

Universidad Autónoma de
Chihuahua

Facultad de Ingeniería

MANUAL DE PRACTICAS DE
LABORATORIO DE AEROFLUIDOS

Laboratorio de
Ingeniería Aeroespacial



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Aerofluidos

Práctica #1

Profesor: M.C. Eloy Normando Márquez González

PRÁCTICA 01: MEDICION DE VOLTAJE, RESISTENCIA, AMPERAJE Y GENERACION Y ANALISIS DE SEÑALES

1. OBJETIVO

En esta práctica aprenderemos a utilizar el equipo VirtualBench de National Instruments con el fin de aprender conceptos básicos de electrónica, así como también, a utilizar herramientas para la medición de voltaje, amperaje, resistencia y la generación y análisis de señales.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Investigar los siguientes conceptos:

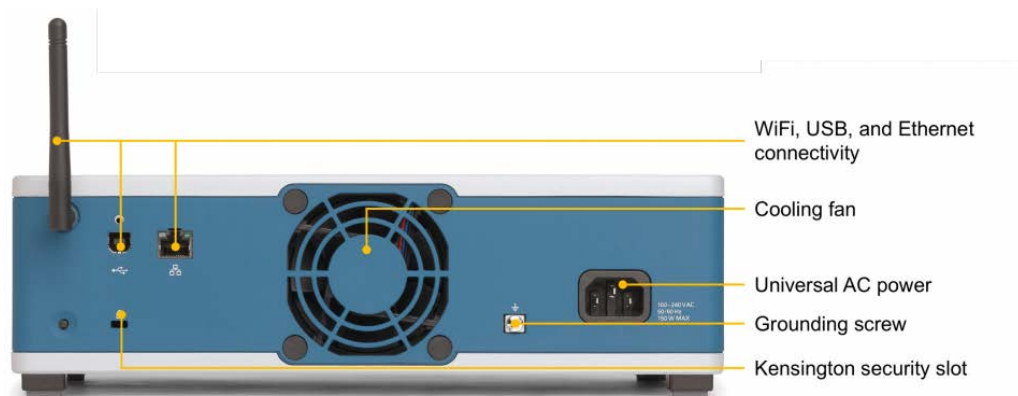
- Voltaje
- Resistencia
- Amperaje
- Señal eléctrica
 - Definición
 - Tipos de señales analógicas y digitales
 - Oscilador
 - Ondas senoidales
 - Ondas cuadradas y rectangulares
 - Ondas triangulares y en diente de sierra.
 - Pulsos y flancos o escalones.
 - Periodo y frecuencia
 - Fase
 - Ruido
 - Representación grafica
 - Transformada de Fourier
- Corriente Alterna, Corriente Directa y Polaridad.
- Osciloscopio
 - Tipos sondas
 - Compensación de la sonda
- Multímetro Digital
 - Medición de voltaje AC y DC.
 - Medición de amperaje
 - Medición de resistencias
- Generador de señales
- Fuente de poder
- Medición
 - Desviación normal
 - Error

3. EQUIPO Y MATERIALES

- National Instruments VirtualBench
- FGEN BNC Male to Micrograbber
- BNC Cable, 50 Ohm Male to Male
- Cables de multímetro (DMM probes)
- Sonda del osciloscopio
- Resistencias variadas

4. PROCEDIMIENTO

- Conectar la VirtualBench a la corriente por medio del cable de A/C y al PC usando el cable USB.



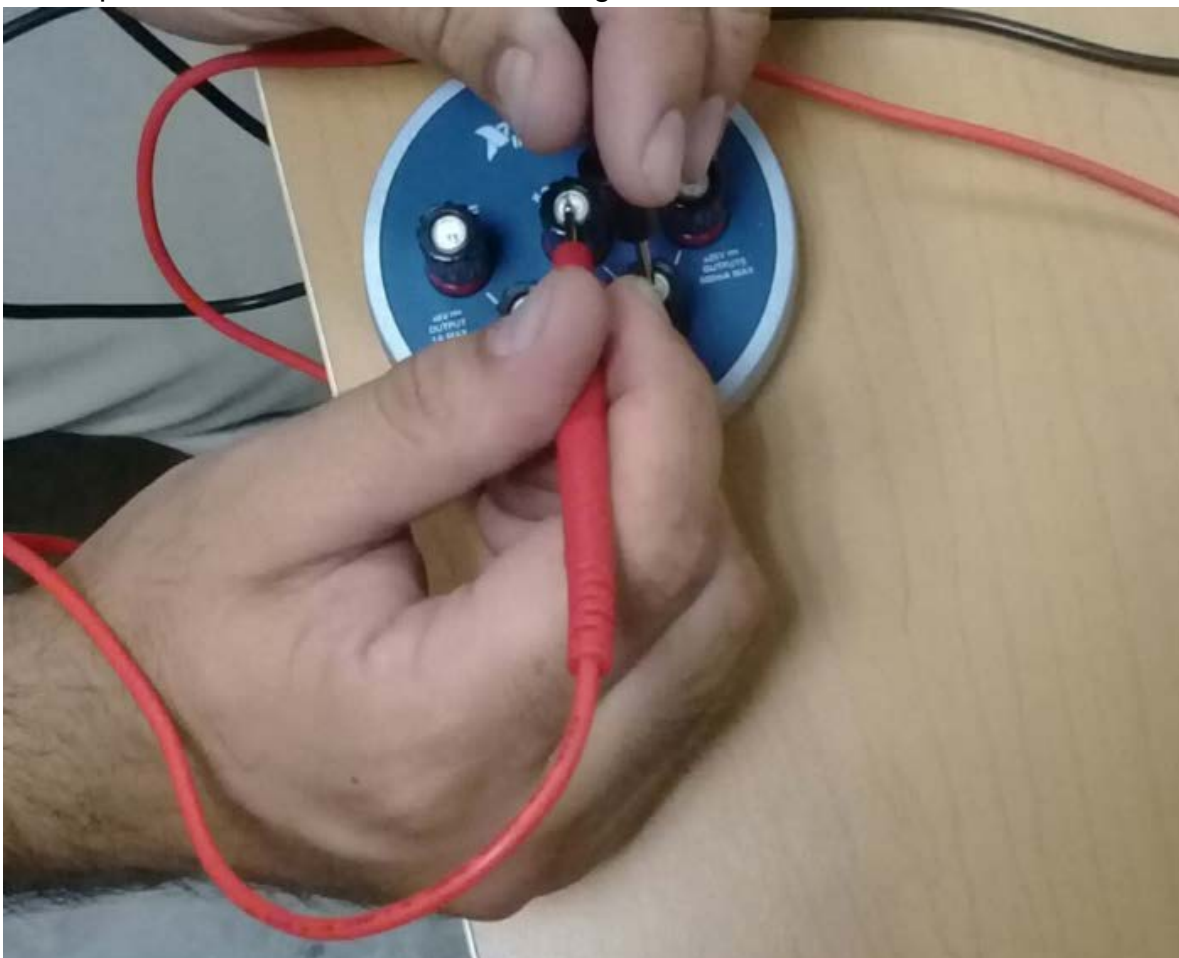
- Automáticamente se abrirá un software en la PC.
- Conectar el regulador de voltaje.



