

UNIVERSIDAD MODELO

Ingeniería Automotriz



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO A ESCALA

Integrantes

Torres Cervera Francisco
Bonilla Arroyo Hugo Elton
Blas León Miguel Ángel
Ochoa Córdova Jorge Arturo

Asignatura: Proyectos II

Docente: Vanessa Cob Gutiérrez

Fecha: 05 de Mayo del 2026

Mérida, Yucatán, México

ÍNDICE DE CONTENIDO

Cap. I. Antecedentes de Investigación

- 1.1 Definición del Problema
- 1.2 Marco Teórico
- 1.3 Marco Conceptual
- 1.4 Objetivo General y Objetivos Específicos
- 1.5 Alcances de la Investigación
- 1.6 Justificación de la Investigación
- 1.7 Propuesta de Valor

Cap. II. Materiales

- 2.1 Lista de Materiales y Requerimientos
- 2.2 Cotización (3 Proveedores)
- 2.3 Comparación de Precios y Calidad
- 2.4 Presupuesto y Costos Finales
- 2.5 Compra y Verificación Física

Cap. III. Cálculos, Ecuaciones y Diagramas

- 3.1 Ecuaciones Fundamentales
- 3.2 Diseño y Bocetaje
- 3.3 Lista de Piezas Principales y Secundarias

Cap. IV. Elaboración, Medición, Diagrama de Flujo y Ensamblado

- 4.1 Elaboración, Mediciones y Corte
- 4.2 Diagrama de Flujo del Proceso
- 4.3 Ensamble, Armado y Pruebas Finales

Cap. V. Conclusiones

- 5.1 Conclusión del Proyecto
- 5.2 Reflexión Individual

Bibliografía

Anexo 1. Diagrama de Gantt

Anexo 2. Evidencias Fotográficas

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

1.1 Definición del Problema

En el campo de la ingeniería automotriz, el análisis aerodinámico es fundamental para mejorar el rendimiento, estabilidad y eficiencia de los vehículos. La resistencia del aire influye directamente en el consumo de combustible, la velocidad máxima y el comportamiento del vehículo a altas velocidades.

Sin embargo, los túneles de viento profesionales tienen costos elevados y requieren instalaciones especializadas, lo que limita su acceso en instituciones educativas. Esta situación genera una dificultad para que los estudiantes puedan realizar pruebas experimentales reales relacionadas con la aerodinámica.

El problema que aborda este proyecto es la falta de una herramienta accesible, funcional y económica que permita analizar el comportamiento del flujo de aire en modelos a escala dentro de un entorno académico. Por ello, se propone el diseño y construcción de un túnel de viento a pequeña escala que permita realizar pruebas controladas en vehículos 1:32.

1.2 Marco Teórico

El funcionamiento de un túnel de viento se basa en las leyes de la mecánica de fluidos, específicamente en cómo el aire interactúa con cuerpos sólidos.

El principio de continuidad establece que, en un conducto cerrado, si el área de la sección transversal disminuye, la velocidad del fluido debe aumentar para mantener un flujo constante. Esto es fundamental para acelerar el aire antes de que llegue al vehículo a escala.

Por otro lado, la ecuación de Bernoulli describe la relación entre la presión y la velocidad de un fluido. En el túnel de viento, cuando el aire se acelera, su presión disminuye, lo que permite simular las fuerzas aerodinámicas que un vehículo real experimenta en movimiento.

1.2.2 Dinámica del Flujo: Laminar vs. Turbulento

El flujo laminar se caracteriza por el movimiento ordenado de las partículas en capas paralelas, lo que lo convierte en el estado ideal para analizar la interacción del aire con la superficie de un vehículo.

En contraste, el flujo turbulento presenta un comportamiento caótico con formación de remolinos. Aunque los vehículos generan turbulencia de manera natural en su parte posterior, es importante que el flujo que incide sobre el modelo sea lo más uniforme posible para evitar errores en la medición.

1.2.3 Aerodinámica Automotriz y Resistencia

El objetivo del análisis aerodinámico es mejorar la eficiencia y estabilidad de un vehículo. La resistencia aerodinámica (drag) es la fuerza que se opone al movimiento y depende de factores como la densidad del aire, la velocidad al cuadrado y la forma del objeto.

El coeficiente de arrastre es una magnitud adimensional que indica la eficiencia aerodinámica de un diseño. Valores bajos representan menor resistencia al aire, lo que se traduce en menor consumo de energía y mayor desempeño.

1.2.4 El Rol de la Rejilla tipo Panal (Honeycomb)

Los ventiladores generan un flujo de aire con cierta rotación y turbulencia, por lo que es necesario estabilizarlo antes de la zona de prueba. La rejilla tipo panal funciona como un enderezador de flujo. Al

obligar al aire a pasar por múltiples celdas pequeñas, elimina componentes de velocidad lateral y genera un flujo más uniforme.

Para este proyecto, una rejilla con profundidad de entre 3 y 5 cm es suficiente para mejorar significativamente la calidad del flujo en un túnel de viento a escala.

1.2.5 Similitud y Escala 1:32

El uso de modelos a escala implica considerar que el comportamiento del aire no es exactamente igual al de un objeto real. En una escala 1:32, cada unidad del modelo representa 32 unidades en la realidad.

Aunque este proyecto tiene un enfoque educativo, esta escala permite observar de manera clara fenómenos como la separación del flujo y la formación de zonas de baja presión, aspectos clave en el estudio de la aerodinámica.

