debido a que en estos son valores estables y se evita la variabilidad de los datos. Los resultados que se analizarán en el ciclo para obtener la presión del riel en la prueba se indican en la tabla 4.

**Figura 9.** Resultados pruebas en ciclo urbano



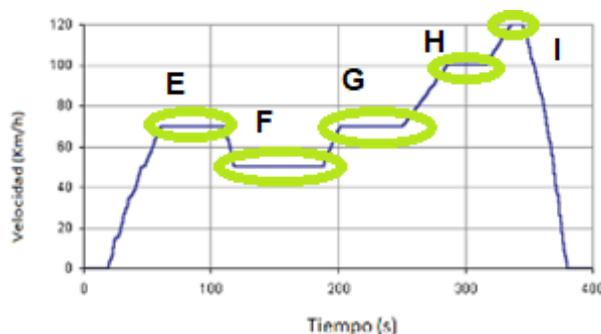
**Tabla 4.** Pruebas en ciclo Urbano

TRAMO	SEGUNDOS DE MEDICIÓN	VELOCIDAD IDEAL	VELOCIDAD Promedio	PRESIÓN	TEMPERATURA COMBUSTIBLE
A	16 AL 22	15	17	561	50
B	62 AL 84	32	34,34	451,30	50
C	144 AL 154	50	49.45	517.45	50
D	164 AL 175	35	36,08	398,33	50



Los resultados que se utilizarán en la prueba en ciclo de carretera serán los que se indican en la figura 10 y se muestran en la tabla 5, debido a que en estos son valores estables y se evita la variabilidad de los datos.

**Figura 10.** Resultados prueba en ciclo de carretera



**Tabla 5.** Pruebas en ciclo carretera

TRAMO	TIEMPO (s)	Velocidad	VELOCIDAD	PRESION	TEMPERATURA COMBUSTIBLE (°C)
		Ideal (km/h)	Promedio (km/h)		
E	75 -100	70	69,38	456,15	52
F	135 – 150	50	50,81	426.50	52
G	220 – 240	70	70,09	812,31	52
H	295 - 305	100	100,09	1534.45	52
I	338 -343	120	118	1572,16	52

**Presiones de Simulación Diésel y Bio – Diésel (B5)**

Una vez concluido la simulación, los datos obtenidos de la presión del riel utilizando el combustible diésel se los puede observar en la tabla 6. También se determinó los datos de la presión del riel utilizando el combustible Bio-diésel (B5) se los puede observar en la tabla 7.

**Tabla 6.** Resultados obtenidos en el proceso de simulación con fluido diésel

<b>Presión de entrada (bar)</b>	<b>Valores obtenidos en Simulación1 (riel original) (Bar)</b>	<b>Valores obtenidos en Simulación2a (riel rediseñada) (Bar)</b>
306,3	208,9	215,5
611,9	420,6	428,7
1221,5	851	863,9
1513,9	998,2	1082
1792,8	1218	1295

**Tabla 7.** Resultados obtenidos en la simulación fluido Bio Diesel

<b>Presión de entrada (Bar)</b>	<b>Valores Obtenidos en la simulacion (riel original bio diesel B5) (Bar)</b>	<b>Valores Obtenidos en la simulacion (riel original bio diesel B5) (Bar)</b>
306,3	198,8	206,5
611,9	395,9	415,1
1221,5	819,7	823,0
1513,9	966,3	1031
1792,8	1191	1240

## Discusión

En este apartado en primer lugar se lleva a cabo una comparación entre los resultados que se obtuvieron en las pruebas experimentales en ruta en el ciclo urbano y ciclo de carretera con los resultados que se obtuvieron en la simulación en el software con el propósito de validar los mismos, este punto es vital para la consecución del estudio. Por tal motivo en la simulación se procedió a analizar los valores que se obtuvieron experimentalmente del paso de la bomba de alta presión hacia el riel común estos valores que obtuvimos están en el rango de 306. 3 y 1792.8 bares. Analizando la presión de 611, 9 bares obtenida experimentalmente, se observa que en las

pruebas en ruta se obtuvo 426,15 bares mediante el escáner GScamII y mediante la simulación entrega un valor de 420, 6 bares, esta diferencia está entre un rango del 10%, igualmente pasa en la presión de 1221,5 bares donde la presión en la riel obtenida por el scanner fue de 812,31 bares y la presión obtenida mediante el software de simulación fue 851 bares, igualmente está dentro de un rango de 10%. Según Payri, Desantes, y Benajes (2015) es recomendable simular varias veces por la dificultad que tiene el modelado del flujo en componentes como el caso del riel común. Con estos datos se procedió a simular el comportamiento del diésel dentro del riel común y se comparó los valores en ruta, estos valores en la tabla 8.

