

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Caracterización del túnel de viento del LIENE



AUTORES

Gustavo Richmond Navarro
Luis Enrique Castro Rodríguez

6 de marzo de 2024

Índice

Lista de figuras	II
Lista de tablas	III
1 Resumen	1
2 Introducción	2
3 Metodología	3
3.1 Sistema de adquisición de datos	3
3.1.1 Procedimiento de toma de datos túnel de viento	3
3.2 Equipos empleados	5
3.2.1 Sistema de adquisición de datos	5
3.2.2 Pitot	6
3.2.3 Balanza	7
3.2.4 Transductor de presión	8
4 Resultados	9
4.1 Sistema de eje coordenado del túnel de viento	9
4.2 Graficación de datos	10
4.2.1 Gráficos obtenidos con las coordenadas $Y=25,7$ cm y $X=14,1$ cm.	10
4.2.2 Gráficos obtenidos con las coordenadas $Y=4,2$ cm y $X=14,8$ cm.	13
4.2.3 Gráficos obtenidos con las coordenadas $Y=8,6$ cm y $X=14,8$ cm.	15
4.3 Análisis de resultados	17
5 Conclusiones	18

Índice de figuras

1	Sección de pruebas del túnel de viento	2
2	Túnel de viento ubicado en el LIENE	2
3	Configuración inicial para la toma de datos en el túnel de viento.	4
4	Configuración inicial para la toma de datos en el túnel de viento.	4
5	Ficha técnica del sistema de adquisición de datos	5
6	Pitot empleado en el túnel de viento	6
7	Planos del pitot presente en el túnel de viento	6
8	Balanza presente en el túnel de viento	7
9	Equipo de adquisición específico de la balanza	7
10	Ficha técnica de la balanza presente en el túnel de viento	8
11	Transductor de presión	9
12	Sistema de eje coordenado del túnel de viento	10
13	Gráfica de las pruebas realizadas con las coordenadas $Y=25,7$ cm y $X=14,1$ cm.	11
14	Curva de caracterización del túnel con las coordenadas $Y=25,7$ cm y $X=14,1$ cm.	12
15	Gráfica obtenida con coordenadas en Y de $4,2$ cm y $X=14,8$ cm	13
16	Curva de caracterización del túnel con coordenadas en $Y=4,2$ cm y $X=14,8$ cm	14
17	Gráfica obtenida con coordenadas en $Y=8,6$ cm y $X=14,8$ cm	15
18	Curva de caracterización del túnel con coordenadas en $Y=8,6$ cm y $X=14,8$ cm	16

Índice de cuadros

1	Promedios de velocidades (m/s) a diferentes RPM con las coordenadas Y=25,7 cm y X=14,1 cm.	11
2	Desviación general entre las mediciones con las coordenadas Y=25,7 cm y X=14,1 cm.	12
3	Promedios de velocidades (m/s) a diferentes RPM con las coordenadas Y=4,2 cm y X=14,8 cm.	13
4	Desviación general entre las mediciones con las coordenadas Y=4,2 cm y X=14,8 cm.	14
5	Promedios de velocidades (m/s) a diferentes RPM con las coordenadas Y=8,6 cm y X=14,8 cm.	15
6	Desviación general entre las mediciones con las coordenadas Y=8,6 cm y X=14,8 cm.	16

1. Resumen

Español: En este documento se detalla el procedimiento para la toma de datos en un túnel de viento, utilizando un sistema de adquisición de datos, un Pitot, una balanza y un transductor de presión. El objetivo principal es establecer un estándar para la toma de datos en el túnel de viento, asegurando procedimientos precisos y consistentes para obtener resultados confiables. El documento proporciona detalles sobre los equipos utilizados, incluyendo el sistema de adquisición de datos, el Pitot, la balanza y el transductor de presión, junto con enlaces a las guías de usuario y planos de los equipos utilizados. Además, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes mediciones realizadas en el túnel de viento. Este documento es una valiosa herramienta para aquellos que deseen realizar pruebas en el túnel de viento de manera estandarizada y reducir las fuentes de error.

Palabras clave: túnel de viento, velocidad de viento, estandarización, procesamiento de datos, experimentación

English: This document details the procedure for data collection in a wind tunnel, using a data acquisition system, a Pitot tube, a balance, and a pressure transducer. The main objective is to establish a standard for data collection in the wind tunnel, ensuring precise and consistent procedures to obtain reliable results. The document provides details about the equipment used, including the data acquisition system, Pitot tube, balance, and pressure transducer, along with links to user guides and plans of the equipment used. Additionally, the results obtained in the different measurements made in the wind tunnel are presented. This document is a valuable tool for those wishing to conduct tests in the wind tunnel in a standardized manner and reduce sources of error.

Keywords: wind tunnel, wind speed, standardization, data processing, experimentation

2. Introducción

En el 2019 estudiantes pertenecientes al LIENE con ayuda de profesores y demás funcionarios del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) construyeron un túnel de viento a pequeña escala para su uso en laboratorio. Durante la pandemia las labores en el túnel de viento fueron suspendidas. En el 2022 las labores fueron retomadas. En la página del [LIENE](#) se detalla con mayor profundidad las labores ejecutadas a partir del segundo semestre del 2021. En [1](#) se muestra el túnel de viento en el recinto de la Escuela de Ingeniería Electromecánica destinado para el LIENE. En [2](#) se muestra la sección de pruebas del túnel de viento. Los planos constructivos del túnel de viento se puede acceder [acá](#).