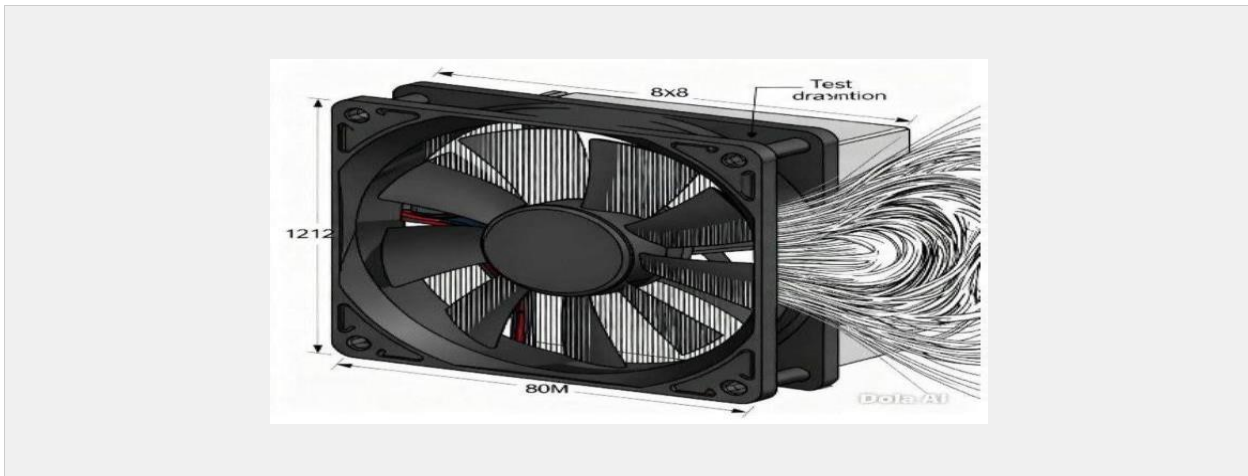


Figura 1. Diferencia entre flujo laminar y flujo turbulento (NASA, 2023).

1.3 Marco Conceptual

- Aerodinámica: Estudio del comportamiento del aire y su interacción con objetos en movimiento.
- Túnel de viento: Dispositivo que genera un flujo de aire controlado para analizar fuerzas aerodinámicas.
- Flujo laminar: Movimiento uniforme y ordenado del aire.
- Flujo turbulento: Movimiento irregular y caótico del aire.
- Resistencia aerodinámica: Fuerza que se opone al movimiento de un objeto debido al aire.
- Escala 1:32: Relación proporcional donde 1 unidad en el modelo representa 32 unidades en tamaño real.
- Zona de prueba: Área del túnel donde se coloca el modelo para su análisis.

1.4 Objetivo General y Objetivos Específicos

Objetivo General

Diseñar y construir un túnel de viento funcional y económico que permita realizar pruebas aerodinámicas en vehículos a escala 1:32 dentro de un entorno educativo.

Objetivos Específicos

- Determinar las dimensiones adecuadas del túnel para garantizar un flujo de aire estable.
- Seleccionar materiales resistentes y de bajo costo para su construcción.
- Implementar un sistema de ventilación de 12 V y 80 mm que genere flujo continuo.

- Incorporar una rejilla tipo panal para reducir la turbulencia.
- Evaluar el comportamiento del aire dentro de la zona de prueba.

1.5 Alcances de la Investigación

El proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un túnel de viento a pequeña escala con fines educativos. No se pretende reemplazar equipos industriales ni realizar pruebas certificadas, sino desarrollar una herramienta académica funcional que permita comprender principios básicos de aerodinámica. El modelo será utilizado exclusivamente para análisis cualitativos del flujo de aire en vehículos a escala.

1.6 Justificación de la Investigación

Este proyecto es importante porque permite aplicar conocimientos teóricos de física y mecánica de fluidos en un entorno práctico. Además, ofrece una alternativa económica para instituciones educativas que no cuentan con acceso a equipos profesionales.

La construcción del túnel de viento fortalece el aprendizaje experimental, fomenta el trabajo en equipo y promueve el desarrollo de habilidades técnicas relacionadas con la ingeniería automotriz. Asimismo, contribuye a que los estudiantes comprendan de manera visual y práctica conceptos como turbulencia, presión y resistencia aerodinámica.

1.7 Propuesta de Valor

La propuesta de valor del proyecto consiste en ofrecer una herramienta educativa accesible, funcional y replicable que permita realizar pruebas aerodinámicas básicas sin necesidad de infraestructura costosa.

El túnel de viento puede ser construido con materiales económicos como MDF y componentes eléctricos de fácil adquisición, lo que permite que otros estudiantes o instituciones puedan replicarlo. Además, el proyecto fomenta la innovación, el aprendizaje práctico y el desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas al contexto escolar.

Tabla Técnica del Proyecto

Característica	Especificación
Escala de prueba	1:32
Dimensiones internas	12 cm × 12 cm
Longitud	45–60 cm
Ventilador	12 V – 80 mm
Material estructura	MDF 3–5 mm
Sistema anti-turbulencia	Rejilla tipo panal 3–5 cm

Nota. Detalles técnicos correspondientes al diseño de un túnel de viento a escala. Elaboración propia (2026).

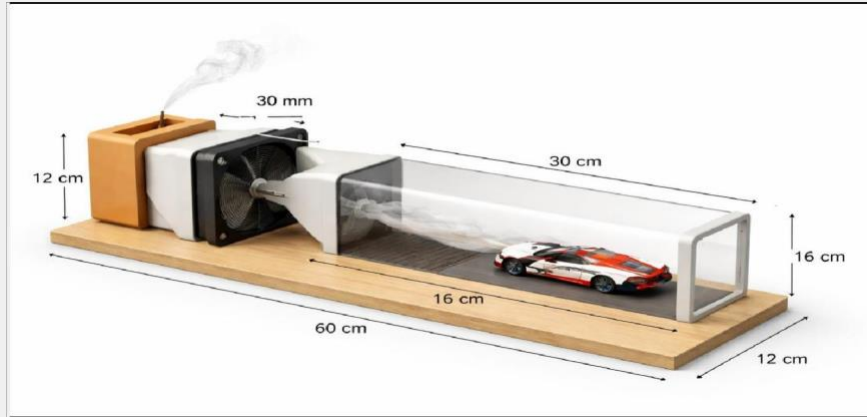


Figura 2. Esquema del túnel de viento a escala diseñado por el equipo. Elaboración propia (2026).

CAPÍTULO II. MATERIALES

El presente capítulo documenta el proceso de selección, cotización, comparación y registro de compra de los materiales necesarios para construir el túnel de viento a escala. El criterio principal de selección es el bajo costo y la disponibilidad en la ciudad de Mérida, Yucatán.

