



Análisis aerodinámico regional mediante técnicas de CFD de un semirremolque tipo plataforma y su incidencia con el consumo de combustible.

Facultad de Ingeniería Ambiental
Maestría en Gestión Ambiental

Juan Carlos Salvador Jiménez
Director: Ing. Rodolfo Rubio

Introducción

- La optimización del diseño aerodinámico tiene implicaciones significativas en el mejoramiento de diferentes factores.
- El análisis se realizó mediante el uso de la mecánica de Fluidos Computacional (CFD por sus siglas en inglés), lo que permitirá someter a nuestro modelo 3D a diferentes condiciones de viento como de forma.
- Es conveniente que la simulación realizada en ordenador sea replicada en un futuro con un banco de pruebas a escala debido a la complejidad de las formas en las que se desarrolla el análisis.

Introducción

El principal factor es la disminución de la resistencia al viento lo cual produce un descenso de la potencia ejercida por el motor para realizar el arrastre del semirremolque.



Provocando:

- Disminución en el consumo de combustible
- Aumento de la velocidad
- Reducción de las fuerzas que afectan a la estructura del semirremolque

Teniendo repercusión en el aspecto ambientales a largo plazo con la reducción de:

- Emisiones Contaminantes (Combustible)
- Aumento de la vida útil de consumibles (Cambio de llantas)
- Emisiones Indirectas (Arreglos por mantenimiento)



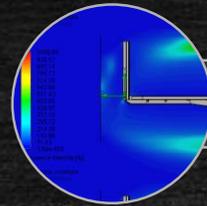
Justificación y
Objetivos



Levantamiento de
datos relevantes



Ensamblaje 3D



Simulación



Interpretación de
Resultados

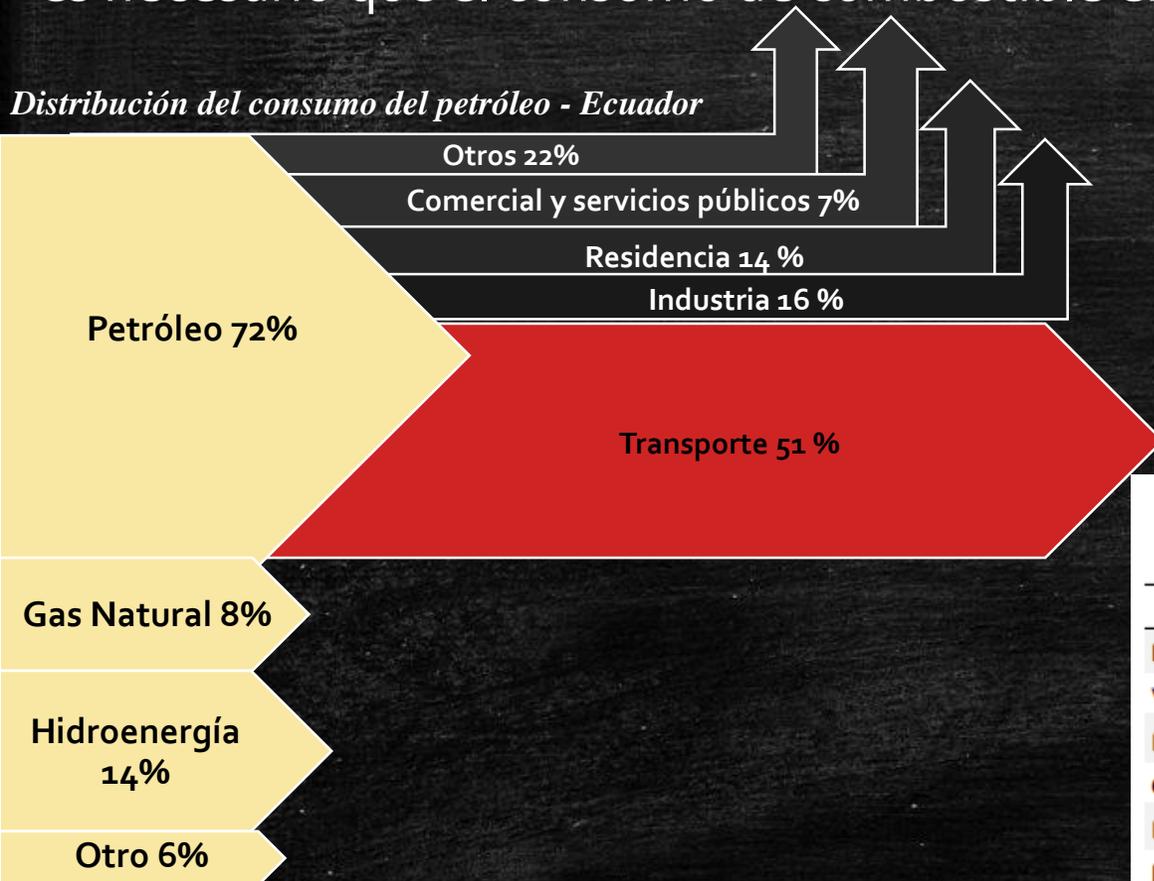


Conclusiones
Recomendaciones



Justificación

Debido al desbalance en cuanto a la inversión que realiza el estado en lo concerniente a hidrocarburos, es necesario que el consumo de combustible en el Ecuador sea optimizado de forma urgente.