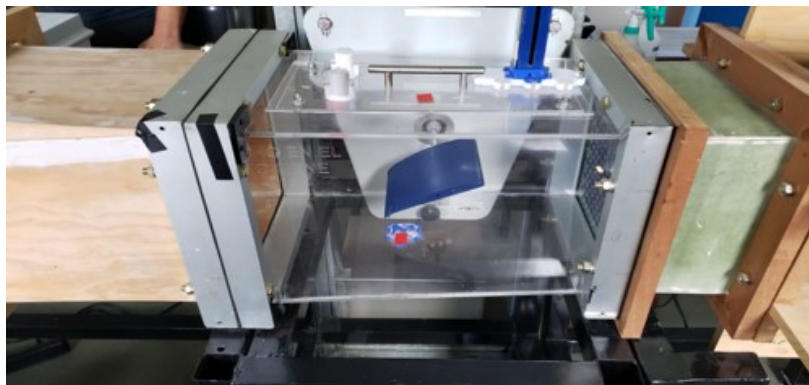


Figura 1: Sección de pruebas del túnel de viento



Figura 2: Túnel de viento ubicado en el LIENE

Los objetivos de este documento consisten establecer un estándar para la toma de datos en el túnel de viento, asegurando que se sigan procedimientos precisos y consistentes para obtener resultados confiables y brindar la curva de velocidad en función de las RPM del motor implementado en el túnel para de esta manera tener una mejor noción del comportamiento del viento en la sección de pruebas. Esto es fundamental para el desarrollo de pruebas y experimentos en el túnel de viento, así como para la generación de datos que puedan ser utilizados en investigaciones y análisis posteriores.

3. Metodología

3.1. Sistema de adquisición de datos

3.1.1. Procedimiento de toma de datos túnel de viento

El objetivo de este documento es de servir como fuente de consulta sobre los pasos que se deben seguir para la toma de datos en el túnel de viento con la idea ejecutarlas de una manera estándar y reducir las fuentes de error.

Detalles importantes:

- Todas las pruebas se deben de ejecutar con las puertas y las celosías cerradas.
- Se deben respetar las áreas demarcadas con la cinta amarilla.

Pasos de ejecución:

1. Se ajusta la altura deseada.
2. Se ajusta la frecuencia variando la resistencia, por ende, la velocidad del motor a la cual se va a desarrollar la medición. Es importante tener en consideración lo siguiente:
 - $0k\Omega = 880rpm$
 - $5k\Omega = 1276rpm$
 - $10k\Omega = 1810rpm$
3. Colocar en cero el transductor de presión.
4. Al inicio de la primera toma de datos se debe configura el programa como se muestra en 3. Lo importante es quitar el *check* de todas las casillas excepto:
 - La de presión en la caja llamada *AFA5 DP Cell 1*
 - Las 4 en la caja llamada *Operating Conditions*
5. Revisar que nada ni nadie esté sobre las zonas de seguridad.
6. Colocar en el programa los valores de presión atmosférica y temperatura en la habitación en ese momento.
7. Encender en motor.
8. Esperar 20 segundos después de encendido en motor para comenzar a grabar los datos.
9. Establecer los parámetros de tiempo para la toma de datos. Generalmente se colocan los valores que se muestran en 4 en donde se toman datos cada segundo y medio durante un minuto.

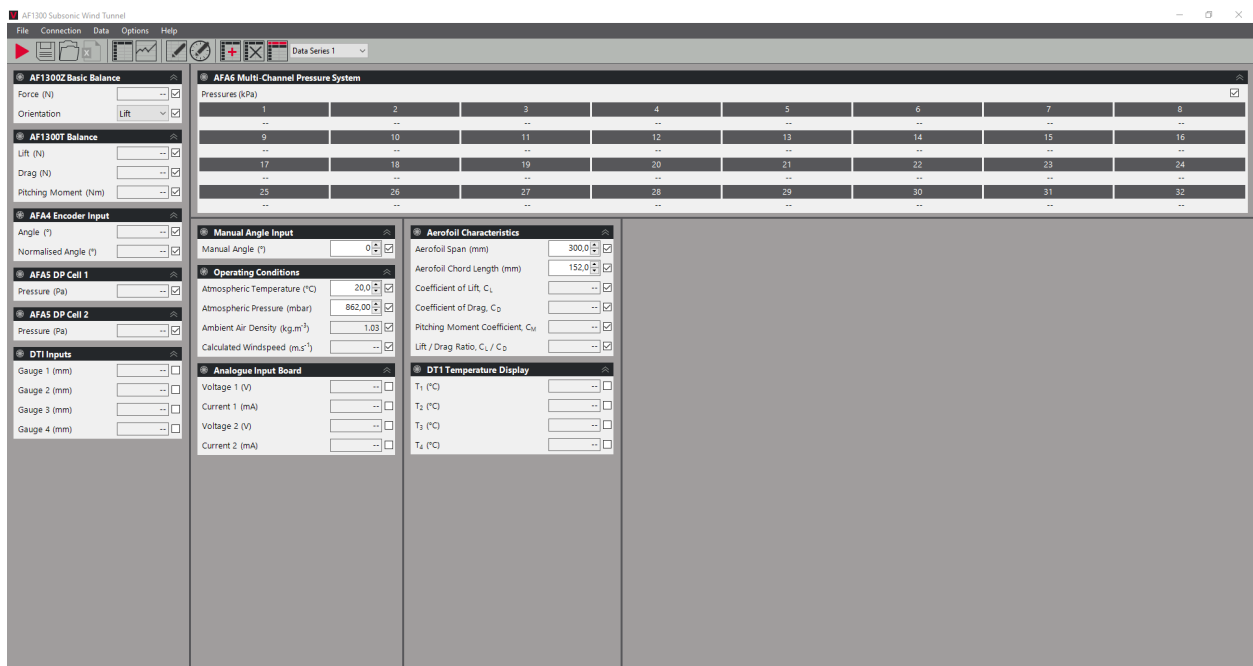


Figura 3: Configuración inicial para la toma de datos en el túnel de viento.