2.1 Lista de Materiales y Requerimientos

Tabla 1. Lista de materiales y requerimientos para el túnel de viento a escala

N°	Material	Cant.	Unidad	Categoría	Descripción y función
1	Tablero MDF 3–5 mm	2	Lámina	Estructura	Forma los paneles laterales, superior, inferior y base del túnel. Material ligero y fácil de cortar.
2	Ventilador axial 12V/80mm	1	Pieza	Propulsión	Motor principal que genera el flujo de aire. Se alimenta con fuente de 12 V.
3	Rejilla tipo panal (honeycomb)	1	Panel	Homogeneizador	Reduce la turbulencia del flujo antes de la zona de prueba.
4	Fuente de alimentación 12V/2A	1	Pieza	Eléctrico	Alimenta el ventilador y el sistema electrónico del túnel.
5	Microcontrolador Arduino Uno	1	Pieza	Control	Unidad de procesamiento para lectura de sensores y control del motor.
6	Sensor de velocidad (anemómetro)	1	Módulo	Medición	Mide la velocidad del flujo de aire dentro de la zona de prueba.
7	Acrílico transparente 3 mm	2	Lámina	Zona de prueba	Permite visualizar el flujo de aire alrededor del modelo 1:32.
8	Silicón transparente 100 ml	1	Tubo	Ensamble	Sella las juntas entre piezas para evitar fugas de aire.
9	Tornillos M4 + tuercas (20 pz)	1	Bolsa	Ensamble	Fijación y ensamble de las secciones del túnel.
10	Cable eléctrico calibre 22 AWG	2	Metro	Eléctrico	Conexión entre fuente, microcontrolador y actuadores.

Nota. Los materiales se presentan clasificados según su función dentro del proyecto; todos pueden conseguirse en Mérida, Yucatán. Elaboración propia (2026).

2.2 Cotizaciones (3 Proveedores)

Se consultaron tres establecimientos locales en Mérida, Yucatán para asegurar la disponibilidad inmediata de los materiales: Casa Fernández del Sureste (Calle 60 #547, Col. Centro), Promessa — Grupo Promessa (Calle 58 x 45 y 47, Col. Centro) y Master Electrónicos (Calle 63 #485-A x 56 y 54, Col. Centro). Todos los precios incluyen IVA del 16%.

Tabla 2. Cotización de materiales en tres proveedores de Mérida, Yucatán (MXN, marzo 2026)

Material	P. A — Casa Fernández	P. B — Promessa	P. C — Master Electrónicos	Unidad
Tablero MDF 3–5 mm	\$180	\$210	—	Lámina
Ventilador axial 12V/80mm	\$85	—	\$75	Pieza
Rejilla honeycomb	\$40	—	\$35	Panel
Fuente 12V/2A	\$120	\$140	\$110	Pieza
Arduino Uno	—	—	\$120	Pieza
Sensor anemómetro	—	—	\$95	Módulo
Acrílico transparente 3mm	\$75	—	\$70	Lámina
Silicón transparente	\$25	\$30	—	Tubo
Tornillos M4 (bolsa 20pz)	\$22	\$28	—	Bolsa
Cable 22 AWG (metro)	\$8	\$10	\$7	Metro

Nota. Los importes están expresados en pesos mexicanos e incluyen IVA. El símbolo «—» señala que el producto no se encuentra disponible con ese proveedor. Precios recabados en marzo de 2026. Elaboración propia (2026).

2.3 Comparación de Precios y Calidad

Con las cotizaciones de los tres proveedores, se comparó cada material en tres dimensiones: precio, calidad percibida y disponibilidad inmediata. El criterio principal fue el menor precio siempre que la calidad fuera suficiente para el uso educativo del equipo.

Tabla 3. Comparación de precios y calidad de materiales en tres proveedores

Material	P. A (MXN)	P. B (MXN)	P. C (MXN)	Mejor precio	Calidad	Proveedor recomendado
MDF 3–5 mm	\$180	\$210	—	A — \$180	Alta	Casa Fernández
Ventilador 12V	\$85	—	\$75	C — \$75	Alta	Master Electrónicos
Rejilla honeycomb	\$40	—	\$35	C — \$35	Media	Master Electrónicos
Fuente 12V/2A	\$120	\$140	\$110	C — \$110	Alta	Master Electrónicos
Arduino Uno	—	—	\$120	C — \$120	Media	Master Electrónicos
Sensor anemómetro	—	—	\$95	C — \$95	Media	Master Electrónicos
Acrílico 3mm	\$75	—	\$70	C — \$70	Alta	Master Electrónicos
Silicón	\$25	\$30	—	A — \$25	Alta	Casa Fernández
Tornillos M4	\$22	\$28	—	A — \$22	Media	Casa Fernández
Cable 22 AWG	\$8	\$10	\$7	C — \$7	Alta	Master Electrónicos

Nota. La calidad fue evaluada con base en especificaciones técnicas del fabricante y experiencia previa del equipo. Elaboración propia (2026).

2.4 Presupuesto y Costos Finales de Materiales

Tabla 4. Presupuesto y costos finales de materiales del túnel de viento a escala (MXN, marzo 2026)

N°	Material	Cant.	P. Unitario	Subtotal	Proveedor	Categoría
1	Tablero MDF 3–5 mm	2	\$180	\$360	Casa Fernández	Estructura
2	Ventilador axial 12V/80mm	1	\$75	\$75	Master Electrónicos	Propulsión
3	Rejilla honeycomb	1	\$35	\$35	Master Electrónicos	Flujo
4	Fuente 12V/2A	1	\$110	\$110	Master Electrónicos	Eléctrico
5	Arduino Uno (clon)	1	\$120	\$120	Master Electrónicos	Control
6	Sensor anemómetro	1	\$95	\$95	Master Electrónicos	Medición
7	Acrílico transparente 3mm	2	\$70	\$140	Master Electrónicos	Zona prueba
8	Silicón transparente	1	\$25	\$25	Casa Fernández	Ensamble
9	Tornillos M4 (20pz)	1	\$22	\$22	Casa Fernández	Ensamble
10	Cable 22 AWG (2 m)	2	\$7	\$14	Master Electrónicos	Eléctrico
INVERSIÓN TOTAL:				\$996.00 MXN		

Nota. Los montos ya contemplan el IVA del 16%. El presupuesto total resulta aproximadamente 20 veces inferior al de un túnel de viento educativo comercial equivalente. Elaboración propia (2026).