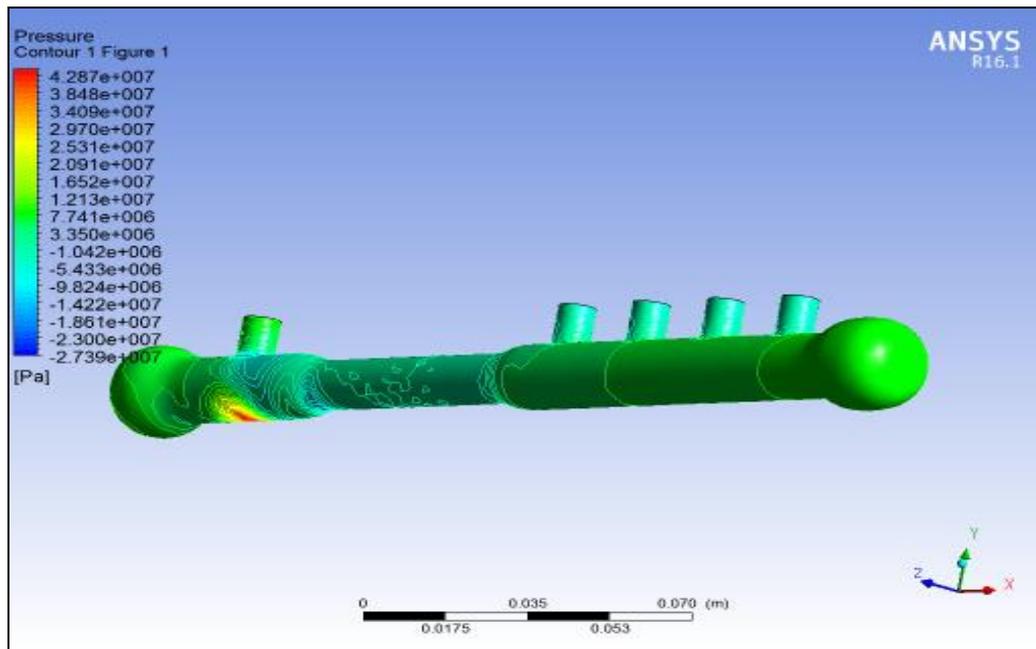
**Tabla 8.** Validación de Resultados

<b>Presión de entrada (Bar)</b>	<b>Pruebas en Ruta (Bar)</b>	<b>Simulación Diseño Original (Bar)</b>
306,3	456,15	208,9
611,9	426.50	420,6
1221,5	812,31	851
1513,9	1534.45	998,2
1792,8	1572,16	1218

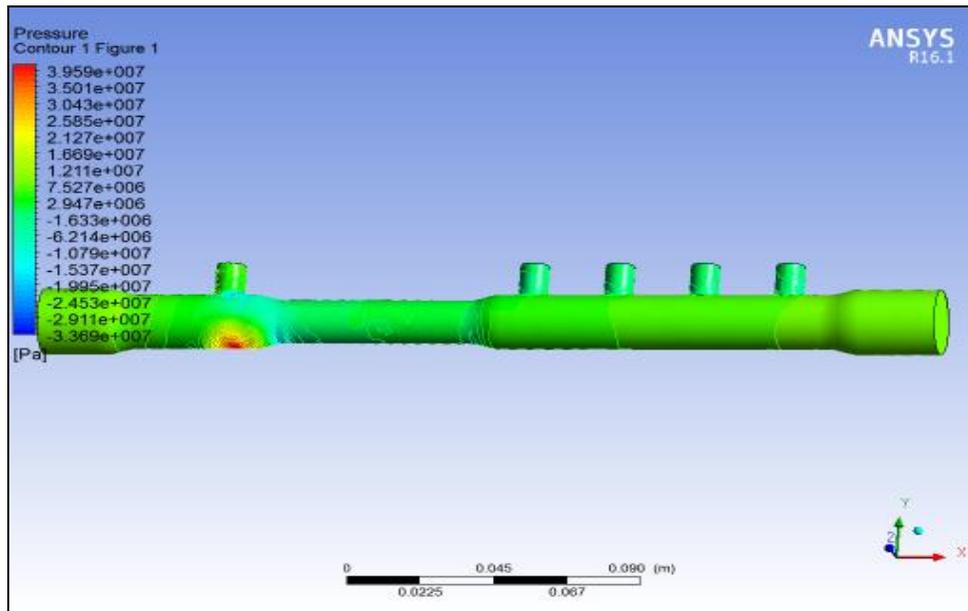
### **Análisis comparativo de presión en el riel por diferentes combustibles**