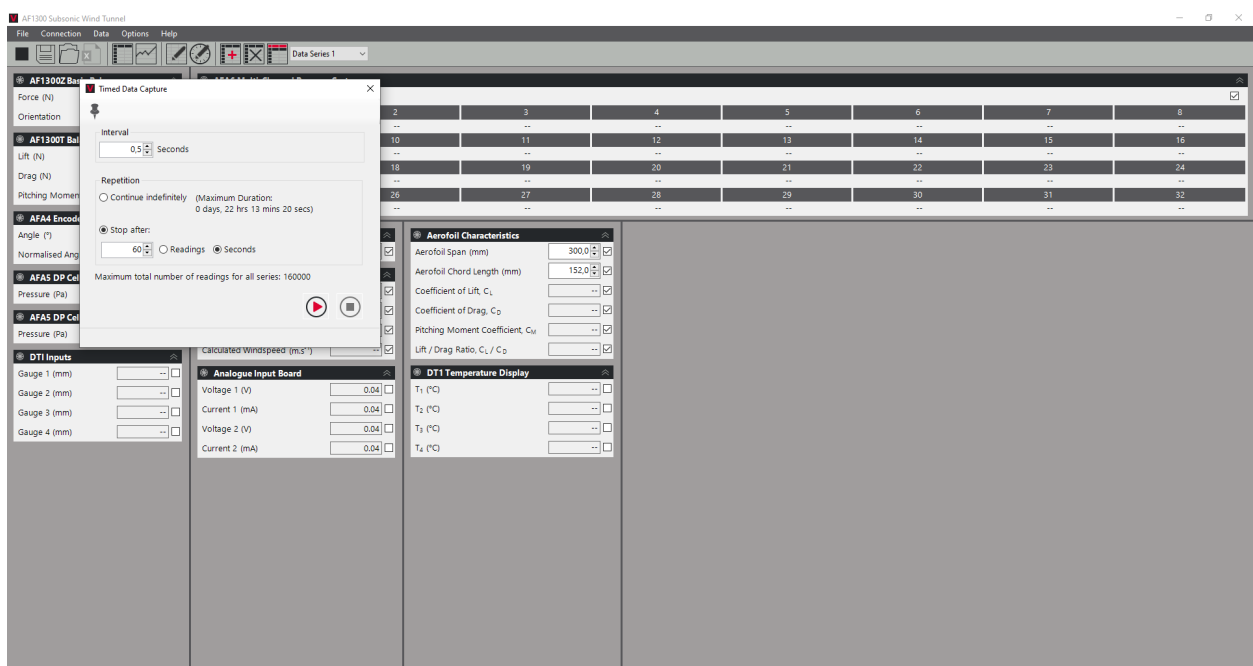


Figura 4: Configuración inicial para la toma de datos en el túnel de viento.

10. En caso de no ser la primera toma de datos se debe darle *click* en “nueva data serie”.
11. Se inicia la grabación de datos.

12. Esperar a que pase el tiempo de registro de datos.
13. Apague el motor.
14. Exportar un Excel con las “Data Series” generadas hasta el momento.

3.2. Equipos empleados

3.2.1. Sistema de adquisición de datos

Item	Details
VDAS-B	
Dimensions	305 mm length × 180 mm width × 40 mm height
Nett weight	2 kg
Power input	12 VDC 1.5 A
Power supply unit	Output: 12 V 5 A centre positive Input: 100 VAC to 240 VAC, 50 Hz to 60 Hz, 1.8 A maximum
Fuse	None Fitted
VDAS-F	
Dimensions	450 mm high × 190 mm wide × 160 mm deep
Nett weight	4.5 kg
Power input	90 VAC to 250 VAC, 50 Hz to 60 Hz, 350 mA to 250 mA
Fuse	F5 A 20 mm
VDAS-FC	
Dimensions	450 mm high × 190 mm wide × 160 mm deep
Nett weight	4.5 kg
Power input	Direct connection to Control Unit 12V DC
VDAS-B, VDAS-F and VDAS-FC	
Digital Inputs	6 × RJ45 type sockets Extra Low Voltage
DTI Input board	4 × sockets for dial test indicators 1 × RJ45 digital output Extra Low Voltage
Analogue inputs	1 × 8-pin DIN Socket for trigger input <5 V 5 VDC and 12 VDC 50 mA outputs for sensor supply 2 × 6-pin DIN Sockets with: 0 to 10 V input 4 to 20 mA (0 to 20 mA) input 15 VDC 50 mA output for sensor supply Frequency up to 25 kHz with 12 bit resolution (0 to 10 V inputs) Bandwidth/Filter cut-off 3 kHz (nominal) (0 to 10 V inputs)
All Versions (including VDAS Onboard)	
Operating environment	Indoor (laboratory) Altitude up to 2000 m Overvoltage category 2 (as specified in EN61010-1). Pollution degree 2 (as specified in EN61010-1).
USB output	1 × USB 2.0 type B socket Extra Low Voltage
Computer (not supplied)	
Minimum hardware	Intel® i5 or equivalent processor. Multi-core processors give better performance. 1280 x 768 screen resolution USB 2.0 or 3.0 port 500 MB of Hard Disc Space
Only required if using a CD-ROM for software installation	CD-ROM drive
Minimum operating system	Microsoft® Windows 7 or later

Figura 5: Ficha técnica del sistema de adquisición de datos

La guía de usuario para el sistema de adquisición de datos se puede encontrar [acá](#).