2.5 Compra y Verificación Física

La siguiente tabla funciona como registro de control para documentar la fecha de compra, el costo real pagado y el estado de verificación física de cada artículo. Las fotografías de verificación (ticket de compra y material recibido) se adjuntarán como Anexo 2 del informe.

Tabla 5. Registro de compra y verificación física de materiales

N°	Material	Cant.	Costo real (MXN)	Fecha compra	Proveedor	Estado
1	MDF 3–5 mm	2	\$ Por confirmar	Por confirmar	Casa Fernández	■ Pendiente
2	Ventilador 12V/80mm	1	\$ Por confirmar	Por confirmar	Master Electrónicos	■ Pendiente
3	Rejilla honeycomb	1	\$ Por confirmar	Por confirmar	Master Electrónicos	■ Pendiente
4	Fuente 12V/2A	1	\$ Por confirmar	Por confirmar	Master Electrónicos	■ Pendiente
5	Arduino + sensor	1 kit	\$ Por confirmar	Por confirmar	Master Electrónicos	■ Pendiente
6	Acrílico + silicón	Varios	\$ Por confirmar	Por confirmar	Varios	■ Pendiente
TOTAL REAL:			\$ MXN (se actualizará al realizar las compras)			

Nota. ■ = compra pendiente. ✓ = compra realizada y verificada. Las fotografías de verificación se adjuntarán en el Anexo 2. Elaboración propia (2026).

CAPÍTULO III. CÁLCULOS, ECUACIONES Y DIAGRAMAS

El presente capítulo desarrolla el fundamento matemático, el diseño técnico y el desglose de componentes del túnel de viento a escala. Las ecuaciones presentadas están directamente vinculadas al marco teórico del Capítulo I y las decisiones de diseño del Capítulo II.

3.1 Cálculos, Ecuaciones, Diagramas y Fórmulas

Tabla 6. Ecuaciones fundamentales aplicadas al diseño del túnel de viento a escala

Nº	Ecuación / Fórmula	Significado de variables	Aplicación en el túnel	Fuente (APA 7)
1	Ley de Ohm $V = I \times R$	V = Voltaje (V) I = Corriente (A) R = Resistencia (Ω)	Calcula la corriente del circuito. Ej: $V=12V, R=6\Omega \rightarrow I=2A$. Evita daño al microcontrolador.	Nilsson y Riedel (2019)
2	Potencia eléctrica $P = V \times I$ $P = I^2 \times R$ $P = V^2 / R$	P = Potencia (W) V = Voltaje (V) I = Corriente (A) R = Resistencia (Ω)	Determina el consumo energético. Ej: $V=12V, I=2A \rightarrow P=24W$. Verifica que la fuente sea suficiente.	Nilsson y Riedel (2019)
3	Número de Reynolds $Re = (\rho \times v \times L) / \mu$	ρ = densidad del aire (kg/m³) V = velocidad (m/s) L = longitud del modelo (m) μ = viscosidad dinámica (Pa·s)	Determina el régimen del flujo. $Re < 2300 \rightarrow$ laminar $Re > 4000 \rightarrow$ turbulento Guía la selección del ventilador.	Fox et al. (2015)
4	Ecuación de Continuidad $A_1V_1 = A_2V_2$	A = área transversal (m²) V = velocidad del flujo (m/s)	El flujo se acelera al reducirse el área. Entrada (12×12 cm) = zona de prueba. Garantiza flujo uniforme.	Çengel y Cimbala (2018)
5	Principio de Bernoulli $P + \frac{1}{2}\rho V^2 = cte$	P = presión estática (Pa) ρ = densidad del aire (kg/m³) V = velocidad del flujo (m/s)	A mayor velocidad, menor presión. Base del análisis del modelo 1:32.	White (2016)

Nota. Ecuaciones aplicadas bajo condiciones atmosféricas estándar de Mérida, Yucatán: $T \approx 28\text{ }^\circ\text{C}$, $\rho \approx 1.185\text{ kg/m}^3$, $\mu \approx 1.84 \times 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$. Elaboración propia (2026).

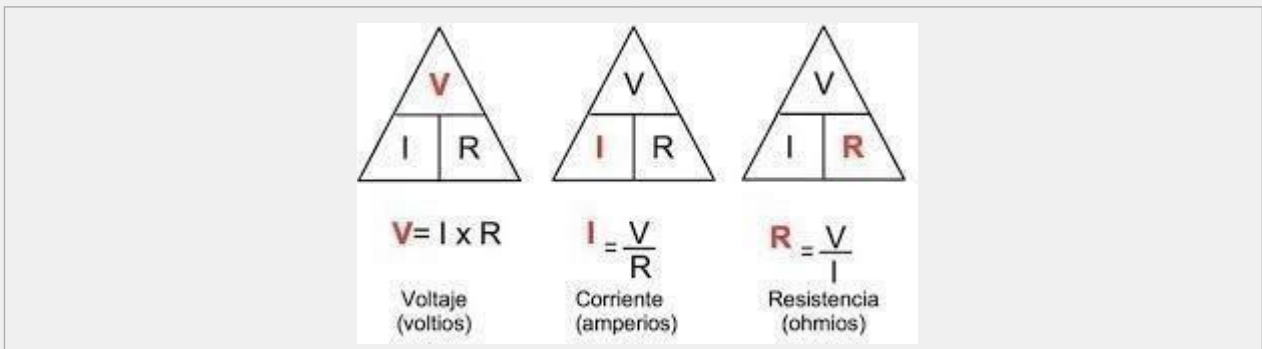


Figura 3. Fórmula de la Ley de Ohm ($V = I \times R$).

Figura 3. Fórmula de la Ley de Ohm ($V = I \times R$).

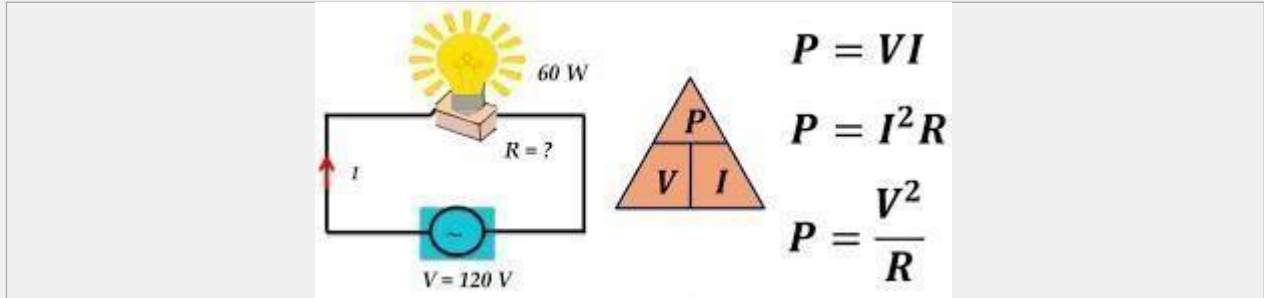


Figura 4. Fórmulas de potencia eléctrica.

