



Legado académico y cultural  
de los santandereanos

# **DISEÑO AERODINÁMICO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO O HÍBRIDO DE TIPO COMPACTO POR MEDIO DE CFD**

Oscar Adrián Vargas Lizarazo  
Estudiante Ing. Mecánica

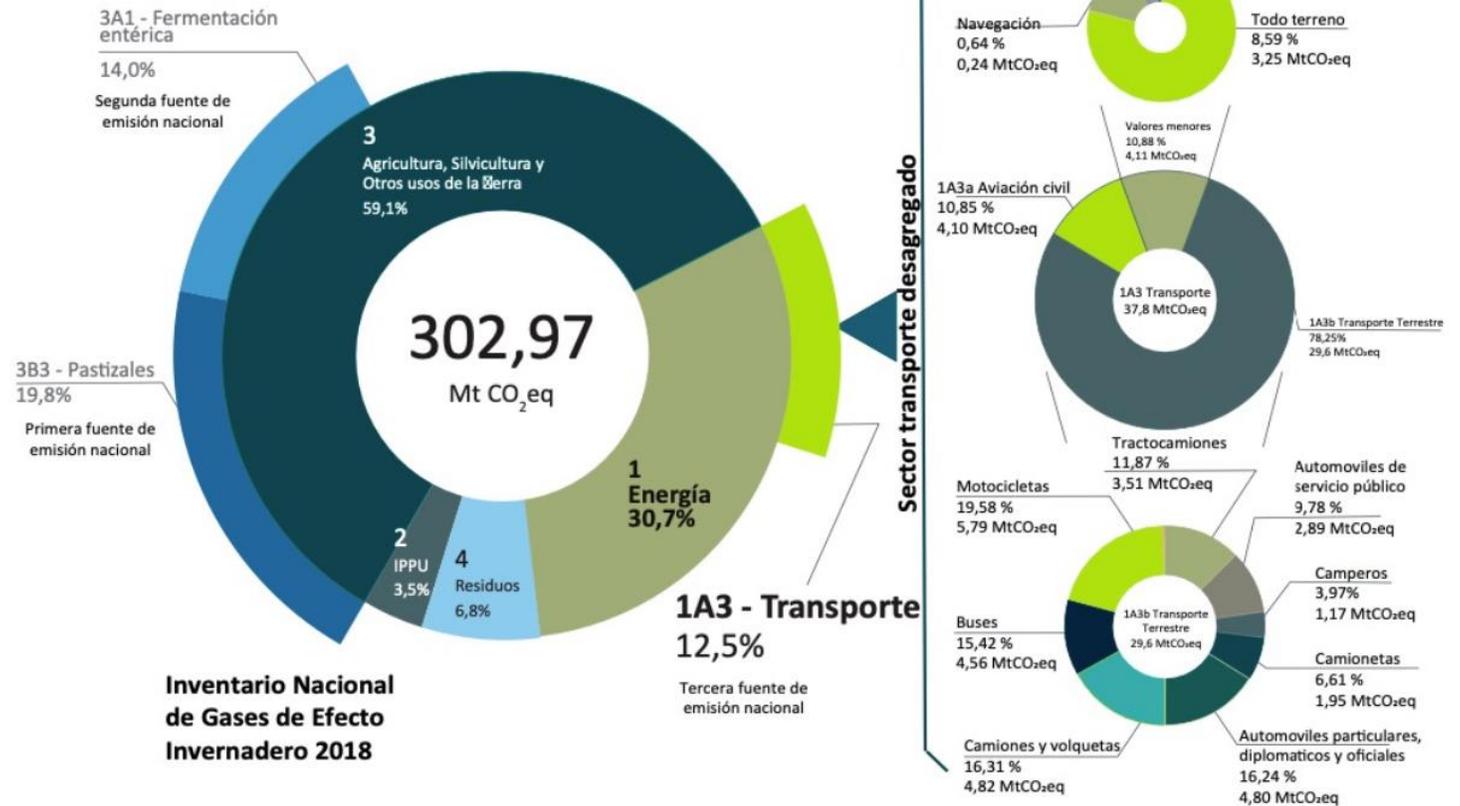
Director: Dr. Jorge Luis Chacón Velasco



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

•La transición energética y la necesidad de movilidad sostenible impulsan el desarrollo de vehículos eléctricos e híbridos.