3.2.2. Pitot



Figura 6: Pitot empleado en el túnel de viento

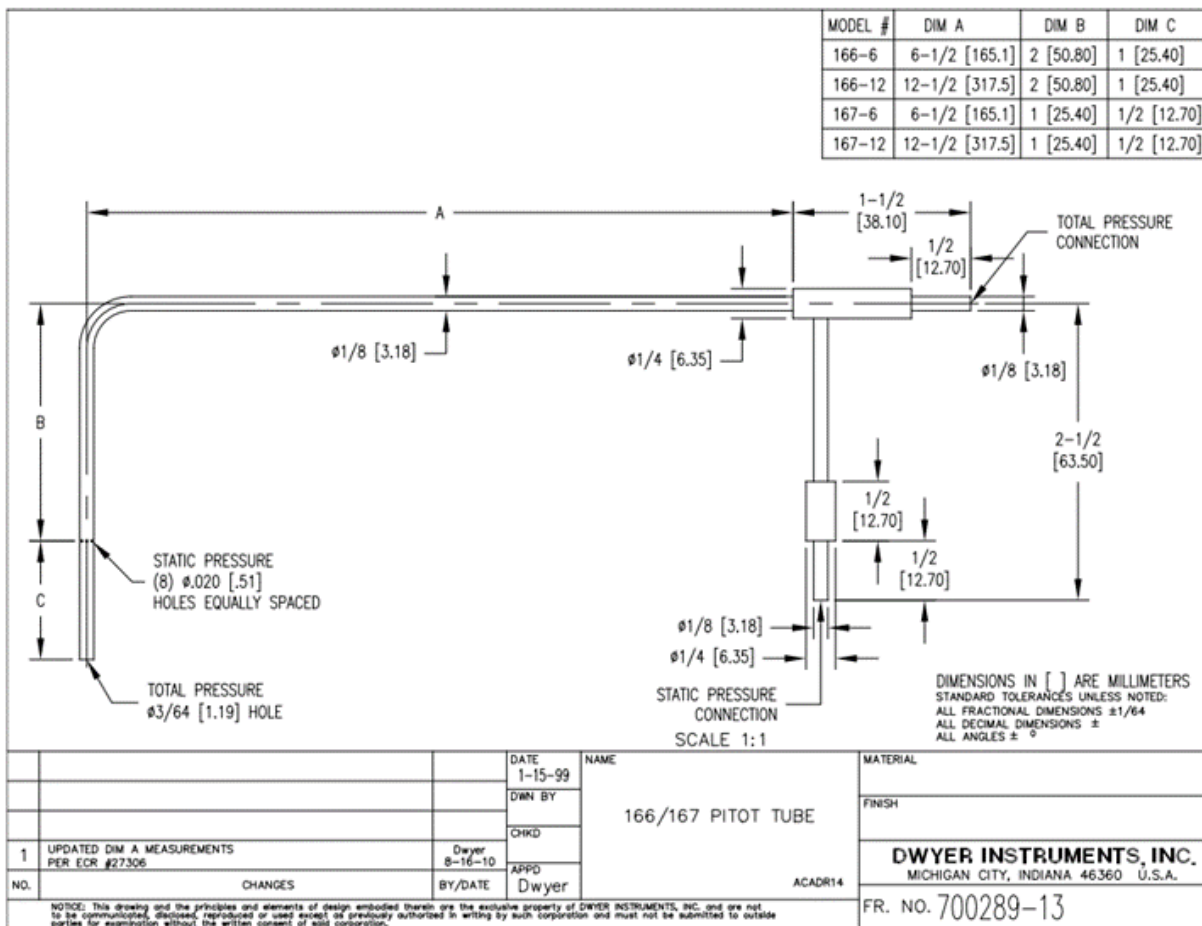


Figura 7: Planos del pitot presente en el túnel de viento

El documento original de donde se sacaron los planos originales de este equipo se encuentra en este [enlace](#).

3.2.3. Balanza

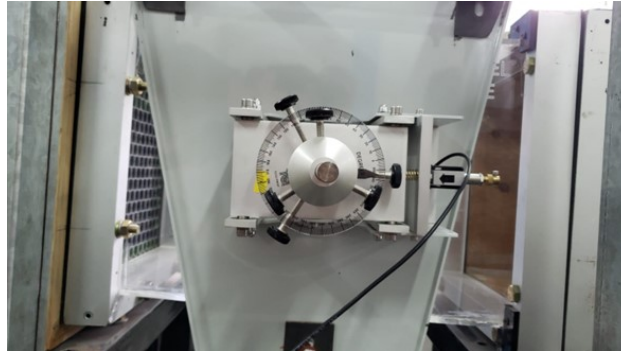


Figura 8: Balanza presente en el túnel de viento



Figura 9: Equipo de adquisición específico de la balanza

La guía de usuario de la balanza del equipo de un solo componente para medir elevación y arrastre (Lift y Drag) se puede visualizar mediante este [enlace](#).

Technical Details

Balance Assembly

Item	Details
Weight	Assembly (on back plate): 5 kg
Operating Environment	Indoor (laboratory) Altitude up to 2000 m Overvoltage category 2 (as specified in EN61010-1). Pollution degree 2 (as specified in EN61010-1).
Maximum Load	10 kg (100 N) *The load cell is rated at 20 kg

Table 1 Balance Assembly Technical Details

Display Unit

Item	Details
Weight	Unit (with power supply): 1 kg
Operating Environment	Indoor (laboratory) Altitude up to 2000 m Overvoltage category 2 (as specified in EN61010-1). Pollution degree 2 (as specified in EN61010-1).
Power Supply	12 VDC input Input 90 VAC to 264 VAC 50 Hz to 60 Hz at 1A Output 12 VDC at 5 A Centre Positive

Table 2 Display Unit Technical Details

Figura 10: Ficha técnica de la balanza presente en el túnel de viento

3.2.4. Transductor de presión

La guía de usuario del transductor de presión diferencial se puede apreciar en este [documento](#).