- Colocar las puntas del multímetro de la siguiente manera para realizar la medición de voltaje.

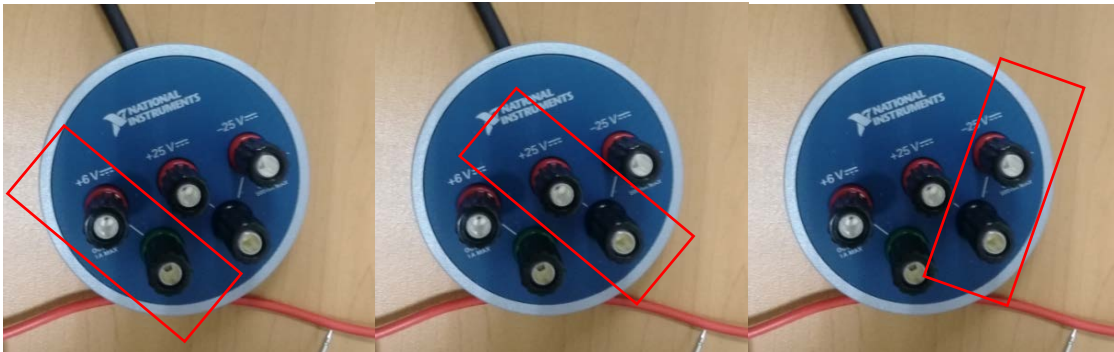


- Con CUIDADO de no hacer un puente eléctrico entre los polos negativo y positivo, realizar las mediciones según se determine en la clase.





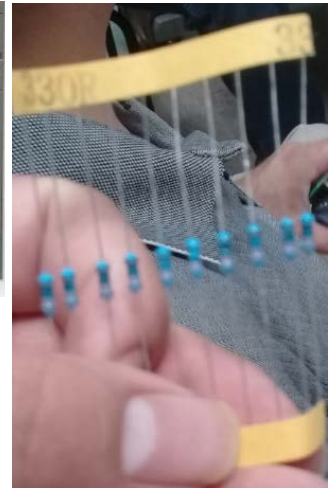
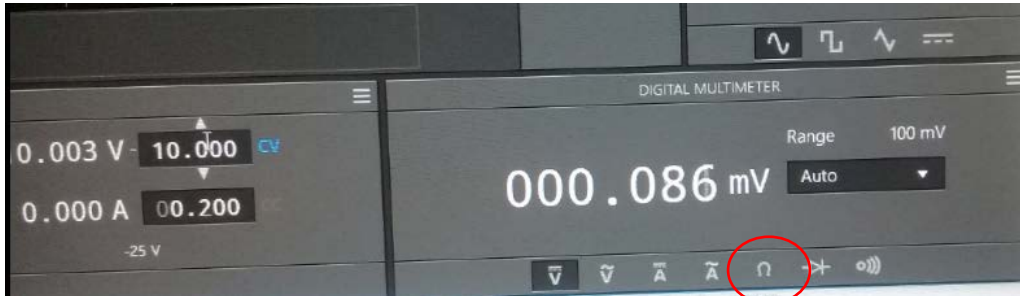
Según las terminales que toquemos con nuestras puntillas será el voltaje que recibiremos, en este caso todos los voltajes estaban en 5 voltios solo el último en -5 voltios y las puntillas se colocarían en su color de la siguiente manera.



- Verificar que se está midiendo voltaje y revisar los datos recibidos en la interfaz y corroborar que sean los correctos.



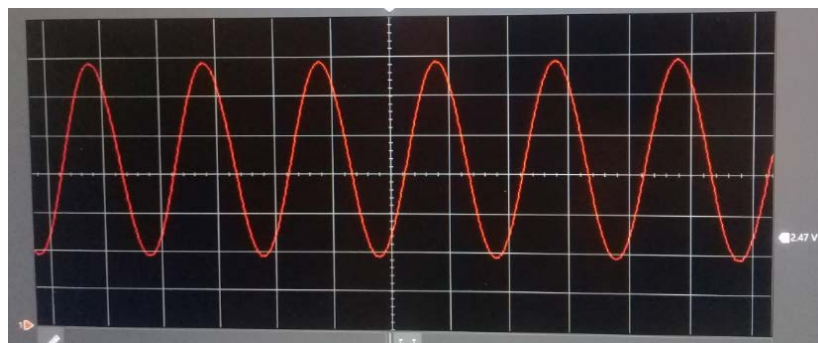
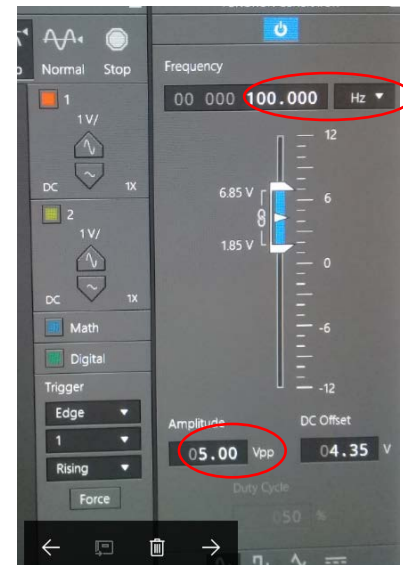
- Para medir los valores de las resistencias hay que de cambiar la función del multímetro mediante el software para medir resistencia (Ohm). Tomando cada una de las resistencias y haciendo coincidir cada extremo de la resistencia con alguna punta de multímetro se puede medir su valor.



- Para medir amperaje, las puntas del multímetro se tienen que cambiar de lugar y se conectan de la siguiente manera. CUIDADO: si no se cambian las puntas, el equipo hará un puente eléctrico causando daño al equipo.



- Por último, se hace uso de un generador de señales para comprobar los términos de señales eléctricas investigados. Para esto se deberán conectar los FGEN BNC Male to Micrograbber de la siguiente manera:



Así es como debería observarse una señal senoidal de 5 V a 100 kHz.

5. DATOS Y OBSERVACIONES

Medir lo siguiente:

- Para el voltaje se van a hacer 5 mediciones de la fuente de poder a 5 V, 1 V, 0.1V y .01 V.
- Para la resistencia se van a medir todos los componentes de la tira de resistencias para 3 valores diferentes.
- Para el amperaje se van a hacer 5 mediciones de la fuente de poder a 1.0 A, 0.5 A, 0.1 A y .01 A.

El reporte debe contener tablas con los datos tomados, cálculo de la desviación normal y el error.