22	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CAUCHO Y PLÁSTICO	1.244.137.975	467.129.382
23	FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS MINERALES NO METÁLICOS	1.116.884.087	474.399.965
24	FABRICACIÓN DE METALES COMUNES	893.824.441	291.278.479
25	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS ELABORADOS DE METAL, EXCEPTO MAQUINARIA Y EQUIPO	480.024.722	150.481.653
26	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE INFORMÁTICA, ELECTRÓNICA Y ÓPTICA	24.826.576	4.561.067
27	FABRICACIÓN DE EQUIPO ELÉCTRICO	427.355.220	95.183.573
28	FABRICACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO NCP	76.180.965	22.746.034
29	FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES, REMOLQUES Y SEMIRREMOLQUES	818.444.017	16.201.910
30	FABRICACIÓN DE OTROS TIPOS DE EQUIPOS DE TRANSPORTE	16.657.952	9.234.740
31	FABRICACIÓN DE MUEBLES	182.994.073	61.538.266
32	OTRAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS	52.805.589	24.217.057

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Encuesta de Manufactura y Minería 2010. Quito - Ecuador.

INGRESOS Y EGRESOS POR COMERCIALIZACIÓN DE DERIVADOS

Enero – Diciembre

	Diesel		
Diferencia Ingreso y Costo (miles de dólares)	-1,984,691	-864,899	-294,256
Volumen Importado (miles de barriles)	24,965	23,685	18,053
Precio Importación (dólares por barril)	120	76	58
Costo Importación (miles de dólares)	2,989,485	1,792,242	1,047,765
Precio Venta Interna (dólares por barril)	40	39	42
Ingreso Venta Interna (miles de dólares)	1,004,794	927,343	753,509

Objetivos



Justificación y
Objetivos

- Realizar el análisis aerodinámico de un semirremolque destinado al transporte pesado mediante técnicas de CFD para relacionar su geometría con la incidencia con el consumo de combustible.

Hipótesis:

- *La forma, distancia y altura del semirremolque influye en el movimiento del fluido (aire) generando cargas parasitas y turbulencia, por lo tanto, mientras más pronunciados sean los espacios de la estructura mayor será el consumo de combustible debido al trabajo adicional que realiza el tractocamión para mover dichas cargas.*



Método - Definición de Parámetros

- Se decidió tomar en cuenta el clima de dos de las ciudades más importantes del Ecuador como lo son Guayaquil y Riobamba, por las industrias ubicadas en la sierra centro y la ubicación del puerto.

- Características promedio del aire en Riobamba*

Temperatura	Humedad Relativa %	Velocidad media del Viento
22.7 °C	76 %	19.3 km/h

- Presión Atmosférica Riobamba: 0,704 atm.*
- Presión Atmosférica Guayaquil: 0,998 atm.*
- Densidad del Aire

	Densidad (Kg/m ³)
Riobamba	0.84
Guayaquil	1.15

- Velocidad máxima de 100 km/h.**

- Características promedio del aire en Guayaquil*

Temperatura	Humedad Relativa %	Velocidad media del Viento
32.6 °C	80 %	40.5 km/h

- Rugosidad***

Material (nuevo)	RUGOSIDAD MEDIA DE MATERIALES COMERCIALES	
	k	
	ft	mm
Acero remachado	0,003-0,03	0,9-9,0
Hormigón	0,001-0,01	0,3-3,0
Madera	0,0006-0,003	0,18-0,9
Hierro fundido	0,00085	0,26
Hierro galvanizado	0,0005	0,15
Hierro fundido asfáltico	0,0004	0,12
Acero comercial o hierro estirado	0,00015	0,046
Latón o cobre estirado	0,000005	0,0015
Vidrio	Lisos	Lisos

*Anuario Meteorológico 2016 – Instituto Nacional de meteorología e hidrología

** Agencia Nacional de Transito 2015

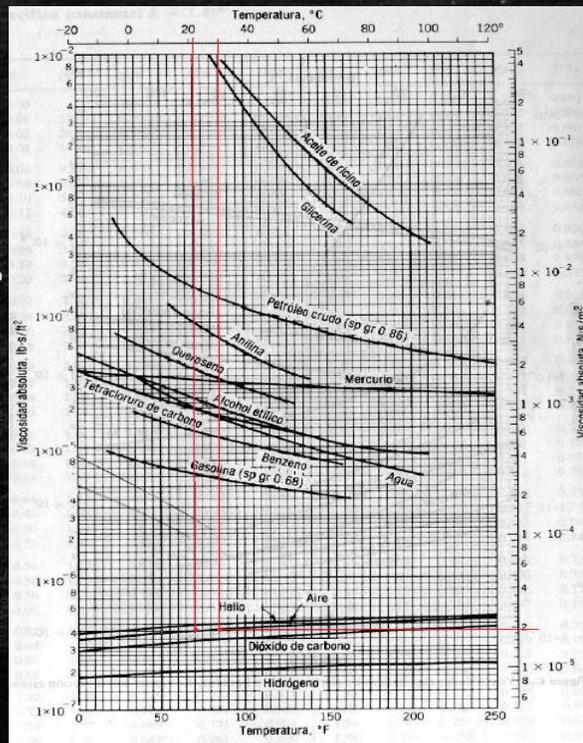
***Mecánica de Fluidos – Streeter 1980

Método - Definición de Parámetros

- Viscosidad dinámica del fluido.

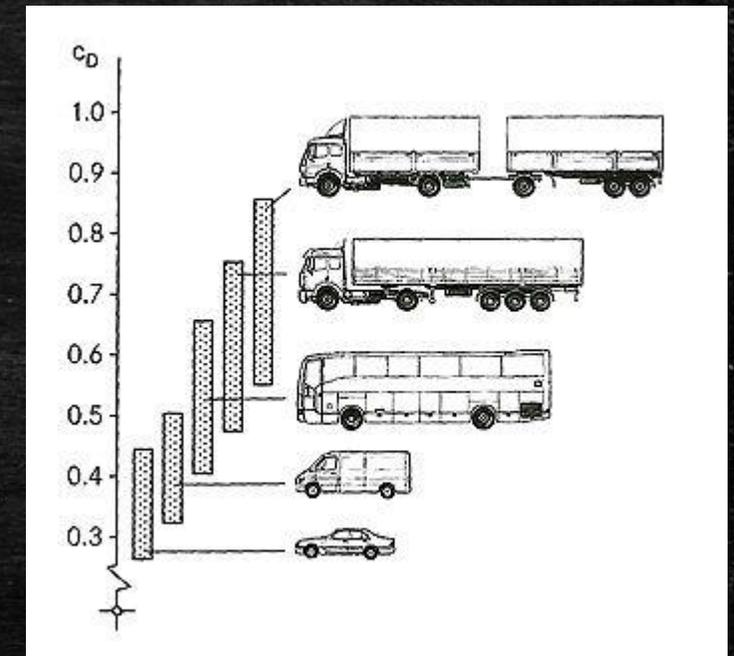
Se determina como viscosidad dinámica o absoluta el valor de $1.85 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, y debido a que las temperaturas a las cuales se realiza este análisis son cercanas, este valor se lo tomara para las dos configuraciones.