•La aerodinámica es clave para mejorar la eficiencia energética, ya que en estos vehículos la resistencia al aire representa más del 50% del consumo de energía.



Fuente: Mintransporte (Mintransporte, 2022, p. 53)



# OBJETIVOS

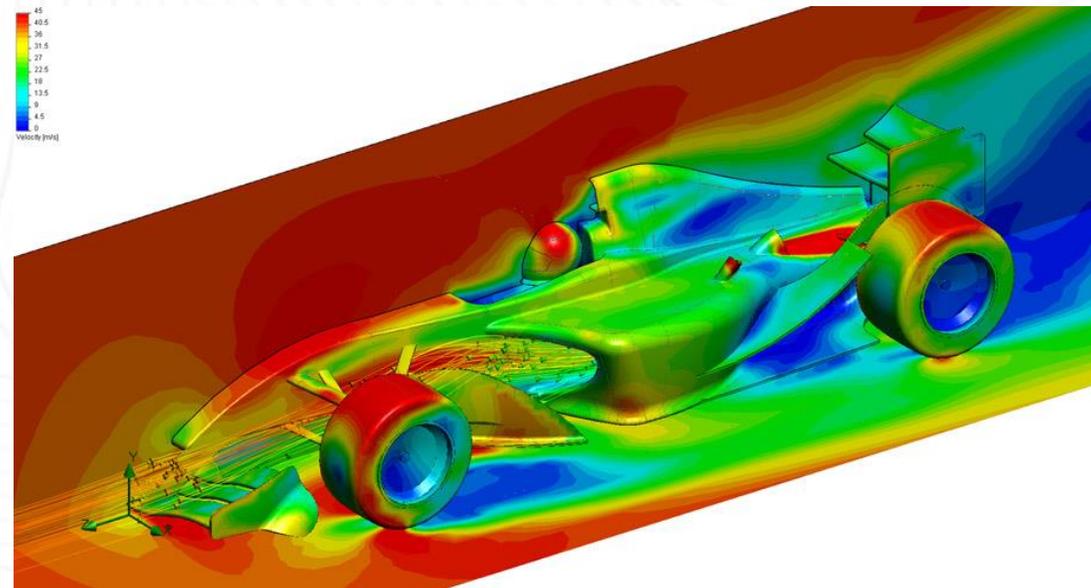
Diseñar la carrocería de un vehículo liviano con capacidad para dos pasajeros, con un peso inferior a 500 kg, para desplazamientos urbanos dentro del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia, empleando técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

- Seleccionar una configuración geométrica, atendiendo los requisitos de proyectos (largo: 2 m, alto: 1.6 m, ancho: 1.2 m, asientos: 2 pasajeros).
- Simular numéricamente la respuesta aerodinámica de la geometría propuesta empleando mecánica de fluidos computacional CFD.
- Realizar un estudio paramétrico que muestre la influencia del flujo del aire para cuatro velocidades (30km/h, 45 km/h, 50km/h y 70km/h), la distancia al suelo y ángulos de inclinación de los diferentes accesorios en la aerodinámica del vehículo sobre el coeficiente de arrastre aerodinámico ( $C_d$ ).
- Generar los planos y memorias técnicas de la carrocería refinada del vehículo de acuerdo con el análisis CFD incluyendo recomendaciones para su la fabricación.

# ¿QUÉ ES CFD?



El CFD (Computational Fluid Dynamics), o Dinámica de Fluidos Computacional en español, es una metodología utilizada para el cálculo del flujo de fluidos en diversas aplicaciones. A través de esto, es posible obtener diferentes tipos de resultados, tales como velocidad, presión y temperatura del flujo de un fluido.



# ECUACIONES DE NAVIER-STOKES

#LaUISqueQueremos

Universidad  
Industrial de  
Santander



Las Ecuaciones de Navier-Stokes son una representación de la Segunda ley de Newton, la cual es aplicada al movimiento de los fluidos.