A continuación, se analiza los resultados de presión que se obtuvo mediante la simulación dentro del riel con el diseño original, el nuevo diseño y con el combustible bio- diésel. Como se observa en la figura 11, para hacer esta simulación utilizamos como fluido el diésel que se comercializa en el Ecuador que tiene una densidad de 826,2kg/m<sup>3</sup> y también se ingresó el dato de temperatura que fue tomado en las pruebas que es de 52°C. Lo que se observa es que existe una variación de presión en el contorno del riel y existe una presión máxima de 420,6 bares que se la nota con un punto rojo, como valor crítico. Ese punto es donde el combustible diésel entra y choca con la parte inferior del riel para luego distribuirse a lo largo de ella, en este punto hay una concentración de esfuerzos.

Ahora en la figura 12 se observa la simulación del riel con su diseño original pero el combustible en este caso es el bio-diésel B5 y se analizó que la presión varia dentro del contorno de igual forma que la anterior, pero en este caso la presión disminuyo, y se pudo notar un valor de 395,9 bares como presión máxima. Esto se debe a que la densidad del Bio-diésel B5 es mayor a la del diésel normal. Además, en la figura 13 se observa la simulación del re-diseño del riel utilizando el combustible bio-diésel y se obtuvo como dato un valor de presión de 415,1 bares debido a la disminución del diámetro del riel. Este valor comparado con el de la simulación con el diseño original y utilizando bio-diésel que fue de 395,9 bares y calculando el porcentaje se obtiene una diferencia de 4,6 % que aumentaría la presión y esto favorecería al trabajo del riel con bio-diésel porque a una mayor presión los inyectores se abren más rápidamente permitiendo el paso de combustible a las válvulas (Xu, Li, Liu, Cheng, y Chen, 2020). A continuación, se observa en la tabla 9 la variación de presión analizada en los casos anteriores.

