

Diseño e Investigación de un Túnel de Viento Didáctico para Aplicaciones en Ingeniería Automotriz

Nombre del Estudiante:

Fernando Sebastián Canul Martínez

Manuel Llergo pedrero

David Murillo Espitia

Emiliano Hernández Hernández

Patricio Salazar Savala

Universidad modelo

Ingeniería Automotriz

Nombre del Profesor: Vanessa Cob Gutiérrez

Fecha:28/04/26



Capítulo I. Antecedentes de Investigación

1.1 Definición del Problema de Estudio

La formación del Ingeniero Automotriz integra conocimientos en cálculo, estática, termodinámica, mecánica de fluidos y autotrónica. Sin embargo, uno de los principales desafíos académicos consiste en la correcta aplicación práctica de dichos fundamentos teóricos.

El problema de investigación surge ante la necesidad de diseñar y desarrollar un túnel de viento didáctico funcional, integrando principios aerodinámicos, eléctricos y estructurales. La dificultad radica en traducir ecuaciones matemáticas y conceptos físicos en un sistema experimental real que permita analizar el comportamiento del flujo de aire.

1.2 Marco Teórico

El túnel de viento es un dispositivo experimental utilizado para analizar el comportamiento del aire alrededor de objetos sólidos. En la ingeniería automotriz, permite evaluar resistencia aerodinámica, estabilidad y eficiencia energética.

El análisis se fundamenta en la ecuación de continuidad y el principio de Bernoulli, este nos relaciona presión, velocidad y altura en un fluido en movimiento. En el túnel de viento, explica cómo un aumento en la velocidad del aire sobre un objeto genera una disminución de la presión estática, lo que permite analizar fenómenos como la sustentación y el arrastre. Los cuales describen la relación entre presión, velocidad y área transversal del flujo. Asimismo, el coeficiente de arrastre (C_d) representa un parámetro clave en el estudio de la resistencia aerodinámica.

Desde el enfoque eléctrico, el sistema incorpora un ventilador automotriz como generador de flujo, requiriendo análisis de potencia, consumo de corriente y disipación térmica. La integración de sensores permite medir variables como velocidad del aire y temperatura.

1.3 Marco Conceptual

Coficiente de arrastre: Parámetro adimensional que cuantifica la resistencia aerodinámica.

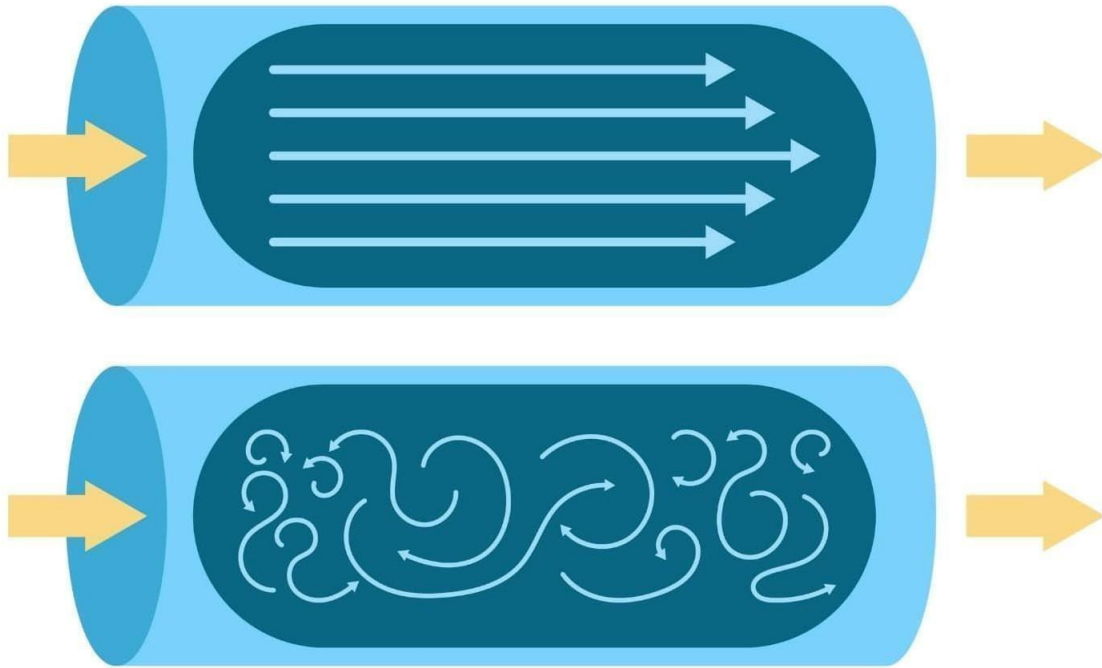
Flujo laminar: Movimiento ordenado del fluido en capas paralelas.

