

# Reporte de laboratorio

Autor: Gustavo Richmond Navarro

Profesor tutor: PhD. Pedro Casanova Treto

Supervisor de laboratorio: M.Sc. Eduardo Alfaro Ureña

Asistente: Luis Enrique Castro Rodríguez, estudiante del TEC

Fecha de realización de las pruebas: 11 de marzo de 2020

Duración: 3 horas

Ubicación: Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica

Laboratorio: Transferencia de Calor, equipado con un túnel de viento

Fecha de presentación del reporte: 18 de junio de 2020

## Introducción

En este documento se presentan los resultados del primer experimento realizado utilizando el túnel de viento de 30 kW, ubicado en el laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en la Universidad de Costa Rica.

En esta primera experiencia se comparan las mediciones del anemómetro con tubo de Pitot, propio del equipo, y un anemómetro de hilo caliente, que es portátil y se puede ubicar en diferentes posiciones. Se hacen nueve diferentes ensayos con distintas velocidades de rotación del motor que impulsa el ventilador centrífugo del túnel.

Se obtienen diferencias entre las mediciones de ambos anemómetros, lo que obedece a que las velocidades en el área transversal del túnel no son idénticas entre sí, para una misma velocidad de rotación del ventilador, según la información suministrada por el fabricante.

Finalmente, se indican valiosas recomendaciones para futuros ensayos en este laboratorio.

## Abrebiaturas

HW Hot Wire, versión en inglés de hilo caliente. Se usará para anemómetro de hilo caliente

NIST National Institute of Standards and Technology

RPM Revoluciones por minuto

TEC Instituto Tecnológico de Costa Rica

UCR Universidad de Costa Rica

## Objetivo

Realizar una comparación de las mediciones del anemómetro integrado del túnel de viento de la UCR (del tipo tubo de Pitot) con el anemómetro de hilo caliente Digi-Sense con certificado de calibración por el NIST, propiedad del TEC.

## Descripción del túnel de viento

Características generales:

- Túnel de viento de circuito abierto.
- Sección de pruebas: 90 cm (eje z) x 120 cm (eje y).
- Longitud del ducto: 11 m (eje x).
- Material del ducto: Pino Canadiense, grado marítimo y acrílico.
- Velocidad máxima: 15 m/s.
- Velocidad mínima: 0,3 m/s.
- Nivel de turbulencia: <3%.
- Ventilador tipo centrífugo de 30 kW motor trifásico.

En la figura 1 se muestra el túnel de viento antes de su entrada en operación, con los visores laterales aún protegidos con papel.



Figura 1: Túnel de viento.

En la figura 2 se presenta un esquema general del túnel de viento, indicando sus partes y destacando en color negro el sistema de coordenadas. Además, se indica en color verde el plano donde se realizan las mediciones en este experimento, cuya coordenada corresponde a  $x = 160$  cm.

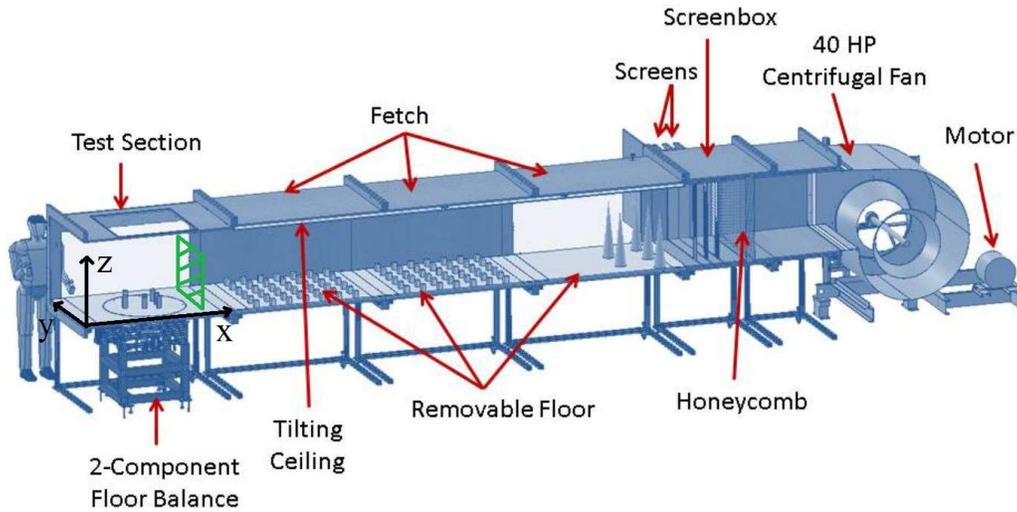


Figura 2: Partes del túnel de viento, sistema de coordenadas y plano de mediciones.

En la figura 3 se muestra un detalle del sistema de coordenadas, ubicado en una de las esquinas inferiores de la descarga del túnel de viento. La elección de este punto para el origen permite que todas las coordenadas sean positivas en todos los ejes, pues todo el volumen del túnel se ubica en el primer octante. La dirección predominante del flujo será en el eje x negativo, en el caso de no tener obstáculos dentro del túnel, tal fue el caso de los ensayos realizados.

En la misma figura 3 se destaca en celeste el tubo de Pitot. El punto de estancamiento del tubo de Pitot se ubica en las coordenadas (160; 20,5; 64) cm.



Figura 3: Detalle del sistema de coordenadas (rojo) y tubo de Pitot (celeste).

## Montaje

En el plano ( $x = 160$  cm) destacado en verde en la figura 2, se coloca el anemómetro de hilo caliente en un pedestal<sup>1</sup>, para que esté a la misma altura que el tubo Pitot, como se ilustra en la figura 4.



Figura 4: vista interior de los anemómetros.