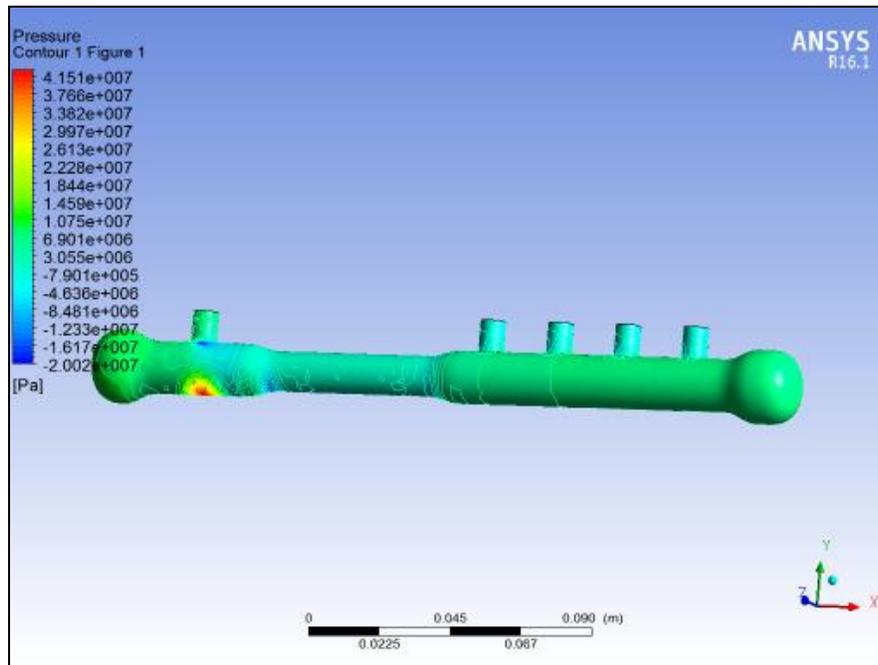


**Figura 11.** Simulación de la riel re-diseñada y combustible diésel



**Figura 12.** Simulación del riel con su diseño original y Bio-diésel B5

Según Alam y McNabola (2014) dice que estas técnicas de conducción ecológicas ayudan a conservar el medio ambiente y se logró obtener datos de los ahorros de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>, pero no se había obtenido datos de la presión dentro del riel para evaluar su comportamiento estos datos ayudaron a una mejora en su re-diseño y servirá de aporte para estudios futuros. Además, el uso de bio-diésel aporta a la disminución de emisiones contaminantes y el riel re-diseñado ayuda para que se pueda utilizar este bio- combustible porque la presión que actúa dentro es la adecuada para pulverizar el combustible y abrir los inyectores que alimentan la cámara de combustión, sin perder la eficiencia del motor cuando se utiliza este combustible (Rocha-Hoyos, Llanes-Cedeño, Celi-Ortega, y Peralta-Zurita, 2019).



**Figura 13.** Simulación del riel re-diseñada y Bio-diésel B5

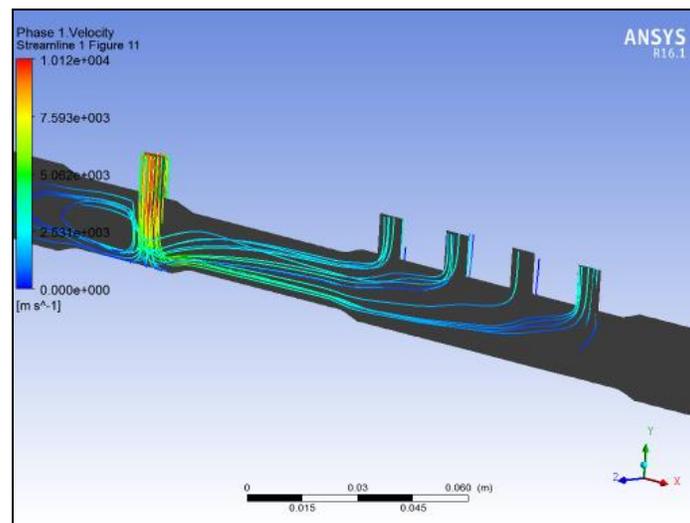
**Tabla 9.** Variación de presión en los casos simulados anteriormente

<b>Variación de presión en la Simulación</b>			
<b>Diseño Original con Diesel (Bar)</b>	<b>Rediseño con Diesel (Bar)</b>	<b>Diseño Original con Bio-Diesel B5 (Bar)</b>	<b>Rediseño con Bio-Diesel B5 (Bar)</b>
420,6	428,7	395,9	415,1
377,5	384,8	350,1	376,6
334,4	340,9	304,3	338,2
291,3	297,0	258,5	299,7
248,2	253,1	212,7	261,3

### **Análisis de Velocidad**

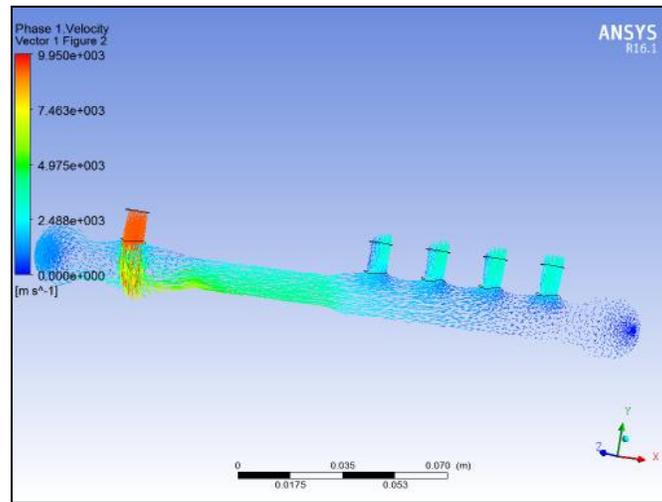
La figura 14 se muestra la velocidad del fluido dentro del riel del diseño original, se puede observar las líneas de flujo y se nota que no hay una distribución completa del combustible dentro del riel. El punto más notorio es los extremos y esto hace que no haya una salida de

presión igual en todos los inyectores. El valor máximo de velocidad que toma el combustible dentro del riel es de 10.12 m/s, este valor se da en el punto rojo que es al ingreso del combustible en el riel. Lo descrito anteriormente se puede corroborar en la figura 16, donde se hizo un corte transversal en el riel para observar con más detalle lo que ocurre dentro. Se ve las líneas de fluido de combustible que no salen con la misma intensidad por todos los conductos de salida.