Principio de Bernoulli: Establece que, en un fluido ideal, sin viscosidad y en régimen estacionario, la suma de presión estática, presión dinámica y presión gravitacional se mantiene constante.

En el túnel de viento, este principio explica cómo el aumento de la velocidad del aire sobre un objeto genera una disminución de la presión estática, lo que da lugar a fenómenos como la sustentación en perfiles aerodinámicos.

Eficiencia energética: se relaciona con la capacidad del ventilador y del sistema eléctrico para generar un flujo de aire adecuado con el menor gasto posible de potencia y corriente.

Imagen 1,1



Flujo turbulento: Movimiento irregular y caótico del fluido.

Sensor: Dispositivo que transforma magnitudes físicas en señales eléctricas.



Imagen 1.2

Aerodinámica: rama de la mecánica de fluidos que estudia las acciones y fuerzas que ejerce el aire sobre los cuerpos sólidos al moverse a través de él.

Ecuación de continuidad: es uno de los principios fundamentales de la dinámica de fluidos y se utiliza para describir cómo se conserva la masa en un flujo, Esta ecuación permite relacionar la velocidad del aire con el área de la sección por donde circula, garantizando que el caudal se mantenga constante.

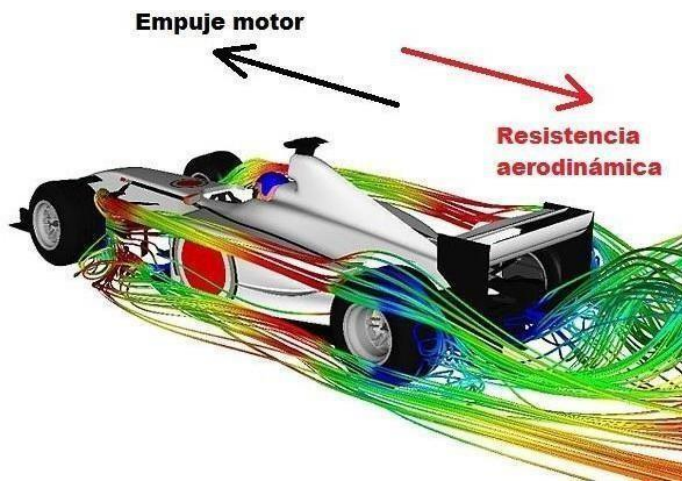


Imagen 1.3

Termodinámica: Ciencia que estudia la energía y sus transformaciones. Estática: Disciplina que analiza cuerpos en equilibrio.