Típicamente hay tres fuerzas que actúan sobre cualquier fluido y son expresadas en las ecuaciones:

- Gradiente de presión
- Viscosidad
- Gravedad

# ECUACIONES DE NAVIER-STOKES



$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0$$

**Ecuación de continuidad**

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

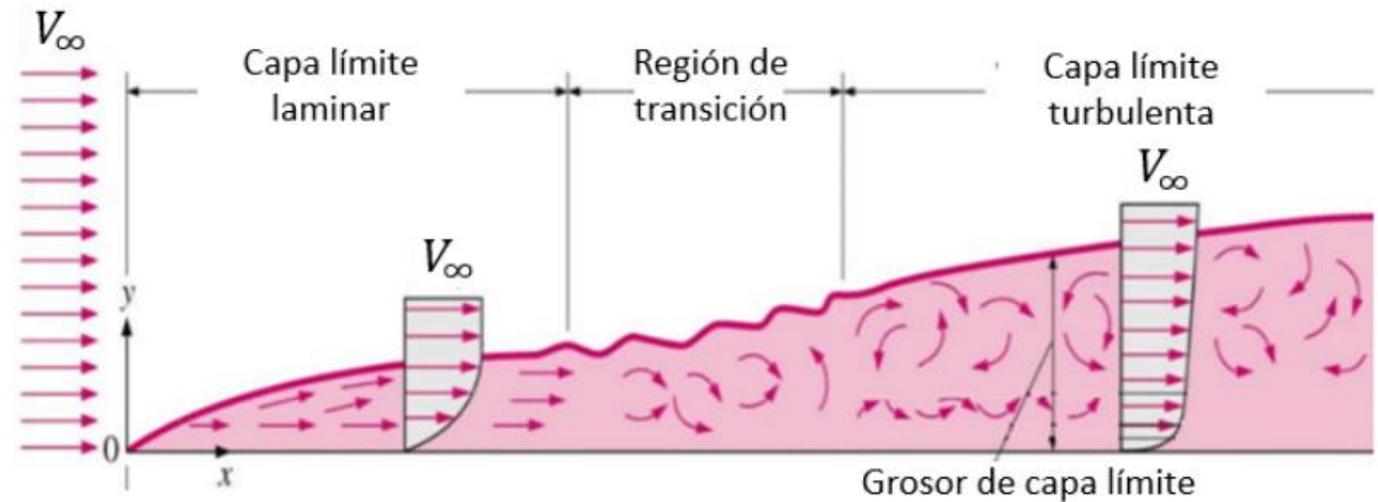
**Ecuación de momento**

# Tipos de Flujo

• **Flujo Laminar:** Capas de fluido ordenadas, sin mezcla caótica.  $Re < 5 \times 10^5$

• **Flujo turbulento:** Movimiento caótico e irregular con formación de vórtices.

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu}$$

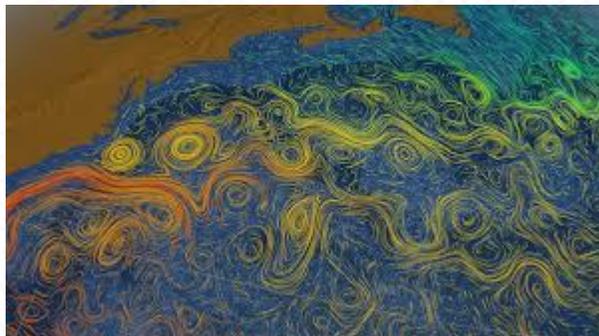


# Turbulencia

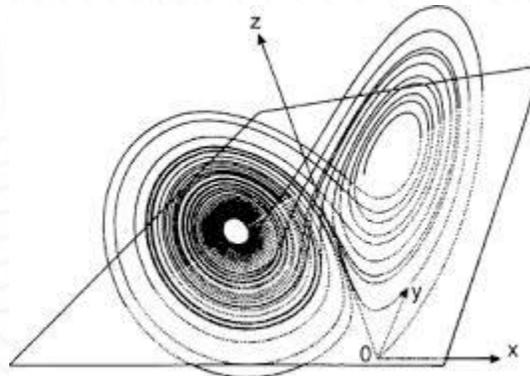
La turbulencia es la manifestación de la "renuencia" de un fluido a fluir de manera suave y estable cuando es sometido a esfuerzo cortante y acelerado a un nivel alto en lugar de valores más moderados.

