



# **PROPUESTA DE DISEÑO TÉCNICO DE UN TÚNEL DE VIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS EN MODELOS Y DISEÑO DE AUTOPARTES**

**REALIZADO POR:**

Ing. Fredy Leonardo Morquecho Andrade

**DIRECTORA DEL PROYECTO:**

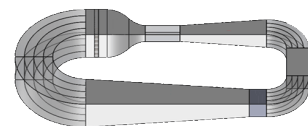
ING. DIANA BELÉN PERALTA M.Sc.

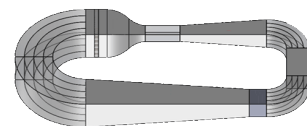
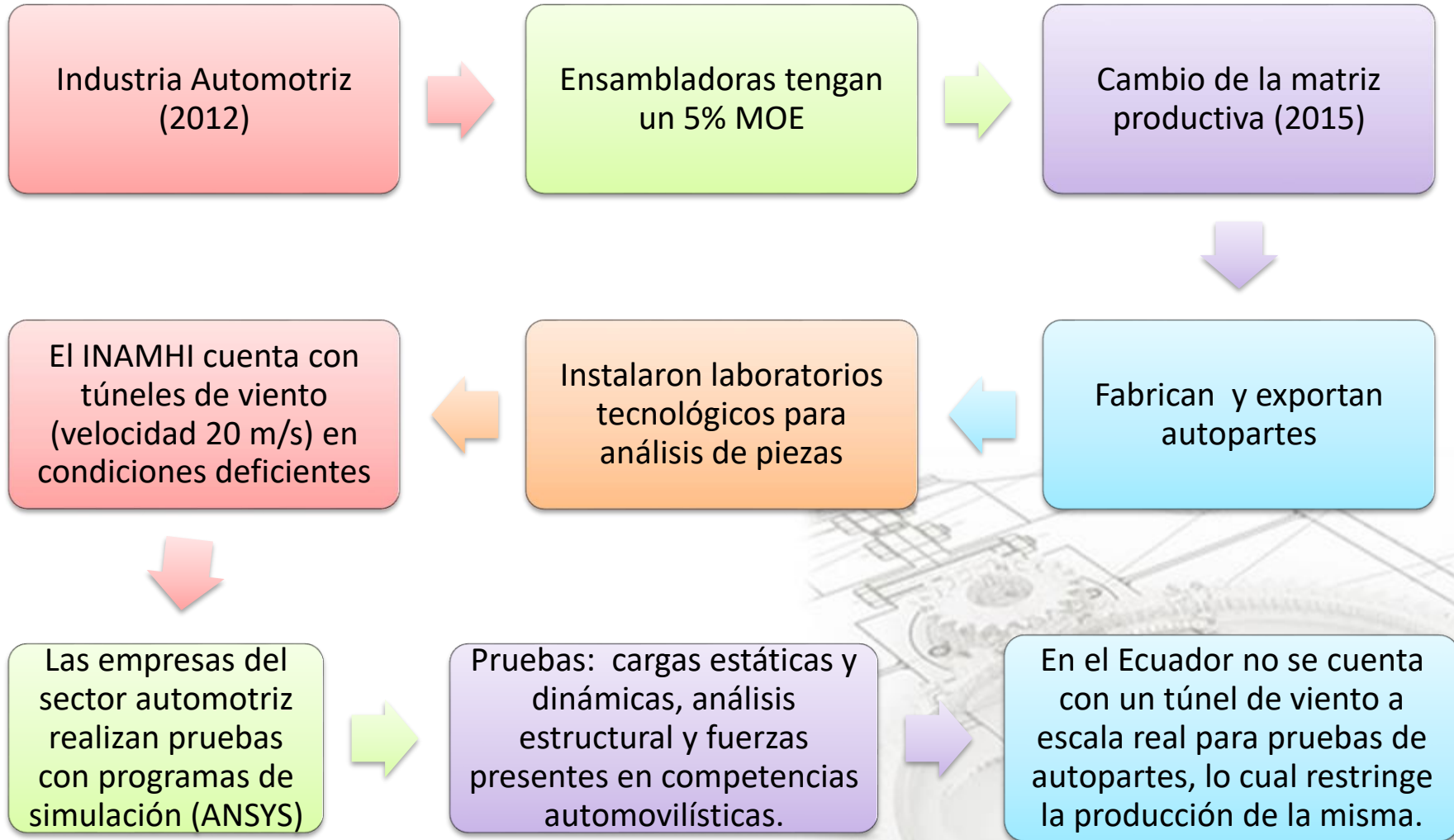
**CODIRECTOR DEL PROYECTO:**

ING. JAIME VINICIO MOLINA M.Sc.

**Como requisito para la obtención del título de:**

**MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO**







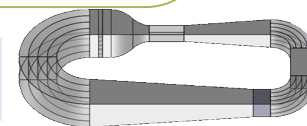
# OBJETIVOS

## Objetivo General

Diseñar un túnel de viento con el apoyo de métodos teóricos y matemáticos para la realización de pruebas en modelos y diseño de autopartes en el Ecuador.

## Objetivos Específicos

- \* Dimensionar las partes que componen el túnel de viento aplicando la teoría de mecánica de fluidos y aerodinámica para su posterior análisis.
- \* Dibujar las partes halladas en base a análisis numérico de los elementos del túnel utilizando un *software* CAD 3D (*SolidWorks*) para luego ser simuladas con condiciones de borde.
- \* Simular el comportamiento del aire con la ayuda de un software de fluidos (*ANSYS*) dentro del túnel para su posterior análisis de presiones y velocidades.
- \* Proponer dos tipos de materiales y elementos constructivos del túnel como anteproyecto para su construcción con sus respectivas ventajas.
- \* Elaborar los planos de las dimensiones finales de los componentes del túnel de viento.





ESTUDIOS REALIZADOS

Tesis Escuela Politécnica del Ejercito  
Extensión Latacunga. (Pineda & Vega,  
2010).

Diseño y construcción de un túnel de viento  
subsónico con sistemas de admisión de datos  
para el estudio de la aerodinámica de los  
vehículos

Tesis Instituto Politécnico Nacional  
(Rosas 2010)

Caracterización del túnel de viento de  
velocidad baja del LABINTHAP

Tesis de ingeniería técnica mecánica  
industrial en la Universidad Carlos III  
de Madrid . (Muñoz, 2012)

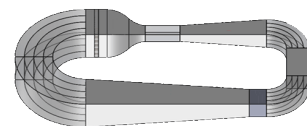
Diseño y análisis computacional para túnel  
de viento de baja velocidad

Tesis de ingeniería de la Universidad  
Centroamericana José Simeón Cañas  
de Panamá. (Chicas, 2012)

Diseño y construcción de un túnel de viento.  
Pruebas inicialmente con fines académicos

Tesis de en Ingeniería Aeroespacial.  
Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería. Universidad de Sevilla .  
(Martínez D. 2016)

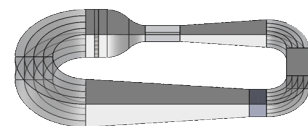
Diseño y construcción de un túnel de viento  
para ensayos en régimen subsónico y  
transónico.





# HIPÓTESIS

El diseño de un túnel de viento a escala real, que toma en cuenta aplicaciones aerodinámicas mejorará la realización de pruebas en modelos automotrices y autopartes en el Ecuador.





## Método

### Tipo de estudio

Descriptivo mediante la búsqueda de información de túneles de viento de lazo cerrado

### Modalidad de investigación

#### Cualitativo

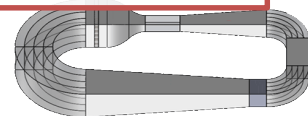
Recolección de datos para llegar a un propósito que es el dimensionamiento de un túnel de viento

#### Cuantitativo

Mediante el cálculo de parámetros de mecánica de fluidos y termodinámicos

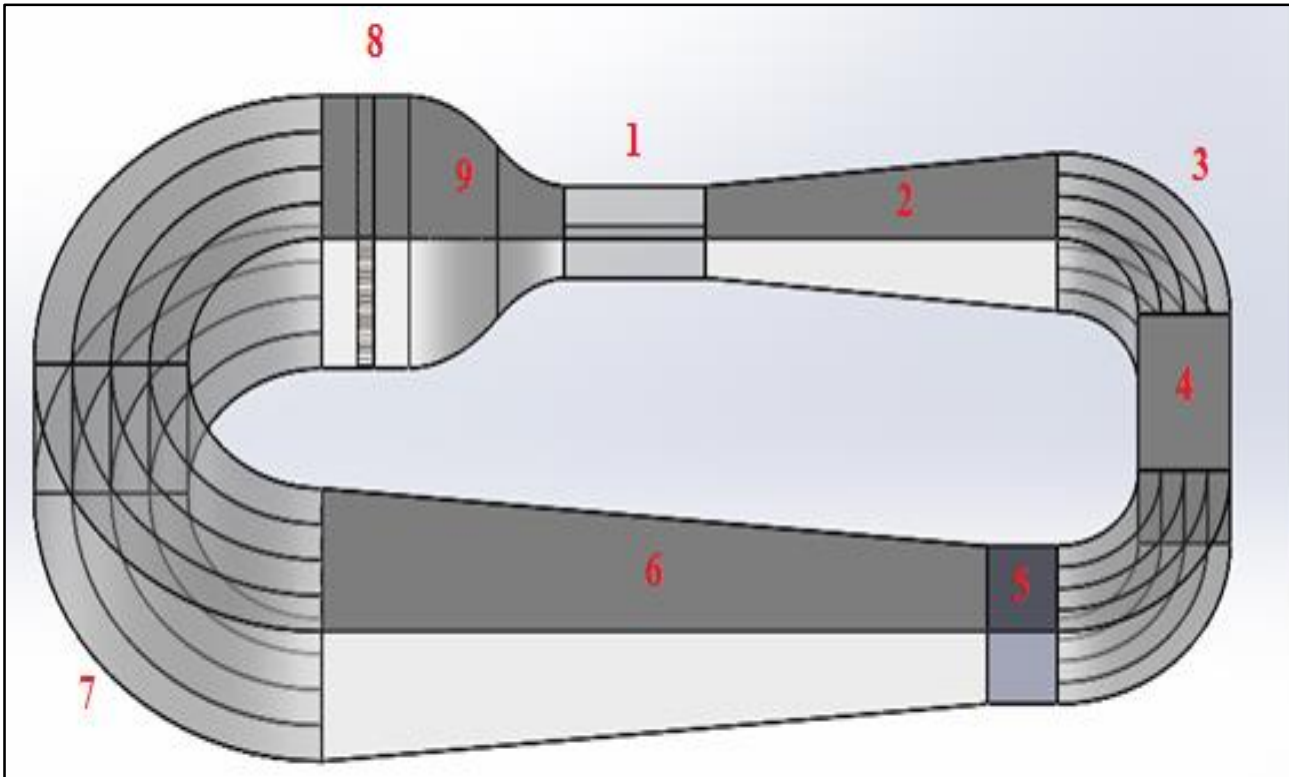
## Metodología

- Combinación de la investigación inductiva y deductivo.
- Parte de una idea general para realizar un estudio particular.
- Como resultado se obtiene una investigación lógica, siendo capaz de realizar cálculos, modelado CAD y simulaciones CAE.