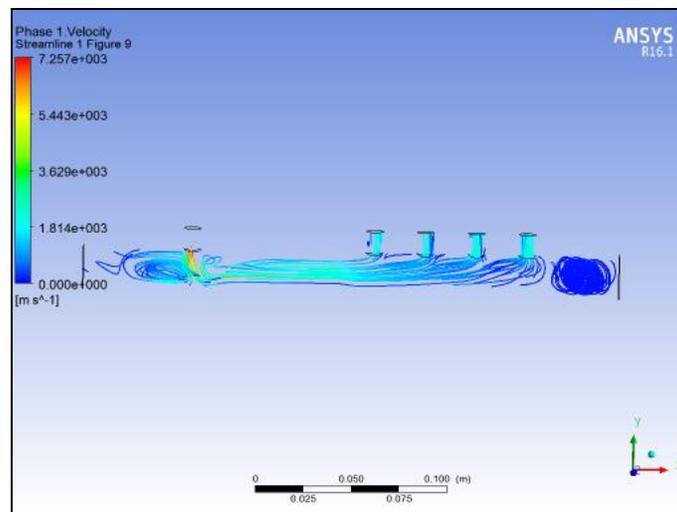
**Figura 14.** Simulación Líneas de Fluido en el riel

Ahora en la figura 15 se observa el comportamiento de la velocidad del fluido en el re-diseño utilizando diésel de combustible, donde hay un aumento de velocidad del combustible a la entrada del riel en un valor de 9,95m/s que hace que el combustible se distribuya de mejor manera dentro del riel. Se puede observar que el fluido llega a los extremos del riel y por la forma ovalada de los mismos regresa y cubre todo el conducto para así salir por en la misma cantidad por las salidas que van hacia los inyectores.



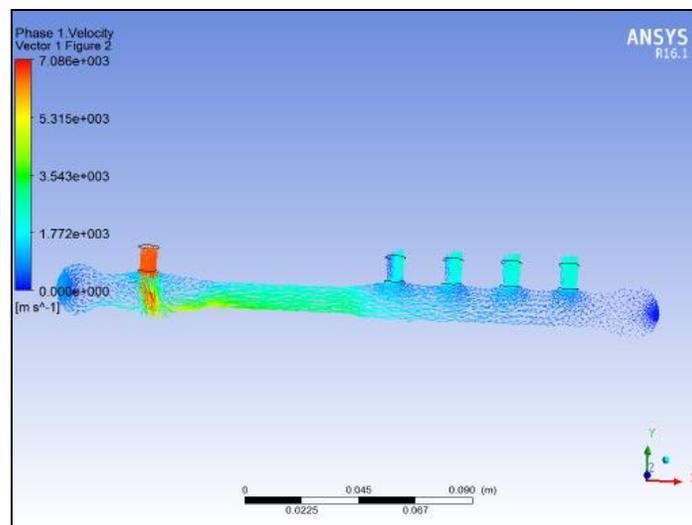
**Figura 15.** Simulación de Comportamiento de velocidad en riel re-diseñada

Ahora, se analizará la velocidad utilizando el bio-diésel B5 en el diseño original, se muestra en la figura 16 la entrada de velocidad en un valor de 7,25m/s a menor velocidad que con el combustible diésel esto se da debido al aumento de la densidad en el bio-diésel, se nota que la velocidad disminuye en los extremos produciendo que no llegue la misma cantidad de combustible a la salida del inyector número 4. Esto según Lozada y Suquillo (2018) se vuelve una problemática al momento del funcionamiento del sistema.