Figura 4. Fórmulas de potencia eléctrica.

3.2 Diseño y Bocetaje

Se realizaron bocetos preliminares para definir la ergonomía y dimensiones finales del túnel. El sistema recibe energía de una fuente de 12 V, la cual se distribuye hacia el microcontrolador, sensores y actuadores, permitiendo el control y funcionamiento del prototipo.

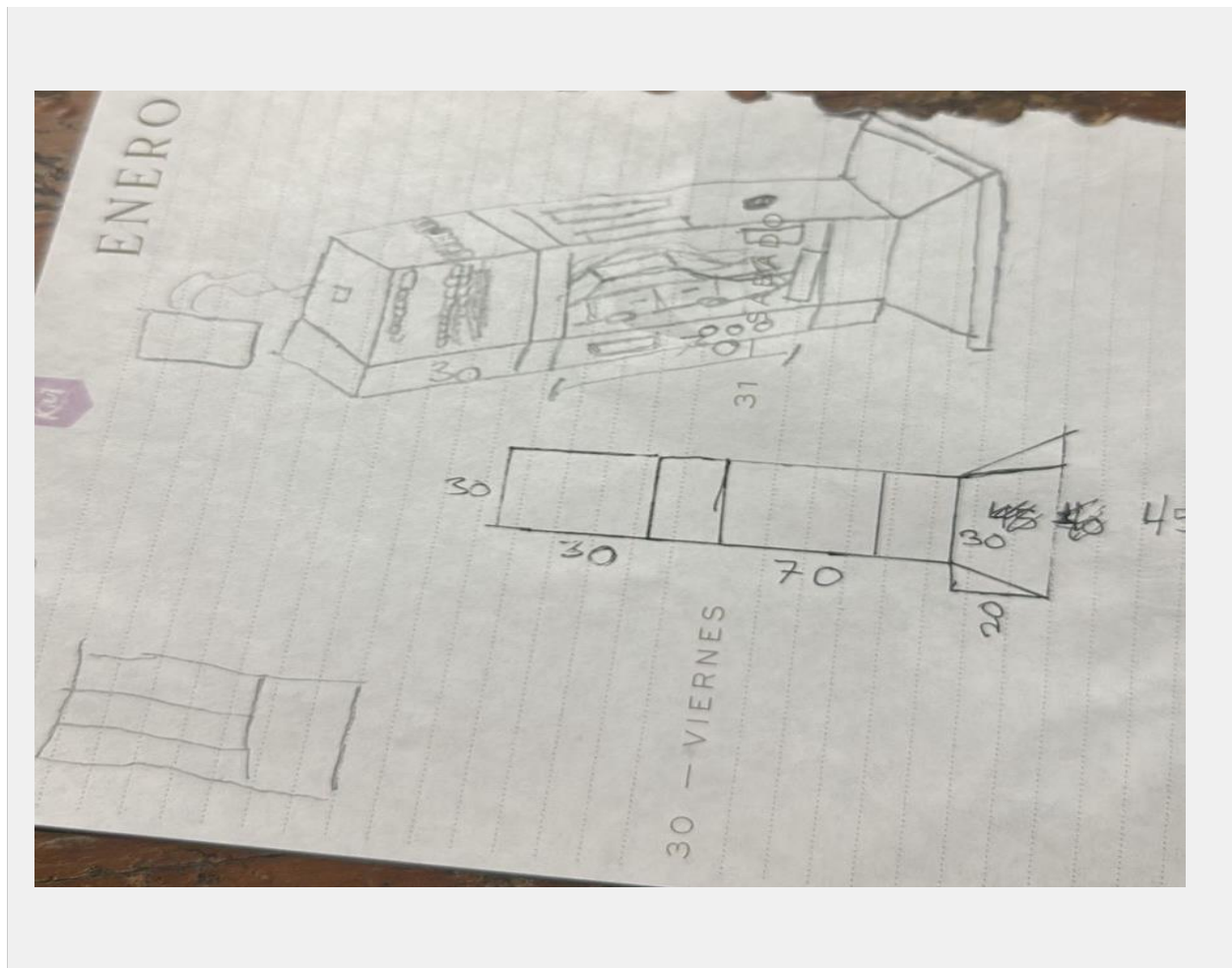


Figura 5. Boceto y diseño del túnel de viento. Elaboración propia (2026).

Tabla 7. Especificaciones de diseño y dimensiones por sección del túnel de viento a escala (cm)

Nº	Sección del túnel	Dimensiones (cm)	Material	Función y observaciones de diseño
1	Cámara de entrada	12 × 12 × 10 cm	MDF 3–5 mm	Toma el aire del ambiente. Se coloca la rejilla honeycomb en la cara de entrada para homogeneizar el flujo.
2	Zona de prueba	12 × 12 × 25 cm	MDF + acrílico 3 mm	Área donde se coloca el modelo 1:32. Las caras laterales en acrílico permiten observar el comportamiento del flujo visualmente.
3	Difusor / salida	12 × 12 × 10 cm	MDF 3–5 mm	Desacelera el aire gradualmente antes de la salida. El ventilador axial se monta en esta sección.

4	Sistema de propulsión	80 × 80 mm	Marco MDF + ventilador axial 12V	Ventilador axial que genera el flujo de aire. Se alimenta con fuente 12V regulada desde el microcontrolador.
5	Sistema electrónico	—	Arduino + sensores + protoboard	Microcontrolador que lee el sensor de velocidad y puede mostrar datos en pantalla LCD o monitor serial.

Nota. Dimensiones nominales; pueden ajustarse ± 0.5 cm durante la fabricación. Longitud total ensamblada estimada: ~45 cm. Elaboración propia (2026).

