

Revista Científica y Tecnológica UPSE

Estudio aerodinámico de un deflector de aire para camiones y su influencia en el consumo de combustible

Aerodynamic study of an air deflector for trucks and its influence on fuel consumption



Denny Javier Guanuche * <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0001-7376-0105>, Álvaro Remache Chimbo <https://orcid.org/0000-0003-3947-5057>, Esteban Heredia Pantoja <https://orcid.org/0000-0003-28795645>, Patricio Danilo Martínez <https://orcid.org/0000-0002-7432-3422>.

Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.

Resumen

En el presente estudio se analizó la aerodinámica de los deflectores de aire antes y después de ser incorporados a los camiones de carga para comprobar la existencia de un ahorro de combustible. Puesto que estudios preliminares realizados en Ecuador, mostraron un ahorro de combustible en carretera del 4.63 % bajo una norma alemana (DIN 70 030-2). Se utilizó una metodología experimental en la cual se analiza la geometría de un camión y su deflector de aire, mediante la ecuación unidimensional de la fuerza de arrastre, variando los parámetros de esta, acorde a las normas y reglamentos establecidos por las instituciones de control. Con un software de dinámica de fluidos computacional (CFD), se establece el coeficiente de arrastre y la fuerza de arrastre del camión con y sin ayudas aerodinámicas, para lo cual se requiere la conformación del túnel de viento, un mallado, las condiciones de frontera y las iteraciones del procesamiento de las variables en el software CFX. Como resultado se obtuvo que una estimación en la reducción del coeficiente de arrastre del 5.607% y una disminución de la fuerza de arrastre en 244.66 [N]. Por lo tanto, se constata que los elementos aerodinámicos ayudan a reducir la fuerza de arrastre y por consiguiente el consumo de combustible.

Abstract

In this study, the aerodynamics of air deflectors before and after being incorporated into cargo trucks were analyzed to verify the existence of fuel savings. Preliminary studies carried out in Ecuador showed a fuel saving of 4.63 % on the road under a German standard (DIN 70 030-2). An experimental methodology was used in which the geometry of a truck and its air deflector are analyzed by means of the one-dimensional equation of the drag force, varying the parameters of the same, according to the norms and regulations established by the control institutions. With computational fluid dynamics (CFD) software, the drag coefficient and drag force of the truck with and without aerodynamic aids is established, for which the wind tunnel conformation, meshing, boundary conditions and iterations of the processing of the variables in the CFX software are required. As a result, we obtained an estimated drag coefficient reduction of 5.607 % and a drag force reduction of 244.66 [N]. Therefore, we found that the aerodynamic elements help us to reduce the drag force and consequently the fuel consumption.

Palabras clave:

Fuerza de arrastre, coeficiente de arrastre, gravimetría, dinámica de fluidos computacional.

Keywords:

Drag force, drag coefficient, gravimetry, computational fluid dynamics

Recibido: enero30/2021

Aceptado: marzo 29/2021

Publicado: junio 25/2021

Forma de citar: Guanuche, D.; Remache Chimbo, A.; Heredia Pantoja, E.; Martínez, P. (2021). Estudio aerodinámico de un deflector de aire para camiones y su influencia en el consumo de combustible. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 8 (1) pág. 25-31. DOI: 10.26423/rctu.v8i1.557

* Autor para correspondencia: deguanuchela@uide.edu.ec

1. Introducción

El consumo interno de derivados del petróleo en el Ecuador para el año 2019 fue de 91 millones de barriles, de los cuales el Diésel 2 y el Diésel premium representan un 36,20 % que se utiliza el sector de transporte de carga, y las gasolinas con un 33,14 % razón por la cual varias instituciones han emprendido estudios para optimizar el consumo de combustible (Petroecuador, 2019).

El parque automotor del Ecuador lo componen los vehículos livianos con 2'259.104 unidades y vehículos comerciales con 333.328 unidades, de este último los camiones tienen una representación con 237.336 unidades (AEADE, 2020).

Estudios realizados en Estados Unidos de un tracto-camión donde utilizan un carenado superior y lateral, consiguen una reducción del 15 % en el coeficiente de arrastre y un 6,5 % en el consumo de combustible (Hirz & Stadler, 2013).

Al evaluar el coeficiente de arrastre mediante la utilización de un software computacional en dinámica de fluidos (CFD), utilizando un semirremolque cisterna sometido bajo diferentes condiciones atmosféricas en la provincia de Chimborazo se obtuvo 1,18 y en la provincia del Guayas el valor fue de 0,86 estos resultados son adimensionales (Remache, Tipanluisa, Salvador, & Erazo, 2015).