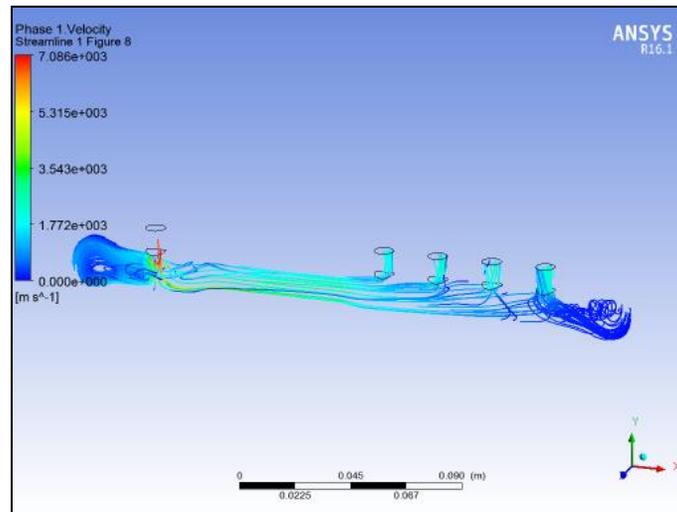


**Figura 16.** Comportamiento de la velocidad del fluido con bio-diésel B5 diseño original

El re-diseño mejora el comportamiento del combustible bio-diésel B5, como se observa en la figura 17 debido a que a pesar de tener casi la misma velocidad de entrada de 7,08m/s se distribuye por todo el largo del riel hasta los extremos y logra que en las cuatro salidas de los inyectores pase la misma cantidad de combustible, mejorando el consumo de combustible y el rendimiento del motor. Además, se observa en la figura 18 el fluido y su comportamiento turbulento disminuye y el combustible está más estable y bien distribuido dentro del riel. El Re-diseño apporto que se distribuya mejor el combustible dentro del riel, con el combustible diésel y con el bio-diésel favoreciendo a la eficiencia del sistema y a la disminución de problemas mencionados en el estudio de Lozada y Suquillo (2018) porque se observó que con el diseño original no había una salida correcta del combustible al inyector 3.



**Figura 17.** Comportamiento de la velocidad del combustible dentro del riel re-diseñada bio-diésel B5



**Figura 18.** Comportamiento de fluido dentro del riel con combustible bio-diésel B5 re-diseño

### Conclusiones y recomendaciones

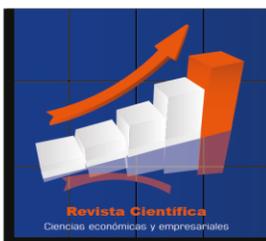
Se re-diseño mediante el software el riel de presión mostrando el comportamiento del fluido dentro de este, mejorando su presión de trabajo, la velocidad del combustible. Logrando que la salida hacia los inyectores el combustible llegue en la misma cantidad necesaria para mejorar la eficiencia del motor.

Las presiones de trabajo cuando utilizamos bio-diésel aumentan un 4,6% comparado con el diseño original esto favorece al sistema porque a mayor presión los inyectores trabajan más rápidamente logrando un ahorro de combustible mayor.

Con el re-diseño se mejoró el flujo dentro del conducto del riel favoreciendo a la salida igualitaria de combustible hacia todos los inyectores porque con el diseño original había una deficiencia de salida hacia el inyector 3, el diseño realizado y validado a través de los métodos CAD/CAE en la presente con toda seguridad mejora el funcionamiento del sistema riel común optimizando su funcionamiento, por lo tanto, se recomienda la construcción de este diseño para sus pruebas en la realidad física.