Se realizan nueve diferentes ensayos, combinando velocidades de rotación del motor de 1000, 1350 y 1700 RPM con tres diferentes posiciones del HW, en los puntos (160; 30,5; 64) cm, (160; 62,5; 64) cm y (160; 92,5; 64) cm. Esto tres puntos corresponden con distancias de 10, 42 y 72 cm en el eje y positivo, respecto del Pitot. Esto se ilustra mediante el fotomontaje de la figura 5.

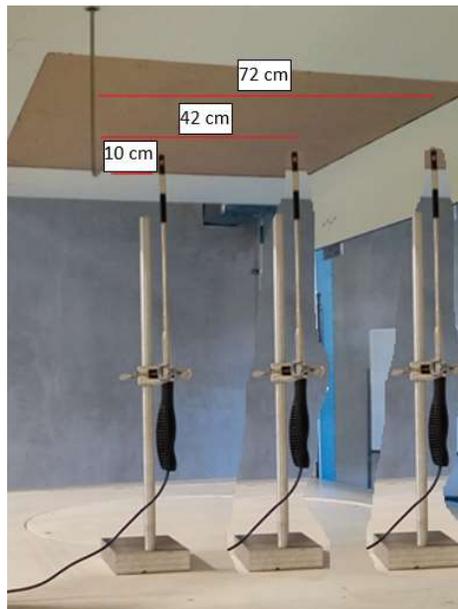


Figura 5: Tres posiciones del anemómetro de hilo caliente.

---

<sup>1</sup> En el siguiente ensayo le valorará el efecto en las mediciones del HW, si se fija o no al piso el pedestal.

En adelante, las posiciones del HW se indicarán con base en la distancia de separación respecto del Pitot y no con sus coordenadas espaciales respecto del origen.

En la figura 6 se muestra una vista exterior del montaje de los anemómetros, que corresponde con la separación de 72 cm.



Figura 6: vista exterior de los anemómetros.

## Frecuencias de muestreo

En el caso del HW, su frecuencia de muestreo es de 1 dato cada segundo, lo cual no puede ser modificado.

En el caso del sistema de adquisición de datos del túnel de viento, que registra las velocidades del tubo de Pitot, la frecuencia de muestreo seleccionada es de 1 dato cada 0,1 segundos. Para este equipo la frecuencia de muestreo máxima es de 1 dato cada 0,0005 segundos.

## Ensayos realizados

Las nueve combinaciones para medir la velocidad del viento registrada por el tubo de Pitot y el HW se presentan en la tabla 1, donde se ha incluido la hora de inicio y finalización de cada conjunto de mediciones. Cada prueba se hace por 10 minutos y luego se descartan los primeros y últimos 50 segundos de cada conjunto de datos.

Tabla 1: Pruebas realizadas

#	RPM	Separación	Inicio	Termina
1	1000	10 cm	13:32	13:47
6	1000	72 cm	14:55	15:08
7	1000	42 cm	15:17	15:27
2	1350	10 cm	13:50	14:01
5	1350	72 cm	14:43	14:53
8	1350	42 cm	15:36	15:46
3	1700	10 cm	14:07	14:18
4	1700	72 cm	14:28	14:40
9	1700	42 cm	15:47	15:57

## Resultados y discusión

En la figura 7 se presenta la comparación del promedio de las mediciones de los dos anemómetros. Tomando en cuenta que las distancias indicadas de 10, 42 y 72 centímetros, se refiere a la separación entre anemómetros. Se han marcado con triángulos los puntos promedio de las mediciones con el Pitot, los círculos definen los promedios de velocidad para las mediciones con el HW.