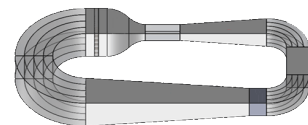




## Diseño de los elementos del túnel de viento



1. Cámara de ensayos
2. Primer difusor
3. Codos Pequeños
4. Tramo recto
5. Cámara del ventilador.
6. Segundo difusor.
7. Codos Grandes
8. Cámara de estabilización.
9. Tobera.





## COMPONENTES

### 1. Cámara de ensayos.

#### Características:

- Sección rectangular (Barlow et al., 1999)

(Martínez Coza, 2016):

**Acho:** Superior al ancho del modelo con un 20 o 30% por cada lado.

**Longitud:** Es igual a la longitud del modelo por 2.

**Altura:** Superior a la altura del modelo con un 50%.

### 2. Difusores.

Su finalidad compensar las pérdidas que se producen durante todo el sistema.

Según Barlow et al. (1999) el ángulo de inclinación debe tener un valor igual o inferior a  $3^\circ$

### 3. Codos

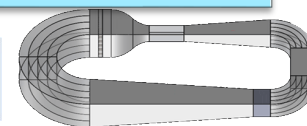
Permiten cerrar el circuito y el direccionamiento del fluido.

Las dimensiones corresponden a las medidas de la salida de difusor y un ángulo de  $90^\circ$

### 4. Cámara de estabilización

Tiene la función de estabilizar el flujo de corriente de aire para una distribución uniforme en la entrada de la tobera.

Silva Treviño (2005), la sección hexagonal es la más eficiente y en cuanto a pérdidas. Barlow et al., (1999) menciona que la cámara debe estar constituida de 25000 ductos.







COMPONENTES

5. Tobera.

(Leifsson & Koziel, 2015). Para diseñar la geometría hay que definir la longitud y radio de contracción.

Benalcázar Venegas (2015) menciona que el radio de compresión debe estar entre 10 y 6. Para el perfil de las paredes de la tobera hay que utilizar el siguiente polinomio:

$$h = (-10 \cdot \varepsilon^3 + 15 \cdot \varepsilon^4 - 6 \cdot \varepsilon^5) \cdot (r_e - r_s) + r_e$$

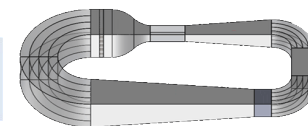
6. Sección impulsadora

Su finalidad proporcionarle energía al fluido. Debe tener los siguientes elementos: Barquilla, Alabes, Rectificadores de flujo o corriente.

*Rectificadores de corriente.* Según (Barlow 1999) para determinar las dimensiones de los perfiles se usan las ecuaciones:

$$C_s = \frac{2\pi \cdot r}{N_s} \quad \frac{t_s}{C_s} = \frac{N_s \cdot t_s}{2\pi \cdot R \cdot x}$$

Álabe: Para el diseño de los álabes se debe primero determinar el coeficiente de flujo y la relación de elevación y arrastre en la punta del perfil.





## Herramientas Computacionales

### *Solidworks*

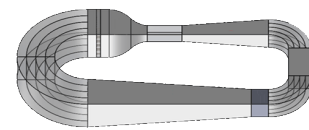
Programa de diseño mecánico para la creación de modelos 3-D. Planos y ensamblado .

### *Ansys CFX*

Programa muy completo que se basa en elementos finitos que permite realizar la simulación y análisis del comportamiento de fluidos a través de CFD

### Matlab

Programa que permite desarrollar ecuaciones y encontrar las dimensiones de los componentes del túnel de viento y el cálculo de las pérdidas

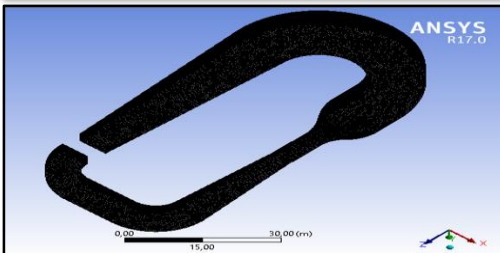




## Simulación

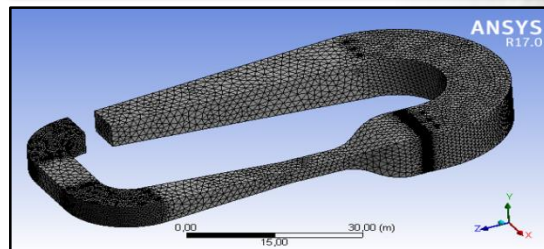
### Primera simulación (túnel vacío y sin la malla de estabilización)

- Se utiliza el tipo de mallado tetraédrico.
- Radio Jacobiano de 0,05 m.
- Velocidades: 250 a 300 Km/h.



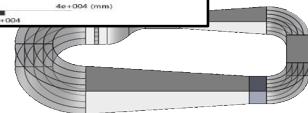
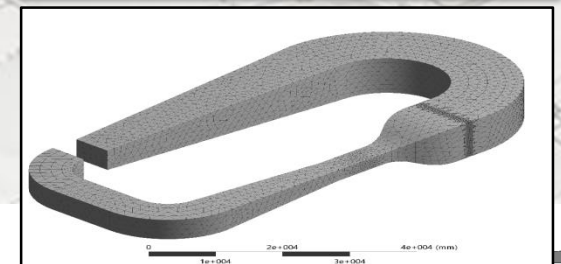
### Segunda simulación (túnel vacío y con la malla de estabilización)

- Radios Jacobianos : 0.35m para los ductos rectos, difusores de 0.05 m y para los codos 0,001 m.
- Temperatura ambiente para la ciudad de Quito 22°C.



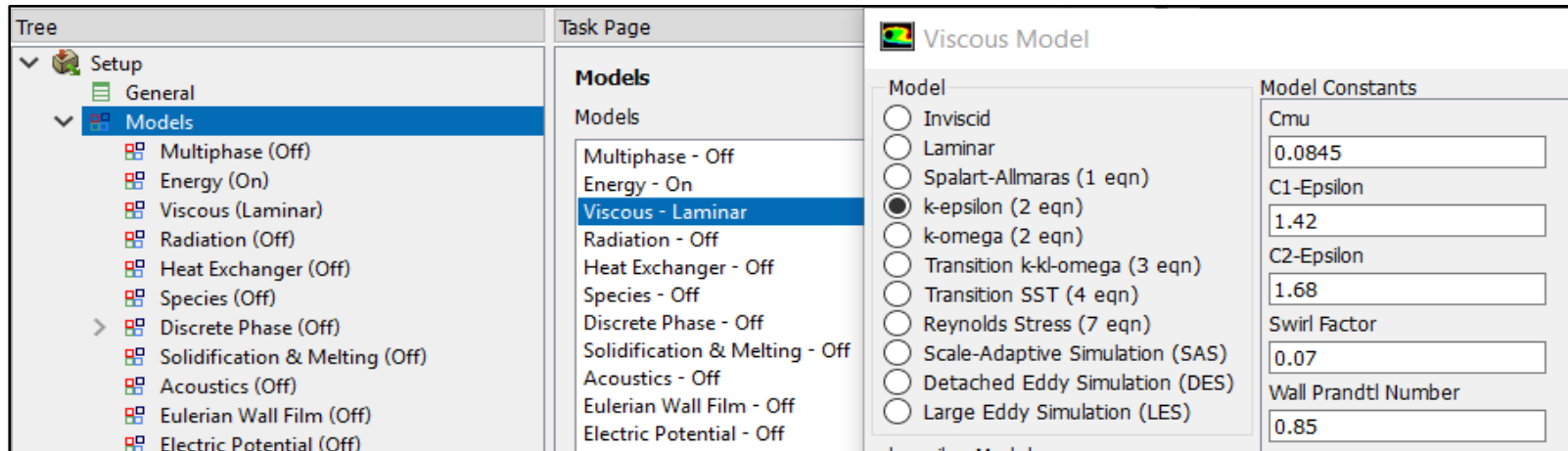
### Tercera simulación (túnel con vehículo y con la malla de estabilización)

- El mallado del volumen con un radio jacobiano de 0,03 m, en la zona de la cámara de pruebas con 0,01 m y en la malla de estabilización de 0,001m