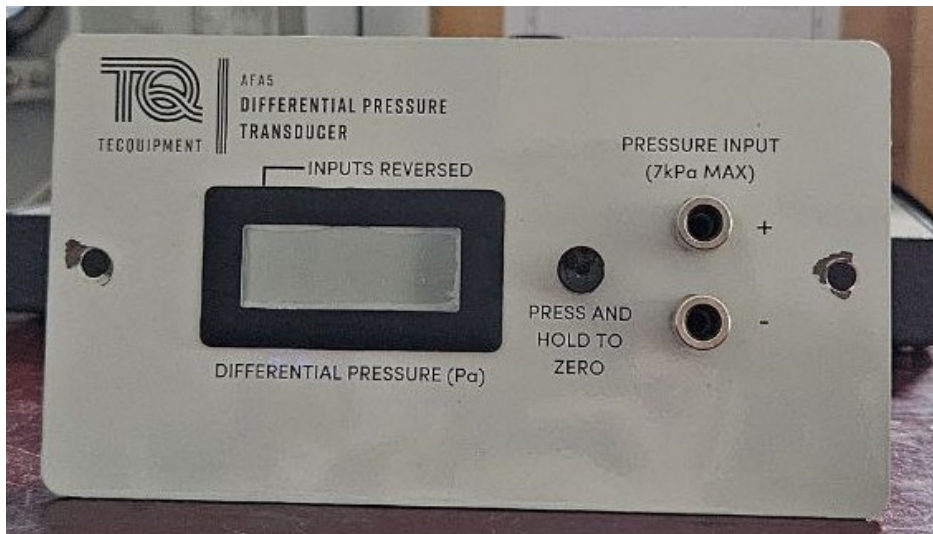


Figura 11: Transductor de presión

4. Resultados

4.1. Sistema de eje coordinado del túnel de viento

En la [12](#) se muestra el sistema de eje coordinado empleado en el túnel de viento.

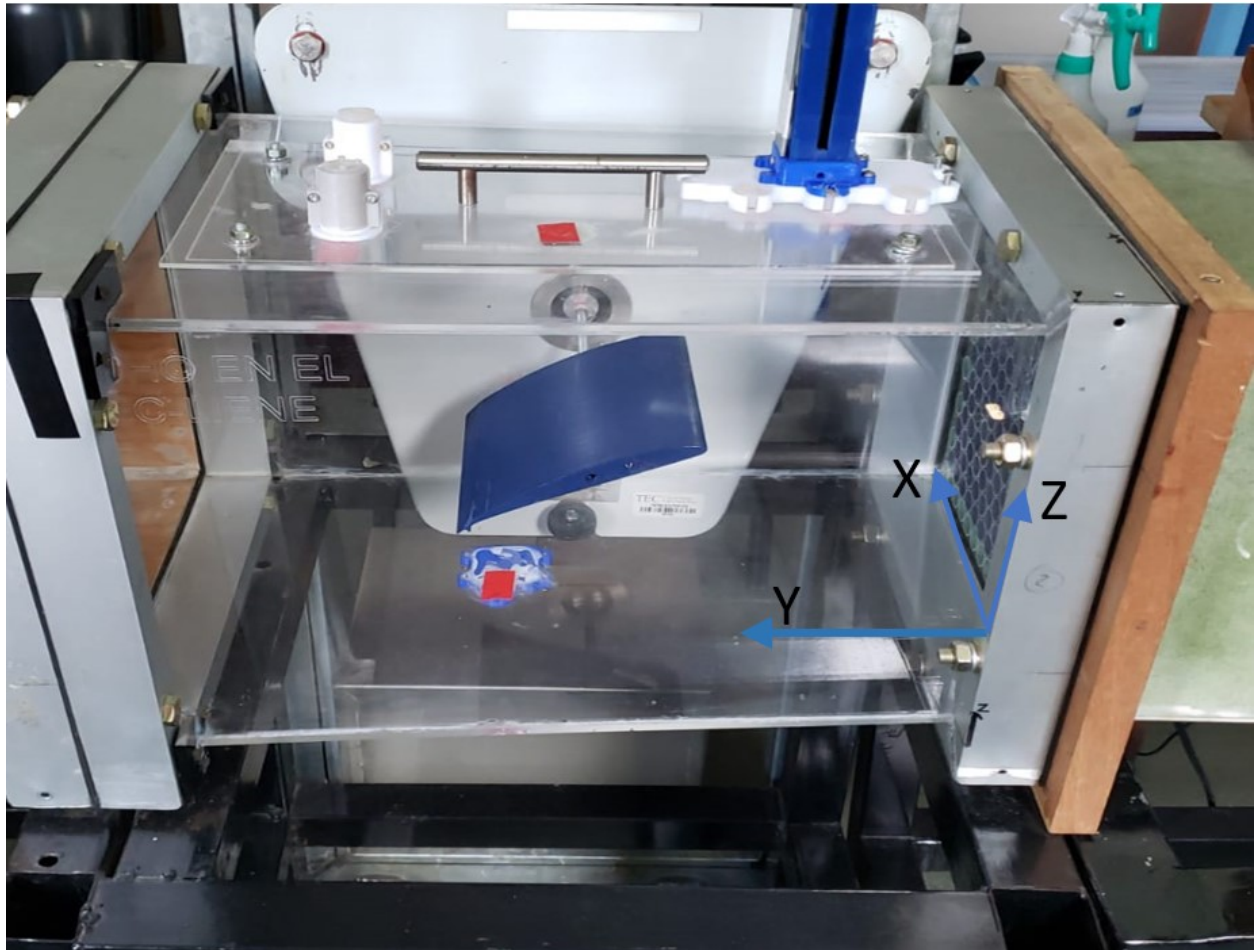


Figura 12: Sistema de eje coordenado del túnel de viento

Se hicieron una serie de mediciones con diferentes coordenadas las cuales se muestran en las sección 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 para poder comparar los resultados entre sí y así determinar en cual punto se obtienen datos más estables.

4.2. Graficación de datos

4.2.1. Gráficos obtenidos con las coordenadas $Y=25,7$ cm y $X=14,1$ cm.

En 13 muestra la gráfica generada producto de los datos de todas las mediciones.