3.3 Lista de Piezas Principales y Secundarias

Tabla 8. Lista de piezas principales, secundarias y herramientas del túnel de viento a escala

Cód.	Nombre de la pieza	Categoría	Cant.	Material/Tipo	Función
A) PIEZAS PRINCIPALES — Estructura y Propulsión					
P-01	Panel lateral de cámara de entrada (par)	Estructura	2	MDF 3–5 mm	Forma las caras laterales de la sección de entrada y contiene el flujo.
P-02	Panel sup./inf. de cámara (par)	Estructura	2	MDF 3–5 mm	Cierra la parte superior e inferior de la cámara de entrada.
P-03	Paneles de zona de prueba (4 caras)	Zona de prueba	4	Acrílico transparente 3 mm	Permiten ver el flujo de aire y las geometrías ensayadas desde cualquier ángulo.
P-04	Panel de difusor / salida	Difusor	4	MDF 3–5 mm	Frenan el aire gradualmente antes de la salida del túnel.
P-05	Marco porta-ventilador	Propulsión	1	MDF 3–5 mm + perfil	Sostiene el ventilador axial de forma centrada y permite su desmontaje.
P-06	Ventilador axial 12V / 80 mm	Propulsión	1	Motor CA/CC	Genera el flujo de aire a través del túnel. Controlado por el microcontrolador.
B) PIEZAS SECUNDARIAS — Control, Medición y Ensamble					
S-01	Rejilla tipo panal (honeycomb)	Homogeneizador	1	Plástico rígido	Reduce la turbulencia del flujo en la entrada para garantizar flujo laminar.
S-02	Arduino Uno R3 (o clon)	Control	1	PCB microcontrolador	Cerebro del sistema. Lee sensores y controla el motor.
S-03	Sensor de velocidad (anemómetro)	Medición	1	Módulo electrónico	Mide la velocidad del flujo en tiempo real.
S-04	Fuente de alimentación 12V/2A	Eléctrico	1	Adaptador AC/DC	Alimenta el ventilador y el circuito electrónico.
S-05	Protoboard + cables jumper	Conexiones	1	Plástico + cobre	Permite armar el circuito sin soldadura. 100% reutilizable.
S-06	Silicón transparente estructural	Sellado	1	Cartucho 100 ml	Sella bordes y uniones entre secciones para evitar fugas de aire.
S-07	Tornillos M4 + tuercas (20pz)	Ensamble	1	Acero galvanizado	Unen los módulos de forma segura permitiendo desarmado rápido.
C) HERRAMIENTAS Y EQUIPO DE TALLER					
H-01	Sierra caladora eléctrica	Herramienta de corte	1	Eléctrica	Corte de paneles de MDF y acrílico a medida.
H-02	Taladro eléctrico + juego de brocas	Perforación	1	Eléctrico	Perforaciones para tornillos y orificios del sensor.

H-03	Multímetro digital	Medición eléctrica	1	Digital/manual	Verificación de voltaje, corriente y continuidad del circuito.
H-04	Cautín de 30W + estaño	Soldadura	1	Eléctrico	Para conexiones permanentes en el circuito electrónico.
H-05	Juego de destornilladores de precisión	Ensamble	1	Manual	Fijación de componentes electrónicos y ajuste de tornillos pequeños.
H-06	Laptop con IDE Arduino (gratis)	Programación	1	Software libre	Programar el Arduino y monitorear datos del sensor en tiempo real.

Nota. Códigos: P-XX = piezas principales; S-XX = piezas secundarias; H-XX = herramientas. Las herramientas del bloque C no representan costo adicional si el laboratorio ya las posee. Elaboración propia (2026).

CAPÍTULO IV. ELABORACIÓN, MEDICIÓN, DIAGRAMA DE FLUJO Y ENSAMBLADO

Este capítulo documenta el proceso físico de construcción del túnel de viento: desde la elaboración y corte de materiales hasta el ensamble final y las pruebas de funcionamiento.

4.1 Elaboración, Mediciones y Corte

La fase de elaboración consistió en trazar las dimensiones sobre las láminas de MDF, realizar los cortes necesarios con sierra caladora y verificar cada pieza contra las especificaciones de diseño del Capítulo III. Se empleó el multímetro para verificar el correcto funcionamiento del circuito eléctrico antes del ensamble.

Los paneles de acrílico se cortaron en las dimensiones indicadas para la zona de prueba (12 × 12 × 25 cm), garantizando transparencia total para la visualización del flujo.



Fotografía 1. Trazado y marcado sobre láminas de MDF. Elaboración propia (2026).



Fotografía 2. Proceso de corte con sierra caladora. Elaboración propia (2026).



Fotografía 3. Verificación de medidas con cinta métrica. Elaboración propia (2026).

4.2 Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración

El siguiente diagrama representa el proceso completo de construcción del túnel de viento, desde la planificación inicial hasta las pruebas finales de funcionamiento.