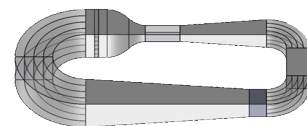


## Módulos para la simulación



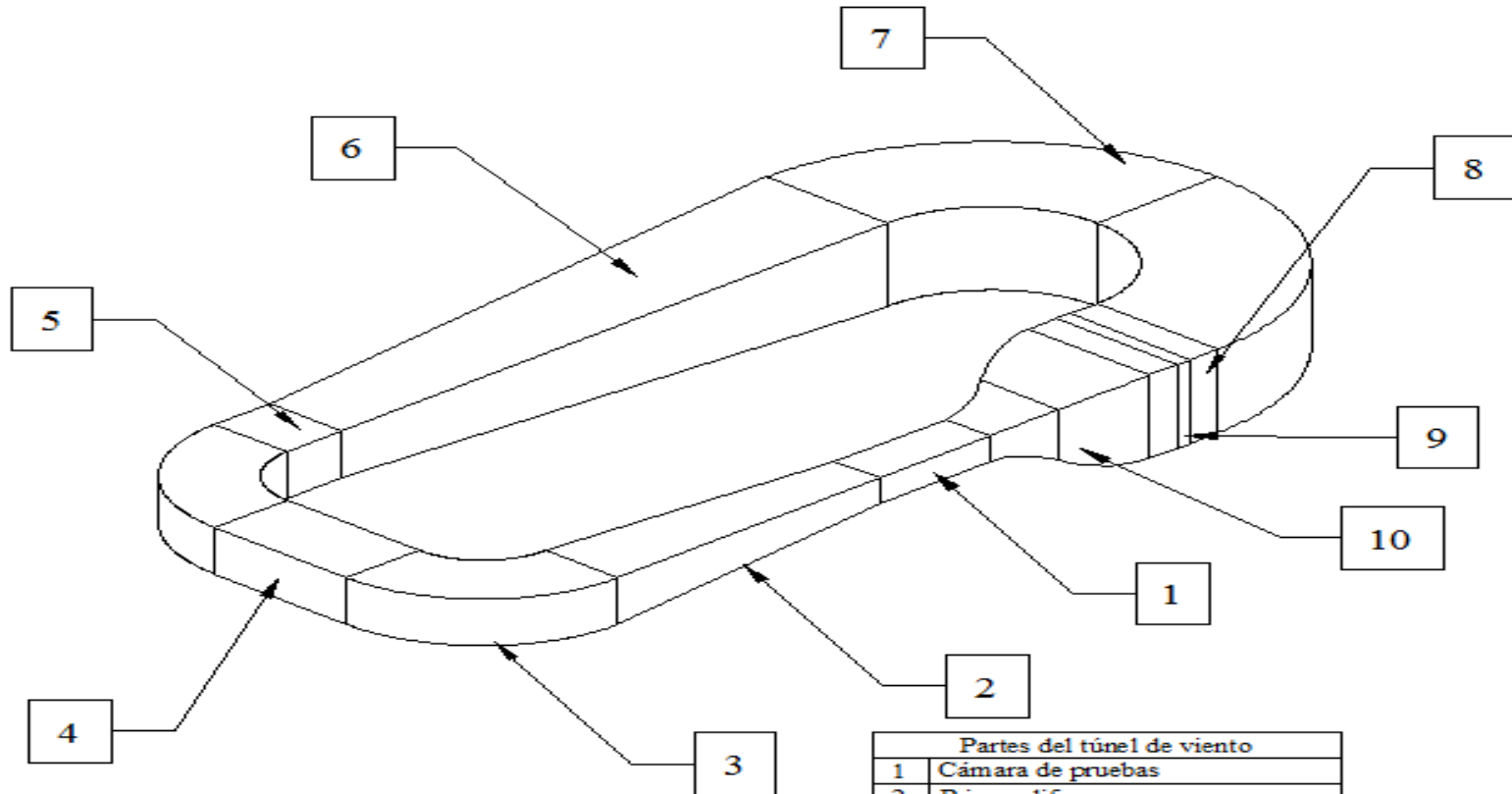
## Modelo matemático de la simulación

Parámetros		
Tipo de estudio	Modelo matemático	Constantes del modelo
Viscoso-laminar	k-épsilon	Cmu: 0.0845
		C1-épsilon: 1,42
		C2-épsilon: 1,68
		Factor de Swirl: 0,07
		Número de Prandtl: 0,85



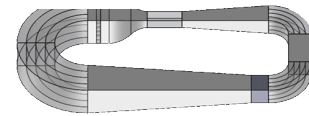


# RESULTADOS



ESPECIFICACIONES		
1	PESO APROXIMADO	NA
2	DIMENSIONES GENERALES	84,9-40,9-9,9 m
3	CAPACIDAD	250 a 300 Km/h

Partes del túnel de viento	
1	Cámara de pruebas
2	Primer difusor
3	Codos pequeños
4	Ducto recto pequeño
5	Cámara del ventilador
6	Segundo difusor
7	Codos grandes
8	Ductos de separación
9	Cámara de estabilización
10	Tobera o inyector





## Dimensionamiento de ductos.

Longitud: 4,681 m

Ancho: 1,797 m

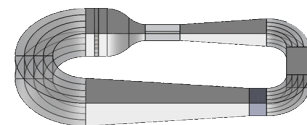
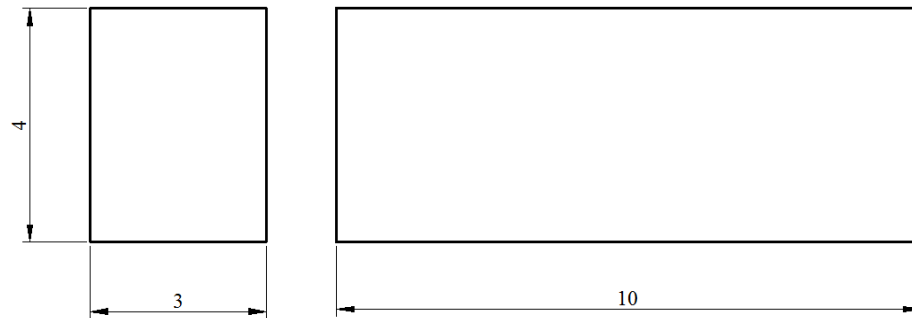
Alto: 1,521 m

Las medidas para la cámara de ensayos son:

*Largo =  $4,681 * (2) = 9,362m$  extendiendo a 10m*

*Ancho =  $(1,797 * 0,3) * 2 + 1,797 = 2,875 m$  extendiendo a 4 m*

*Alto =  $(1,521 * 0,5) * 2 + 1,521 = 2,28 m$  extendiendo a 3 m*





## Difusores

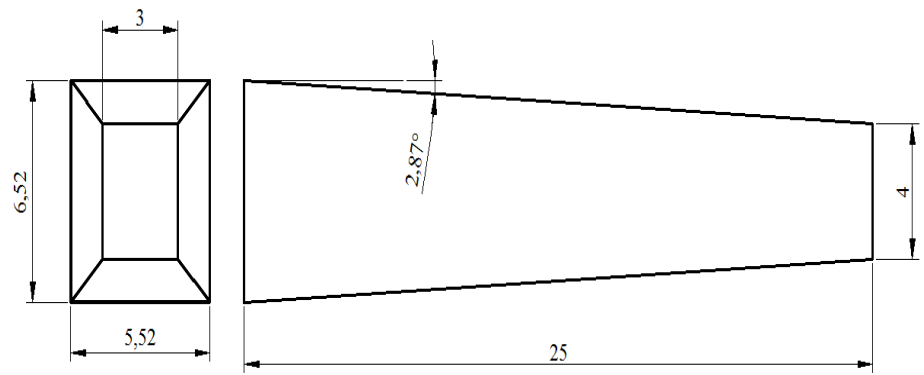
### Dimensiones del primer difusor.

Longitud = 25m.

Área de entrada: Ancho 4 m y alto 3m

Área de salida: Ancho 6,52 m y alto 5,52 m

Angulo de inclinación = 2,87°.



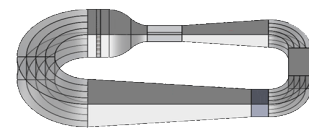
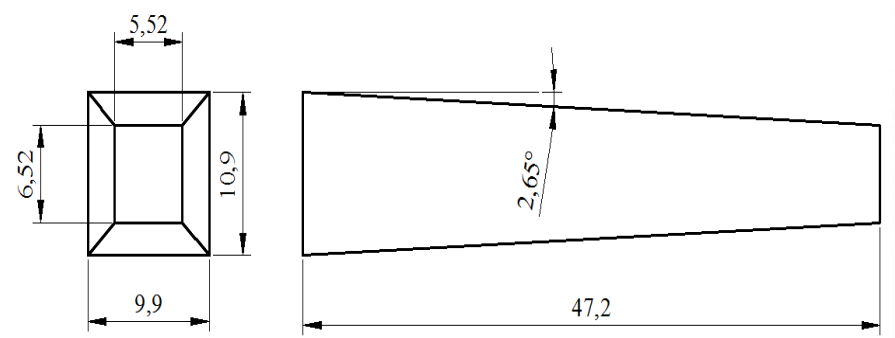
### Dimensiones del segundo difusor.

Longitud = 47,2m.