Mecánica de Fluidos – Streeter 1980

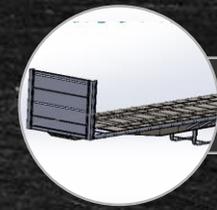


- Coeficiente de Penetración.

Se determina como Coeficiente de Penetración un valor de 0,8



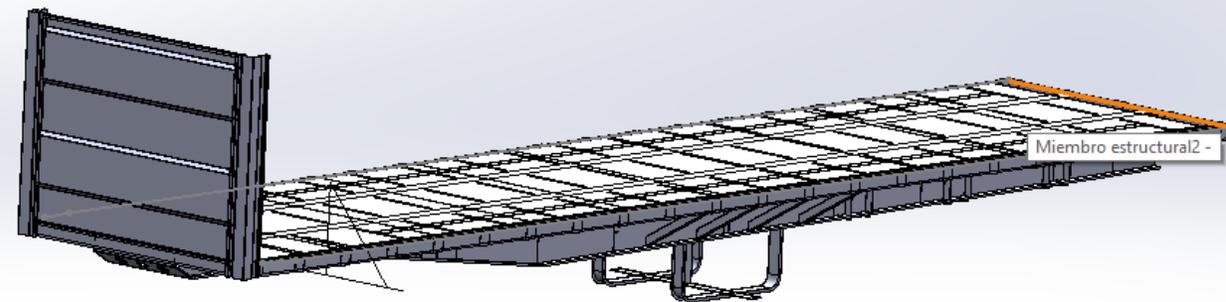
Cuadro obtenido de <http://www.part20.eu/en/background/aerodynamics/>

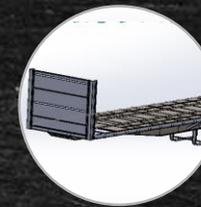


Método

Desarrollo del Modelo 3D

Se desarrolló un modelo 3D con las dimensiones y rasgos más sobresalientes del semirremolque , tomando en cuenta las características estándar.

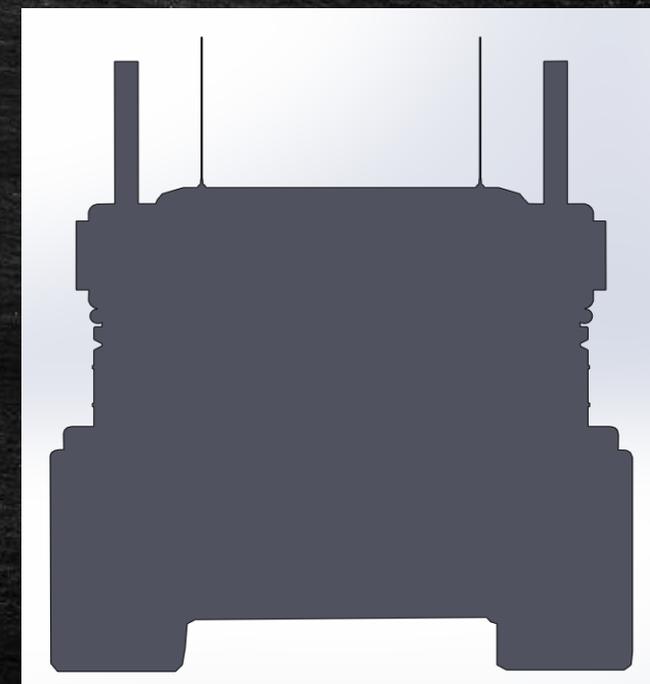
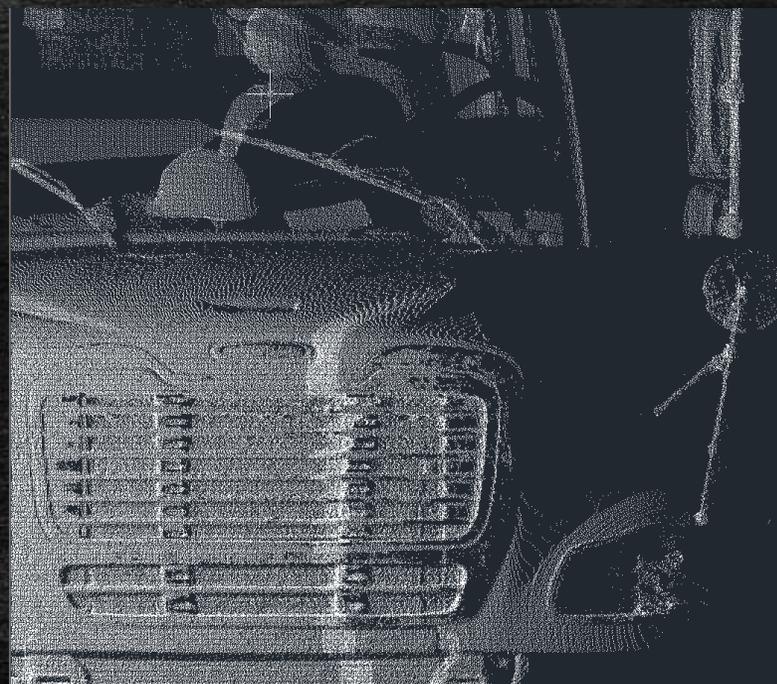




Método

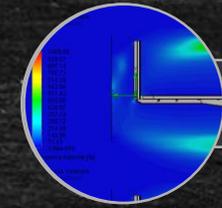
Desarrollo de la sombra del tracto camión

Con la ayuda de un scanner 3D se procedió a obtener la nube de puntos de un tracto camión con la capacidad de realizar el arrastre del semirremolque.