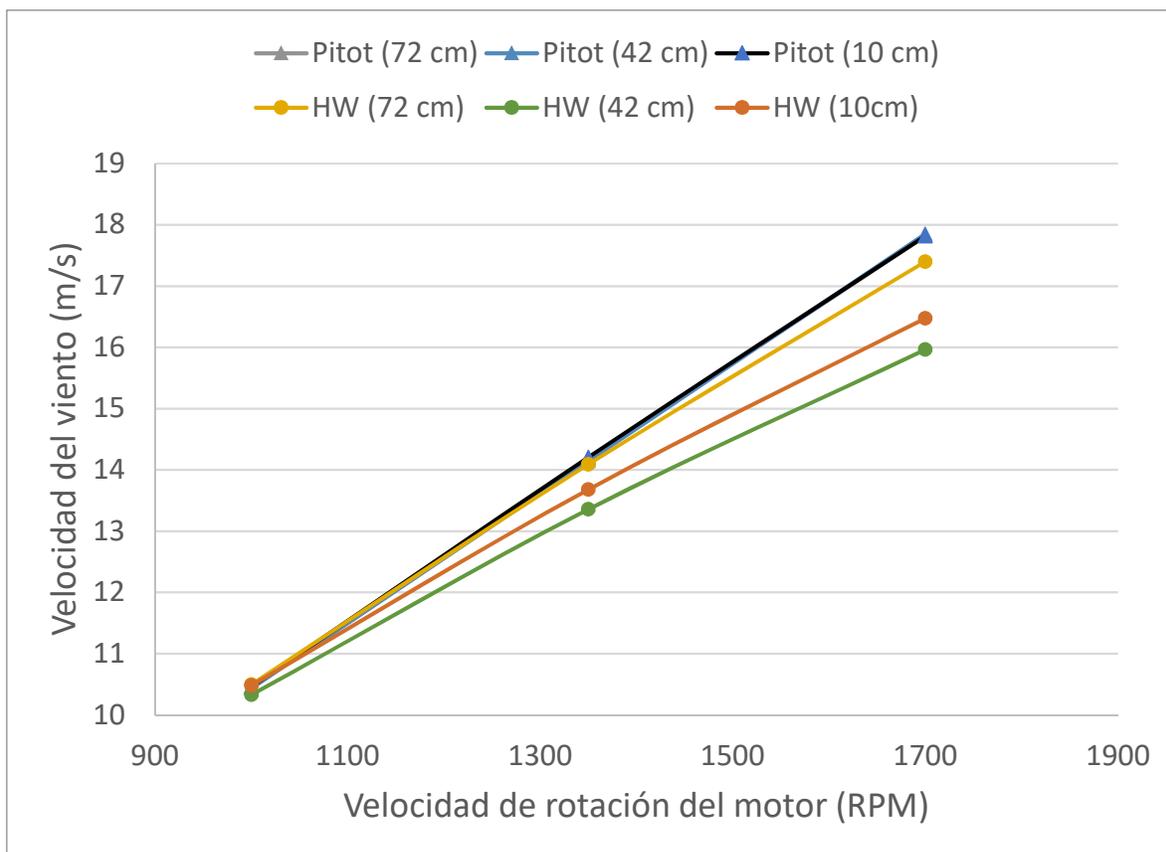


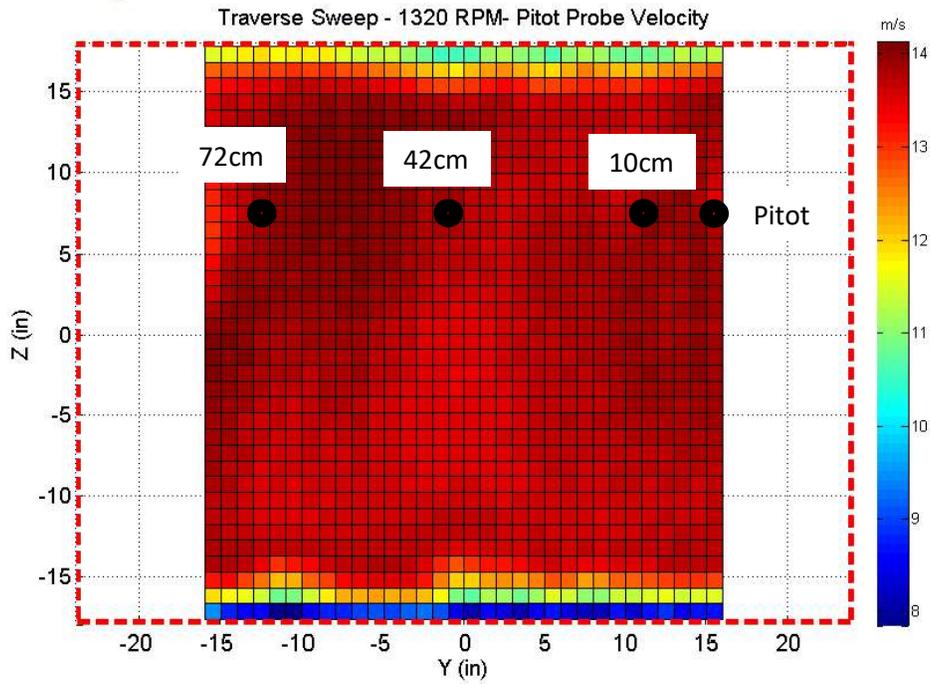
Figura 7: Comparación de las velocidades registradas por los anemómetros en las distintas configuraciones.

De la figura 7 se extrae que el Pitot da lecturas muy similares sin importar la posición del WH, razón por la cual las tres curvas de las mediciones del Pitot (con triángulos) quedan superpuestas. De este modo, se distinguen solo 4 curvas en la figura 7.

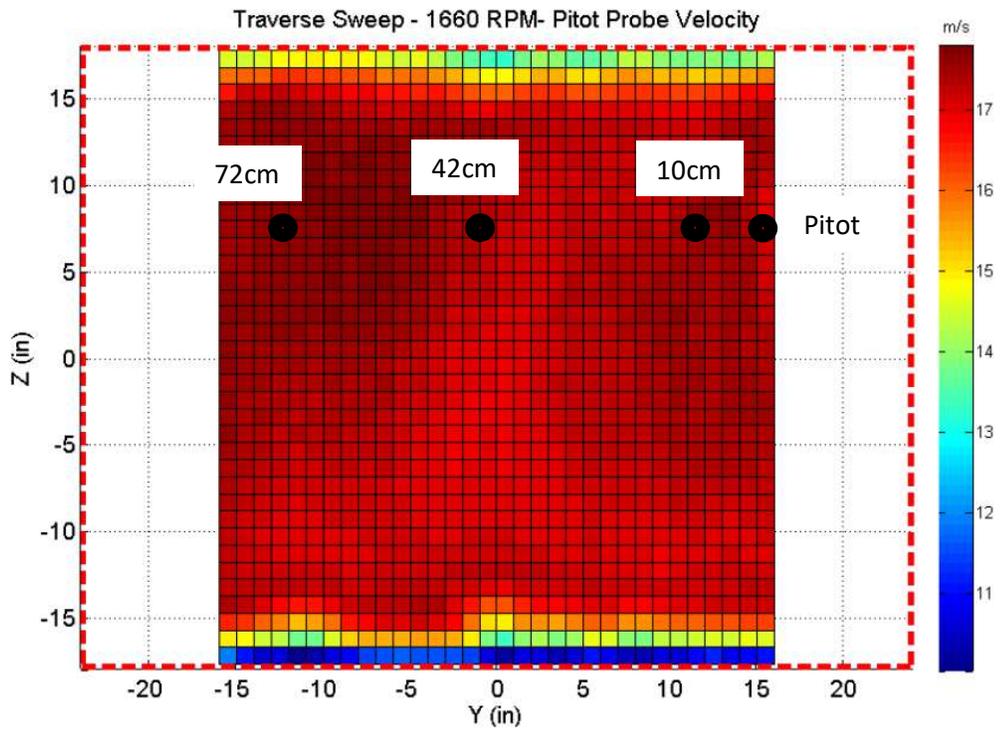
Por otro lado, a mayores velocidades del motor se obtienen mayores diferencias entre las mediciones del Pitot y el WH, en las diferentes posiciones. Siguiendo una tendencia de registrar valores menores de velocidad en el centro del túnel (separación de 42 cm).