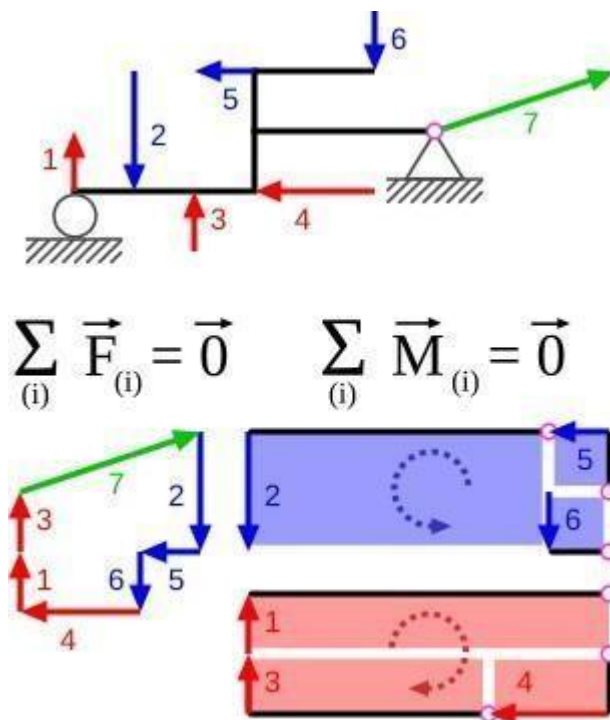


Imagen 1.4

1.4 Objetivo General y Específicos

Objetivo General: Diseñar e investigar los fundamentos técnicos necesarios para el desarrollo de un túnel de viento didáctico funcional.

Objetivos Específicos: Analizar principios aerodinámicos, seleccionar sensores adecuados, determinar requerimientos eléctricos y aplicar principios estructurales.

1.5 Alcances de la Investigación

El proyecto servirá como herramienta didáctica para comprender principios de aerodinámica,

se compararán resultados experimentales con teorías básicas de aerodinámica.

1.6 Justificación

La investigación se justifica por la necesidad de fortalecer la formación práctica del estudiante de Ingeniería Automotriz, integrando conocimientos multidisciplinarios en un proyecto aplicado.

1.7 Propuesta de Valor

Capítulo II. Especificaciones técnicas

1.1 Especificaciones técnicas

Túnel de viento

El túnel de viento es un dispositivo experimental utilizado para analizar el comportamiento del aire alrededor de objetos sólidos. En la ingeniería automotriz, permite evaluar resistencia aerodinámica, estabilidad y eficiencia energética.

Estructura interna Material:

¿Por qué PTR?

- Mayor rigidez estructural
- Mejor absorción de vibraciones del ventilador
- Mayor vida útil
- Más profesional
- Permite análisis en estática (momentos, cargas, torsión)



Tipo de unión:

- Soldadura MIG
- o
- Tornillería estructural con escuadras metálicas



Paredes del túnel

Material lamina lisa calibre 22



Propuesto:

- Lámina lisa calibre 22 o 24
- o
- Lámina galvanizada ligera

Fijación:

- Pijas autoperforantes
- Remaches industriales
- Sellado con silicón industrial

Ventajas:

- Mejor resistencia mecánica
- Mayor durabilidad
- Menor deformación por presión de aire
- Apariencia más técnica / industrial

Sección de prueba:

- Acrílico 6 mm
o
- Policarbonato (mejor resistencia)

Fijado con:

- Marco metálico
- Tornillos
- Empaque de goma para evitar vibración

Ventilador

Ventilador de radiador 14" – 16"



12V DC

Consumo 15–25A

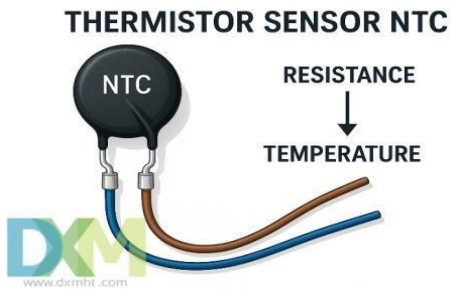
- Base metálica de soporte

- Aisladores de vibración (gomas)

Dimensiones propuestas:

- Longitud total: 1.20 m – 1.50 m
- Sección de prueba (zona visible): 30 cm x 30 cm
 - Longitud sección de prueba: 40 cm
- Zona de contracción: 25–30 cm
- Difusor: 30–40 cm

Sensor de temperatura:



Tipo recomendado:

- Sensor NTC
- O sensor digital (ej. tipo automotriz)

Función:

- Medir temperatura del aire.
- Analizar variación térmica por fricción.