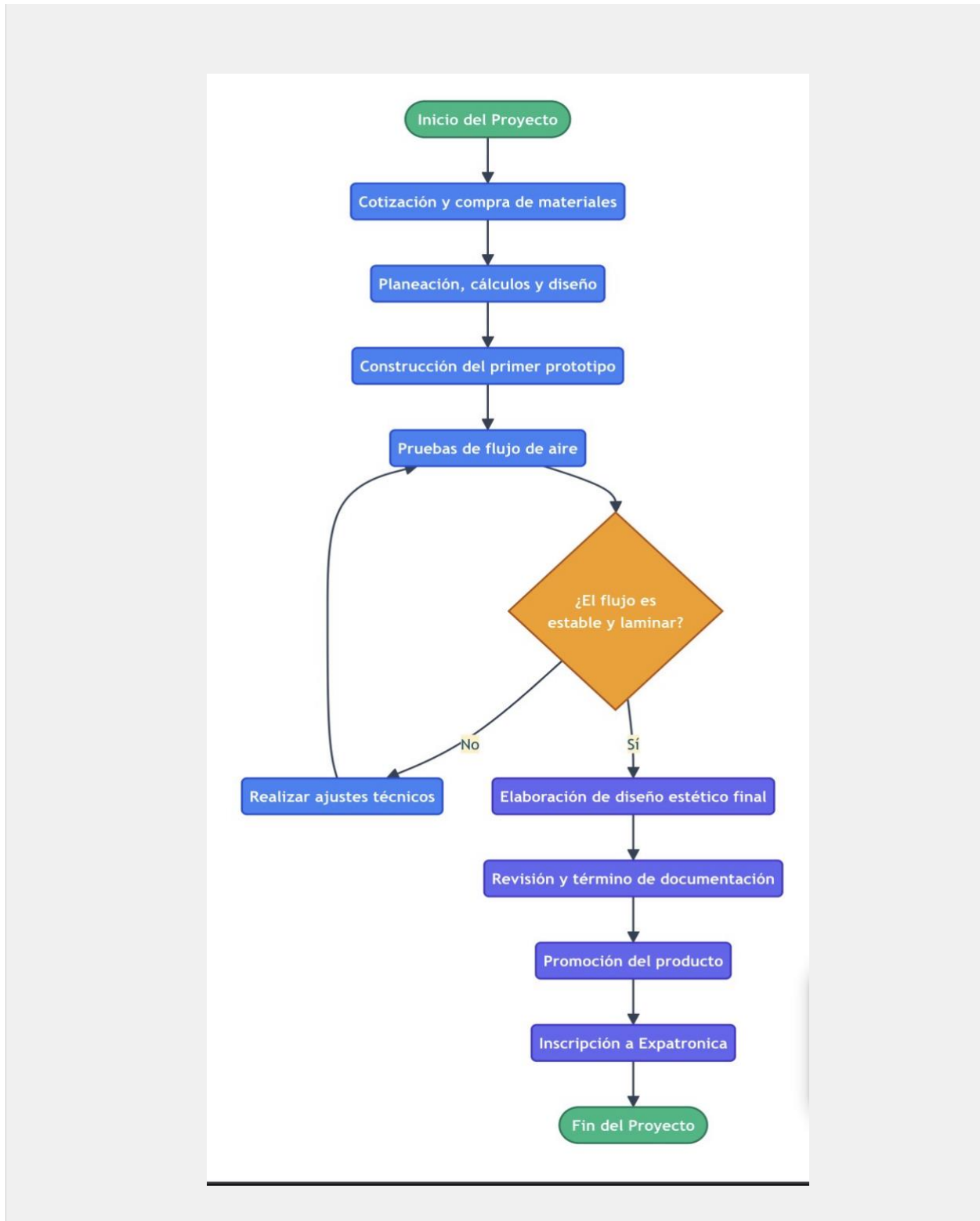


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del túnel de viento. Elaboración propia (2026).

INICIO
Revisión de diseño y medidas
Adquisición de materiales
Trazado y marcado en MDF
Corte de piezas (sierra caladora)
Perforaciones (taladro)
Ensamble con silicón y tornillos
Instalación del sistema eléctrico
Instalación del ventilador y rejilla
Pruebas de funcionamiento
¿Flujo correcto?
Ajustes y correcciones
Documentación y entrega
FIN

4.3 Ensamble, Armado y Pruebas Finales

El ensamble del túnel de viento se realizó uniendo las secciones principales (cámara de entrada, zona de prueba y difusor) mediante tornillos M4 y silicón transparente para el sellado hermético. El ventilador axial se instaló en el marco porta-ventilador y se conectó a la fuente de alimentación de 12V a través del circuito de control con Arduino.

Una vez ensamblado, se realizaron pruebas de encendido para verificar el flujo de aire y la estabilidad del funcionamiento. Se verificó visualmente la uniformidad del flujo en la zona de prueba utilizando humo o polvo fino para trazar las líneas de corriente.



Fotografía 4. Proceso de ensamble. Elaboración propia (2026).



Fotografía 5. Túnel de viento ensamblado — vista lateral. Elaboración propia (2026).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

5.1 Conclusión del Proyecto

El diseño y construcción del túnel de viento a escala 1:32 representa un logro significativo dentro del programa de Ingeniería Automotriz de la Universidad Modelo. Se demostró que es posible desarrollar una herramienta de análisis aerodinámico funcional con una inversión reducida (menos de \$1,000 MXN), utilizando materiales disponibles en Mérida, Yucatán.

Los principios de mecánica de fluidos estudiados teóricamente —continuidad, Bernoulli, número de Reynolds— fueron correctamente aplicados al dimensionamiento del túnel, selección del ventilador y diseño de la rejilla honeycomb. El sistema electrónico basado en Arduino permitió integrar la medición en tiempo real del flujo de aire.

Este proyecto cumple con los objetivos establecidos al inicio: proporcionar una herramienta educativa accesible, replicable e innovadora que fortalece las competencias técnicas y el pensamiento de ingeniería en los estudiantes.

5.2 Reflexión Individual

Torres Cervera Francisco

La elaboración de este proyecto me permitió aplicar conceptos de aerodinámica y mecánica de fluidos en un contexto real. El reto de diseñar con presupuesto limitado reforzó mi capacidad de resolución de problemas de ingeniería.

Bonilla Arroyo Hugo Elton

Coordiné la cotización y adquisición de materiales, lo cual me dio experiencia en gestión de proveedores y administración de presupuesto. El trabajo en equipo fue fundamental para cumplir con los tiempos del cronograma.

Blas León Miguel Ángel

Mi participación en la documentación y revisión del proyecto me permitió desarrollar habilidades de redacción técnica y comprensión integral del proceso de construcción de prototipos de ingeniería.

Ochoa Córdoba Jorge Arturo

Fui responsable de los cálculos y ecuaciones fundamentales del proyecto. Esta experiencia consolidó mi comprensión de la hidrodinámica y la importancia de la precisión matemática en el diseño de sistemas físicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J. D. (2017). Fundamentals of aerodynamics (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). Fluid mechanics: Fundamentals and applications (4.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Fox, R. W., Pritchard, P. J., & McDonald, A. T. (2015). Introduction to fluid mechanics (8.^a ed.). Wiley.
- Hucho, W. H. (1998). Aerodynamics of road vehicles. SAE International.
- NASA. (2023). What is aerodynamics? <https://www.nasa.gov>
- Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2019). Circuitos eléctricos (10.^a ed.). Pearson Educación.
- White, F. M. (2016). Fluid mechanics (8.^a ed.). McGraw-Hill Education.