Área de entrada: Ancho 6,52 m y alto 5,52m

Área de salida: Ancho 10,9 m y alto 9,9 m

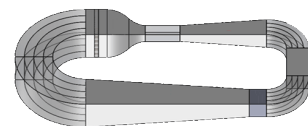
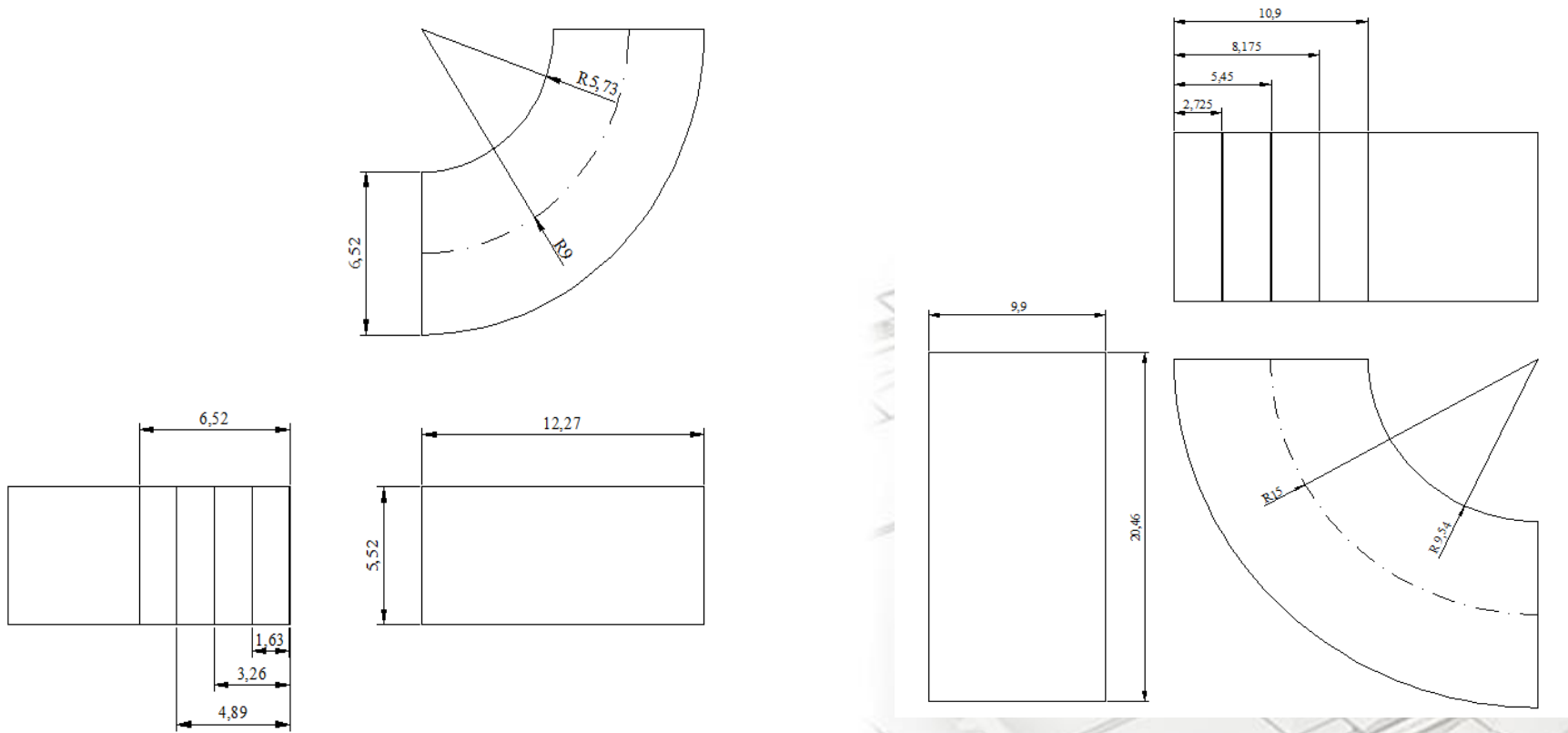
Angulo de inclinación = 2,65° ver figura 52





## Codos

Las dimensiones de los codos para los perfiles corresponden al área de salida del primero y segundo difusor







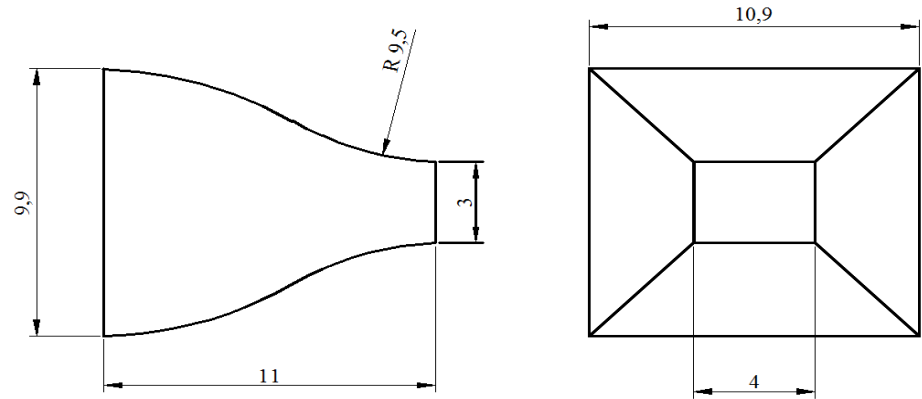
## Tobera/injector.

Perfil rectangular de entrada = 10,9 x 9,9 m

Perfil rectangular de salida = 4 x 3 m

Longitud = 11 m

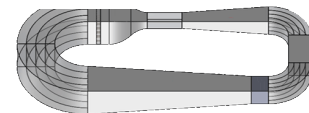
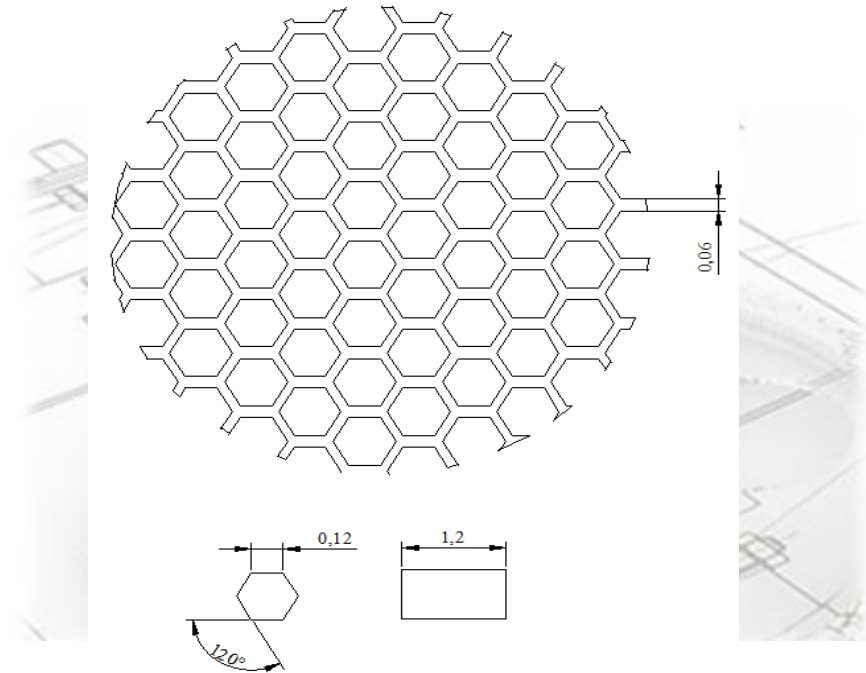
Relación de compresión ( $R_c$ ) = 8,99.



## Cámara de Estabilización.

Diámetro hidráulico = 0,2 m

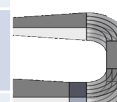
Longitud = 1,2 m.

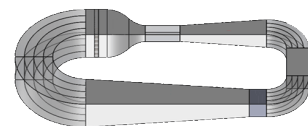
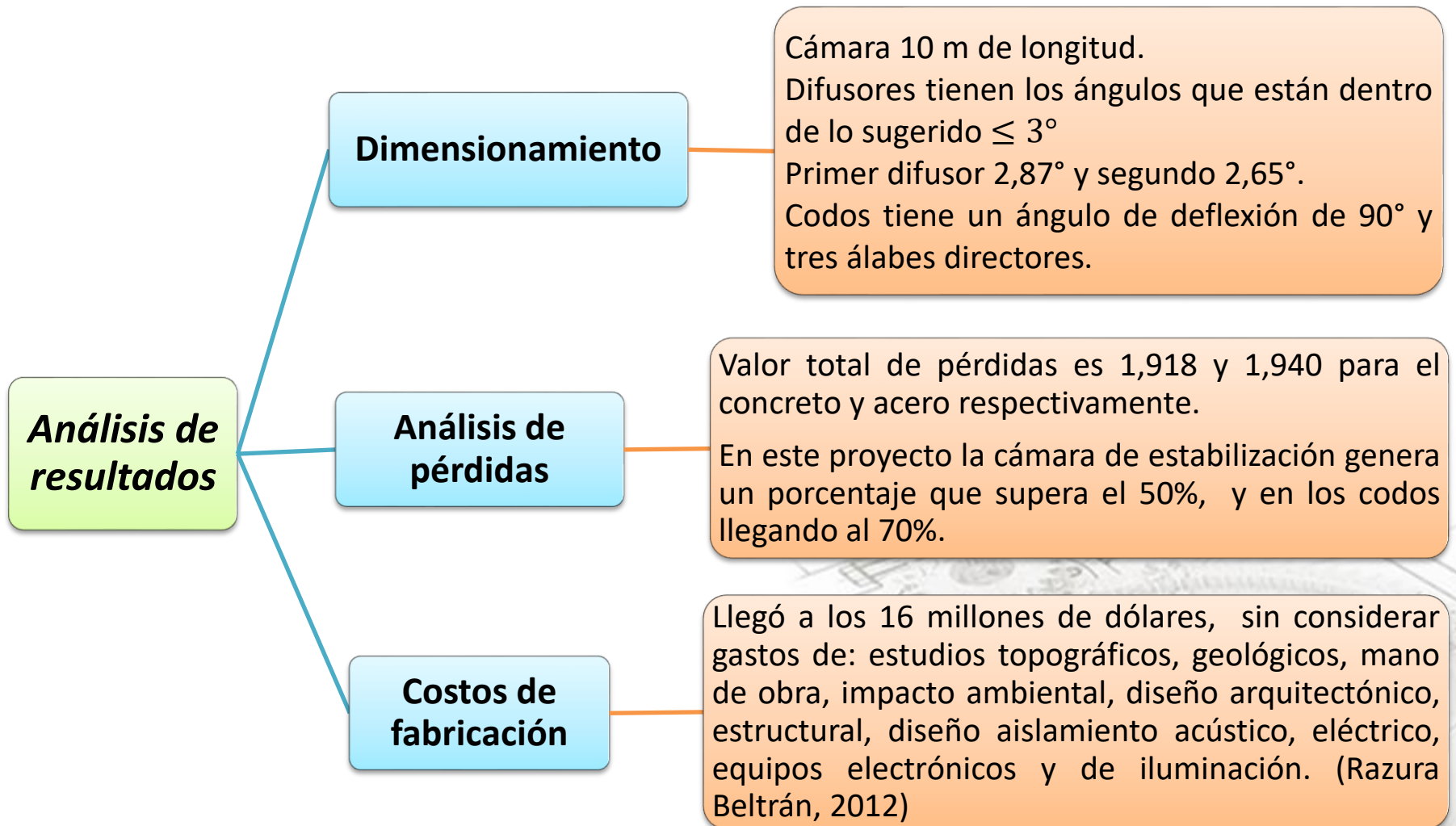