Sensor de velocidad de aire :



Opciones:

- Anemómetro digital
- Sensor tipo flujo MAF adaptado

Función

Medir velocidad del aire.

- Relacionar con presión dinámica.

Elemento	Selección	Justificación
Tipo de túnel	Circuito abierto	Más sencillo y económico
Ventilador	Radiador 12V	Voltaje de que trabaja un vehículo
Material	Estructura metálica	Resistencia y buena presentación
Rejilla	Tipo panel	Reducción de turbulencia
Sensores	Temperatura, velocidad,	Medición técnica real

11

Capítulo III. Materiales 3.1 Lista de materiales y requerimientos

Para la construcción del túnel de viento didáctico se requieren materiales estructurales, eléctricos y de medición, seleccionados con base en resistencia, disponibilidad en Mérida y costo. Materiales principales:

- PTR (Perfil Tubular Rectangular) 1" x 1" calibre 16
- Lámina galvanizada calibre 22–24
- Acrílico de 6 mm (sección de prueba)

- Ventilador automotriz 12V (14”–16”)
- Sensor de temperatura (NTC o digital)
- Sensor de velocidad de aire (anemómetro o MAF)
- Tornillería, remaches y pijas autoperforantes
- Silicón industrial
- Aisladores de vibración (gomas)
- Cableado eléctrico Requerimientos técnicos:
- Alta rigidez estructural
- Resistencia a vibraciones
- Bajo costo y fácil adquisición local
- Compatibilidad eléctrica (12V)
- Precisión en medición de variables

3.2 Cotizaciones (3 proveedores) Producto 1: PTR 1” x 1” calibre 16 (por metro) Proveedor Precio Unitario IVA (16%) Precio Final Disponibilidad

Aceros del Mayab	\$95 MXN	\$15.20	\$110.20	Alta
Boxito	\$105 MXN	\$16.80	\$121.80	Media
Home Depot Mérida	\$115 MXN	\$18.40	\$133.40	Alta

Producto 2: Lámina galvanizada calibre 24 (por hoja) Proveedor Precio Unitario IVA Precio Final Calidad

Acerofertas	\$420	\$67.20	\$487.20	Buena
Home Depot	\$450	\$72	\$522	
Boxito	\$420	\$67.20	\$487.20	Buena

12

Producto 3: Ventilador automotriz 12V (14”–16”) Proveedor Precio Unitario IVA Precio Final Observaciones

Producto 4: Acrílico 6 mm (30x30 cm)

Proveedor	Precio Unitario IVA	Precio Final Calidad
-----------	---------------------	----------------------

Home Depot	\$280	\$44.80 \$324.80		Alta
Boxito	\$250	\$40	\$290	Media
Proveedor local	\$36.80	Buena	Proveedor	\$36.80
plásticos \$230	\$266.80		local plásticos \$230	\$266.80

Producto 5: Sensores

Producto	Proveedor	Precio Final
Sensor temperatura Steren	\$120	
Anemómetro digital Steren	\$450 Sensor tipo MAF	Mercado automotriz \$600
Producto	Proveedor	Precio Final

3.3 Comparación de precios y calidad

- Mejor opción económica: Aceros del Mayab (estructura)
- Mejor calidad general: Home Depot • Mejor opción en electrónica: Steren •