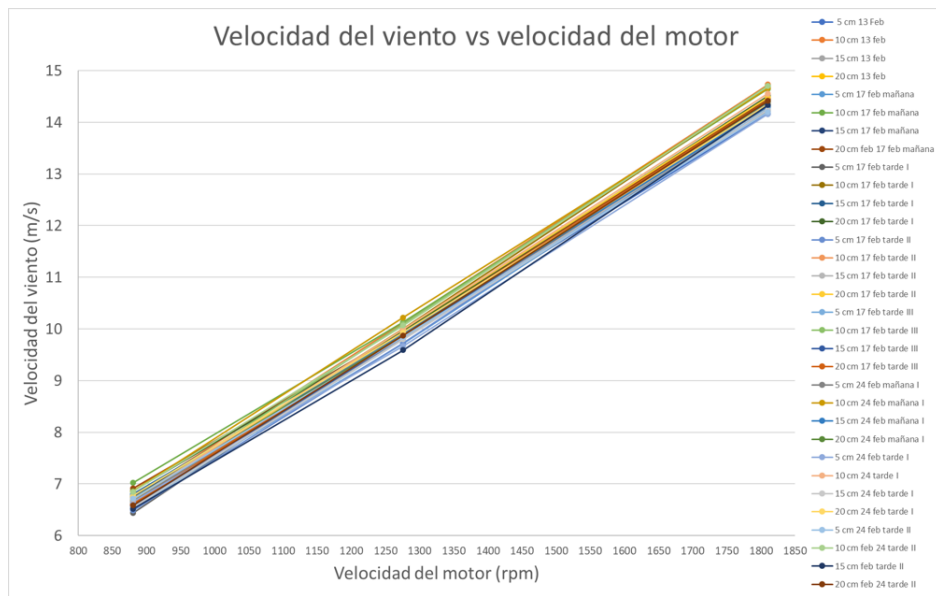


Figura 13: Gráfica de las pruebas realizadas con las coordenadas Y=25,7 cm y X=14,1 cm.

Los datos obtenidos de esta medición son los que se registraron en 1.

Altura (cm)	Promedio de velocidad (m/s)		
	Motor a 880 RPM	Motor a 1276 RPM	Motor a 1810 RPM
5	6,57	9,80	14,25
10	6,79	10,09	14,67
15	6,65	9,82	14,34
20	6,72	9,94	14,43
Promedio total (m/s)	6,69	9,91	14,42

Cuadro 1: Promedios de velocidades (m/s) a diferentes RPM con las coordenadas Y=25,7 cm y X=14,1 cm.

En 14 se muestra la curva de caracterización obtenida a partir del promedio de los datos obtenidos que se registraron en 1.

Para conocer la desviación total que existe entre los diferentes datos correspondientes a las mismas alturas y velocidad se procedió a obtener este valor, el cual se muestra en 2.

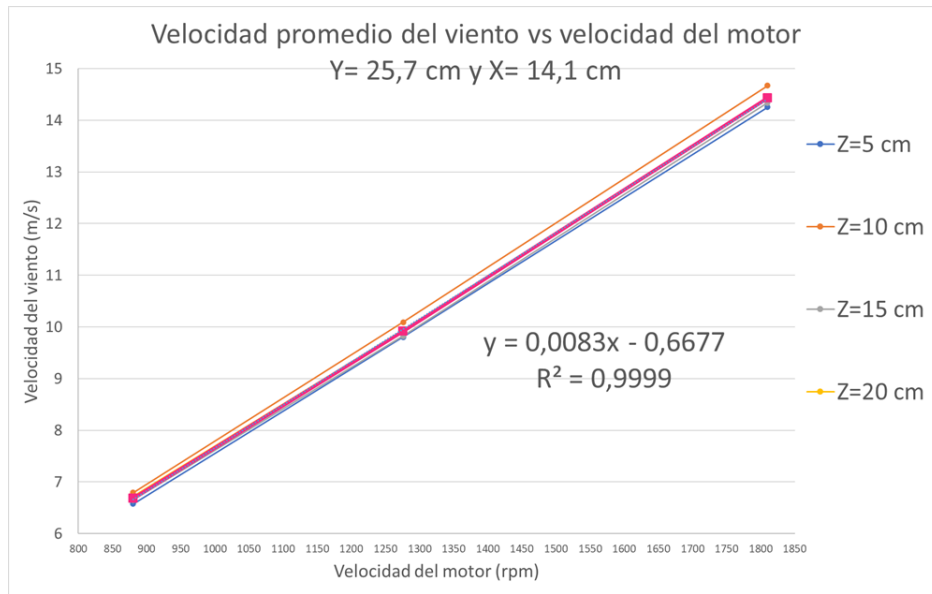


Figura 14: Curva de caracterización del túnel con las coordenadas $Y=25,7 \text{ cm}$ y $X=14,1 \text{ cm}$.

Altura (cm)	Desviación (m/s)		
	Motor a 880 RPM	Motor a 1276 RPM	Motor a 1810 RPM
5	0,10	0,09	0,08
10	0,12	0,08	0,06
15	0,11	0,10	0,06
20	0,12	0,05	0,05

Cuadro 2: Desviación general entre las mediciones con las coordenadas $Y=25,7 \text{ cm}$ y $X=14,1 \text{ cm}$.

Los Los datos originales de esta sección se pueden descargar [acá](#).

4.2.2. Gráficos obtenidos con las coordenadas Y=4,2 cm y X=14,8 cm.

En 15 muestra la gráfica generada producto de los datos de todas las mediciones.