## *Primer cálculo de pérdidas para los ductos*

N	Ductos	Pérdidas	%	Material
1	Primer codo pequeño	0,1783	9,29	Acero
2	Segundo codo pequeño	0,1783	9,29	Acero
3	Primer codo grande	0,1768	9,21	Acero
4	Segundo codo grande	0,1768	9,21	Acero
5	Primer difusor	0,0954	4,97	Acero
6	Segundo difusor	0,1046	5,45	Acero
7	Tobera	0,0017	0,09	Acero
8	Cámara de ensayos	0,0038	0,20	Acrílico
9	Ducto Recto pequeño	0,003	0,16	Acero
10	Primer ducto separador	0,000336	0,02	Acero
11	Segundo ducto separador	0,000336	0,02	Acero
12	Cámara de estabilización	0,9981	52,01	Acero
13	Cámara del fan	0,0014	0,07	Concreto





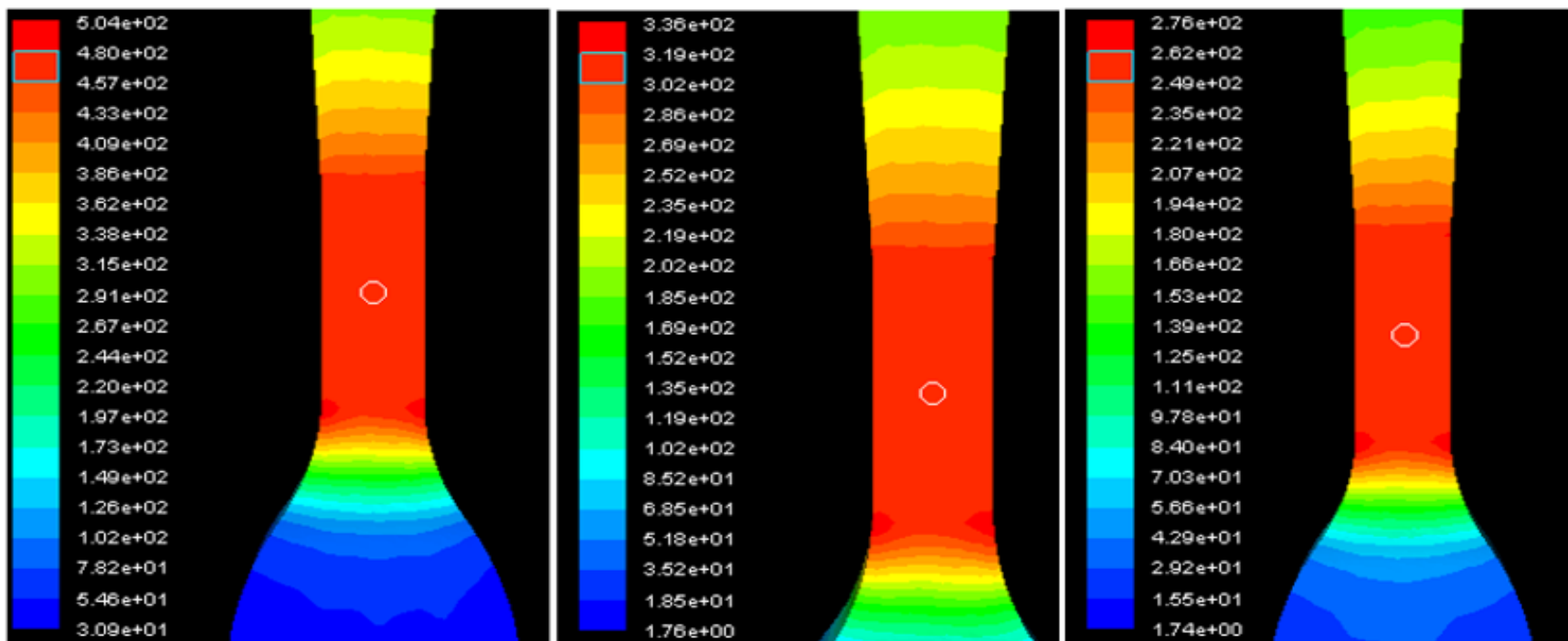


# SIMULACIÓN

## Túnel vacío sin malla de estabilización

Comparación de velocidades en la cámara de ensayos.

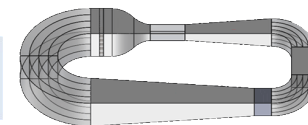
Velocidad en [Km/h]



Vel de entrada = 155 km/h

Vel de entrada = 103 km/h

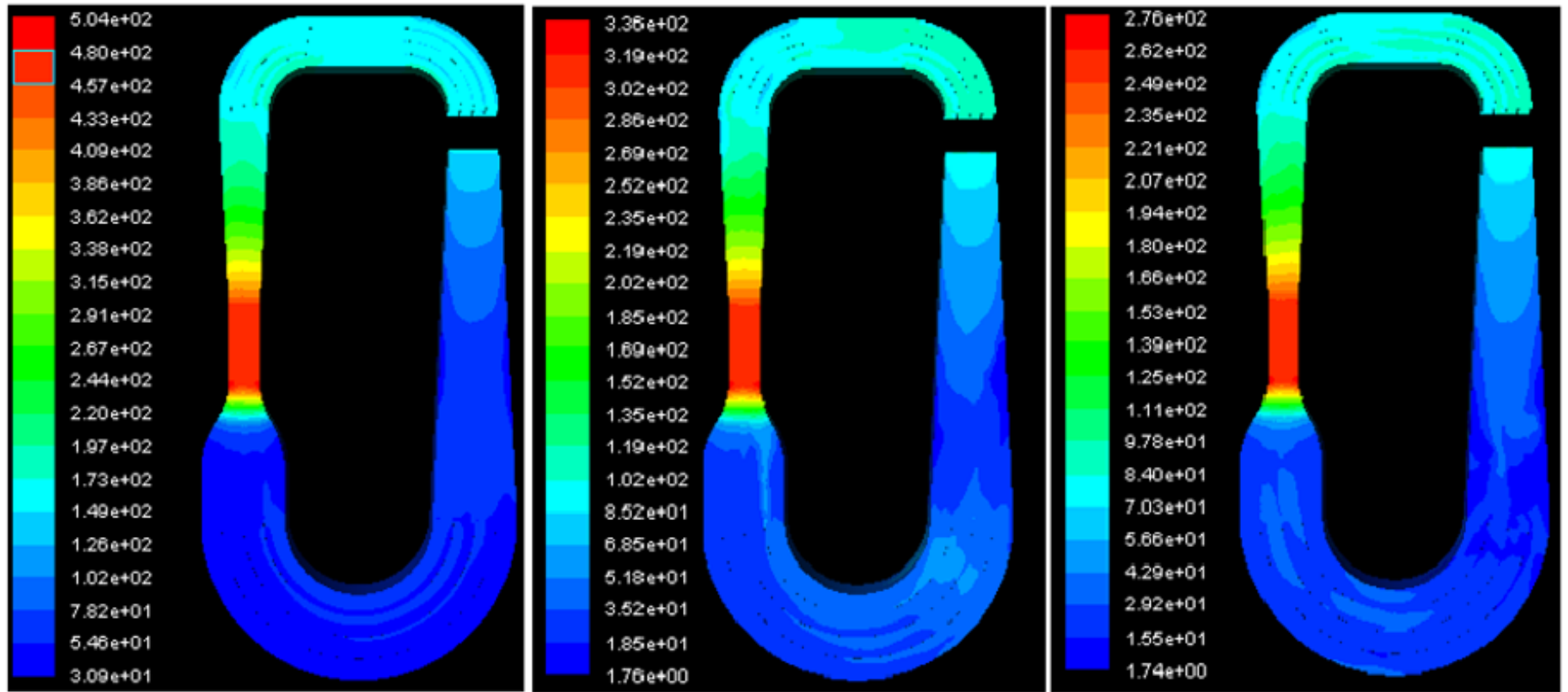
Vel de entrada = 86 km/h





### Comparación de velocidades en los ductos

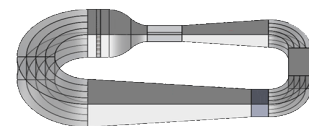
Velocidad en [Km/h]