De acuerdo con los resultados dados por el fabricante, mostrados en las figuras 8 y 9, la velocidad dentro del túnel de viento **no es constante**, siendo ligeramente menor en el centro del área de sección transversal. A pesar que los datos de las figuras 8 y 9 no fueron tomados en un plano con la misma coordenada que el plano de las pruebas reportadas en este informe, se han indicado para efectos comparativos, los puntos equivalentes donde se coloca el HW y donde está el Pitot.

### Traverse Sweep -1320 RPM



### Traverse Sweep -1660 RPM



Figuras 8 (arriba) y 9 (abajo): distribución de velocidad dentro del túnel de viento<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Tomadas de ABL Tunnel Operations. Manual. Version: 1.0. Fecha: 8/3/2017

De forma cualitativa, las figuras 8 y 9 muestran una velocidad menor en el punto que coincide con la separación de 42 cm, lo que coincide con los resultados mostrados en la figura 7, donde la curva verde está definida por los puntos con la separación de 42 cm y es la que muestra menores valores de velocidad promedio.

En la tabla 2 se muestran los resultados de los promedios con su respectiva desviación estándar, para todas las configuraciones.

Tabla 2: Resultados obtenidos con desviación estándar

#	Configuración	Pitot		Hilo caliente	
		Promedio (m/s)	Desviación estándar (m/s)	Promedio (m/s)	Desviación estándar (m/s)
1	1000 RPM - 10 cm	10,4636	0,0294	10,4805	0,0094
7	1000 RPM - 42 cm	10,4372	0,0285	10,3286	0,0162
6	1000 RPM - 72 cm	10,4369	0,0280	10,4978	0,0149
2	1350 RPM - 10 cm	14,2063	0,0407	13,6788	0,0317
8	1350 RPM - 42 cm	14,1473	0,0444	13,3567	0,0272
5	1350 RPM - 72 cm	14,1712	0,0364	14,0917	0,0143
3	1700 RPM - 10 cm	17,8188	0,0480	16,4752	0,0166
9	1700 RPM - 42 cm	17,8492	0,0443	15,9625	0,0093
4	1700 RPM - 72 cm	17,8168	0,0518	17,3996	0,0159

De los valores de la desviación estándar mostrados en la tabla 2, es posible apreciar que la desviación mayor siempre la presenta el Pitot, esto se respalda por los resultados que se muestran la sección siguiente.

En la figura 10 se muestran todas las mediciones realizadas, las cuales son detalladas en las figuras 11 a la 19. En estas últimas se ha omitido la leyenda y se ha colocado un título según el caso. Además, estas nueve figuras poseen una escala detallada, por lo que se aprecia la oscilación de los datos recolectados por el Pitot frente a las mediciones que realiza el HW.

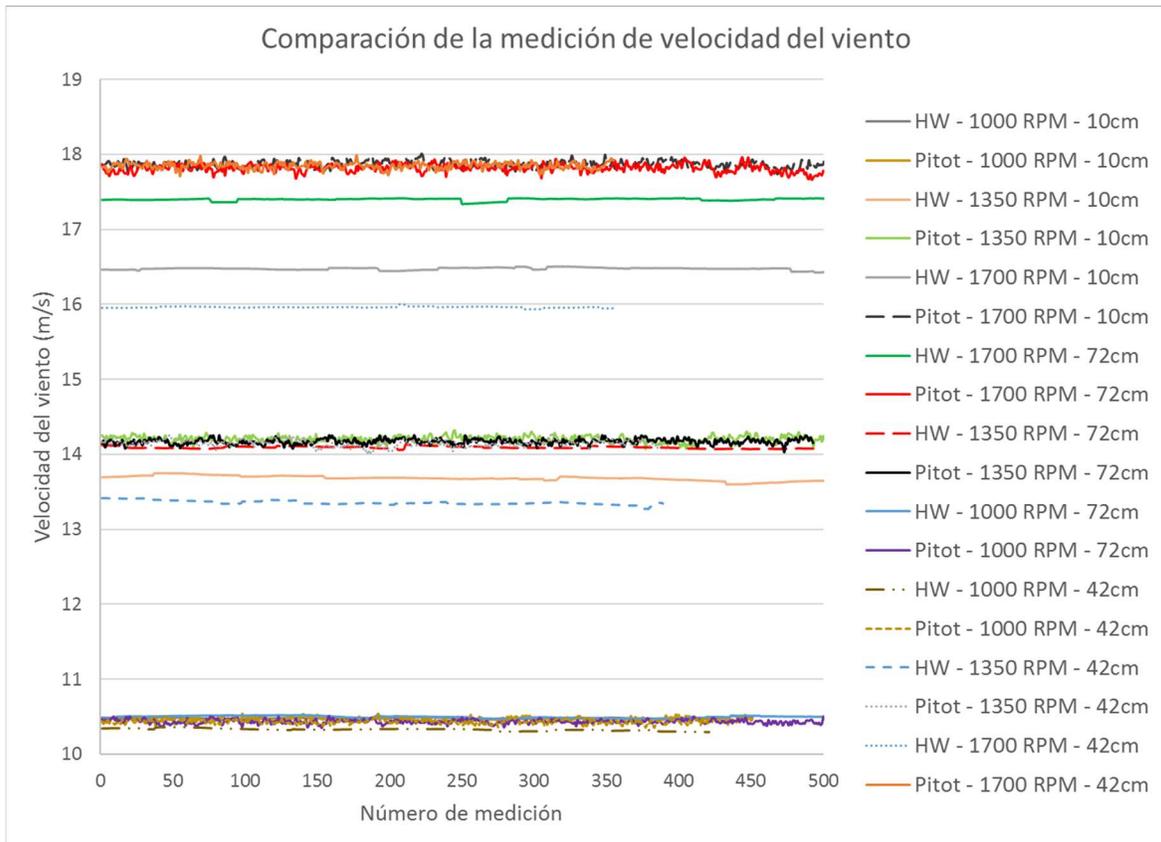
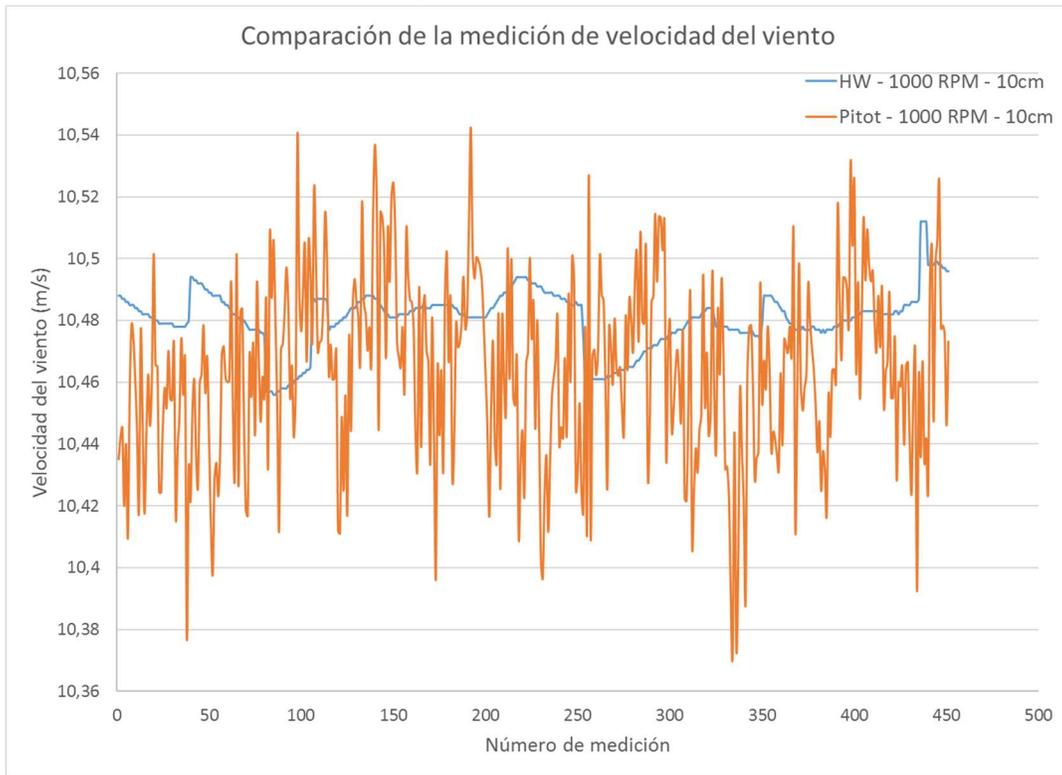