Con el generador de señales van a generar una función senoidal, una cuadrada y una triangular, ejemplificando los conceptos de amplitud, frecuencia y periodo.

6. MATERIAL DE APOYO

National Instruments tiene videos educaciones en un canal de YouTube dedicado al VirtualBench en la siguiente liga:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLlys7J2EbeEnWc2Jpzzou1-nOwb2SbaT>

En las siguientes ligas se puede encontrar más información del VirtualBench.

<http://www.ni.com/pdf/product-flyers/virtualbench-all-in-one-instrument.pdf>

<http://www.ni.com/virtualbench/>



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Aerofluidos

Práctica #2

Profesor: M.C. Eloy Normando Márquez González

PRÁCTICA 02: SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS Y USO DE SENSORES

1. OBJETIVO

En esta práctica aprenderemos a utilizar tablillas Arduino (Mega, Uno, etc.), sensores y software asociado con el fin de integrar un sistema de adquisición de datos electrónico. Durante esta práctica se van a aprender conceptos básicos sobre microcontroladores, tipo de sensores, compiladores y teoría sobre medición.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Investigar los siguientes conceptos:

1. Tablillas Arduino
 - a. Precedentes
 - b. Comparar capacidades de Arduino Uno, Leonardo, Micro, Nano, Mega 2560, Due y Lilypad.
 - c. Licencia MIT
2. Sensores
 - a. Transductores, filtros (band pass-stop, high pass y low pass) y amplificadores
 - b. Tipos de señales (mecánica, térmica, eléctrica, magnética, radiación, química)
 - c. Tipo de señales de los sensores (analógica vs digital)
 - d. Sensores pasivos vs sensores activos
 - e. Uso, ventaja y desventaja de los siguientes sensores:
 - Posición analógicos: Potenciómetros, resolver, sincro, LVDT
 - Posiciones digitales: Encoders
 - Velocidad: tacó-generador, encoder, ópticos
 - Aceleración: ópticos, MEMS, por fuerza, piezoeléctricos
 - Proximidad: inductivos, efecto Hall, capacitivos, ultrasónicos, ópticos
 - Contacto: binario, analógicos, piel digital
 - Fuerza y torsión: muñeca, galgas de deformación, piezoeléctricos
 - Temperatura: RTDs y termopares
 - f. Tipo de sensores disponibles para Arduino
 - g. Software (librerías)
3. Medición
 - a. Desviación normal
 - b. Desviación de la media
 - c. Varianza
 - d. Error
 - e. Errores de la medición
 - Sistemáticos
 - Aleatorios

- f. Tipos de medición (directa, indirecta, cuantitativa, cualitativa)
- g. Características estáticas
 - Rango (range)
 - Resolución (discrimination)
 - Exactitud (accuracy)
 - Precisión/repetitividad
 - Reproducibilidad
 - Linealidad
 - Sensibilidad
 - Error
 - Ruido
 - No linealidades
 1. Saturación
 2. Zona muerta
 3. Histéresis
 - Excitación
 - Estabilidad
- h. Características dinámicas
 - Tiempo de retardo
 - Tiempo de subida
 - Tiempo de pico
 - Pico de sobre-oscilación
 - Tiempo de establecimiento
 - Velocidad de respuesta
 - Respuesta frecuencial
 - Estabilidad
- i. Proceso y curva de calibración

3. EQUIPO Y MATERIALES

1. Tablilla Arduino
2. Protoboard
3. Jumper wires
4. Sensores

4. PROCEDIMIENTO

- Leer la introducción a Arduino: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Instalar el Arduino Destop IDE: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
- Leer que son las librerías: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Libraries>
- Leer que son los cores: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Cores>
- Instalar el core para trabajar con tablillas Elegoo e instalar las librerías necesarias de los sensores por utilizar: <https://www.elegoo.com/download/>
- Para cada uno de los sensores de la practica:
 - a. Revisar la documentación del sensor
 - b. Dibujar el circuito eléctrico
 - c. Hacer un programa en la plataforma Arduino IDE
 - d. Pedir al profesor la revisión del circuito y el programa
 - e. Con la aprobación del profesor cargar el programa al Arduino.
 - f. Llevar a cabo una calibración del sensor
 - g. Tomar varios datos para evaluar las características del sensor (3.G o 3.H).
- Repetir estos pasos para el sensor ultrasónico HCSR04, sensor de temperatura y humedad DHT11, RTD y sensor de Luz.

5. DATOS Y OBSERVACIONES

Medir lo siguiente:

- d. Para el sensor de distancia ultrasónico calibrar el sensor usando la regla con 5 mediciones a 1 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm y 20 cm.
- e. Para el sensor de humedad y temperatura, tomar 20 datos a temperatura ambiente, después otras 20 medidas cubriendo ligeramente el sensor con la palma de la mano.
- f. Para la resistencia se van a medir todos los componentes de la tira de resistencias para 3 valores diferentes.
- g. Repetir el paso c para el sensor RTD y el sensor de luz.

El reporte debe contener tablas con los datos tomados con el cálculo de la desviación normal, desviación de la media, varianza, el error. Para cada sensor utilizado se debe incluir la curva de calibración y las características dinámicas o estáticas.

6. MATERIAL DE APOYO

Existe una gran cantidad de información sobre Arduino en su sitio web: <https://www.arduino.cc>

Para problemas comunes visitar: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting>

Elegoo: <https://www.elegoo.com>

Adafruit: <https://www.adafruit.com/>

Ideas de proyectos: <https://circuitdigest.com/arduino-projects>

<https://www.instructables.com/id/Arduino-Projects/>

<https://www.hackster.io/arduino/projects>

<https://howtomechatronics.com/arduino-projects/>

<https://create.arduino.cc/projecthub/projects/tags/diy>

<https://www.makeuseof.com/tag/10-great-arduino-projects-for-beginners/>

<https://maker.pro/arduino/projects>



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Aerofluidos

Práctica #3

Profesor: M.C. Eloy Normando Márquez González

PRÁCTICA 03: CALIBRACION DEL DINAMOMETRO Y EL TRASDUCTOR DE PRESION

1. OBJETIVO

En esta práctica aprenderemos a utilizar el dinamómetro de dos ejes, el transductor de presión y un tubo Pitot, con el fin de caracterizar la velocidad del fluido en la sección de pruebas del túnel de viento y medir el arrastre una esfera lisa. Durante esta práctica se van a aprender conceptos básicos sobre métodos de calibración, medición de fuerzas aerodinámicas, cálculo de coeficientes aerodinámicos y la comprobación de la ecuación de Bernoulli.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Investigar los siguientes conceptos:

- Calibración
 - ¿Qué es la calibración de un instrumento?
 - ¿Por qué es importante la calibración de un instrumento?
 - ¿Qué factores afectan la calibración de un instrumento?
- Definición de interpolación y regresión, así como sus diferencias
 - Regresión lineal por el método de mínimos cuadrados
 - Tipos de regresiones no lineales (4 tipos)
 - Coeficiente de determinación
 - Variancia residual
 - Métodos de regresión: linear, cuadrática, exponencial y polinómica
 - Predicción, interpolación y extrapolación
- Ecuación de Bernoulli
 - Presión estática
 - Presión dinámica
 - Presión total
- Manómetro por columna de agua y su relación a la ecuación hidrostática
- Transductor de presión
 - Información general y operación del “MKS Baratron type 229H”
- Balance/dinamómetro de dos ejes
- Tubo Pitot
 - Simple Pitot tube
 - Static source
 - Pitot-static tube
- Buenas prácticas en el uso de pesas calibradoras
- Cálculo de la densidad del aire con corrección por temperatura y humedad (ver material de apoyo)

3. EQUIPO Y MATERIALES

- Sistema de instrumentación de levante, arrastre y diferencial de presión
- Balance (o dinamómetro) de dos ejes para el túnel de viento
- Juego de pesas calibradoras Ohaus (100, 50, 30, 20 y 10 gramos)
- Manómetro calibrador
- Manguera flexible transparente
- Cilindro de bronce con puerto de presión
- Extensión eléctrica
- Desarmador de paleta y llaves Allen

4. PROCEDIMIENTO

- Sacar el equipo mencionado y ponerlo sobre la mesa de trabajo del túnel de viento.
- Calibrar el balance/dinamómetro de dos ejes, siguiendo el procedimiento descrito en el manual de usuario de ELD (Engineering Laboratory Design Inc.).
 - a. Las pesas calibradoras NO se deben de tocar con la mano, debido que la grasa y la suciedad dactilar afectan su peso, reduciendo la precisión de la calibración.
 - b. Para poder colgar las pesas al dinamómetro hay que usar un tornillo Allen y la barra metálica que facilite colgar las pesas. Las pesas se cuelgan usando el ojal en el cabo opuesto a la pesa.
 - c. Hay que reducir la oscilación de la pesa al mínimo, esto se logra tocando suavemente el hilo con una pluma u otro objeto. Aun así, la pesa tendrá una oscilación diminuta, la cual hay que esperar a que se reduzca a cero antes de tomar la lectura.
- Calibrar el transductor de presión, siguiendo el procedimiento descrito en el manual de usuario de ELD (Engineering Laboratory Design Inc.).
 - a. El límite del equipo es 10 pulgadas de agua. **NO EXCEDER ESTE LIMITE O EL EQUIPO SUFRIRA DAÑO.**
 - b. Usar un cono de papel y agua purificada/filtrada y llenar ambas columnas hasta la marca de 5".
 - c. Esperar 10 minutos a que el instrumento se caliente antes de tomar las lecturas de presión.
- Una vez calibrado el equipo se procede a caracterizar la velocidad del aire dentro de la sección de pruebas.
 - a. Colocar el cilindro de bronce con el puerto de presión perpendicular al flujo (para medir la presión total) teniendo mucho cuidado en no rayar las paredes del túnel.

- b. La base de acrílico del cilindro tiene una marca roja, la cual se debe de alinear con la marca de 0 grados en el transportador pegado en el costado del túnel.
- c. El puerto de presión estática ubicado flujo arriba en el piso de la sección de pruebas.
- d. Cerciorarse que los orificios del túnel estén clausurados. Revisar que la tapa de acrílico del balance este colocada en el piso del túnel, que los seguros de la tapa superior de la sección de pruebas estén cerrados y los tornillos de la placa de capa limite estén colocados en su posición y no haya fugas de aire.
- e. Conectar las mangueras de presión total y presión estática al instrumento de medición y a los puertos correspondientes en el túnel de aire.
- f. Aumentando la velocidad del motor del túnel en incrementos de 5 Hz medir la presión dinámica (presión dinámica = Presión total – presión estática), **SIN SOBREPASAR LAS 10" DE AGUA DEL LIMITE DEL INSTRUMENTO**. La última medición debe de hacerse a la frecuencia del variador donde corresponda las 10" de agua.
- Una vez caracterizada la velocidad del túnel de viento en la sección media del área de pruebas, hay que instalar el dinamómetro de dos ejes y medir el coeficiente de arrastre de una esfera con superficie lisa.
 - a. Remover el equipo anterior y poner la tapa redonda de acrílico en el costado de la sección de pruebas.
 - b. Remover la tapa de acrílico del dinamómetro en el piso de la sección de pruebas.
 - c. Instalar el dinamómetro usando los mismos tornillos (2) de la tapa de acrílico.
 - d. Cambiar la barra metálica en caso de ser necesario para poder instalar la esfera lisa.
 - e. Limpiar con un paño de microfibra y un poco de agua la esfera lisa e instalarla sin tocarla directamente con los dedos en el dinamómetro.
 - f. Medir los valores del arrastre de 0 a 50 Hz en incrementos de 5 Hz. Esperar hasta que la lectura se estabilice y tomar 5 medidas en cada posición para poder calcular la estadística de las medidas.

5. DATOS Y OBSERVACIONES

Medir lo siguiente (5 medidas por posición):

- h. Los valores arrojados en la calibración del dinamómetro.

- i. Los valores arrojados en la calibración del transductor de presión.
- j. La presión dinámica del túnel vs Hz del motor, luego convertirlo a Velocidad vs Hz usando las condiciones atmosféricas del día de la práctica. Corregir los datos usando la humedad relativa y la presión del aire de la página web www.accuweather.com. La corrección la pueden hacer siguiendo la siguiente página: https://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html
- k. Finalmente, medir los valores del arrastre para la esfera lisa y comprarlos con los resultados de la figura 6.11 del libro “Fundamentals of Aerodynamics” de John D. Anderson (5ta edición).

El reporte debe contener tablas con los datos tomados con el cálculo de la desviación normal, desviación de la media, varianza, el error y cualquier otro valor estadístico relevante. Para cada sensor utilizado se debe incluir la curva de calibración, su ecuación y el R^2 .

6. MATERIAL DE APOYO

Corrección de la densidad: https://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html

Documento que explica la corrección de densidad:
https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/85/jresv85n1p27_A1b.pdf

Tres métodos para la corrección de densidad:
https://www.bipm.org/utis/en/pdf/Density_of_moist_air.pdf

Manual de usuario del túnel de viento de ELD (Engineering Laboratory Design Inc.).