Estudios realizados en Chile bajo la norma SAE J-1321 demuestra que al comparar las cabinas de un tracto-camión Freightliner (Argosy y Columbia) se obtiene un 3,96 % en el ahorro de combustible por el diseño aerodinámico que posee la cabina Columbia del tracto-camión (Villalobos, Gavilan, Salazar, & Rojas, 2012).

Otro estudio realizado en Chile bajo la norma SAE J-1321 indica que al utilizar varios dispositivos aerodinámicos (carenado superior, frontal y lateral, generador de vórtices y cubre tanque) se logra una reducción del 15,4 % del consumo de diésel de un tracto-camión (Villalobos, Arancibia, Retamal, Olivo, & Vásquez, 2011).

En Ecuador el consumo de combustible al utilizar un deflector de aire (carenado superior) bajo la norma DIN 70 030-2 se indica un ahorro de 4,63% para un camión de carga mediana (Pachacama & Simbaña, 2017).

El presente estudio, estima el valor del coeficiente y fuerza de arrastre de un camión y su deflector de aire, para ello se requiere varios datos del estudio realizado en Ecuador del consumo de combustible, de manera que estén relacionados entre sí.

2. Materiales y métodos

2.1. Vehículo seleccionado

Se utiliza un camión de marca HINO que registra 4210 unidades vendidas en el 2019, de los cuales el 28.7 [%] corresponden a chasis de buses y 71.3 [%] a camiones. Un estudio previo de consumo de combustible en carretera realizado por la Escuela Politécnica Nacional utiliza un camión de carga mediana modelo GD8JLSA, razón por la cual se considera para nuestro estudio (AEADE, 2019).

El deflector de aire es un modelo realizado bajo especificaciones de la cabina y zona de carga en fibra de vidrio su costo es de \$600 dólares, el camión y el deflector de aire.

2.2. Metodología

Se utiliza una metodología experimental en la cual se analiza la geometría de un camión y su deflector de aire, mediante la ecuación unidimensional de la fuerza de arrastre, variando los parámetros de la cual está constituida, acorde a las normas y reglamentos establecidos por las instituciones de control.

Con un software de dinámica de fluidos computacional (CFD), se establece el coeficiente de arrastre y la fuerza de arrastre del camión con y sin el uso del deflector de aire, de manera de obtener un porcentaje de reducción que se validará este modelo con estudios realizados en este campo, además se visualizará el comportamiento del flujo de aire.

3. Discusión y resultados

Utilizando un túnel de viento se determinó el coeficiente de arrastre de 0,706 para un modelo a escala 1:32 de un camión y su remolque (Bayindirli, Akansu, & Salman, 2016). El coeficiente de arrastre para un camión sin ayudas aerodinámicas es de 0,78 (SAE-J2188, 2018).

Los registros de las mediciones meteorológicas por parte del INAMHI son variantes a cada momento, para el punto de monitoreo Santo Domingo de los Colorados con una presión atmosférica de 985,7 hPa y los datos antes mencionados se puede estimar la densidad del aire con un valor de 1,1330 kg/m³ (CENAM, 2020).

La geometría utilizada es la de un camión Hino 500 cuya área frontal medida es de 7,743 m², la velocidad máxima que puede alcanzar es de 120 km/h según datos del catálogo de la marca (HINO, 2015).

Los datos que serán utilizados para los cálculos se indican en la tabla 1, los cuales fueron obtenidos al momento de realizar las pruebas.

Mediante la ecuación unidimensional de la fuerza obtenemos que la potencia de arrastre es directamente

proporcional a la fuerza de arrastre por la velocidad del camión, estos valores se indican la tabla 2.

Tabla 1. Datos del estudio.

Variable	Valor
Velocidad del aire (m/s)	1.4
Velocidad del vehículo (m/s)	0 – 33.333
Densidad del aire (kg/m ³)	1.333
Área frontal del camión (m ²)	7.743
Coefficiente de arrastre	0.78

Fuente: Autoría propia.

Tabla 2. Fuerza de arrastre y potencia.