Figura 10: Consolidado de todas las mediciones realizadas

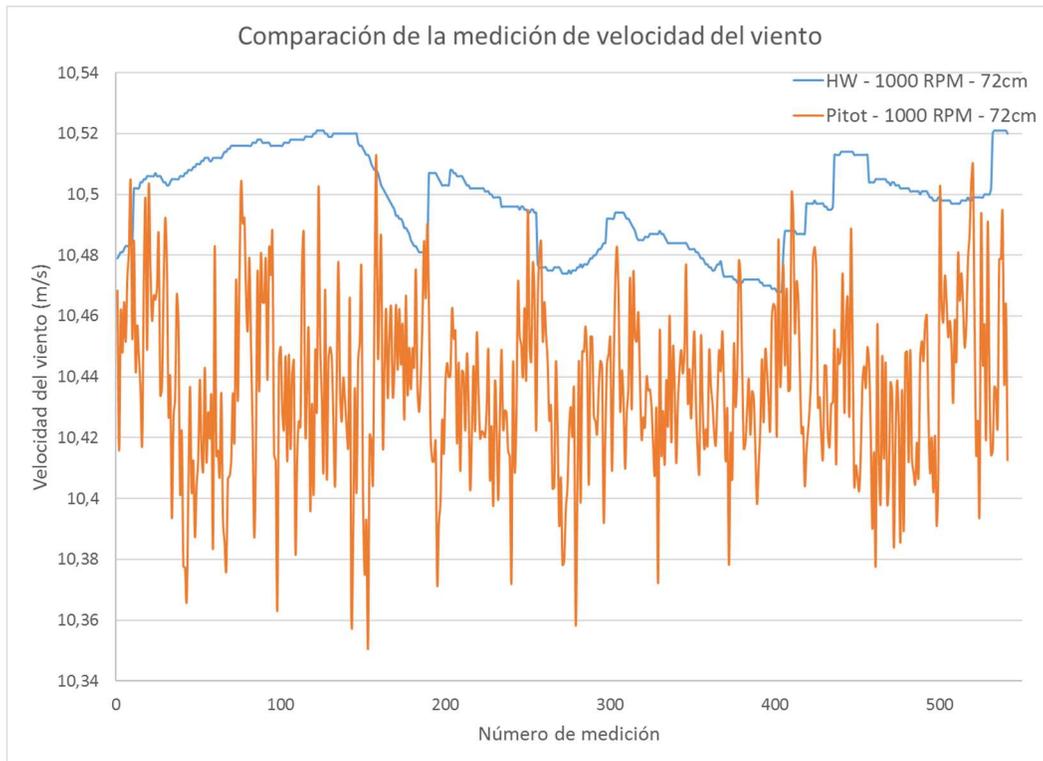
Destaca que en algunos casos el número de mediciones fue menor a 500, que corresponde con el dato esperado según el tiempo dedicado para cada prueba. Esto aparentemente se debe a un desfase entre los tiempos de los dos computadores que registraron los datos. Este desfase ocasionó que la cantidad de datos con misma hora, minuto y segundo, fueran menos.