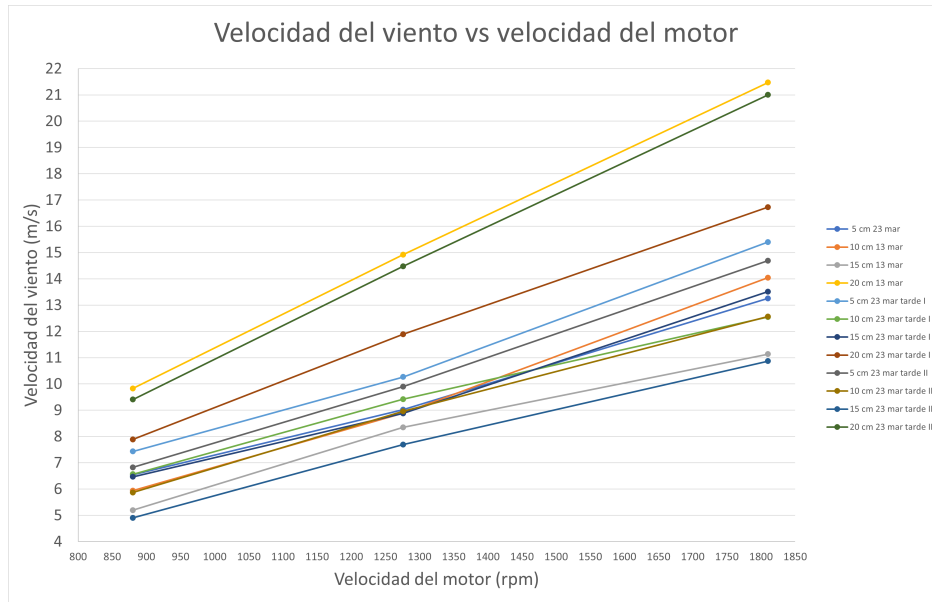


Figura 15: Gráfica obtenida con coordenadas en Y de 4,2 cm y X=14,8 cm

El promedio de los datos obtenidos de esta medición son los que se registraron en 3.

Altura (cm)	Promedio de velocidad (m/s)		
	Motor a 880 RPM	Motor a 1276 RPM	Motor a 1810 RPM
5	6,93	9,73	14,45
10	6,12	9,09	13,05
15	5,52	8,31	11,83
20	9,04	13,76	19,73
Promedio total (m/s)	6,90	10,22	14,77

Cuadro 3: Promedios de velocidades (m/s) a diferentes RPM con las coordenadas Y=4,2 cm y X=14,8 cm.

En 16 se muestra la curva de caracterización obtenida a partir del promedio de los datos obtenidos que se registraron en 3.

Los datos originales en donde están de esta sección se pueden descargar con este enlace.

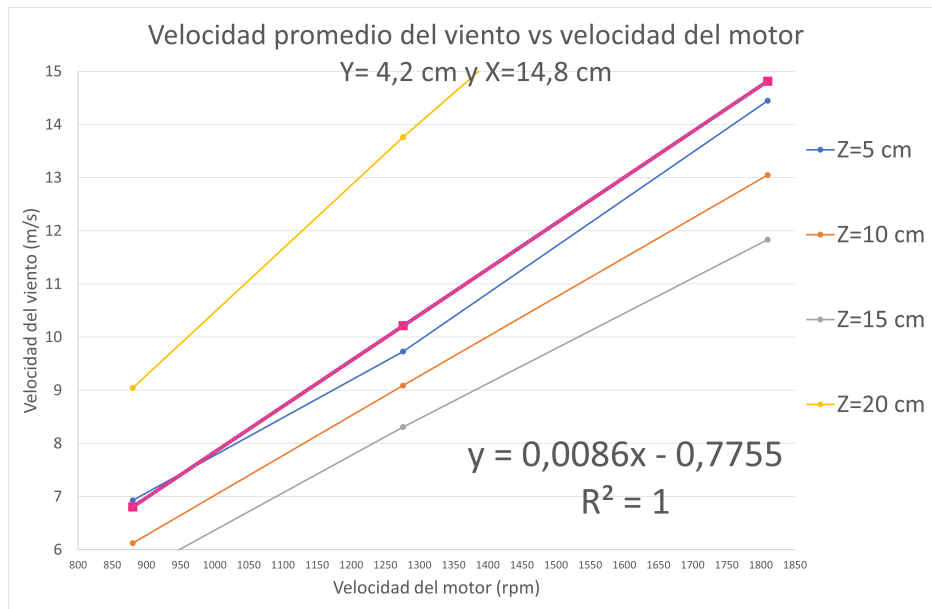


Figura 16: Curva de caracterización del túnel con coordenadas en Y=4,2 cm y X=14,8cm

Altura (cm)	Desviación (m/s)		
	Motor a 880 RPM	Motor a 1276 RPM	Motor a 1810 RPM
5	0,46	0,64	1,09
10	0,38	0,29	0,86
15	0,83	0,60	1,46
20	1,02	1,64	2,61

Cuadro 4: Desviación general entre las mediciones con las coordenadas Y=4,2 cm y X=14,8 cm.

4.2.3. Gráficos obtenidos con las coordenadas Y=8,6 cm y X=14,8 cm.

En 17 muestra la gráfica generada producto de los datos de todas las mediciones.

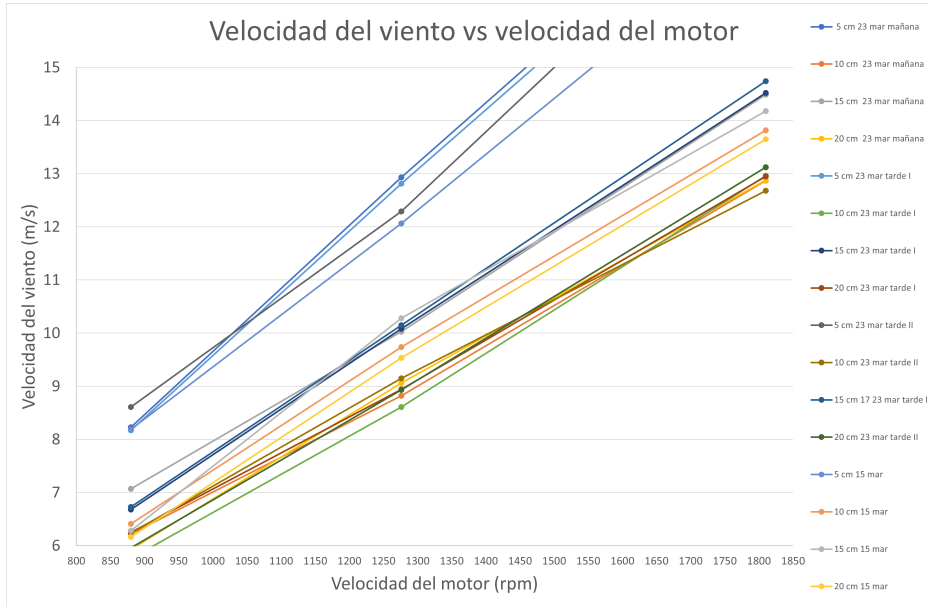


Figura 17: Gráfica obtenida con coordenadas en Y=8,6 cm y X=14,8 cm

El promedio de los datos obtenidos de esta medición son los que se registraron en 5.