Velocidad del camión (km/h)	Fuerza de arrastre (kN)	Potencia de arrastre (kW)
0	0,01	0,00
10	0,07	0,19
20	0,19	1,08
30	0,38	3,17
40	0,63	6,99
50	0,94	13,05
60	1,31	21,87
70	1,75	33,97
80	2,24	49,87
90	2,80	70,08
100	3,42	95,12
110	4,11	125,51
120	4,85	161,77

Fuente: Autoría propia.

De los valores expuestos de la tabla 2, obtenidos de la ecuación unidimensional de la fuerza obtenemos la figura 1, donde se indica el comportamiento de estos valores de fuerza y potencia, conforme se incremente la velocidad del camión, por lo tanto, vemos como es directamente proporcional la velocidad del camión con la fuerza de arrastre y la potencia de arrastre.

La potencia del motor según catálogo es de 194 kW, por tanto, en una vía urbana la velocidad máxima permitida para un vehículo de carga es de 40 km/h y se requiere 6,99 kW para mantener dicha velocidad, a diferencia de una recta en carretera que se puede alcanzar los 70 km/h como límite máximo y se requiere de 33,97 kW, considerando solo la fuerza de arrastre que tiene que vencer el vehículo.

Al cambiar las dimensiones de la zona de carga, por las máximas permitidas, se incrementa el área frontal a 10,4 m² con ello utilizando nuevamente la ecuación

unidimensional de la fuerza obtenemos que hay un aumento en los valores de potencia de arrastre como se indica en la tabla 3.

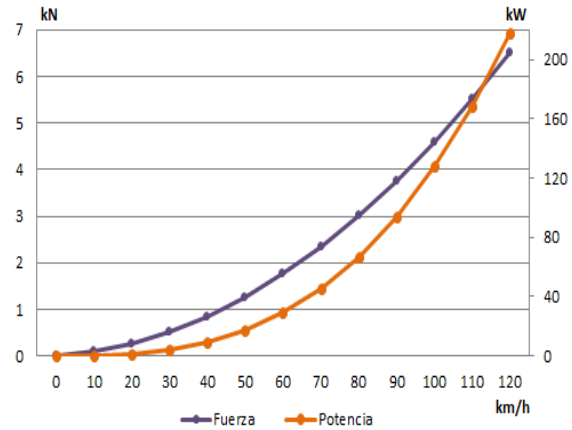


Figura 1. Fuerza y potencia de arrastre. **Fuente:** Autoría propia.

Tabla 3. Fuerza y potencia de arrastre para un área frontal mayor.

Velocidad del camión (km/h)	Fuerza de arrastre (kN)	Potencia de arrastre (kW)
0	0,01	0,00
10	0,09	0,26
20	0,26	1,45
30	0,51	4,26
40	0,84	9,39
50	1,26	17,53
60	1,76	29,38
70	2,35	45,63
80	3,01	66,98
90	3,77	94,13
100	4,60	127,76
110	5,52	168,58
120	6,52	217,28

Fuente: Autoría propia.

Cuando el vehículo circula a 40 km/h se requiere 9,39 kW para mantener la velocidad y a 70 km/h se requiere 45,63 kW, de esta manera si seguimos aumentando la velocidad la potencia que requiere el camión seguirá aumentando como se visualiza en la figura 2.

A mediados de enero del 2019 se ha emitido un boletín de advertencia por parte del INAMHI debido a la existencia de ráfagas de viento que podrían superar los 50 km/h (13,89 m/s).

Al variar la velocidad del viento a 13,89 m/s conlleva un incremento de la potencia de arrastre que se indica en la tabla 4.

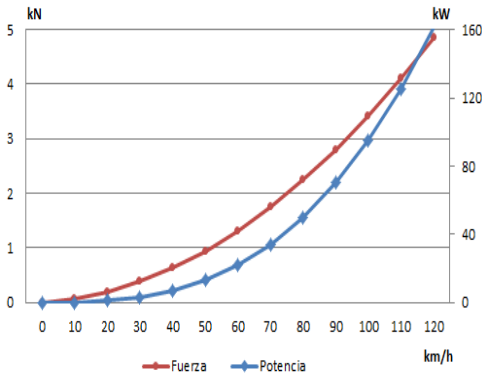


Figura 2. Fuerza y potencia de arrastre para un área frontal mayor. **Fuente:** Autoría propia.

Tabla 4. Fuerza y potencia de arrastre con vel. Aire de 50 km/h.