Principales características:

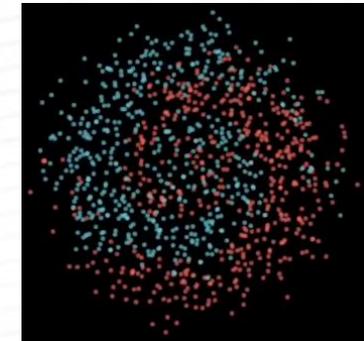
Eddies



Caótico



Difusivo

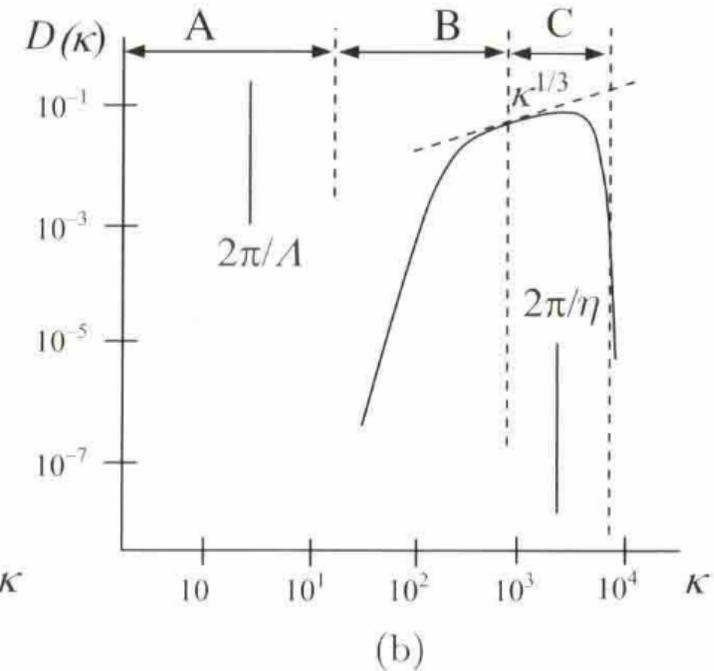
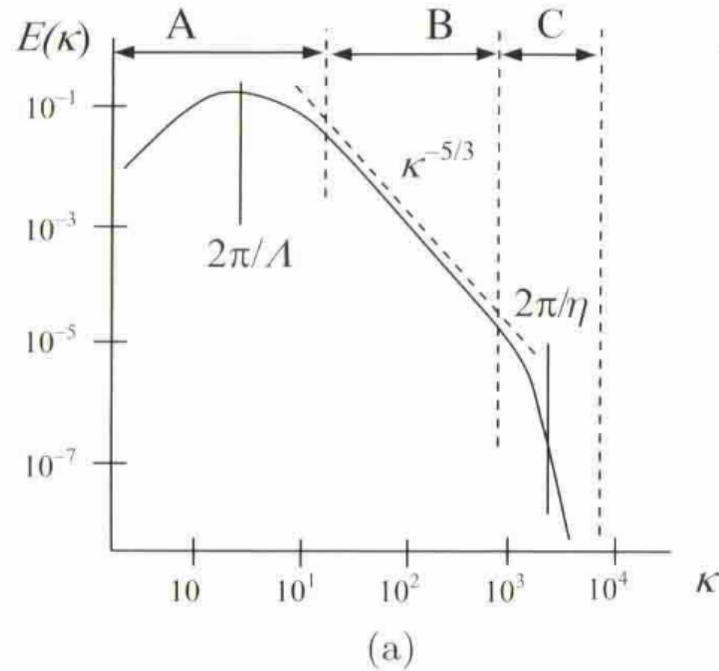
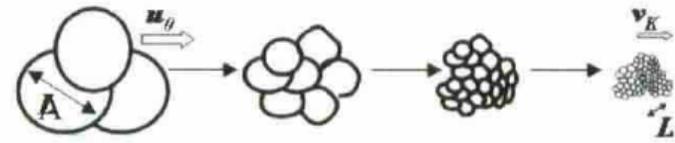