Altura (cm)	Promedio de velocidad (m/s)		
	Motor a 880 RPM	Motor a 1276 RPM	Motor a 1810 RPM
5	8,30	12,52	18,55
10	6,16	9,08	13,08
15	6,69	10,13	14,48
20	6,08	9,12	13,15
Promedio total (m/s)	6,81	10,21	14,82

Cuadro 5: Promedios de velocidades (m/s) a diferentes RPM con las coordenadas Y=8,6 cm y X=14,8 cm.

En 18 se muestra la curva de caracterización obtenida a partir del promedio de los datos obtenidos que se registraron en 5.

Para conocer la desviación total que existe entre los diferentes datos correspondientes a las mismas alturas y velocidad se procedió a obtener este valor, el cual se muestra en 6.

Los datos originales de esta sección se pueden descargar con este enlace.

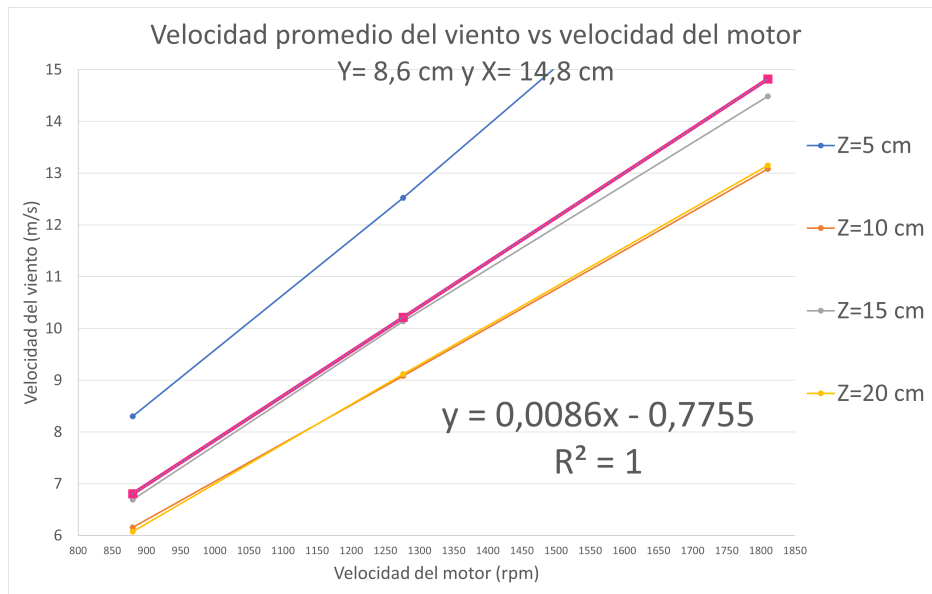


Figura 18: Curva de caracterización del túnel con coordenadas en $Y=8,6 \text{ cm}$ y $X=14,8 \text{ cm}$

Altura (cm)	Desviación (m/s)		
	Motor a 880 RPM	Motor a 1276 RPM	Motor a 1810 RPM
5	0,21	0,41	0,60
10	0,28	0,49	0,50
15	0,32	0,11	0,23
20	0,16	0,28	0,35

Cuadro 6: Desviación general entre las mediciones con las coordenadas $Y=8,6 \text{ cm}$ y $X=14,8 \text{ cm}$.

4.3. Análisis de resultados

Al comparar las gráficas de las secciones 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 se puede observar como el comportamiento de los datos de 13 y 14 es mucho más estable que 15, 16, 17 y 18. Por lo que se tomó la decisión de solo realizar el análisis de resultados de la sección 4.2.1.

Los datos se procesaron mediante Excel. Para poder obtener la ecuación de la curva de caracterización del túnel de viento del LIENE; se procedió a calcular los promedios generales de todas las mediciones para las diferentes alturas y velocidades a las cuales se hicieron. Los resultados son los que se muestran en 1.

Es importante mencionar que las distancia reportadas en los ejes coordenados corresponde al eje de referencia mostrado en 12.

Como se puede visualizar en 14 la ecuación de la velocidad en función de las RPM es:

$$V(m/s) = 0,0083 \cdot \text{RPM} - 0,6677 \quad (1)$$

Es importante mencionar que como la ecuación 1 relaciona los datos experimentales con los RPM debería de intersectar el eje de coordenadas por 0, 0, 0; sin embargo, esto no suceda en la gráfica. Ese 0,6677 puede estar relacionado con el error experimental, error de medición e incertidumbres de equipos.

5. Conclusiones

La principal conclusión es que la velocidad del viento en vacío en la sección central del túnel se calcula con la ecuación 1 que es producto de la graficación de los datos mostrados en la tabla 2. Esta gráfica es la que se muestra en 14 en donde se puede apreciar un patrón de datos más estable en comparación con las gráficas 16 y 18. La comparativa mencionada anteriormente ayuda a demostrar que en los sectores 4.2.2 (Y=4,2 cm y X=14,8 cm) y 4.2.3 (Y=8,6 cm y X=14,8 cm) la velocidad es muy variable.