Velocidad del camión (km/h)	Fuerza de arrastre (kN)	Potencia de arrastre (kW)
0	0,78	0,39
10	1,12	3,11
20	1,52	8,46
30	1,99	16,57
40	2,52	27,95
50	3,11	43,14
60	3,76	62,64
70	4,47	86,97
80	5,25	116,65
90	6,09	152,19
100	6,99	194,12
110	7,95	242,96
120	8,98	299,21

Fuente: Autoría propia.

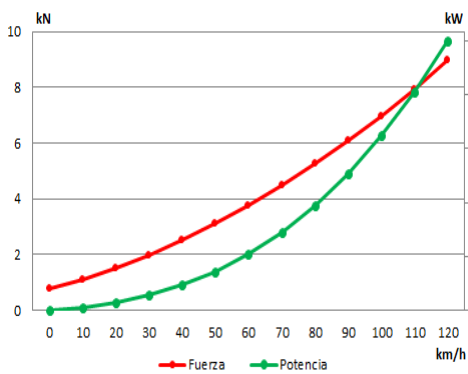


Figura 3. Fuerza y potencia de arrastre para un área frontal mayor. **Fuente:** Autoría propia.

Cuando el vehículo circula a 40 km/h se requiere 27,95 kW y a 70 km/h se requiere 86,97 kW, este aumento se visualiza en la figura 3.

Los camiones transportan carga (alimentos, maquinaria, ropa, medicinas, accesorios, etc.) a distintos lugares del Ecuador (Litoral, Sierra y Amazonia) por lo que se considera que la densidad del aire varía según el lugar donde se encuentre, para ello se dispone de tres puntos de análisis en donde se encuentran instaladas estaciones de monitoreo, como se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Pronóstico del tiempo.

Provincia	Estación	Código	Altitud (m)
Guayas	Camaronera-Songa	M5131	3
Cotopaxi	Rumipamba Salcedo	M0004	2685
Pastaza	Puyo	M0008	956

Fuente: (INAMHI, 2020).

Los valores de los parámetros atmosféricos de las estaciones en el 24/06/2020 a las 10:00 de la mañana se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros atmosféricos.

Estación	Temp. (°C)	Pres. Atmosférica (hPa)	Humedad relativa (%)	Vel. viento (m/s)
Camaronera - Songa	25,3	1011,8	74	3,2
Rumipamba Salcedo	14,4	740,6	69	2,6
Puyo	24,5	908,3	66	1,3

Fuente: (INAMHI, 2020).

Los valores de densidad del aire para las estaciones de monitoreo seleccionadas se indica en la tabla 7. Donde podemos observar su variación según el punto geográfico donde nos encontremos.

Tabla 7. Densidad del aire.

Estación	Densidad del aire (kg/m³)
Camaronera-Songa	1,170909
Rumipamba Salcedo	0,890286
Puyo	1,056427

Fuente: (INAMHI, 2020).

Utilizando esta variable se tiene las curvas correspondiente a la fuerza de arrastre para diferentes alturas, y podemos observar como la fuerza de arrastre varua según la zona geografica donde se encuentre trabajando el camion, como se indica en la tabla 8.

Tabla 8. Fuerza de arrastre a diferentes alturas

Velocidad camión (km/h)	Estación de monitoreo Fuerza de arrastre (kN)		
	M5131	M0008	M0004
0	0.01	0.01	0.01
10	0.06	0.06	0.05
20	0.17	0.15	0.13
30	0.33	0.30	0.25
40	0.55	0.50	0.42
50	0.83	0.74	0.63
60	1.15	1.04	0.88
70	1.53	1.38	1.17
80	1.97	1.78	1.50
90	2.46	2.22	1.87
100	3.01	2.71	2.29
110	3.61	3.26	2.74
120	4.26	3.85	3.24

Fuente: (INAMHI, 2020).

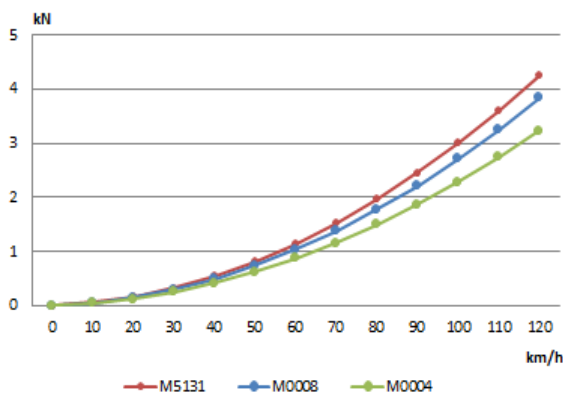


Figura 4. Fuerza de arrastre a diferentes alturas.