# Kolmogorov's theory (1941)

$$E(\kappa) = C_K \varepsilon^{2/3} \kappa^{-5/3}$$

$$D(\kappa) = c_\varepsilon \nu \varepsilon^{2/3} \kappa^{1/3}$$





# Kolmogorov's theory (1941)

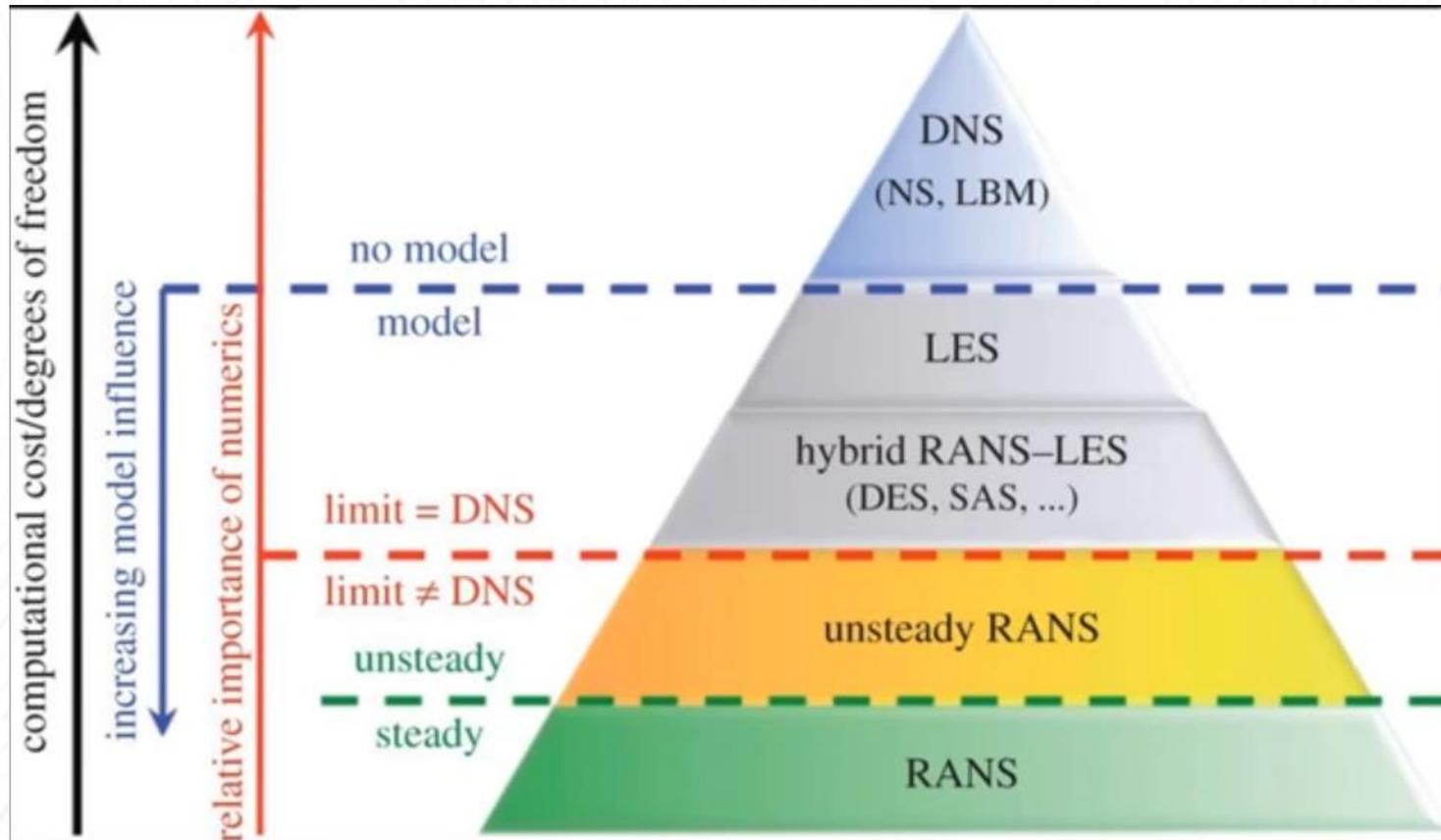
Kolmogorov length scale	$\eta = \left(\frac{\nu^3}{\epsilon}\right)^{1/4}$
Kolmogorov time scale	$\tau_\eta = \left(\frac{\nu}{\epsilon}\right)^{1/2}$
Kolmogorov velocity scale	$u_\eta = (\nu\epsilon)^{1/4}$