Con la nube obtenida se procedió a unir los puntos más sobresalientes para con esto tener la sombra que definirá las líneas de flujo entrantes al semirremolque a analizar

Método



Simulación

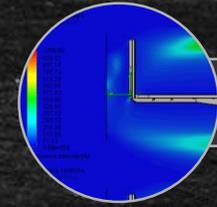
Delimitación del Análisis

Con la simulación realizada pretende obtener un criterio apropiado acerca de la reacción aerodinámica que tienen la carrocería cuando se la expone al viento tratando de emular las situaciones reales en las cuales este semirremolque opera.

Los parámetros analizados con la simulación CFD son:

- Drag
- Lift
- Numero de Reynolds
- Resistencia Aerodinámica
- Velocidad de Flujo
- Presión
- Turbulencia
- La Potencia para vencer la resistencia del aire (Pa)

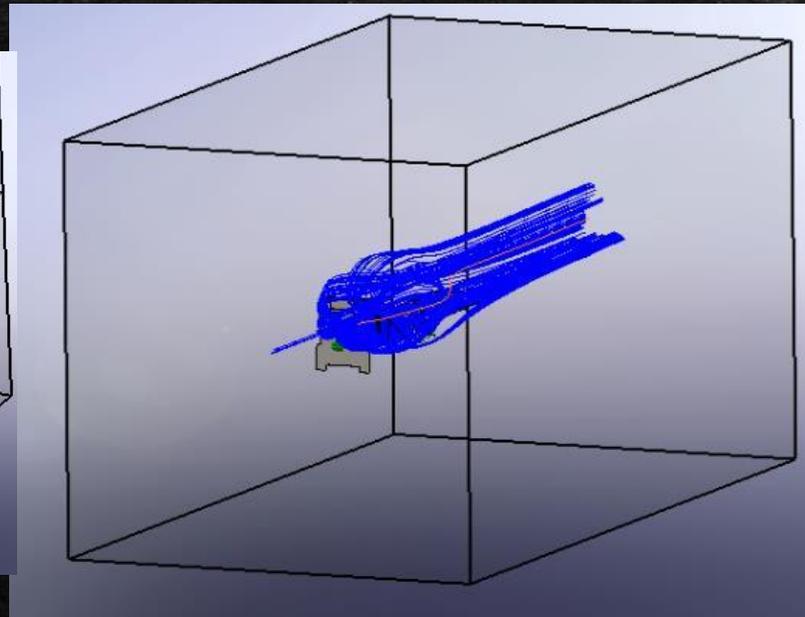
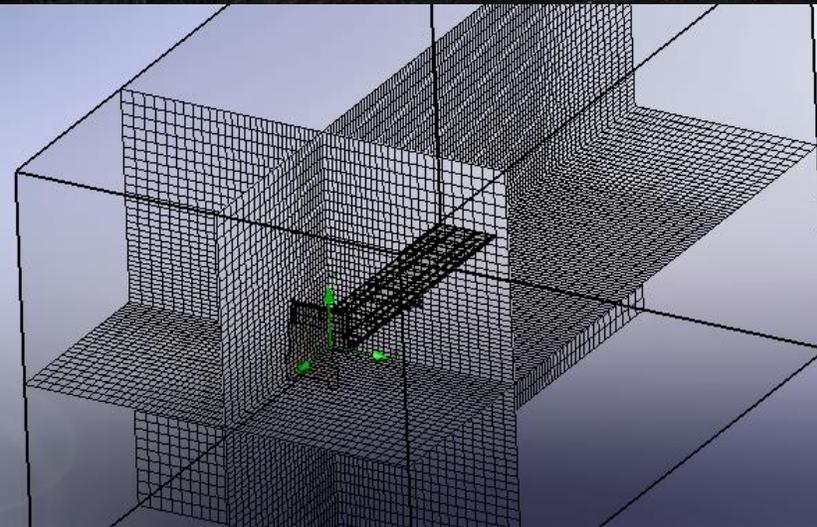
Método



Simulación

Condiciones de Borde

- Se establecen las dimensiones en las cuales se crearán las condiciones de borde, limitando el análisis del modelo en un cubo de 18m x 6m x 4m.
- Se establecen 2 configuraciones de la simulación, con los datos ambientales tanto de la Sierra – Centro, Riobamba, como de la costa, Guayaquil.



General Settings

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
Thermodynamic Parameters	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101122.35 Pa
Temperature	305.75 K
Velocity Parameters	
Parameter	Velocity
Defined by	3D Vector
Velocity in X direction	0 m/s
Velocity in Y direction	0 m/s
Velocity in Z direction	-27.7 m/s
Turbulence Parameters	
Humidity	

Dependency...

OK Apply Cancel Help

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial and ambient conditions



Resultados

Drag

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

Riobamba: 1.69

Guayaquil: 1.22

- Conviene que sea Bajo.

Lift

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

Riobamba: 0.069

Guayaquil: 1.8×10^{-3}

- fuerza no considerable sustentación.