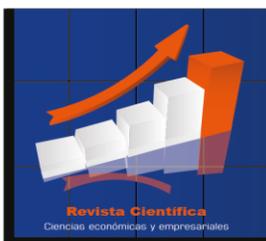
### Referencias

1. Alam, S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. ELSEVIER, 42.



2. Bainchi, G., Pelloni, P., Corcione, & Matarelli. (2000). Numerical Study of the Combustion Chamber Shape for Common Rail H.S.D.I. Diesel Engines. SAE INTERNATIONAL, 19.
3. Barth, M., & Boriboonsomsim, K. (2009). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Elsevier, 10
4. Cabascango, G., Davila, P., Mena, L., & Erazo, G. (2014). Diseño y Construcción de un simulador didáctico de inyectores diesel piezo eléctricos con visualización gráfica de señales operativas a través de un osciloscopio. *Energía Mecánica Innovación y Futuro* 2014, 7.
5. Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., & Milla, J. C. L. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149-158.
6. CINAIE. (2018). ANUARIO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ ECUATORIANA. Quito: David Molina
7. Dabi, M., & Saha, U. K. (2019). Application potential of vegetable oils as alternative to diesel fuels in compression ignition engines: A review. *Journal of the Energy Institute*, 92(6), 1710-1726.
8. Garmin. (2017). Garmin Drive TM 40. Obtenido de <https://buy.garmin.com/es-CL/CL/p/531831>
9. Guamán, E. R., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión. *Información tecnológica*, 30(6), 255-268.
10. HINO. (2017). Conducción Económica y Ecológica. HINO, 1-16
11. Karolys, B., Llanes-Cedeño, E., Vega, W., Cevallos, S., & Rocha-Hoyos, J. (2019). Effect of Injection Parameters and Emission characteristics in a Common-Rail Direct Injection Diesel Engine in Height Conditions: A Review. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 12(3).
12. Kolanjiappan, V. (2017). Reduction of amine and biological antioxidants on NO<sub>x</sub> emissions powered by mango seed biodiesel. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (84), 46-54.

13. Kousoulidou, M., Fontaras, G., Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2010). Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions. *Fuel*, 89(11), 3442-3449.
14. Lozada, A. F. V., & Suquillo, N. R. G. (2018). Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de las pastillas de freno ABS con base de acero y zinc al discretizar el elemento continuo al utilizar “software” CAE. *Enfoque UTE*, 9(1), 188-203.
15. Milla, J. L., Cedeño, E. L., & Hoyos, J. R. (2020). Impact of Ecodriving on fuel emissions and consumption on road of Quito. *Enfoque UTE*, 11(1), 68-83.
16. OB2D. (2017). GScam Trade VMI2. Obtenido de <http://www.obd2soluciones.com/producto/g-scan-2-trade-vmi/>
17. Payri, F., Desantes, J. M., & Benajes, J. (2015). Compression Ignition Engines: State- of- the- Art and Current Technologies. *Future Trends and Developments. Handbook of Clean Energy Systems*, 1-35.
18. Patel, S., & Shrivastava, N. (2017). Use of Vegetable Oil as a Fuel in Diesel Engine—A Review. In *Biofuels and Bioenergy (BICE2016)* (pp. 241-259). Springer, Cham.
19. Quinchimbla, F., & Solis, J. (Enero de 2017). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo otto en el distrito metropolitano de quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000>
20. Remache, Á., Leguisamo, J., & Tamayo, E. (2019). Análisis topológico mediante el Método de Elementos Finitos del chasis de una motocicleta de competencia. *Enfoque UTE*, 10(3), 81-97.
21. Rocha-Hoyos, Juan C., Tipanluisa, Luis E., Zambrano, Víctor D., & Portilla, Ángel A.. (2018). Estudio de un Motor a Gasolina en Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible. *Información tecnológica*, 29(5), 325-334. <https://doi:10.4067/S0718-07642018000500325>
22. Rocha-Hoyos, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Peralta-Zurita, D. C. (2019). Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. *Información tecnológica*, 30(3), 137-146.
23. Stromberg, H., Karlsson, M., & Rexfelt, O. (2015). *Eco-driving: Drivers’ understanding of the concept and implications for future interventions*. Elsevier, 7.

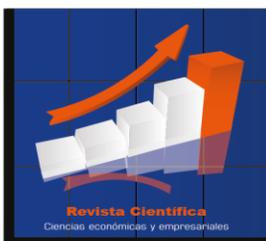


24. Xamán, J. (2016). Dinámica de fluidos computacional para ingenieros. Palibrio
25. Xu, X., Li, Q., Liu, D., Cheng, K., & Chen, D. (2020). Geometric Effects Analysis and Verification of V-Shaped Support Interference on Blended Wing Body Aircraft. Applied Sciences, 10(5), 1596.