$$\frac{v_0}{v_\eta} = (\nu\epsilon)^{-1/4} v_0 = (\nu v_0^3 / \ell_0)^{-1/4} v_0 = (v_0 \ell_0 / \nu)^{1/4} = Re^{1/4}$$

$$\frac{\ell_0}{\ell_\eta} = \left(\frac{\nu^3}{\epsilon}\right)^{-1/4} \ell_0 = \left(\frac{\nu^3 \ell_0}{v_0^3}\right)^{-1/4} \ell_0 = \left(\frac{\nu^3}{v_0^3 \ell_0^3}\right)^{-1/4} = Re^{3/4}$$

$$\frac{\tau_o}{\tau_\eta} = \left(\frac{\nu \ell_0}{v_0^3}\right)^{-1/2} \tau_o = \left(\frac{v_0^3}{\nu \ell_0}\right)^{1/2} \frac{\ell_0}{v_0} = \left(\frac{v_0 \ell_0}{\nu}\right)^{1/2} = Re^{1/2}$$

# Modelos de Turbulencia



# Modelos de Turbulencia

#LaUISqueQueremos

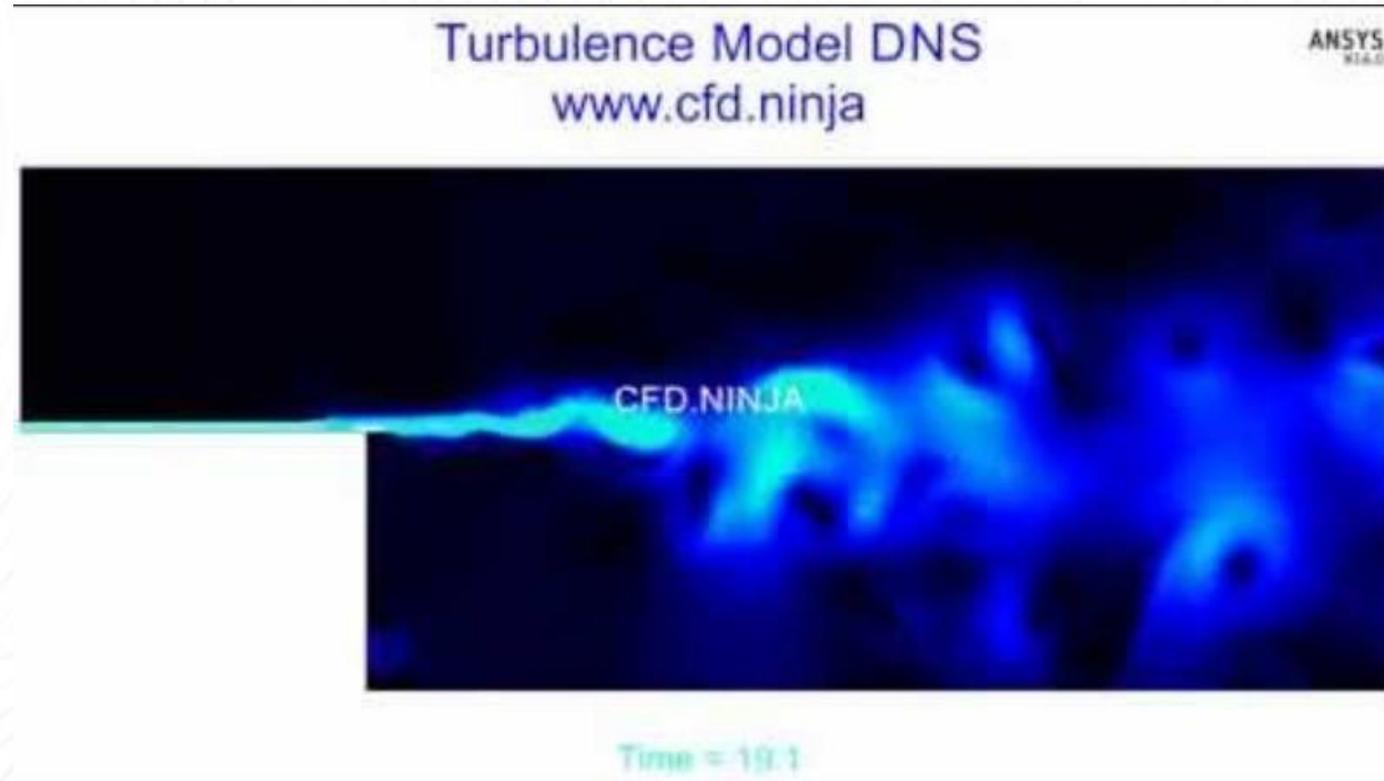
Universidad Industrial de Santander



# Modelos de Turbulencia

#LaUISqueQueremos

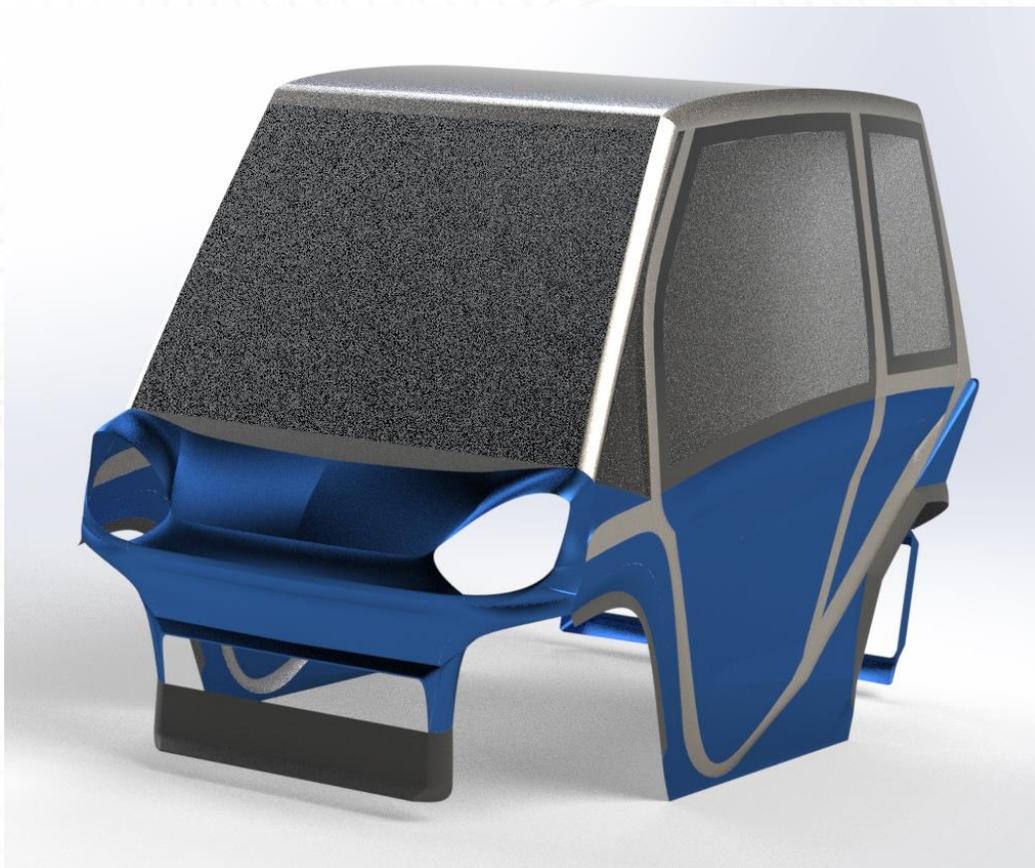
Universidad  
Industrial de  
Santander



# Avances...

#LaUISqueQueremos

Universidad  
Industrial de  
Santander



# Próximamente

#LaUISqueQueremos

Universidad Industrial de Santander



# SALOME



Open  FOAM

 ParaView

Recommended Mesh Quality Metrics			
Metric	Stable Solution	Accurate Solution	Ideal Mesh
Aspect Ratio	< 1000	< 10	1
Jacobian Determinant	> 0.1	> 0.2	1
Face Non-Orthogonality	< 70°	< 60°	0°
Equiangle Skewness	< 0.95	< 0.9	0



# REFERENCIAS

#LaUISqueQueremos

Universidad  
Industrial de  
Santander



ALTERNATIVES TO ANSA [Anónimo]. Profosofft.net [página web]. [Consultado el 16, septiembre, 2023]. Disponible en Internet: <https://progsoft.net/es/software/ansa>