Otro aspecto que destaca es que los datos tomados por el HW presentan menor variación instantánea que los tomados por el Pitot, lo que puede estar relacionado con la frecuencia de muestreo, pues cada segundo el Pitot toma 10 datos y el HW solamente 1.

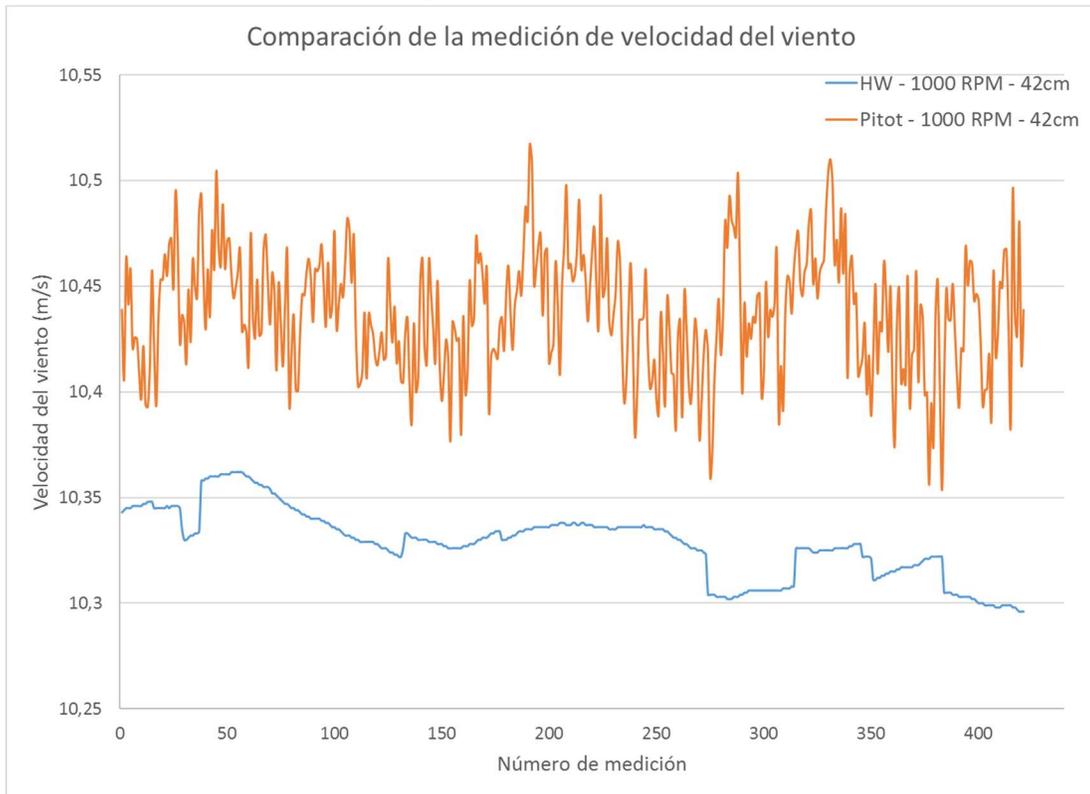
### Velocidad del túnel 1000 RPM, separación 10 cm



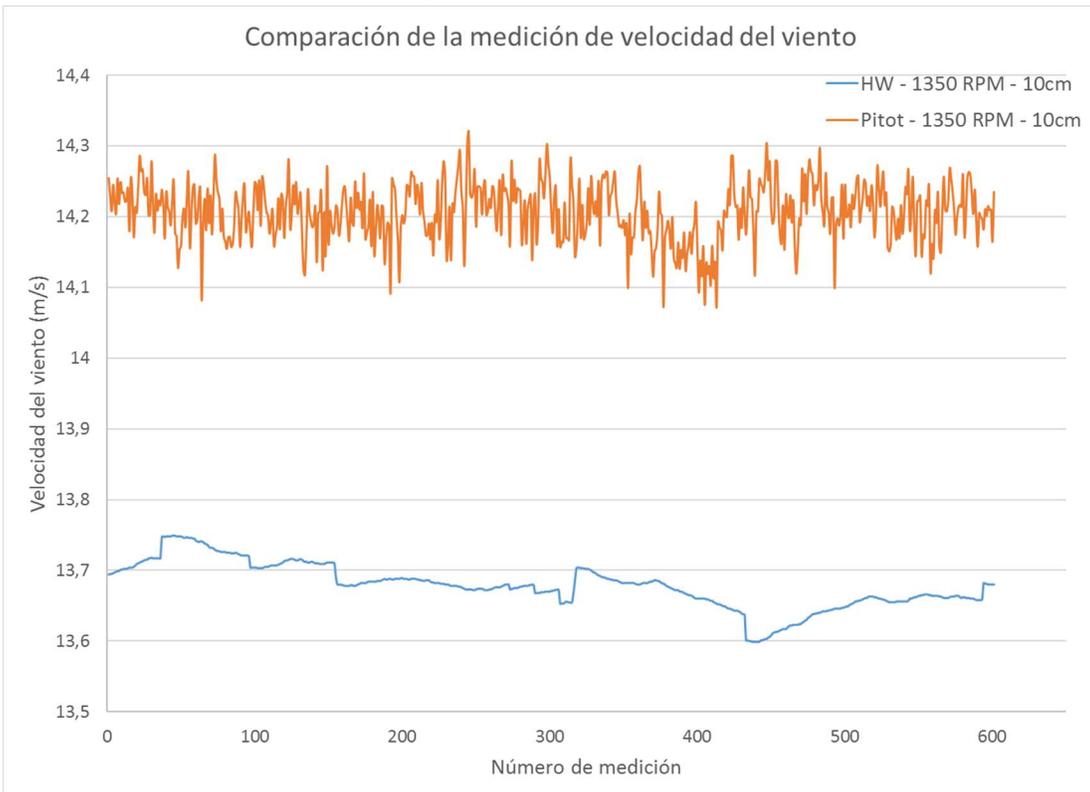
### Velocidad del túnel 1000 RPM, separación 72 cm