## References

1. Alam, S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. ELSEVIER, 42.
2. Bainchi, G., Pelloni, P., Corcione, & Matarelli. (2000). Numerical Study of the Combustion Chamber Shape for Common Rail H.S.D.I. Diesel Engines. SAE INTERNATIONAL, 19.
3. Barth, M., & Boriboonsomsim, K. (2009). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Elsevier, 10
4. Cabascango, G., Davila, P., Mena, L., & Erazo, G. (2014). Design and Construction of a didactic simulator of piezo diesel electric injectors with graphic visualization of operational signals through an oscilloscope. Mechanical Energy Innovation and Future 2014, 7.
5. Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., & Milla, J. C. L. (2018). Evaluation of gas emissions in a light gasoline vehicle in high altitude conditions. Quito, Ecuador case study. Focus UTE, 9 (2), 149-158.
6. CINAIE. (2018). YEARBOOK OF THE ECUADORIAN AUTOMOTIVE INDUSTRY. Quito: David Molina
7. Dabi, M., & Saha, U. K. (2019). Application potential of vegetable oils as an alternative to diesel fuels in compression ignition engines: A review. Journal of the Energy Institute, 92 (6), 1710-1726.
8. Garmin. (2017). Garmin Drive TM 40. Obtained from <https://buy.garmin.com/es-CL/CL/p/531831>
9. Guamán, E. R., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Exhaust Manifold Parameters for Your Computational Design: A Review. Technological Information, 30 (6), 255-268.
10. HINO. (2017). Economic and Ecological Conduction. HINO, 1-16

11. Karolys, B., Llanes-Cedeño, E., Vega, W., Cevallos, S., & Rocha-Hoyos, J. (2019). Effect of Injection Parameters and Emission characteristics in a Common-Rail Direct Injection Diesel Engine in Height Conditions: A Review. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 12 (3).
12. Kolanjiappan, V. (2017). Reduction of amine and biological antioxidants on NO<sub>x</sub> emissions powered by mango seed biodiesel. *Magazine Faculty of Engineering University of Antioquia*, (84), 46-54.
13. Kousoulidou, M., Fontaras, G., Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2010). Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions. *Fuel*, 89 (11), 3442-3449.
14. Lozada, A. F. V., & Suquillo, N. R. G. (2018). Analysis by the finite element method of the behavior of steel and zinc-based ABS brake pads when discretizing the continuous element using CAE software. *Focus UTE*, 9 (1), 188-203.
15. Milla, J. L., Cedeño, E. L., & Hoyos, J. R. (2020). Impact of Ecodriving on fuel emissions and consumption on road of Quito. *Focus UTE*, 11 (1), 68-83.
16. OB2D. (2017). GScam Trade VMI2. Obtained from <http://www.obd2soluciones.com/producto/g-scan-2-trade-vmi/>
17. Payri, F., Desantes, J. M., & Benajes, J. (2015). Compression Ignition Engines: State - of - the - Art and Current Technologies. *Future Trends and Developments. Handbook of Clean Energy Systems*, 1-35.
18. Patel, S., & Shrivastava, N. (2017). Use of Vegetable Oil as a Fuel in Diesel Engine — A Review. In *Biofuels and Bioenergy (BICE2016)* (pp. 241-259). Springer, Cham.
19. Quinchimbla, F., & Solis, J. (January 2017). Development of city, highway and combined driving cylinders to evaluate the real fuel efficiency of a vehicle with an otto cycle engine in the metropolitan district of Quito. Obtained from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000>
20. Rivet, Á., Leguisamo, J., & Tamayo, E. (2019). Topological analysis using the Finite Element Method of the chassis of a competition motorcycle. *Focus UTE*, 10 (3), 81-97.
21. Rocha-Hoyos, Juan C., Tipanluisa, Luis E., Zambrano, Víctor D., & Portilla, Ángel A .. (2018). Study of a Gasoline Engine in High Conditions with Mixtures of Organic Additive in



- Fuel. Technological Information, 29 (5), 325-334. <https://doi:10.4067/S0718-07642018000500325>
22. Rocha-Hoyos, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Peralta-Zurita, D. C. (2019). Effect of Biodiesel Addition on Performance and Opacity of a Diesel Engine. Technological information, 30 (3), 137-146.
23. Stromberg, H., Karlsson, M., & Rexfelt, O. (2015). Eco-driving: Drivers ' understanding of the concept and implications for future interventions. Elsevier, 7.
24. Xamán, J. (2016). Computational fluid dynamics for engineers. Palibrio
25. Xu, X., Li, Q., Liu, D., Cheng, K., & Chen, D. (2020). Geometric Effects Analysis and Verification of V-Shaped Support Interference on Blended Wing Body Aircraft. Applied Sciences, 10 (5), 1596.