BIRWA, S. K.; RATHI, N. y GUPTA, R. Aerodynamic analysis of Audi A4 Sedan using CFD. En: Journal of The Institution of Engineers (India): Series C [en línea]. Abril, 2013. vol. 94, no. 2 [consultado el 16, septiembre, 2023], p. 105-111. Disponible en Internet: <https://doi.org/10.1007/s40032-013-0065-1>. ISSN 2250-0553.

CECILIA, M. y THEMA, J. La transición energética en Colombia. [Sitio web]. ResearchGate. [Consultado el 17 de septiembre del 2023]. Disponible en: La transición energética en Colombia (researchgate.net)

GÓMEZ GONZÁLES, Samuel. Mallado y simulación CFD de automóvil [en línea]. Trabajo Final de Máster. Barcelona: ETSEIB, 2017 [consultado el 16, septiembre, 2023]. 106 p. Disponible en internet: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/108947>

NEUTA, D. Transición energética en el contexto mundial y nacional hacia los vehículos eléctricos: un estado del arte. [Sitio web]. UNAD. [Consultado el 18 de septiembre del 2023]. Disponible en: Transición energética en el contexto mundial y nacional hacia los vehículos eléctricos: un estado del arte (unad.edu.co)

OSPINA, A. En cuatro años, las ventas de los carros híbridos y eléctricos subieron más de 417%. [Sitio web]. La Republica. [Consultado el 17 de septiembre del 2023]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/empresas/ventas-de-carros-electricos-e-hibridos-a-julio-3675377>

VERSTEEG, H. K. y MALALASEKERA, W. An introduction to Computational Fluid Dynamics. [s.l.]: Pearson. 304 - 342 p.



Legado académico y cultural  