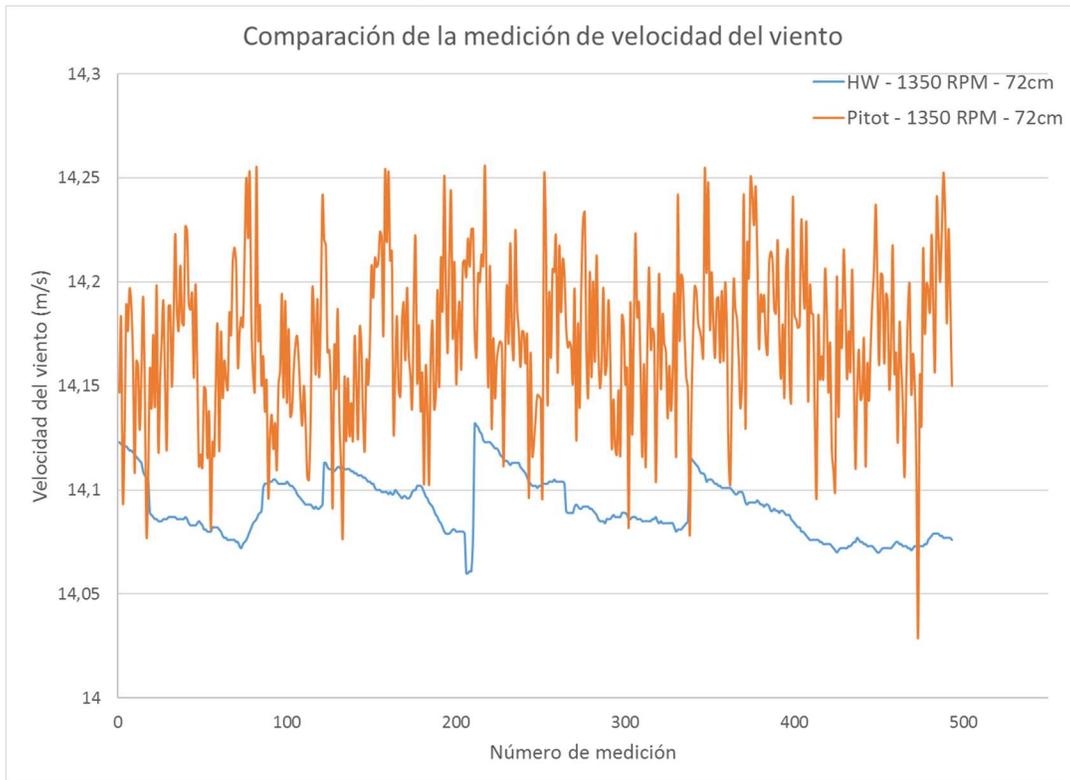
### Velocidad del túnel 1000 RPM, separación 42 cm



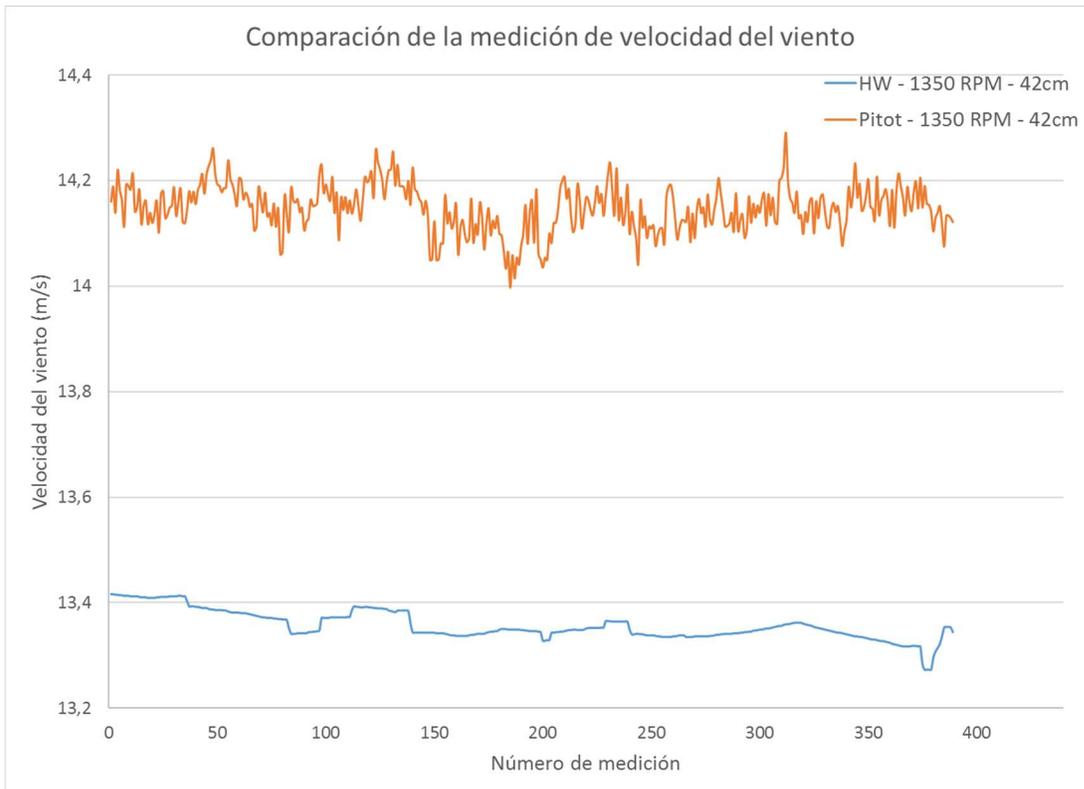
### Velocidad del túnel 1350 RPM, separación 10 cm