Vel. entrada = 155 km/h

Vel. entrada = 103 km/h

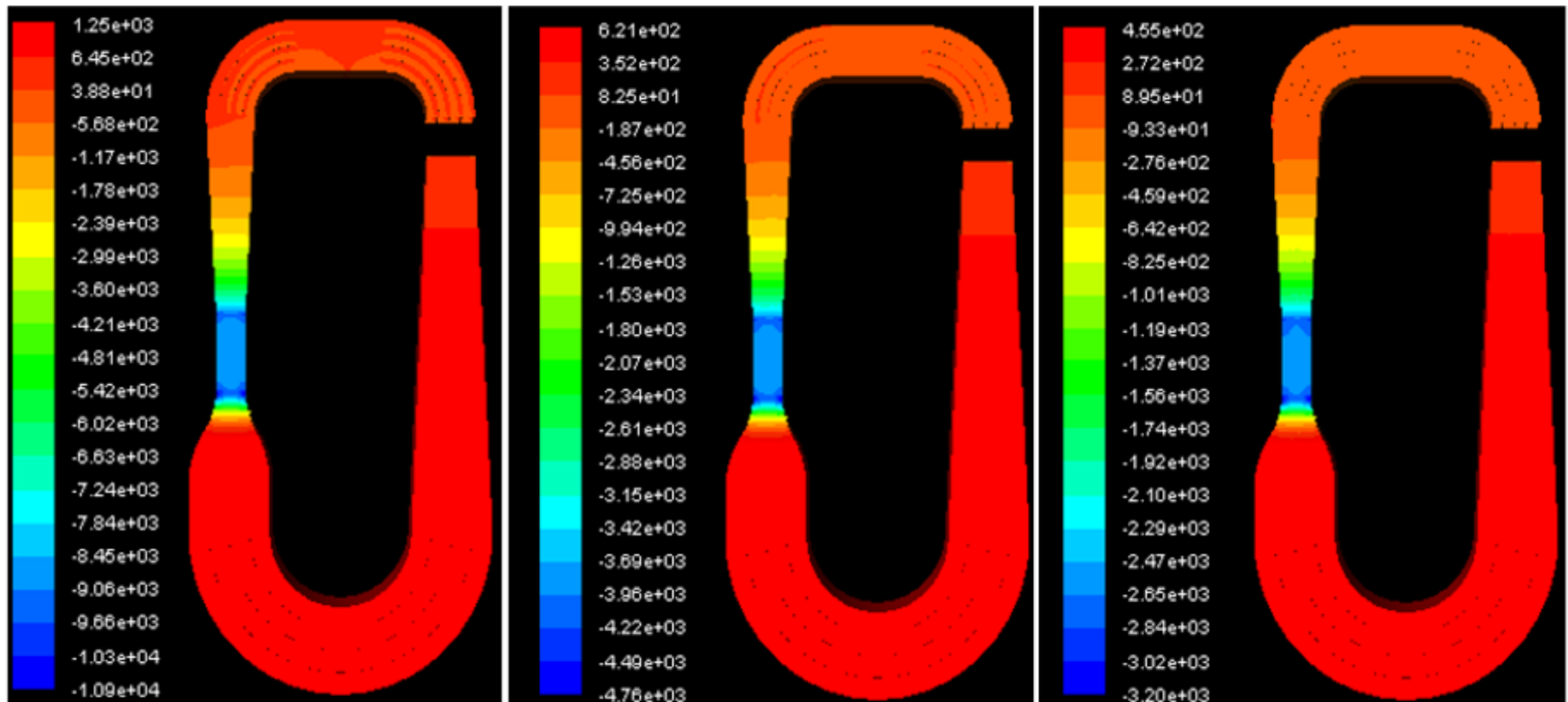
Vel entrada = 86 km/h





### Comparación de las presiones estáticas

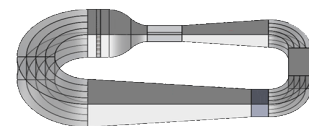
Presión en [Pa]



Vel. entrada = 155 km/h

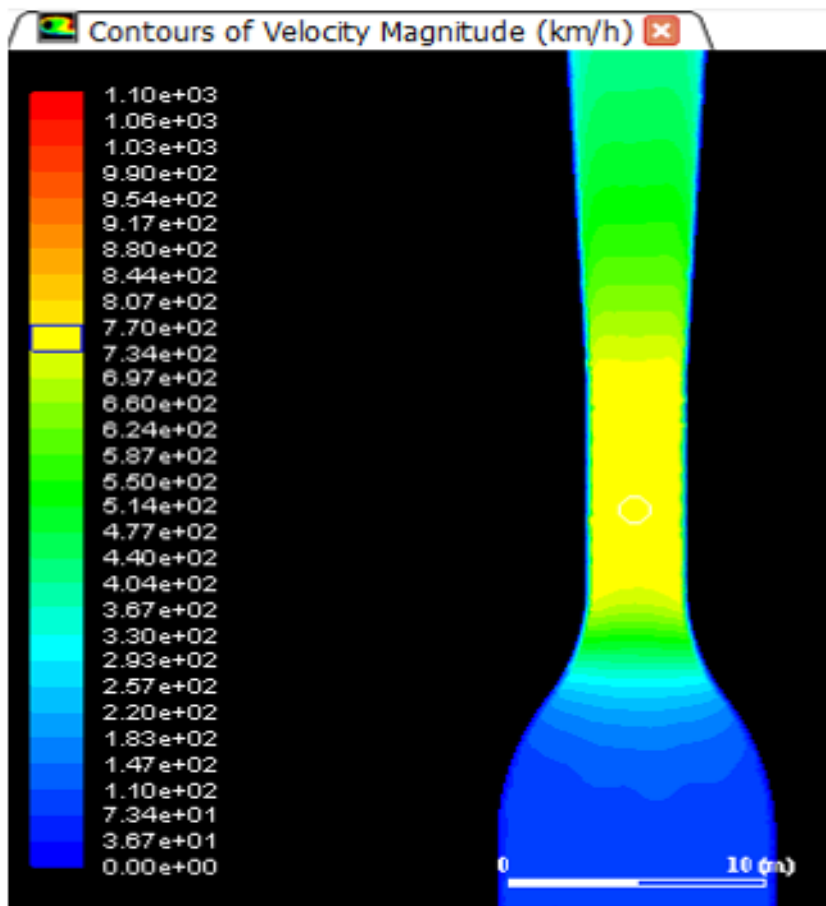
Vel. entrada = 103 km/h

Vel. entrada = 86 km/h

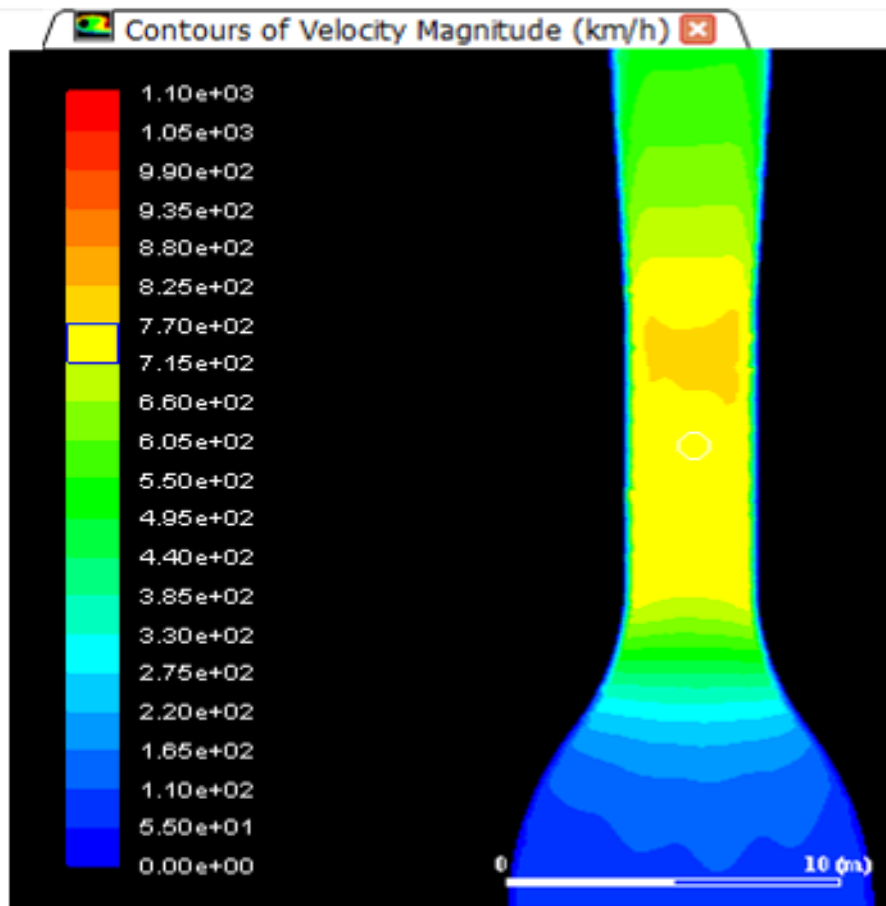




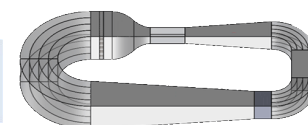
### Comparación de velocidades con los materiales de acero y concreto