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Aerofluidos

Práctica #4

Profesor: M.C. Eloy Normando Márquez González

PRÁCTICA 04: MEDICION DE LEVANTE Y ARRASTRE DE ALAS

1. OBJETIVO

En esta práctica aprenderemos a utilizar el dinamómetro de dos ejes, el transductor de presión, un tubo Pitot y el sistema de posicionamiento, con el fin de caracterizar las fuerzas aerodinámicas ejercidas en alas a diferentes velocidades. Durante esta práctica se van a aprender conceptos básicos sobre medición de fuerzas aerodinámicas, cálculo de coeficientes aerodinámicos, la conservación de masa y la conservación de momento.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Investigar los siguientes conceptos:

- Sistema de nomenclatura NACA
 - NACA 0012
 - NACA 4412
- Coeficientes aerodinámicos
 - Teorema Buckingham Pi y análisis dimensional
 - Numero de Mach
 - Numero de Reynolds
 - Numero de Prandtl
 - Coeficiente de arrastre para un ala y para un perfil
 - Coeficiente de levante para un ala y para un perfil
 - Curvas polares de perfiles y alas
 - Eficiencia aerodinámica o razón levante/arrastre
- Ecuaciones generales
 - Conservación de masa
 - Conservación de energía
 - Determinación del arrastre a través de la conservación de masa y energía
- Métodos computacionales para dinámica de fluidos
 - Lifting line theory
 - Vortex lattice method
 - 3D panel method
 - Comparación entre los métodos (dimensionalidad, limitaciones, ventajas y desventajas)
 - XFRL5

3. EQUIPO Y MATERIALES

- Sistema de instrumentación de levante, arrastre, diferencial de presión y posicionamiento
- Balance (o dinamómetro) de dos ejes para el túnel de viento
- Juego de alas NACA 0012 y NACA 4412
- Sistema de posicionamiento
- Juego de pesas calibradoras Ohaus (100, 50, 30, 20 y 10 gramos)
- Manómetro calibrador
- Manguera flexible transparente
- Tubo Pitot
- Extensión eléctrica
- Desarmador de paleta y llaves Allen

4. PROCEDIMIENTO

- Sacar el equipo mencionado y ponerlo sobre la mesa de trabajo del túnel de viento.
- Calibrar el balance/dinamómetro de dos ejes, siguiendo el procedimiento descrito en el manual de usuario de ELD (Engineering Laboratory Desing Inc.).
 - Las pesas calibradoras NO se deben de tocar con la mano, debido que la grasa y la suciedad dactilar afectan su peso, reduciendo la precisión de la calibración.
 - Para poder colgar las pesas al dinamómetro hay que usar un tornillo Allen y la barra metálica que facilite colgar las pesas. Las pesas se cuelgan usando el ojal en el cabo opuesto a la pesa.
 - Hay que reducir la oscilación de la pesa al mínimo, esto se logra tocando suavemente el hilo con una pluma u otro objeto. Aun así, la pesa tendrá una oscilación diminuta, la cual hay que esperar a que se reduzca a cero antes de tomar la lectura.
- Calibrar el transductor de presión, siguiendo el procedimiento descrito en el manual de usuario de ELD (Engineering Laboratory Desing Inc.).
 - El límite del equipo es 10 pulgadas de agua. **NO EXCEDER ESTE LIMITE O EL EQUIPO SUFRIRA DAÑO.**
 - Usar un cono de papel y agua purificada/filtrada y llenar ambas columnas hasta la marca de 5".
 - Esperar 10 minutos a que el instrumento se caliente antes de tomar las lecturas de presión.
- Una vez calibrado el equipo se procede a medir las fuerzas aerodinámicas en el ala NACA 0012 (simétrica).

- Instalar la barra cromada con perforaciones laterales que se usan para montar alas en el dinamómetro teniendo cuidado de no atorar la barra o de abusar de los sensores de fuerza.
- Colocar el ala teniendo mucho cuidado en no rayar las paredes del túnel.
- El ángulo del perfil con respecto al flujo se debe de medir usando la cuerda del ala. Se pueden ayudar del transportador que esta en la ventana.
- Cerciorarse que los orificios del túnel estén clausurados. Revisar que los tornillos del balance en el piso del túnel estén apretados, que los seguros de la tapa superior de la sección de pruebas estén cerrados y los tornillos de la placa de capa limite estén colocados en su posición y no haya fugas de aire.
- Medir la fuerza de arrastre y levante siguiendo las indicaciones de la sección de “Datos y observaciones”.
- Se procede a medir las fuerzas aerodinámicas en el ala NACA 4412 (no simétrica).
 - Remover el ala anterior y colocar el ala teniendo mucho cuidado en no rayar las paredes del túnel.
 - El ángulo del perfil con respecto al flujo se debe de medir usando la cuerda del ala. Se pueden ayudar del transportador que está en la ventana.
 - Cerciorarse que los orificios del túnel estén clausurados. Revisar que los tornillos del balance en el piso del túnel estén apretados, que los seguros de la tapa superior de la sección de pruebas estén cerrados y los tornillos de la placa de capa limite estén colocados en su posición y no haya fugas de aire.
 - Medir la fuerza de arrastre y levante siguiendo las indicaciones de la sección de “Datos y observaciones”.
- Estimación del arrastre por el método de la conservación de masa y momento
 - Remover la tapa superior del túnel de viento e instalar el sistema de posicionamiento.
 - Calibrar el sistema de posicionamiento siguiendo el procedimiento descrito en el manual de usuario de ELD (Engineering Laboratory Desing Inc.).
 - Instalar el tubo Pitot en el brazo del sistema de posicionamiento.
 - Conectar las mangueras de presión total y presión estática al instrumento de medición y a los puertos correspondientes en el tubo Pitot.
 - Medir la diferencia de presión (perfil de velocidad) siguiendo las indicaciones de la sección de “Datos y observaciones”.

5. DATOS Y OBSERVACIONES

Medir lo siguiente (5 medidas por posición):

- Los valores arrojados en la calibración del dinamómetro.
- Los valores arrojados en la calibración del transductor de presión.
- Para el ala NACA 0012, medir la fuerza de levante y arrastre para un ángulo de ataque a 0, 5, 10, 15 y 20 grados (± 1 grado de error, reportar la medida real a la hora de hacer el experimento) para 3 velocidades de flujo (a 10, 20 y 30 Hz de frecuencia del motor).
- Para el ala NACA 4412, medir la fuerza de levante y arrastre para un ángulo de ataque a -10, -5, 0, 5, 10, 15 y 20 grados (± 1 grado de error, reportar la medida real a la hora de hacer el experimento) para 1 velocidad de flujo (a 20 Hz de frecuencia del motor).
- Para la determinación del arrastre por el método de la conservación de masa y momento, medir el perfil de velocidad en un plano 30 cm flujo abajo a partir del borde de entrada del ala. Las lecturas se deberán hacer empezando en la superficie superior, luego a cada centímetro hacia abajo hasta llegar al piso del túnel de viento.
- Corregir los datos usando la humedad relativa y la presión del aire de la página web www.accuweather.com. La corrección la pueden hacer siguiendo la siguiente página: https://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html
- Finalmente, utilizar XFRL5 para calcular las polares aerodinámicas para C_L , C_D y C_L/C_D un ala de las mismas características (cuerda, grosor y envergadura) usando el mismo número de Reynolds y ángulo de ataque para cada experimento.