Resistencia Aerodinámica

$$Pa = \frac{\rho}{2} C_x A_F v_r^2$$

Riobamba: 2144.97 N

Guayaquil: 2936.57 N

- Varía por la densidad

Potencia para vencer la resistencia del aire

$$R = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

Riobamba: 74269.7W

Guayaquil: 101678.8W

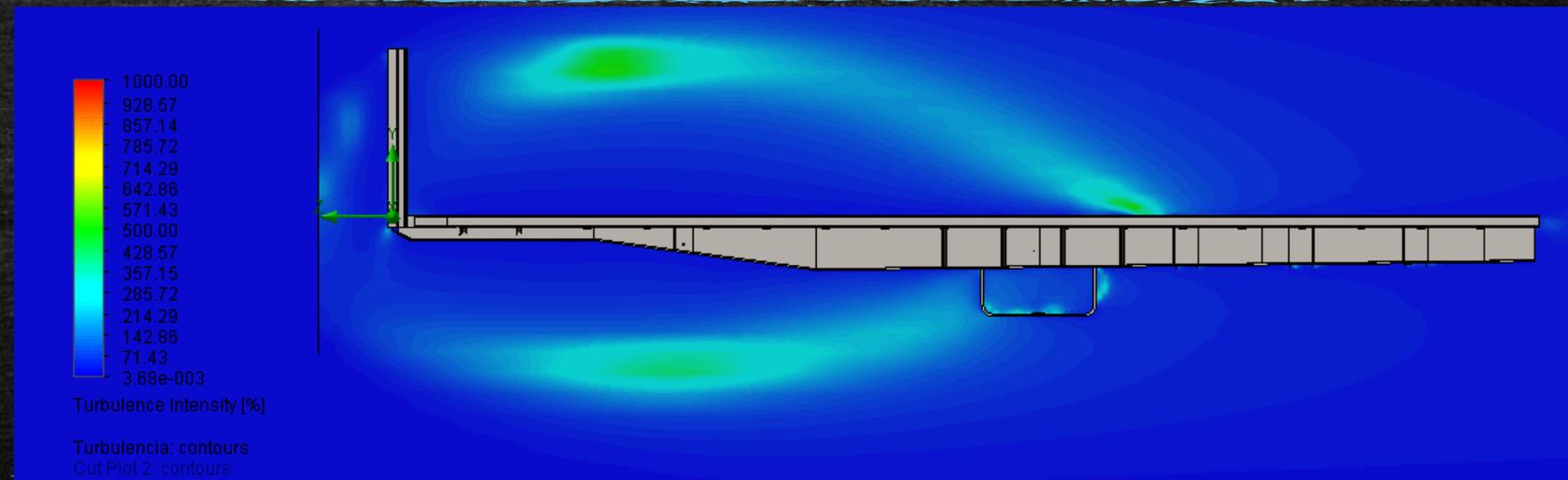


Resultados

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Riobamba:
2,9054x10e6
Guayaquil:
3.9775x10e6
- Régimen Turbulento