Mejor balance costo/calidad: combinación de proveedores

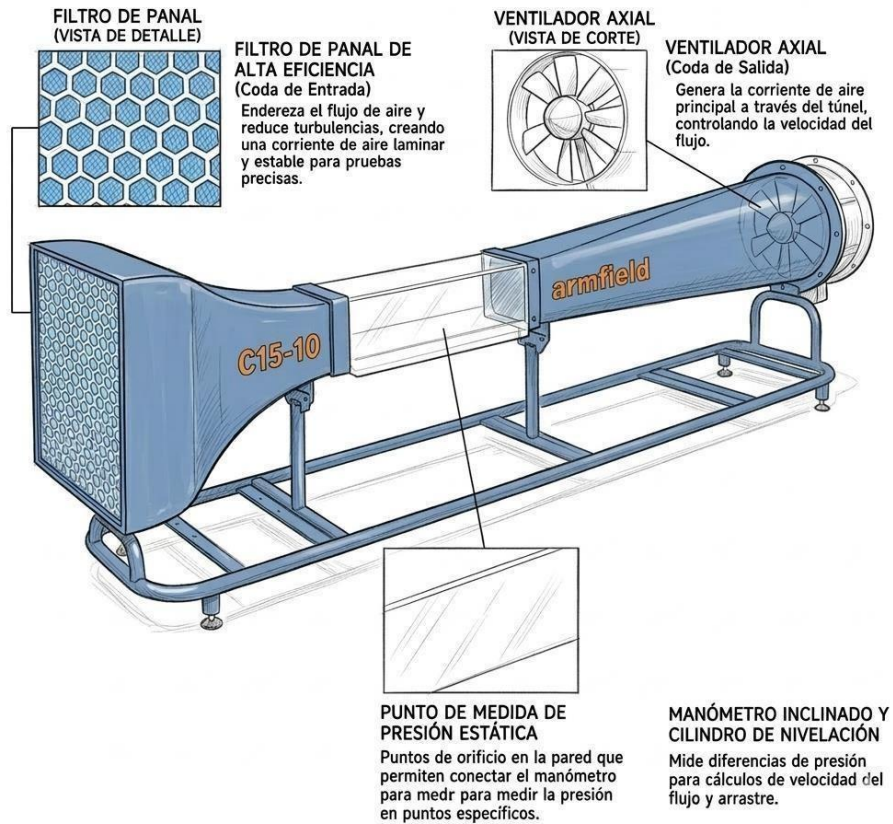
3.4 Presupuesto y costos finales de materiales Concepto

Cantidad Precio Unitario Total

PTR (10 m)	10	\$110.20	\$1,102
Lámina galvanizada 2		\$452.40	\$904.80
Acrílico	1	\$290	\$290
Ventilador	1	\$986	\$986
Sensores	2	\$570 promedio	\$1,140
Tornillería y fijación Lote		\$300	\$300
Silicón y consumibles Lote		\$200	\$200
Subtotal: \$4,922.80			

3.5 Diseño y bocetaje

BOCETO ESQUEMÁTICO DEL TÚNEL DE VIENTO ARMFELD C15-10 CON FILTRO DE PANAL INTEGRADO



3.6 Lista de piezas

Principales:

- Estructura metálica (PTR)
- Ventilador
- Sección de prueba
- Sensores

Secundarias:

- Tornillos
- Selladores
- Cableado
- Soportes

Capítulo IV

4.1 Armado del circuito

Se realizó la conexión de los sensores AHT20 y BMP280 mediante protocolo I2C al microcontrolador Arduino, permitiendo la adquisición de datos de temperatura, humedad y presión.

El anemómetro digital fue conectado a una entrada digital para la medición de velocidad del flujo de aire.

La pantalla TFT táctil de 2.4 pulgadas se integró mediante interfaz SPI, permitiendo la visualización de datos en tiempo real.

El ventilador automotriz de 12V fue conectado a una fuente externa, utilizando un sistema de control mediante relevador para su activación segura desde el microcontrolador.