ANEXO 1. DIAGRAMA DE GANTT

El siguiente diagrama de Gantt muestra la planificación de actividades, responsables y fechas del proyecto, desde el 20 de abril al 10 de junio de 2026.



Figura 7. Diagrama de Gantt — Cronograma del proyecto. Elaboración propia (2026).


Tabla 9. Cronograma detallado de actividades — Diagrama de Gantt

Etapa / Actividad	Encargado	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6
Cotización y compra de materiales	Hugo Bonilla	✓					
Planeación y construcción de primer prototipo	Hugo Bonilla	✓	✓				
Cálculos	Jorge Arturo	✓					
Elaboración de diseño estético final	Francisco Torres		✓	✓			

Revisión y término de documentación	Miguel Blas			✓	✓		
Pruebas y ajustes	Francisco Torres				✓		
Promoción del producto	Jorge Arturo					✓	✓
Inscripción a Expotrónica	Miguel Blas						✓


Nota. Fecha de inicio: 20/04/2026. Fecha de finalización: 10/06/2026. Cada semana corresponde aproximadamente a 7 días hábiles. Elaboración propia (2026).

ANEXO 2. EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DEL PASAPORTE


F_PROY_V1.0_III6_26

PASAPORTE DEL PROYECTO

Datos Generales	Fase conceptual	Validación interdisciplinaria	Cierre técnico
<p>Nombre de proyecto: TÚNEL DE VIENTO Veloz</p> <p>Nivel/Semestre Inicial (2º-4º) <input type="checkbox"/> Intermedio (5º-6º) <input type="checkbox"/> Terminal (7º-8º) <input type="checkbox"/></p> <p>Equipo: Miguel Ángel Blas Leon, Hugo Elton bonilla, Francisco Torres Cervera, Jorge Ochoa Cordova</p> <p>Atributo de Egreso (AE) de CACEI principal a Evaluar: AE APL CONC 1 <input type="checkbox"/> AE IDENTIFICACION Y SOLUCION DE PROBLEMAS 2 <input type="checkbox"/> AE DISEÑO DE SOLUCIONES 3 <input type="checkbox"/> AE INVESTIGACION 4 <input type="checkbox"/> AE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS MORDENAS 5 <input type="checkbox"/> AE EIN 6 <input type="checkbox"/></p>	<p>Autotónica: Fabricar un túnel de viento con la finalidad de instrumentarlo para medir parámetros como la velocidad del viento, la temperatura y la humedad del aire, así como la fuerza del arrastre y carga aerodinámica del vehículo de prueba por medio de sensores</p> <p style="text-align: right;"><i>Antonio</i> <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No Ing. Emmanuel Caamal Chan VoBo. Maestro de Materia</p> <p><i>Se requiere la capacitación y realización de pruebas y el registro de datos para el logro de este objetivo</i></p>	<p>ESTÁTICA: Evaluar el uso de los temas estática a través de un análisis de fuerzas sobre el vehículo antes y después del funcionamiento.</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No Dr. Alberto Gabriel Vega Pool VoBo. Maestro de Materia</p> <p>Algebra matricial y vectorial: Aplicar matrices para organizar y sistematizar las mediciones obtenidas en el túnel de viento, y utilizar vectores para representar e interpretar las variables del proyecto que admiten descripción vectorial con el fin de comunicar resultados coherentes y comparables entre si.</p> <p style="text-align: right;"><i>Fatima</i> Dr. Fatima Widman Aguayo VoBo. Maestro de Materia</p> <p>Proyectos II: Realización de documento (fase planeación determinación de objetivos, antecedentes de investigación calendarización de actividades, bocetaje o diseño, cálculos, recursos a utilizar, diagramas, pruebas y mediciones, conclusiones).</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No Mtra. Vanessa Cob Gutiérrez VoBo. Maestro de Materia</p>	<p><i>A llenar por el profesor titular de la materia de Proyectos o el Evaluador Externo (GI).</i></p> <p>Nivel de logro del AE seleccionado: <input type="checkbox"/> Insuficiente: El proyecto funciona por azar o carece de sustento. No hay dominio de conceptos.</p> <p><input type="checkbox"/> En Desarrollo: El proyecto tiene bases teóricas pero fallas en la implementación o validación.</p> <p><input type="checkbox"/> Satisfactorio: El proyecto demuestra aplicación correcta de ingeniería, costos y diseño. (Nivel esperado).</p> <p><input type="checkbox"/> Sobresaliente: Innovación clara, rigor técnico impecable y validación externa positiva.</p> <p>DICTAMEN FINAL DEL PASAPORTE <input type="checkbox"/> Proyecto validado <input type="checkbox"/> Proyecto en riesgo con observaciones finales <input type="checkbox"/> Proyecto no cumple criterios ingenieriles</p>
	<p>Sistemas de Gestión de Calidad: identifica el proceso cualitativo, y su impacto en la empresa. Tiene claridad del proceso de calidad</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No VoBo. Maestro de Materia</p>	<p>Sistemas de Gestión de Calidad: identifica el proceso cualitativo, y su impacto en la empresa. Tiene claridad del proceso de calidad</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No VoBo. Maestro de Materia</p>	


F_PROY_V1.0_III6_26

<p>AE ETICA PROFESIONAL 7 <input type="checkbox"/> AE TRABAJO EN EQUIPO 8 <input type="checkbox"/> AE COMUNICACIÓN 9 <input type="checkbox"/></p> <p><i>Este pasaporte existe para asegurar que tu proyecto es técnicamente válido, viable y propio de la ingeniería.</i></p>	<p>El proyecto NO será autorizado para la fase de construcción/implementación sin esta sección validada.</p> <p>Riesgo técnico: Bajo / Medio / Alto</p> <p style="text-align: center;"><i>MDN. VANESSA COB GUTIÉRREZ</i> VoBo Profesor PROYECTOS VI</p>	<p>Sistemas de Gestión de Calidad: identifica el proceso cualitativo, y su impacto en la empresa. Tiene claridad del proceso de calidad</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No VoBo. Freddy Catzin</p>	
---	---	--	--

Comentarios Finales

Anotaciones: Cada Vo.Bo. aprobado es un sello de frontera. / El pasaporte dice si el proyecto es válido. La materia decide cuánto vale en puntos.