El reporte debe contener tablas con los datos tomados con el cálculo de la desviación normal, desviación de la media, varianza, el error y cualquier otro valor estadístico relevante. Para cada sensor utilizado se debe incluir la curva de calibración, su ecuación y el R^2 .

Las gráficas de los datos obtenidos y los polares deben de contener título, nombre eje vertical, eje horizontal, unidades y leyenda. Para cada ala utilizada, comparar en una gráfica los polares obtenidos experimentalmente contra los polares obtenidos de la simulación.

6. MATERIAL DE APOYO

Corrección de la densidad: https://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html

Documento que explica la corrección de densidad:
https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/85/jresv85n1p27_A1b.pdf

Tres métodos para la corrección de densidad:
https://www.bipm.org/utls/en/pdf/Density_of_moist_air.pdf

Manual de usuario del túnel de viento de ELD (Engineering Laboratory Desing Inc.).

XFRL5: <http://www.xflr5.com/xflr5.htm>

Videos tutoriales de XFRL5:
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLtl5ylS6jdP6uOxzSJKPnUsvMbkmalfKg>



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Aerofluidos

Práctica #5

Profesor: M.C. Eloy Normando Márquez González

PRÁCTICA 05: MEDICION DE DISTRIBUCION DE PRESION EN PERFILES

1. OBJETIVO

En esta práctica aprenderemos a utilizar el manómetro tradicional, el transductor de presión digital y las alas con puertos de presión, con el fin de caracterizar la distribución de presión sobre un perfil aerodinámico. Durante esta práctica se van a aprender conceptos básicos sobre medición de diferenciales de presión, cálculo de coeficientes aerodinámicos, polares de presión y el módulo de X-Foil de XFRL5.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Investigar los siguientes conceptos:

- Centro de presión
- Coeficiente de presión
- Distribución de presión de un perfil aerodinámico
- Explicar en gráfica C_p vs x/c los siguientes conceptos:
 - Superficie superior
 - Superficie inferior
 - Recuperación de la presión
 - Presión del estrado
 - Relación de C_l vs C_p
- Determinación de fuerzas aerodinámicas (levante y arrastre) por el método de diferencias de presión
- Usando XFRL5 mostrar distribución de presión para los siguientes perfiles:
 - Perfil simétrico con levante cero
 - Perfil simétrico con levante positivo
 - Perfil curvo (cambered) con ángulo de ataque cero
 - Perfil curvo (cambered) con ángulo de ataque positivo

3. EQUIPO Y MATERIALES

- Túnel de aire
- Sistema de instrumentación de levante, arrastre, diferencial de presión y posicionamiento
- Juego de alas NACA 0012 y NACA 4412 con puertos de presión
- Manómetro calibrador
- Manguera flexible transparente
- Manguera manifold de 10 puertos
- Extensión eléctrica
- Desarmador de paleta y llaves Allen

4. PROCEDIMIENTO

- Sacar el equipo mencionado y ponerlo sobre la mesa de trabajo del túnel de viento.
- Calibrar el transductor de presión, siguiendo el procedimiento descrito en el manual de usuario de ELD (Engineering Laboratory Design Inc.).
 - a. El límite del equipo es 10 pulgadas de agua. **NO EXCEDER ESTE LIMITE O EL EQUIPO SUFRIRÁ DAÑO.**
 - b. Usar un cono de papel y agua purificada/filtrada y llenar ambas columnas hasta la marca de 5”.
 - c. Esperar 10 minutos a que el instrumento se caliente antes de tomar las lecturas de presión.
- Una vez calibrado el equipo se procede a medir la diferencia de presión estática y de cada puerto de presión en el ala NACA 0012 (simétrica).
 - a. Instalar el ala correspondiente con los puertos de presión en la ventana lateral del túnel de viento, teniendo mucho cuidado de
 - b. Colocar el ala teniendo mucho cuidado en **NO RAYAR LAS PAREDES DEL TUNEL.**
 - c. El ángulo del perfil con respecto al flujo se debe de medir usando la cuerda del ala. Se pueden ayudar del transportador que está en la ventana y las marcas rojas del ala.
 - d. Cerciorarse que los orificios del túnel estén clausurados. Revisar que los tornillos del balance en el piso del túnel estén apretados, que los seguros de la tapa superior de la sección de pruebas estén cerrados y los tornillos de la placa de capa límite estén colocados en su posición y no haya fugas de aire.
 - e. Medir la diferencia de presiones siguiendo las indicaciones de la sección de “Datos y observaciones”.

- Se procede a medir el diferencial de presión del ala NACA 4412 (no simétrica).
 - a. Remover el ala anterior y colocar el ala teniendo mucho cuidado en no rayar las paredes del túnel.
 - b. El ángulo del perfil con respecto al flujo se debe de medir usando las marcas rojas del ala y el transportador que está en la ventana, debido a que no se puede usar la cuerda porque el perfil es curvo.
 - c. Cerciorarse que los orificios del túnel estén clausurados. Revisar que los tornillos del balance en el piso del túnel estén apretados, que los seguros de la tapa superior de la sección de pruebas estén cerrados y los tornillos de la placa de capa limite estén colocados en su posición y no haya fugas de aire.
 - d. Medir la fuerza de arrastre y levante siguiendo las indicaciones de la sección de “Datos y observaciones”.

5. DATOS Y OBSERVACIONES

Medir lo siguiente (5 medidas por posición):

- Los valores arrojados en la calibración del transductor de presión.
- La temperatura ambiente, la presión atmosférica y la humedad relativa. Estos datos se usan para calcular la densidad del aire.
- Para ambos perfiles, se mide la distribución de presión a diferentes ángulos de ataque (0, 5, 10 y 15 grados) para dos velocidades de flujo (5 Hz y 10 Hz).
- Corregir los datos usando la humedad relativa y la presión del aire de la página web www.accuweather.com. La corrección la pueden hacer siguiendo la siguiente página: https://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html
- Finalmente, utilizar el módulo de X-Foil de XFRL5 para calcular las polares aerodinámicas para C_L , C_D , C_L/C_D y C_p para un ala de las mismas características (cuerda, grosor y envergadura) usando el mismo número de Reynolds y ángulo de ataque para cada experimento.

El reporte debe contener tablas con los datos tomados con el cálculo de la desviación normal, desviación de la media, varianza, el error y cualquier otro valor estadístico relevante. Para cada sensor utilizado se debe incluir la curva de calibración, su ecuación y el R^2 .

Las gráficas de los datos obtenidos y los polares deben de contener título, nombre eje vertical, eje horizontal, unidades y leyenda. Para cada ala utilizada, comparar

en una gráfica los polares obtenidos experimentalmente contra los polares obtenidos de la simulación.