Fuente: Autoría propia.

Como se observa en la Figura 4, la fuerza de arrastre es mayor en la región litoral debido a los parámetros atmosféricos de la zona, en especial a la presión atmosférica que dificulta que el aire se desplace por el interior y exterior del camion, además este parámetro también influye directamente en la densidad del aire.

Al utilizar un software CFD, en primer lugar se debe obtener la geometría para la simulación, de preferencia un modelo simplificado a escala real por el gasto computacional del equipo (horas de simulación), el dominio tiene las siguientes dimensiones 8x18x6 [m].

Las características del mallado se indican en la tabla 9.

Tabla 9. Características de la malla

Descripción	Valor
Orden de elementos	Lineal
Función del tamaño	Curvatura
Nodos	269369
Elementos	1447623
Suavizado	Medio
Angulo normal de curvatura	18°

Fuente: Autoría propia.

Las partes curvas del modelo tienen un refinamiento de malla fino.

Las condiciones de frontera requeridas por el programa de simulación se indican en la tabla 10.

Tabla10. Características de la malla

Descripción	Valor
Tipo de análisis	Estado estable
Tipo de dominio	Dominio fluido
Material	Aire a 25 °C
Presión de referencia	1 atm
Inlet	120 km/h
Outlet	1 atm
Wall	Free slip wall

Fuente: Los autores

Tanto las paredes del dominio como la superficie del camion tienen la condición de pared deslizante libre, el flujo de aire no experimenta ningún tipo de restricción al momento de acerca a esas superficies.

El valor de la velocidad del aire que se ingresa a la simulación es de 120 km/h (33.33 m/s), esta velocidad se incrementa hasta los 300 km/h (83.33 m/s) en las superficies con aristas vivas, se observa que el flujo de aire choca con la parte superior de la estructura de carga y se desplace al interior, disminuyendo la velocidad del aire.

La fuerza de arrastre que se determina mediante la simulación tiene un valor de 4361.67 [N] utilizando los datos anteriores se estima un coeficiente de arrastre de 0.7010.

Al utilizar el deflector, el flujo de aire choca y de desplaza a lo largo de la estructura de carga, de manera que la fuerza de arrastre disminuye a 4117.01 [N], el

coeficiente de arrastre baja a un valor de 0.6617, en cuanto a la velocidad se mantiene alto en las aristas vivas de la cabina, como se indica en la figura 5.

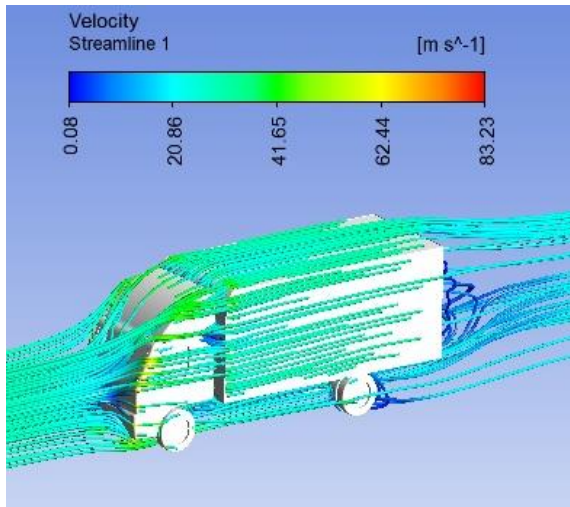


Figura 5. Flujo de aire con deflector de aire. **Fuente:** Autoría propia.

Al incorporar un dispositivo aerodinámico (deflector de aire) en la cabina del camión de este estudio complementario se consigue disminuir la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre en 5.607 [%], un estudio previo de consumo de combustible en carretera realizado en la Escuela Politécnica Nacional, con los mismos materiales (camión y deflector) obtienen un 4.63 [%] en el ahorro de consumo de diésel (Pachacama & Simbaña, 2017).

4. Conclusiones

Los parámetros atmosféricos de los distintos lugares por donde circula el camión afectan a la fuerza de arrastre, debido en mayor medida, a la influencia de la presión atmosférica que restringe el movimiento del flujo de aire a través del camión.

Con una geometría básica del camión se obtuvo un coeficiente de arrastre de 0.7010 sin la ayuda de dispositivos aerodinámicos, valor similar al que se establece en la norma SAE J2188.