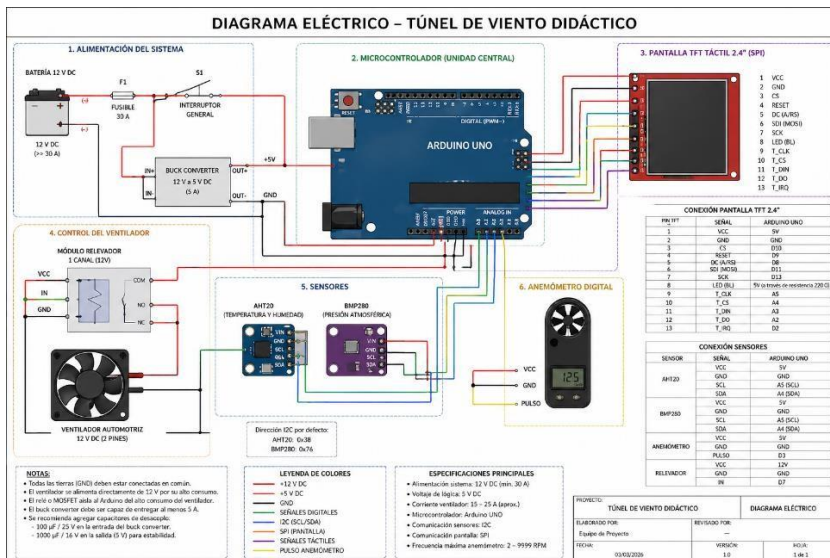
4.2 Programación del display

Se desarrolló un programa en Arduino IDE para la lectura de sensores y despliegue de datos en la pantalla TFT.

El sistema permite mostrar:

- Velocidad del aire
- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica

Se implementó una interfaz gráfica básica que facilita la lectura de los parámetros en tiempo real.



4.3 Integración del sistema

El sistema completo integra componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos para la generación y medición del flujo de aire.

El ventilador automotriz genera el flujo dentro del túnel, mientras que los sensores capturan las variables físicas del aire.

El microcontrolador procesa la información y la envía a la pantalla TFT, permitiendo la visualización en tiempo real y facilitando el análisis experimental.

Imagen 4.1 ventilador a emplear



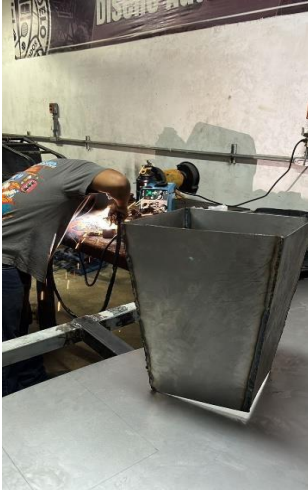
Imagen 4.2 Medición y cotes de material ptr



Imada 4.3 Base de túnel del viento soldada



4.4 Fabricación de la carcasa



En esta sección del documento se plantean avances por métodos gráficos de la elaboración de la estructura.

Capítulo V. Operación y Evaluación

5.1 Validación del producto

La validación del túnel de viento didáctico se realizó mediante pruebas de funcionamiento integral, evaluando la correcta interacción entre los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico. Durante la operación, el ventilador automotriz de 12V generó un flujo de aire constante dentro del túnel, permitiendo la medición de variables mediante los sensores integrados. El anemómetro digital registró la velocidad del aire, mientras que los sensores AHT20 y BMP280 proporcionaron datos de temperatura, humedad y presión atmosférica.

La información obtenida fue procesada por el microcontrolador y visualizada en la pantalla TFT táctil de 2.4", lo que permitió monitorear en tiempo real las condiciones del flujo.

Los resultados demostraron que:

- El sistema es funcional y estable en operación continua.
- Las mediciones son coherentes con el comportamiento esperado del flujo de aire.
- La interfaz gráfica facilita la interpretación de datos.

Por lo tanto, se concluye que el túnel de viento cumple con su objetivo como herramienta didáctica para el análisis de fenómenos aerodinámicos.

5.2 Ajustes finales

Posterior a las pruebas de validación, se realizaron ajustes para optimizar el desempeño del sistema:

- Ajustes eléctricos:

Se verificaron conexiones, asegurando una correcta alimentación del sistema y evitando caídas de voltaje.

- Optimización del flujo de aire:

Se mejoró la alineación interna del túnel para reducir turbulencias y obtener un flujo más uniforme en la sección de prueba.

- Calibración de sensores:

Se revisaron las lecturas del anemómetro y sensores ambientales para asegurar mayor precisión en las mediciones.