6. MATERIAL DE APOYO

Corrección de la densidad: https://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html

Documento que explica la corrección de densidad:
https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/85/jresv85n1p27_A1b.pdf

Tres métodos para la corrección de densidad:
https://www.bipm.org/utis/en/pdf/Density_of_moist_air.pdf

Manual de usuario del túnel de viento de ELD (Engineering Laboratory Desing Inc.).

XFRL5: <http://www.xflr5.com/xflr5.htm>

Videos tutoriales de XFRL5:
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLtl5ylS6jdP6uOxzSJKPnUsvMbkmalfKg>

X-Foil: <http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/>

Tutorial X-Foil
<http://openvsp.org/wiki/doku.php?id=xfoiltutorial>



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Aerofluidos

Práctica #6

Profesor: M.C. Eloy Normando Márquez González

PRÁCTICA 06: EFECTO MAGNUS POR MEDIO DE VELOCIMETRIA POR IMÁGENES DE PARTICULAS (PIV)

1. Antecedentes teóricos

1.1. Efecto Magnus

El efecto Magnus, denominado así en honor al físico y químico alemán Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), es el nombre dado al fenómeno físico por el cual la rotación de un objeto afecta a la trayectoria del mismo a través de un fluido, como, por ejemplo, el aire. Es producto de varios fenómenos, incluido el principio de Bernoulli y la condición de no deslizamiento del fluido encima de la superficie del objeto. Este efecto fue descrito por primera vez por Magnus en 1853.

Un objeto en rotación crea un flujo rotacional a su alrededor. Sobre un lado del objeto, el movimiento de rotación tendrá el mismo sentido que la corriente de aire a la que el objeto este expuesto. En este lado la velocidad se incrementará. En el otro lado, el movimiento de rotación se produce en el sentido opuesto a la de la corriente de aire y la velocidad se verá disminuida.

La presión en el aire se ve reducida desde la presión atmosférica en una cantidad proporcional al cuadrado de la velocidad, con lo que la presión será menor en un lado que en otro, causando una fuerza perpendicular a la dirección de la corriente de aire. Esta fuerza desplaza al objeto de la trayectoria que tendría si no existiese el fluido. En el espacio o en la superficie de los cuerpos celestes que carecen de atmósfera (como la luna) este fenómeno no se produce.

1.2. Sistema de velocimetría de partículas

El sistema de velocimetría por análisis de imágenes de partículas (PIV por sus siglas en inglés) es una técnica de medición que permite obtener el campo de velocidades de flujos de manera instantánea y con alta resolución espacial. Esta técnica no es intrusiva, lo cual permite realizar mediciones sin perturbar el flujo. La técnica se basa en determinar sobre la base de dos imágenes capturadas en un intervalo de tiempo conocido, el desplazamiento de las partículas que son sembradas en el flujo. El desarrollo de esta técnica en los últimos años ha permitido su aplicación en la caracterización de flujos complejos logrando un avance notable en el campo de la mecánica de los fluidos. [1]

1.2.1. ¿Qué es?

Es una técnica de campo de flujo completo que proporciona mediciones instantáneas del vector de velocidad en una sección transversal de un flujo. Se miden dos componentes de velocidad, pero el uso de un enfoque estereoscópico permite registrar los tres componentes de velocidad, lo que da como resultado vector de velocidad 3D instantáneos para toda el área. El uso de cámaras digitales modernas y hardware informático dedicado, da como resultado mapas

de velocidad en tiempo real. [2] El desplazamiento de las partículas que son sembradas en el flujo. El desarrollo de esta técnica en los últimos años ha permitido su aplicación en la caracterización de flujos complejos logrando un avance notable en el campo de la mecánica de los fluidos. [1]

1.2.1. ¿Qué es?

Es una técnica de campo de flujo completo que proporciona mediciones instantáneas del vector de velocidad en una sección transversal de un flujo. Se miden dos componentes de velocidad, pero el uso de un enfoque estereoscópico permite registrar los tres componentes de velocidad, lo que da como resultado vector de velocidad 3D instantáneos para toda el área. El uso de cámaras digitales modernas y hardware informático dedicado, da como resultado mapas de velocidad en tiempo real. [2]

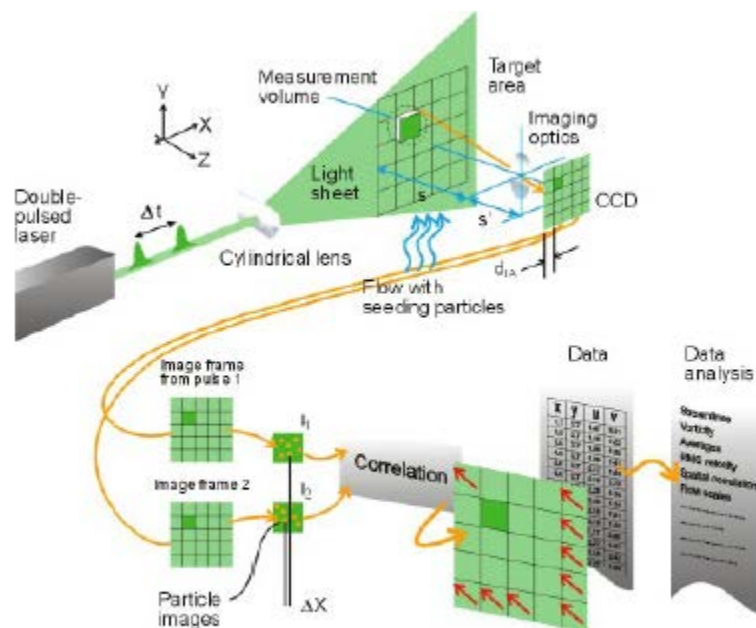


Figura 1: Funcionamiento de PIV

1.2.2. Un poco más de su funcionamiento

Esta técnica de visualización y medición de fluidos no-intrusiva consiste primordialmente en introducir partículas diminutas, del orden de 10 a 100 micrómetros, dentro de un fluido en movimiento. Estas partículas tienen un índice de refracción diferente al del fluido al cual se introducen, por lo que se utiliza un láser de luz lanzado hacia este para que las partículas resalten y de esta manera poder visualizar el comportamiento del flujo de manera puntual.

Finalmente, se analizan los resultados mediante una cámara capaz de tomar fotografías a alta velocidad, las cuales son procesadas por una computadora con el software correcto instalado. De esta manera, la computadora analiza las imágenes y correlaciona cada una de las partículas entre ellas.