Los datos experimentales obtenidos del estudio reflejan una disminución del coeficiente de arrastre en 0.0393, con ello reduce la fuerza de arrastre en 244.66 [N], estos valores se relación con el 4.63 [%] del ahorro de consumo de combustible en carretera, realizado con los mismos materiales.

Al existir una gran cantidad de dispositivos aerodinámicos que ayudan a reducir la fuerza de arrastre y por consiguiente el consumo de combustible en el transporte de carga terrestre, se deja planteado una alternativa de estudio que se puede ampliar a dichos dispositivos.

5. Referencias bibliográficas

- [1] AEADE. (2019). *Anuario*. Quito: AEADE.
- [2] AEADE. (2020). *Sector automotor en cifras*. Quito: AEADE.
- [3] Ansys. (2018). *CFX - Help support*. ANSYS, Inc.
- [4] Bayindirli, C., Akansu, E., & Salman, S. (2016). *The determination of aerodynamic drag coefficient of truck and trailer model by wind tunnel tests*. Turkey: ACADEMICPAPER.
- [5] Cascajosa, M. (2005). *Ingeniería de vehículos: Sistemas y Cálculos*. México: Alfaomega.
- [6] CENAM. (22 de 01 de 2020). *Cálculo de la densidad del aire*. Obtenido de <http://www.cenam.mx/publicaciones/cdensidad.a.spx>
- [7] DIN 70 030-2. (1986). Método de medición del consumo de combustible: camiones y buses. 1.
- [8] Filippone, A. (12 de 06 de 2020). *Aerodynamic Database*. Obtenido de <https://www.if.ufrj.br/~carlos/palestras/futebol/dragData/Aerodynamic%20Drag%20Data.html>
- [9] Gatehouse Media, I. (12 de 06 de 2020). *Best.Ride.com*. Obtenido de Trucks and SUVs Get Slippery – A New Focus On Aerodynamics Aims To Make Big Vehicles Less of a Drag: <http://bestride.com/news/trucks-and-suvs-get-slippery-a-new-focus-on-aerodynamics-aims-to-make-big-vehicles-less-of-a-drag>
- [10] HINO. (2015). *Especificaciones Hino serie 500*. Japón: HINO MOTORS, Ltd.
- [11] Hirsch, C. (2007). *Fundamentos de dinámica computacional de fluidos*. India: JohnWiley & Sons.
- [12] Hirz, M., & Stadler, S. (2013). *A new approach for the reduction of aerodynamic drag of long-distance transportation vehicles*. USA: SAE.
- [13] Hucho, W.-H. (1990). *Aerodynamic of Road Vehicles*. Germany: Butterworth-Heinemann Ltd .
- [14] INAMHI. (22 de Enero de 2020). *Pronóstico del tiempo*. Obtenido de <http://186.42.174.241/InamhiPronostico/>
- [15] INAMHI. (2019). *Boletín Meteorológico Nro. 003*. Quito: Dirección de Pronósticos y Alertas Hidrometeorológicas.
- [16] Jhon D., A. (1991). *Fundamentos de Aerodinámica*. USA: McGraw-Hill.
- [17] Mehrdad Y Otros, E. (2014). *Vehículos Modernos Eléctricos, Híbridos Eléctricos y de Celdas de Combustible*. USA: CRC PRES.

- [18] Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación.
- [19] Pachacama, D., & Simbaña, J. (2017). *Evaluación del consumo de combustible de un camión con la implementación de un deflector de aire*. Quito: EPN.
- [20] Petroecuador. (2019). *Informe estadístico anual 2019*. Quito: EP Petroecuador.
- [21] Remache, A., Tipanluisa, L., Salvador, J., & Erazo, W. (2015). *Análisis aerodinámico regional mediante cfđ de un semirremolque cisterna para transporte de cemento*. Perú: UNASAM.
- [22] SAE J1321. (2012). *Procedimiento de ensayo de consumo de combustible: Camiones y buses*.
- [23] SAE-J2188. (2018). *Commercial Truck and Bus SAE Recommended Procedure for Vehicle Performance Prediction and Charting*. USA: SAE.
- [24] Villalobos, J., Arancibia, N., Retamal, S., Olivo, P., & Vásquez, J. (2011). *Impacto de la aerodinámica para el ahorro de combustible*. Chile: AChEE.
- [25] Villalobos, J., Gavilan, C., Salazar, C., & Rojas, C. (2012). *Impacto del diseño de cabinas en el consumo de combustible*. Chile: AChEE.