- Mejoras en la interfaz:

Se optimizó la visualización de datos en la pantalla TFT para facilitar la lectura en tiempo real.

Estos ajustes permitieron incrementar la confiabilidad y estabilidad del sistema, mejorando su desempeño general.

5.3 Análisis de costos

El análisis de costos se realizó considerando los principales componentes utilizados en la construcción del túnel de viento didáctico.

Tabla de costos de materiales

Componente	Costo (MXN)
Ventilador automotriz	\$500
PTR (12 metros)	\$500
Lámina galvanizada (3x8)	\$497
Pantalla TFT táctil	\$195
Sensor AHT20 + BMP280	\$56
Anemómetro	\$244
Sensor de peso	\$298
Total	\$2,290

Análisis

El costo total del proyecto es de \$2,290 MXN, lo cual representa una inversión accesible considerando las funcionalidades del sistema.

Se observa que:

- Los componentes estructurales (PTR y lámina) representan una parte significativa del costo.
- Los sensores electrónicos tienen un costo relativamente bajo en comparación con su aporte funcional.
- El sistema completo resulta considerablemente más económico que túneles de viento comerciales, manteniendo su valor didáctico.

Conclusión económica

El proyecto presenta una alta relación costo-beneficio, ya que con una inversión moderada se obtiene un sistema funcional capaz de medir variables aerodinámicas en tiempo real.

Esto lo convierte en una herramienta viable para uso académico en ingeniería automotriz.

Anexos 1

Diagrama de Gantt

Actividad	Seccion de actividades	Responsable	Duración	Semana 16-21 marzo	Semana 21-25 abril	Semana 27-5 abril	Semana 6-15 mayo
Investigación	Materiales	Fernando	3 días	■			
	Teoría	David					
Diseño del túnel	Estética	Emiliano	4 días	■			
	Funcionalidad	Patricio					
Cotización de los materiales	Eléctricos Estructurales	Manuel	3 días	■			
Compra de materiales	Eléctricos	Fernando	2 días		■		
	Estructurales	Emiliano					
Construcción estructura	Cortar	Fernando	5 días		■		
	Soldar	Manuel					
Instalación ventilador	Eléctrica	Emiliano	2 días			■	
		Manuel					
Instalación sensores	Temperatura	David	2 días			■	
	Presión	Fernando					
Pruebas		Emiliano	3 días				■
Documentación final	Revisión de la literatura	Patricio	3 días				■

Referencias Bibliográficas

Nysplm, A. (2025, junio 9). *Diferencia entre flujo laminar y turbulento - Ansys Fluent*. NyS Partner Oficial de Siemens y Ansys en España. <https://www.nysplm.com/blog/diferencia-flujo-laminar-turbulento-ansys-fluent> (nysplm.com in Bing)

Talos Electronics. (n.d.). *Sensores*. Talos Electronics. <https://www.taloselectronics.com/collections/sensores> (taloselectronics.com in Bing)

15

Prodel, S.A. (n.d.). *Aerodinámica*. Prodel. <https://www.prodel.es/subareas/aerodinamica> (prodel.es in Bing)

Imagen 1.1 Nysplm, A. (2025, June 9). *Diferencia entre flujo laminar y turbulento - Ansys Fluent* | NyS. Partner Oficial De Siemens Y Ansys En España | NyS. <https://www.nysplm.com/blog/diferencia-flujo-laminar-turbulento-ansys-fluent/>

Imagen 1.2

Sensores. (n.d.). Talos Electronics. <https://www.taloselectronics.com/collections/sensores->

Imagen 1.3

colaboradores de Wikipedia. (2026, February 24). *Estática (mecánica)*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Est%C3%A1tica_%28mec%C3%A1nica%29

Imagen 1.4 <https://secretosf1.wordpress.com/2010/03/27/los-alerones-resistencia-aerodinamica/>

AERODINÁMICA - Prodel, S.A. (n.d.). Prodel, S.A. <https://www.prodel.es/subareas/aerodinamica/>

16