Acero

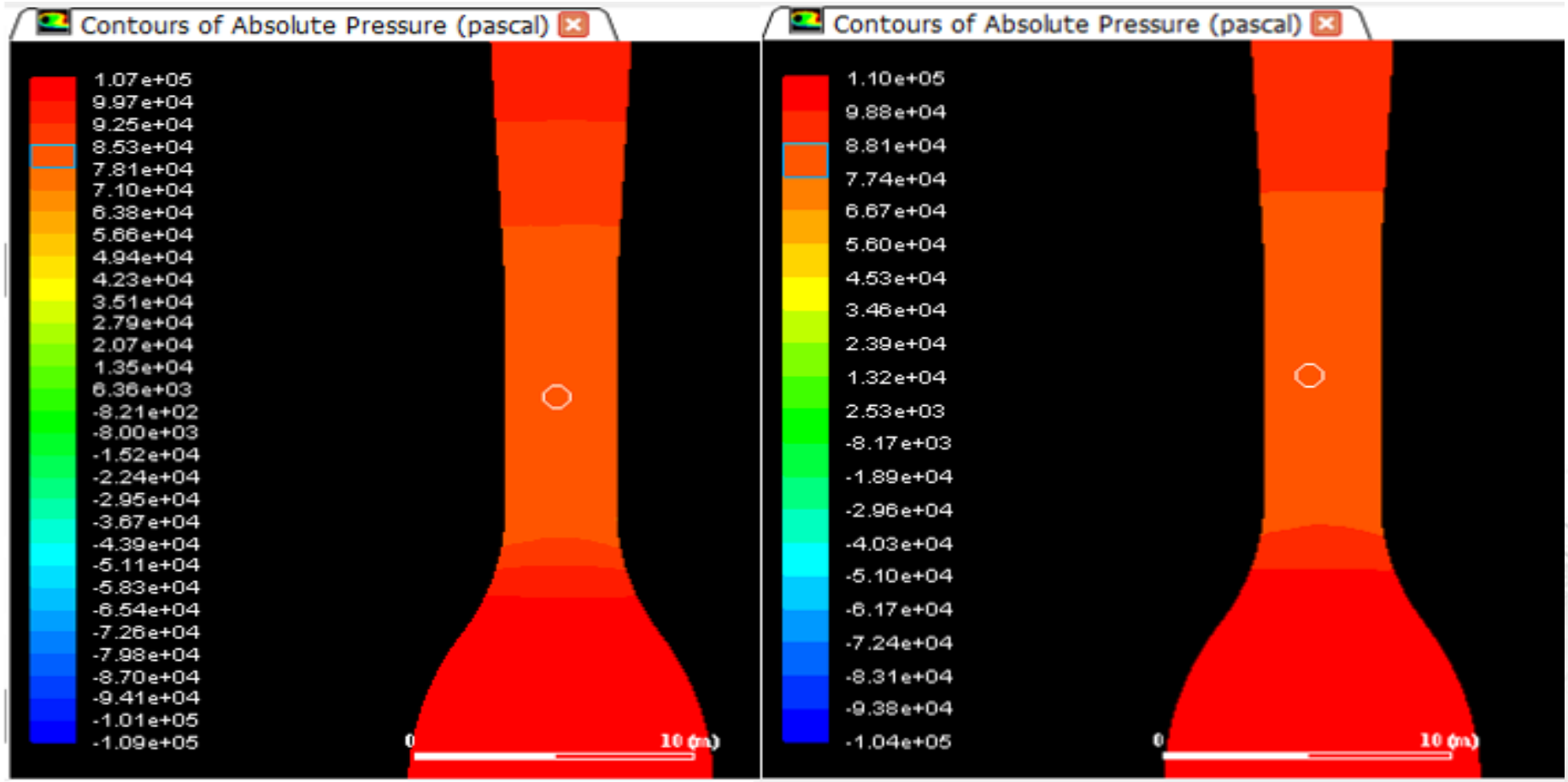


Concreto



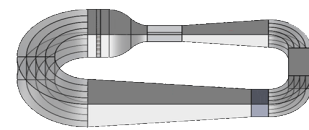


### Comparación de presiones con los materiales de acero y concreto



Acero

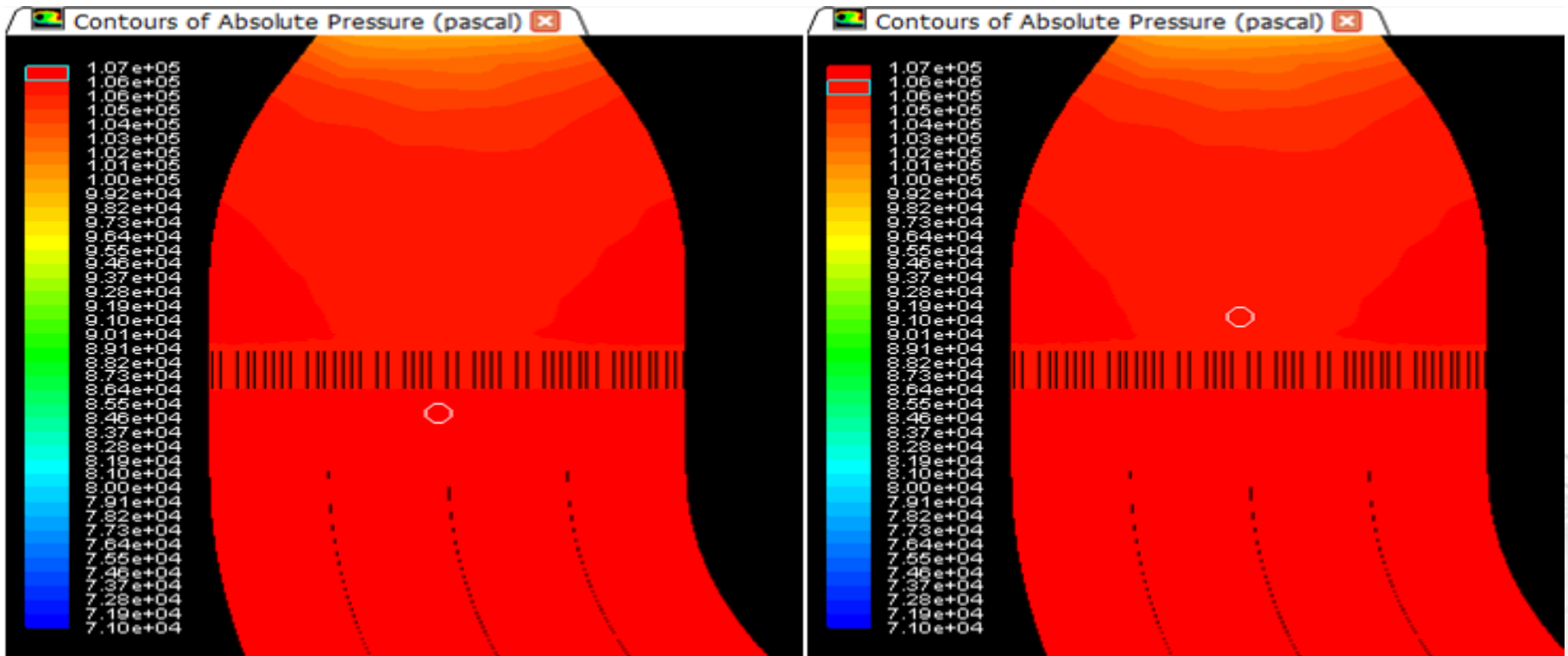
Concreto



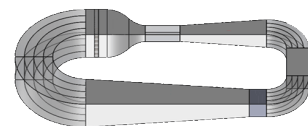


## Túnel con malla estabilizadora

Comportamiento del fluido con acero.

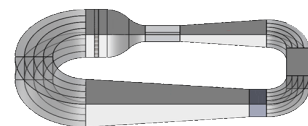
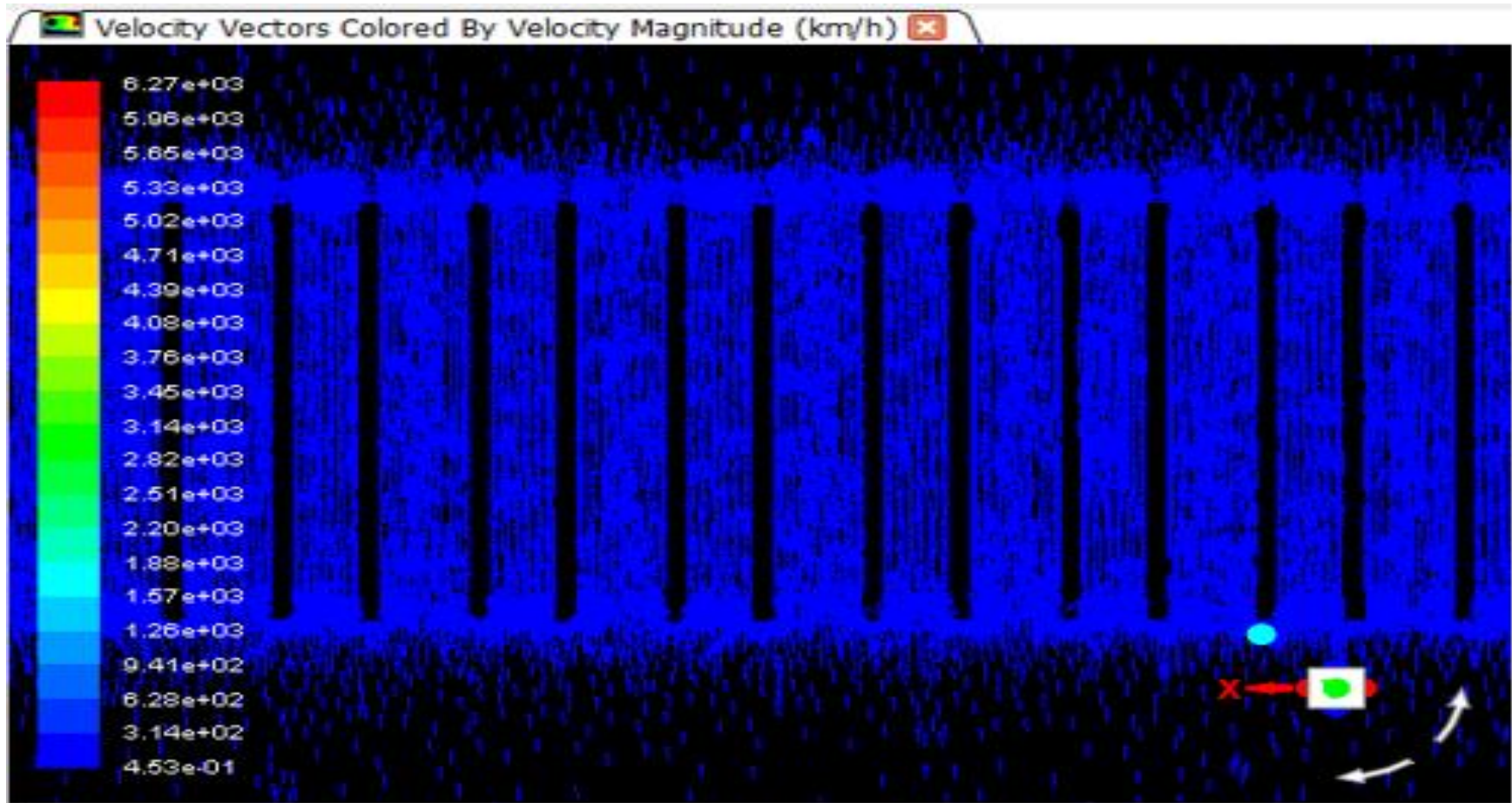


Cambio de presión que se presenta antes de la malla y después. Delta de presión 1000 Pa indica que en efecto la cámara de estabilización ayuda a rectificar el flujo que va a ingresar a la zona de pruebas.