de los santandereanos

*¡Gracias!*

#LaUISqueQueremos



# **TURNO DE...**

**PREGUNTAS (fáciles)**

**COMENTARIOS (bonitos)**

**CRÍTICAS (constructivas)**

**APORTACIONES (monetarias)**

# Complementos



## Reynolds-Averaged Navier Stokes Equations

- ▶ The Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations are:

$$\frac{\partial (\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u'_i u'_j} \right] \quad (1)$$

- ▶ The Reynolds-averaging process results in an additional stress term:

$$-\overline{\rho u'_i u'_j} \quad (2)$$



- ▶ The  $k - \epsilon$  model was first proposed in 1973 (see my other video for  $k - \epsilon$ )
- ▶ Two additional transport equations are solved to compute  $k$  and  $\epsilon$ .

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k \mathbf{U}) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + P_\epsilon - \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \epsilon) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla \epsilon \right) + C_{1\epsilon} P_k \frac{\epsilon}{k} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

- ▶ The kinematic / eddy viscosity  $\mu_t$  is then computed from  $k$  and  $\epsilon$

$$\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\epsilon} \quad C_\mu = 0.09$$



- ▶ The  $k - \epsilon$  model is **not as susceptible** to the freestream values of  $k, \omega$  and  $\epsilon$ .
- ▶ **Use a blend** of  $k - \epsilon$  away from the wall and  $k - \omega$  close to the wall.