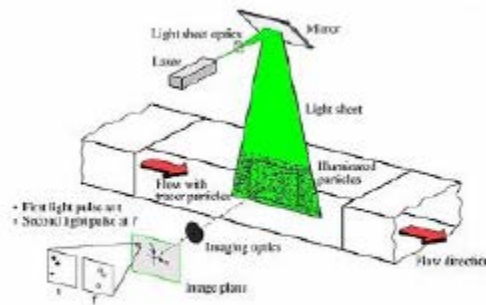


Figura 2: Funcionamiento de PIV

1.3. Partes principales del PIV

1. **Partículas:** Una consideración importante que se debe de tener en cuenta es que la densidad de las partículas a introducir en el fluido debe ser igual a la densidad del fluido mismo, de tal manera que estas micro esferas no floten o se hundan. Así mismo, su geometría debe ser esférica.
2. **Láser:** El láser es una parte crítica del sistema, ya que con él se podría visualizar a las partículas viajando a través del fluido de una manera clara. El haz de luz que se dispara del láser debe de ser refractado de tal forma que una hoja de luz sea la que ilumine una sección transversal de la sección de prueba del túnel.
3. **Cámara:** Para el análisis PIV, es necesaria la utilización de una cámara capaz de capturar imágenes a altas velocidades con una diferencia temporal entre ellas muy pequeña.



Figura 3: Ejemplo de cámara para un PIV

4. **Sincronizador:** Como su nombre lo describe, este dispositivo digital se encarga de la sincronización del disparo de la cámara con el láser de luz. Está conectado directamente a la computadora encargada del análisis, por lo que podemos seleccionar el diferencial de tiempo entre cada uno de los disparos del pulso del láser y la captura de la imagen.

5. **Análisis:** El análisis de las imágenes es llevado a cabo por una computadora con el software correcto instalado. El programa se encarga de cuadricular cada una de las imágenes en celdas. De esta manera es posible calcular vectores de desplazamiento para las partículas en cada una de las celdas, y dado que la computadora conoce la diferencia temporal entre cada una de las imágenes, también calcula los vectores de velocidad.

2. Materiales

- Túnel de Agua
- Micro esferas
- Cámara
- Laser de 132 Nanómetros
- Laser poder zurce
- Generador de señales
- Multiplicador de frecuencia
- Computador con program installed
- Controlador de velocities

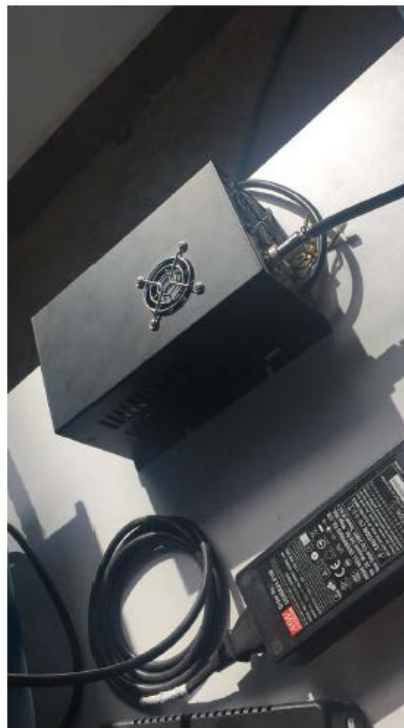


Figura 4: Laser Power Source

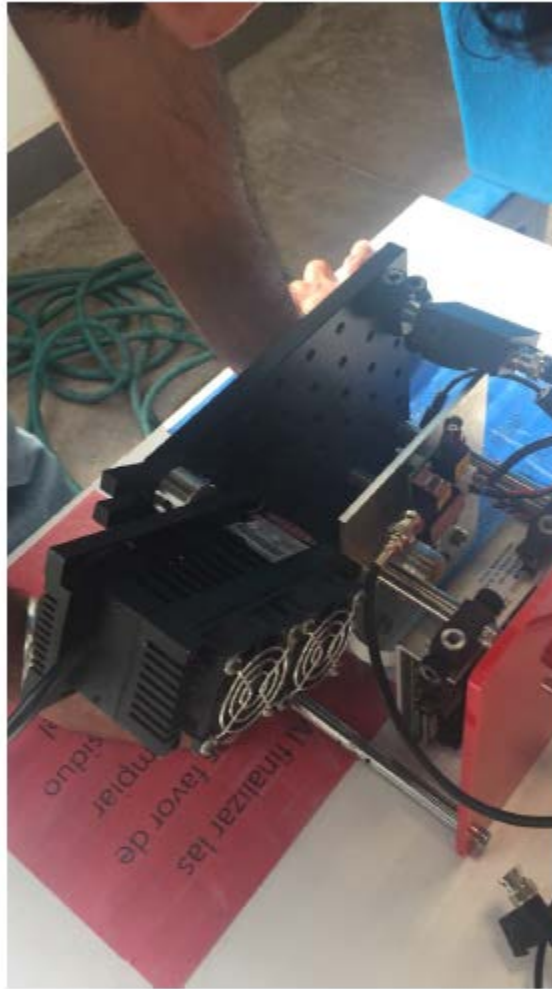


Figura 5: Electrónica del espejo



Figura 6: Multiplicador de señales, y controlador de velocidades

3. Calibración y procedimiento del experimento

Para comenzar con este procedimiento primero tuvimos que hacer calibración con los siguientes pasos:

1. Colocar nuestra instrumentación para la práctica, entre ellos; láser, fuente de poder, cámara, computadora, etc.
2. Conectar nuestra fuente de poder a nuestro láser para el encendido del instrumento.
3. Conectar la entrada de velocidad al generador de señales la cual estar 'a recibiendo pulsos.
4. El multiplicador estar 'ha colocado en 2K, que mandara señales con la frecuencia marcada.
5. Se regula en 0.6 para las conexiones de los demás instrumentos.
6. Se recomienda limpiar con micro fibra todos los instrumentos, incluyendo el túnel de agua con el fin de obtener una mejor visualización en la práctica.
7. Alinear el espejo de barrido, a tal manera que apunte a nuestro túnel de agua.
8. A si mismo calibrar el sensor para que reciba la señal y que el mismo mande los pulsos.
9. Conectar nuestro sensor del láser al receptor de velocidades altas.
10. Conectamos nuestro receptor de velocidades vía USB a nuestra computadora.
11. Conectaremos nuestro receptor de velocidades altas a nuestra cámara.
12. Posteriormente conectaremos nuestra cámara con su cable ethernet que ira directo a nuestra computadora.
13. Colocaremos el cable de poder a nuestra cámara.
14. Procederemos a cubrir el ambiente, ya que las condiciones demandan que se haga en un ambiente oscuro.
15. Procedemos en nuestra computadora a abrir el software DAVIS 3.
16. Esperamos a que nuestro software nos detecte nuestra cámara para iniciar la sesión.

17. Se crea un nuevo proyecto, después se empieza por tomar unas cuantas muestras para la calibración de nuestro equipo.
18. Procedemos a alinear nuestro láser, de manera que ilumine las partículas dentro de nuestro túnel de agua y a su vez pase por nuestro cuerpo a analizar.
19. Una vez alineado nuestro láser, pasamos a tomar unas fotografías con nuestro software y tratar de alinear nuestra cámara.
20. Una vez analizado nuestro procedimiento de alineación de cámara, podremos decir que hemos analizado nuestra calibración.