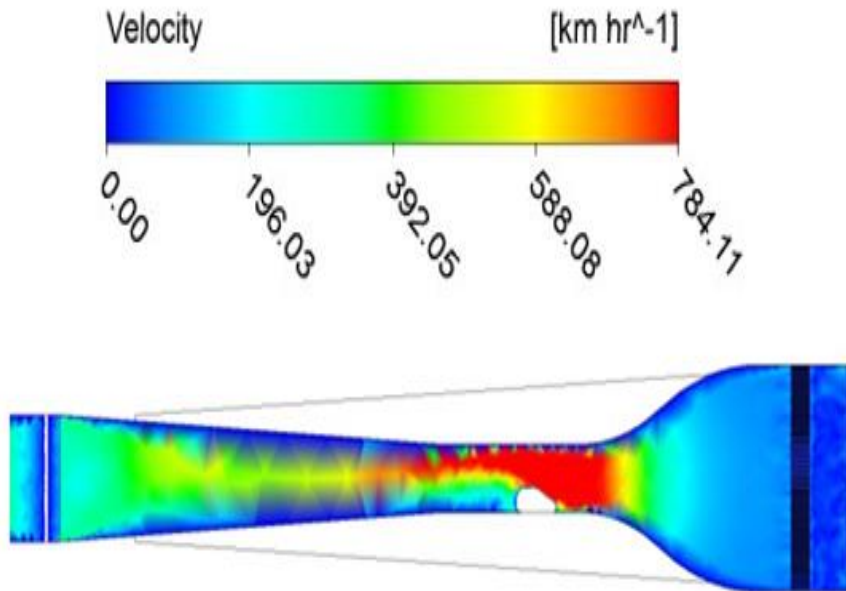
## Índice de turbulencias



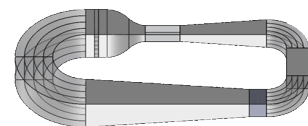
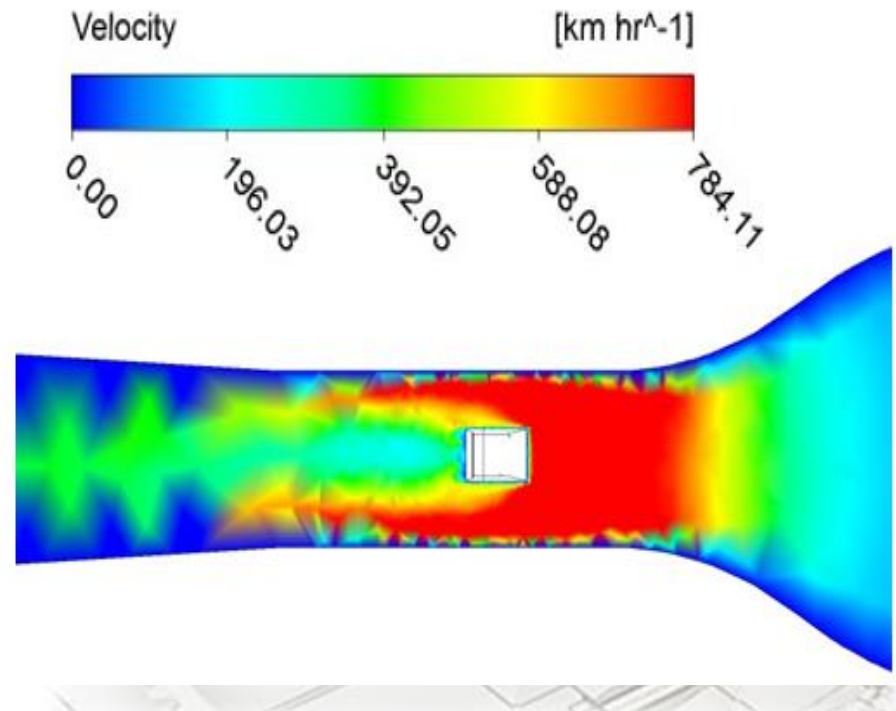


## Túnel con el vehículo y la cámara de estabilización

Vista frontal

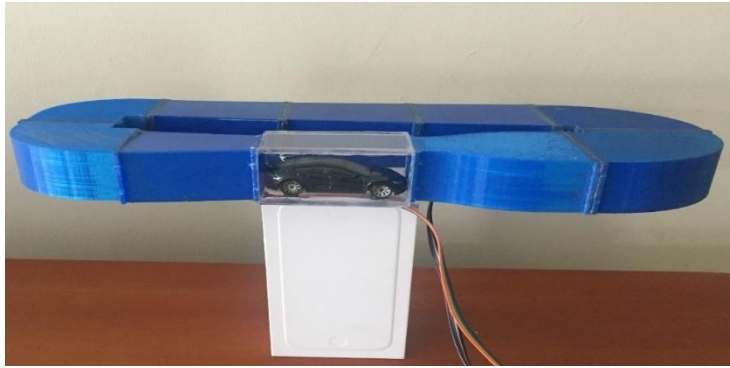


Índice de turbulencias



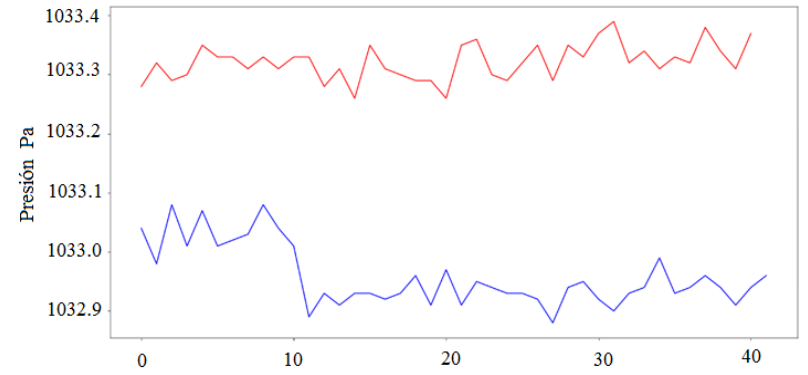


## Prototipo

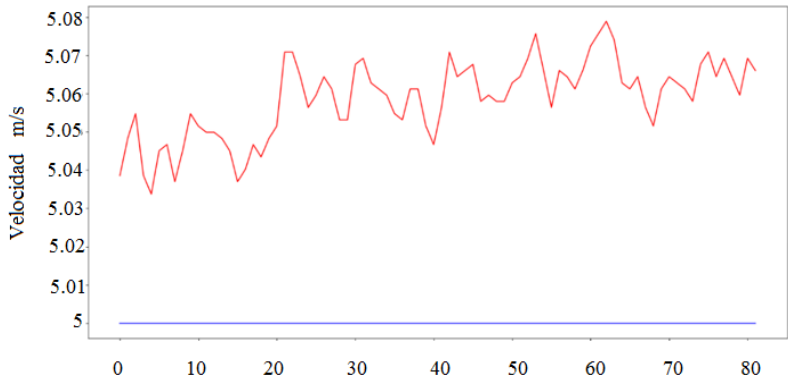


## Gráficas del prototipo

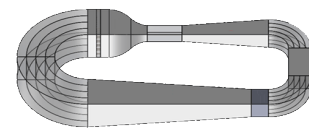
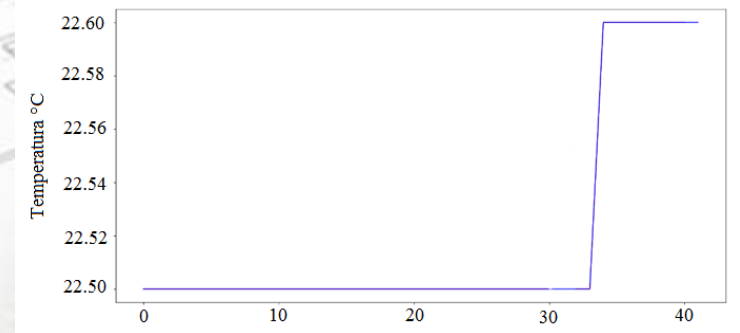
Venturi Azul vs Ventilador Rojo



Venturi Azul vs Ventilador Rojo



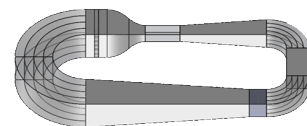
Venturi Azul vs Ventilador Rojo





## CONCLUSIONES

- El diseño del túnel de viento presenta 13 elementos principales y la malla de estabilización que está compuesta de 1053 ductos
- Con la utilización del Matlab se determinó las pérdidas que se tiene en los ductos.
- Los valores obtenidos de las distintas simulaciones, facilitaron analizar el comportamiento del fluido, permitiendo encontrar los puntos críticos del diseño propuesto.
- El diseño y dimensionamiento planteados cumplen con la respuesta aerodinámica esperada en la zona de prueba donde se obtiene la mayor velocidad y presión constante, muy cercana a la presión atmosférica.
- Los planos elaborados del túnel de viento están conformados por un plano de conjunto y 11 planos de taller, el plano del ensamble global está realizado en un formato A2 y a escala de 1:500





*No hay nada en la vida que no contenga sus lecciones. Si estás vivo, siempre tendrás algo para aprender.*

*Benjamín Franklin*

# Gracias