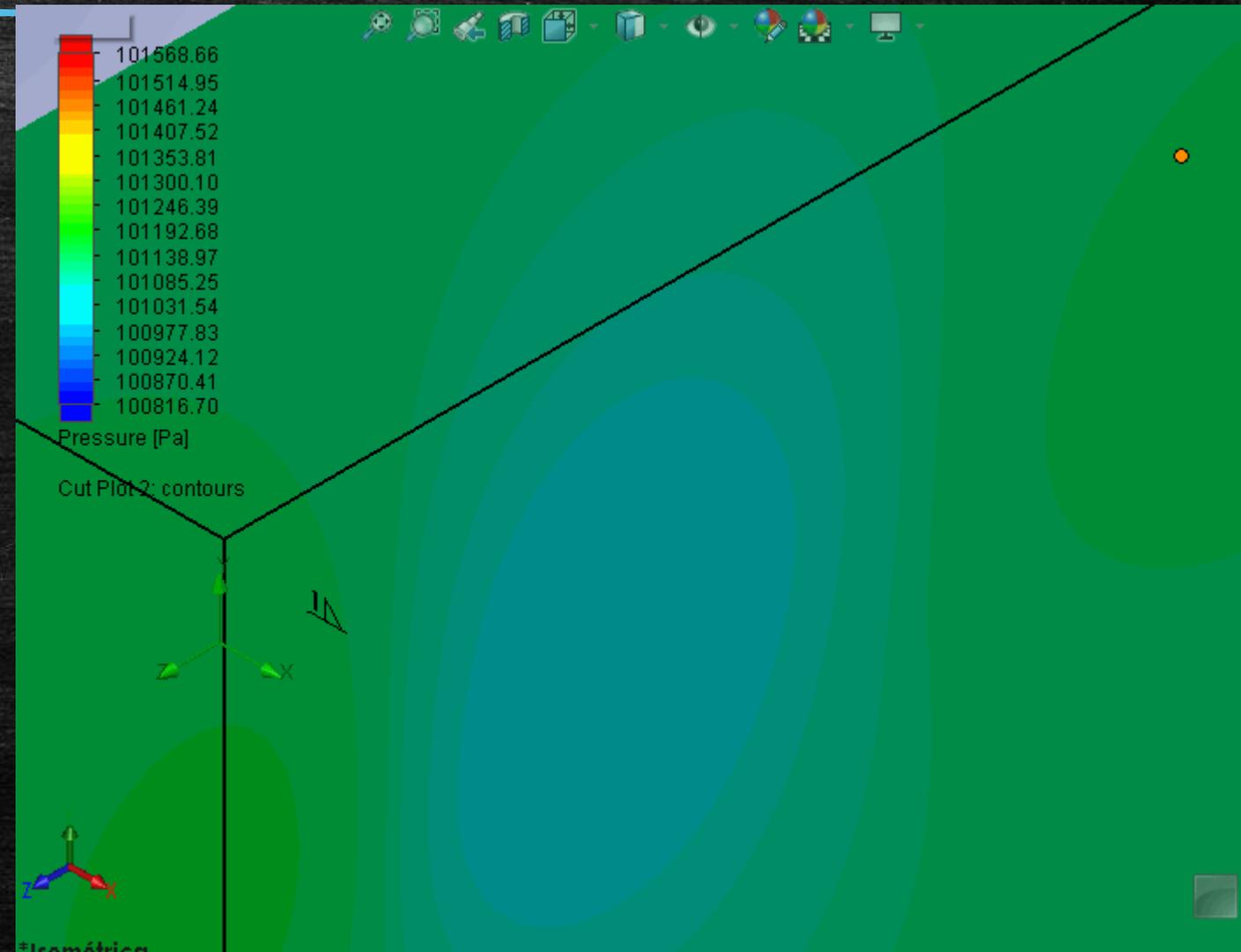
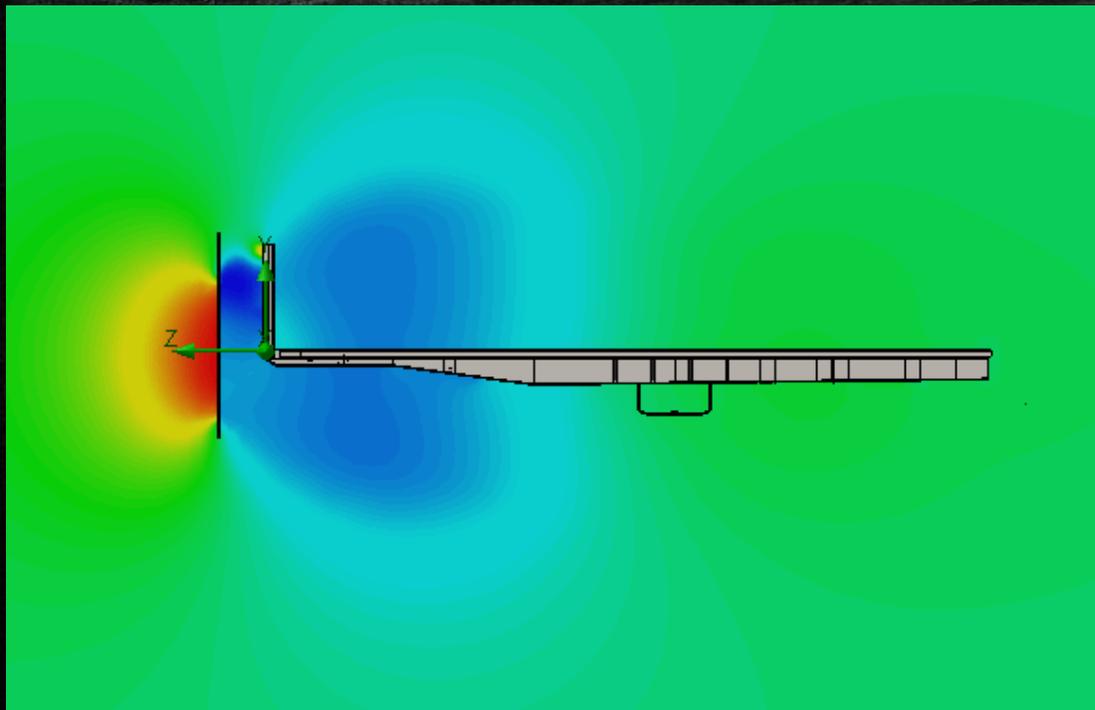




Resultados

Presión relativa [Pa]:

	Min	Max
Sierra Centro	70823.81	72280.90
Costa	100321.10	109154.79





Resultados

Consumo específico

$$B_d = \left[\frac{N_e \cdot b_e}{(\eta_{tr} \cdot \rho_B)} \right]$$

Consumo específico de combustible

Coefficiente de rodadura	Cx	Densidad del aire (Kg/m ³)	Área Proy. (m ²)	Velocidad (m/s)	Resistencia Aerodinámica	Consumo específico o (kg/kWh)	Rendimiento de la transmisión	Densidad combustible (Kg/l)	Consumo (km/gal)
0.006	0.8	0.84	8.32	27.7	2144.97	0.23	0.85	0.85	7.84
0.006	0.8	0.84	8.32	22.16	1372.78	0.23	0.85	0.85	9.87
0.006	0.8	0.84	8.32	16.62	772.19	0.23	0.85	0.85	12.38

Donde:

N_e : potencia debida a las cargas exteriores

Resistencia aerodinámica

$$P_a = \frac{\rho}{2} C_x A_F v_r^2$$

b_e : Consumo específico

η_{tr} : Rendimiento de la transmisión

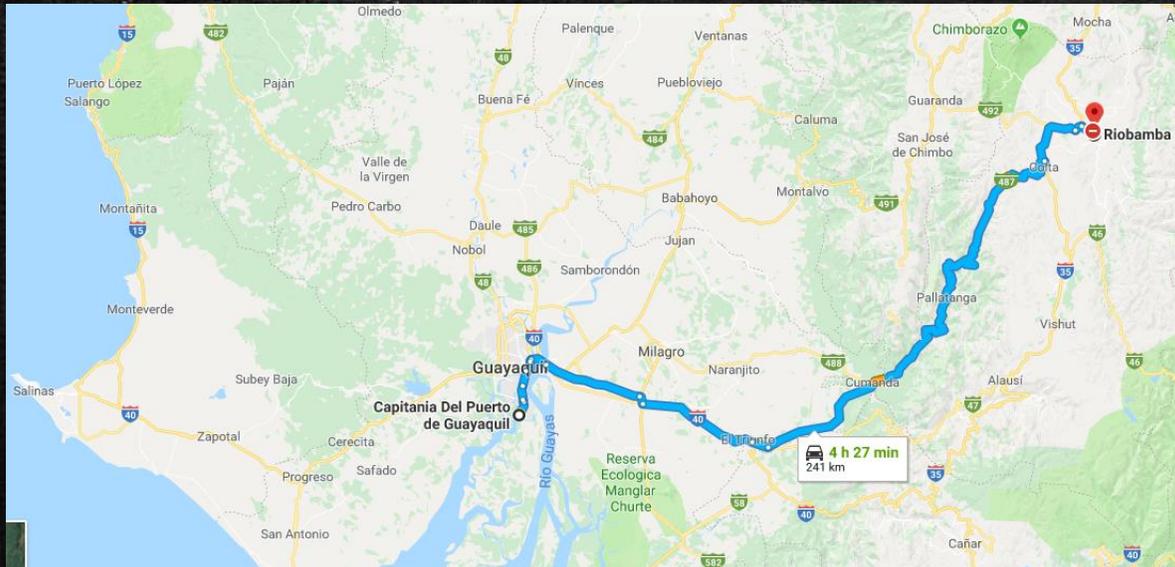
ρ_B : Densidad del combustible empleado.

Resultados



Interpretación de Resultados

PUNTOS A SER TOMADOS EN CUENTA PARA OPTIMIZACIONES FUTURAS



Distancia Guayaquil - Riobamba

Distancia Guayaquil - Riobamba (Km)	Viajes al mes
241	8

Velocidad (m/s)	Consumo específico (km/gal)	Consumo de combustible por viaje (lt)	Consumo mensual de Combustible	Toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO ₂ e)
27.7	7.84	116.32	930.58	2.55
22.16	9.87	92.34	738.75	2.02
16.62	12.38	73.69	589.55	1.61

*Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)

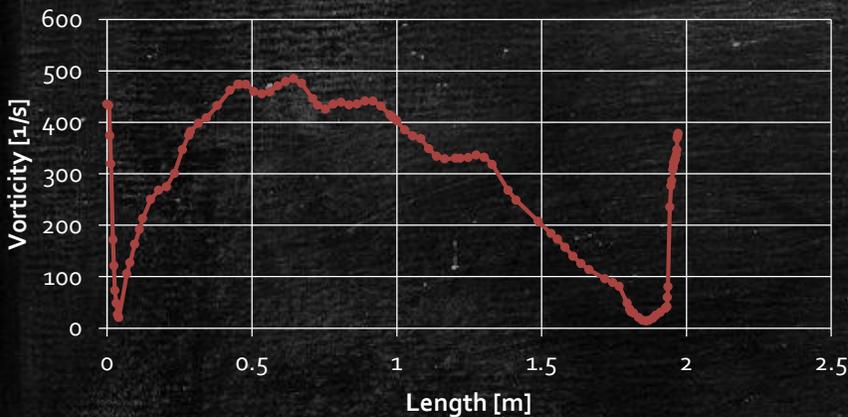


Resultados

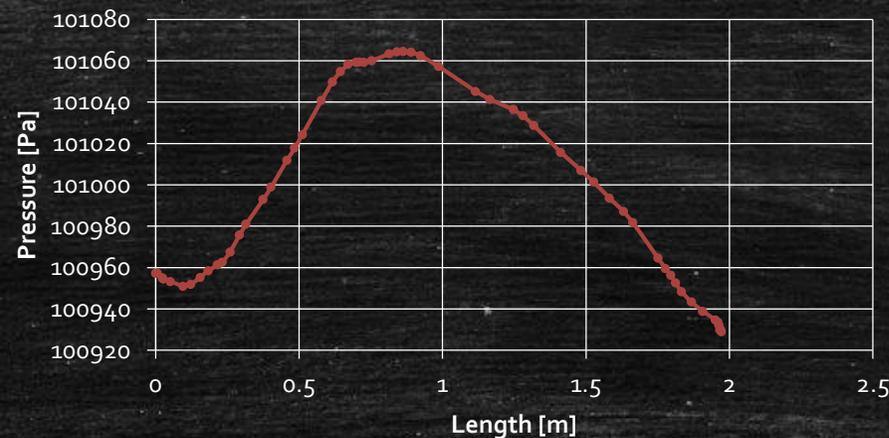
PUNTOS A SER TOMADOS EN CUENTA PARA OPTIMIZACIONES FUTURAS.

De acuerdo a los valores obtenidos en la simulación, el área de mayor impacto aerodinámico, en caso de generar modificaciones a la geometría del vehículo, es la comprendida a una distancia de 2 metros del espaldar del semirremolque

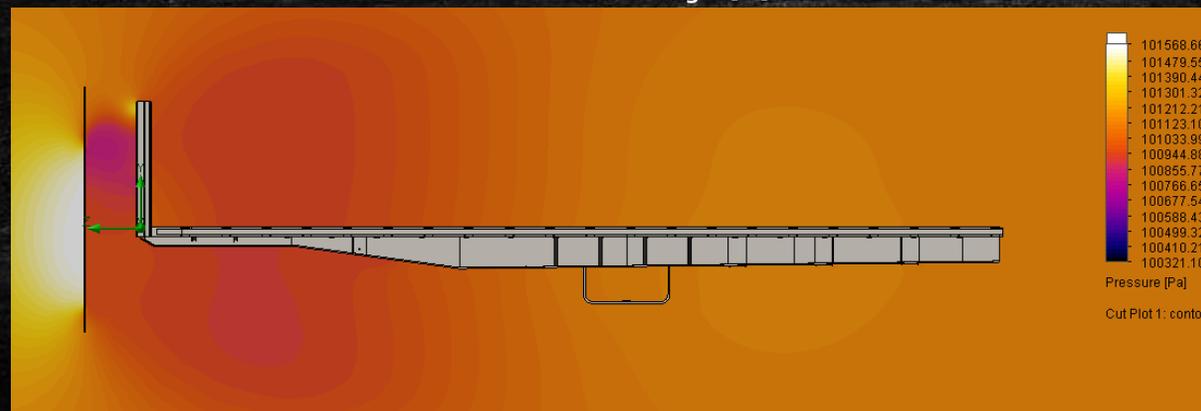
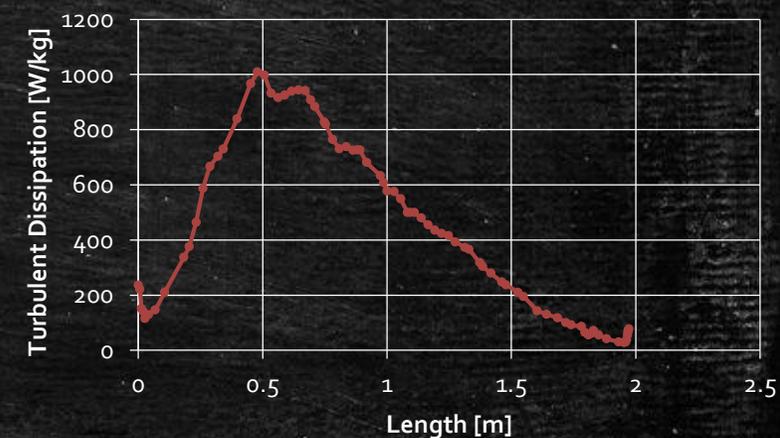
Plataforma Standar 12.5m [Guayas - Riobamba]



Plataforma Standar 12.5m [Guayas - Riobamba]



Plataforma Standar 12.5m [Guayas - Riobamba]





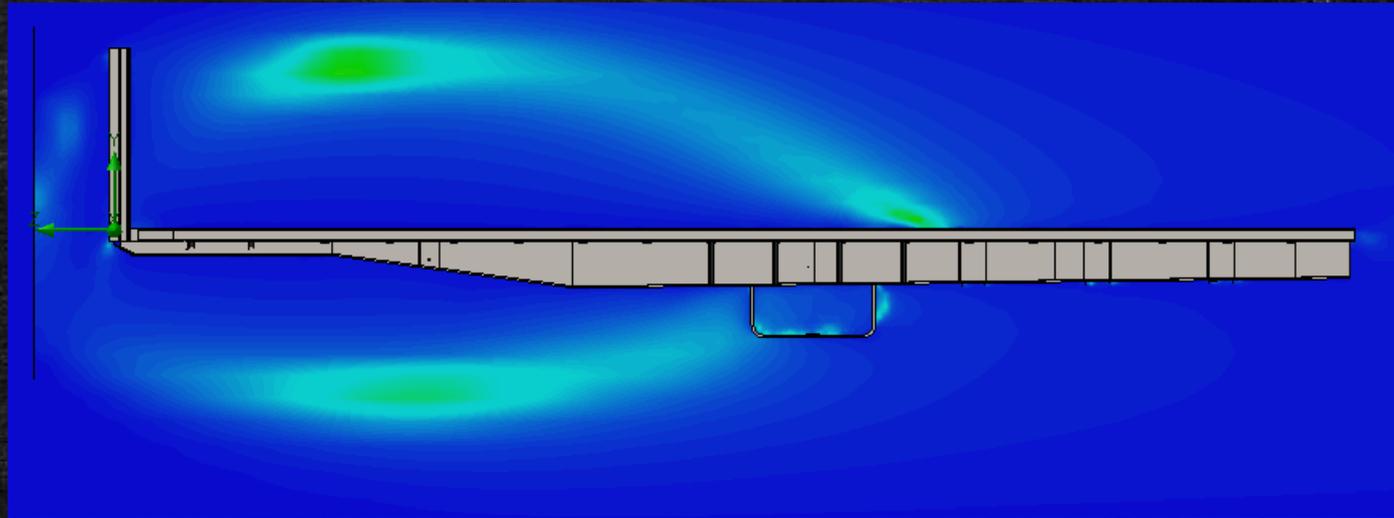
Conclusiones

- El área de mayor impacto aerodinámico, está a una distancia de 2 metros del espaldar del semirremolque debido a la mayor acumulación de turbulencia, presión, vorticidad, esta zona debe ser tomada en cuenta para futuras modificaciones geométricas o la ubicación de alerones.
- Debido a las diferencias de presión y temperatura, se puede observar que disminuir la presión, el aire se dilata y la densidad baja, producto de esto la resistencia que ofrece el aire al movimiento varía en la costa como en la altura, en este sentido es conveniente que las futuras mejoras al equipo se las realicen tomando en cuenta un promedio entre los dos tipos de climas
- Con la geometría actual se tienen emisiones de hasta 2.55 Toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e) mensual, por lo que se plantea la necesidad de analizar las curvas características de los semirremolques y modificarlas desde la construcción, estas modificaciones deben realizarse de manera armónica con la resistencia estructural del mismo, el estudio presenta una línea base que permite establecer la ubicación idónea donde las modificaciones generarían el mayor impacto posible.



Recomendaciones

- Es conveniente replicar el estudio realizado en prototipos físicos, con ayuda de un túnel de viento e instrumentos de medición debidamente calibrados, esto permitirá comprar los datos obtenidos en la simulación y reducir el margen de error.
- Existen diferentes tipos de factores como: la resistencia debida a los rozamientos mecánicos de la transmisión, resistencia a la rodadura, rigidez o dureza de la rueda, radio de la rueda, carga, velocidad relativa, etc. los cuales influyen en el consumo de combustible, los cuales requieren un análisis específico esto permitirá complementar el presente estudio con la suma de las cargas parasitas las cuales, por la naturaleza de la presente investigación, estas no fueron tomadas en cuenta.



Gracias