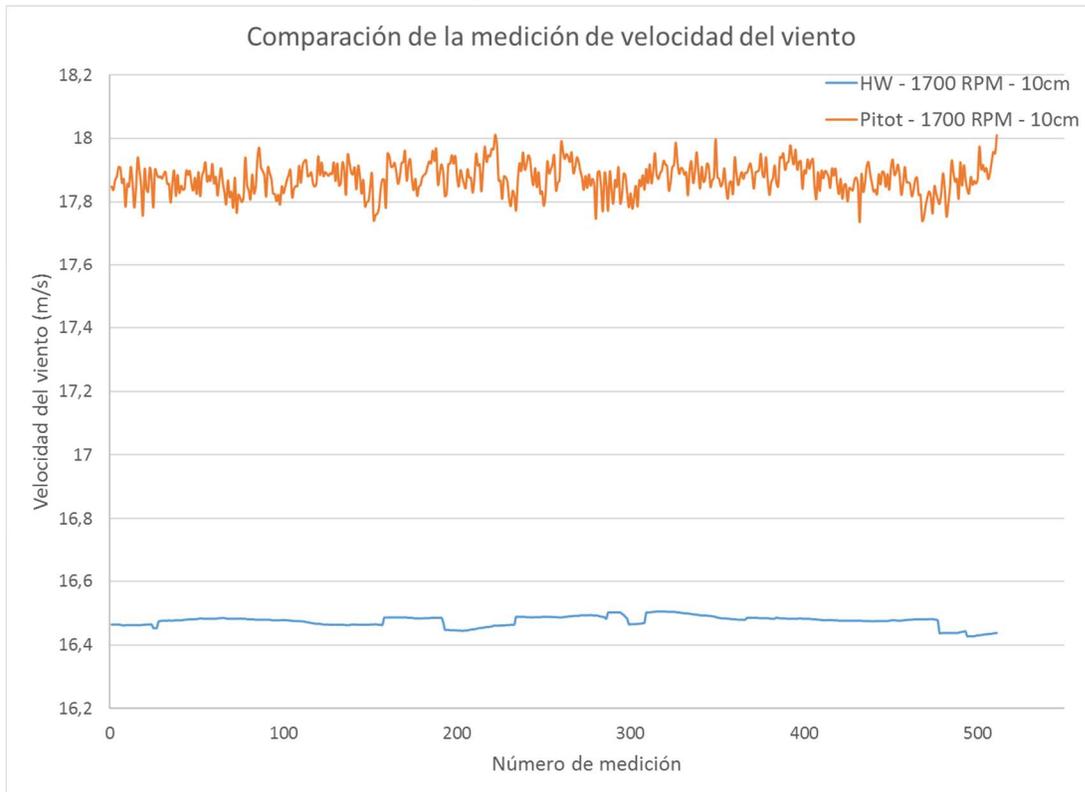
### Velocidad del túnel 1350 RPM, separación 72 cm



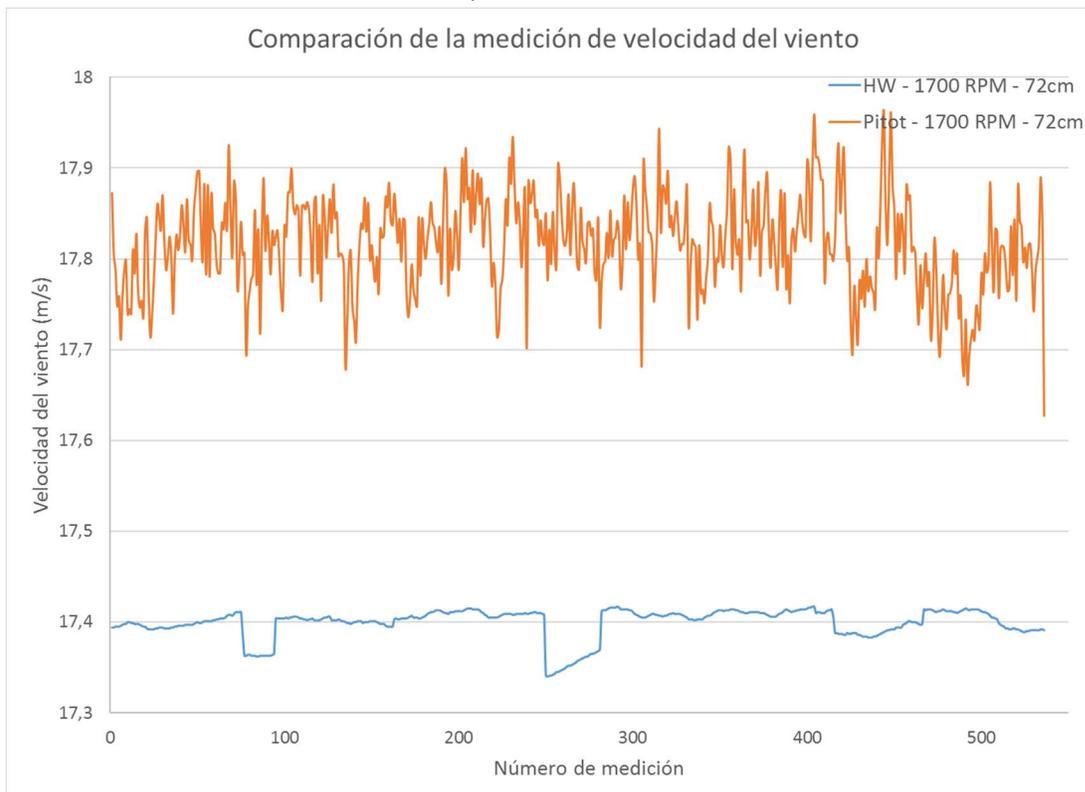
### Velocidad del túnel 1350 RPM, separación 42 cm



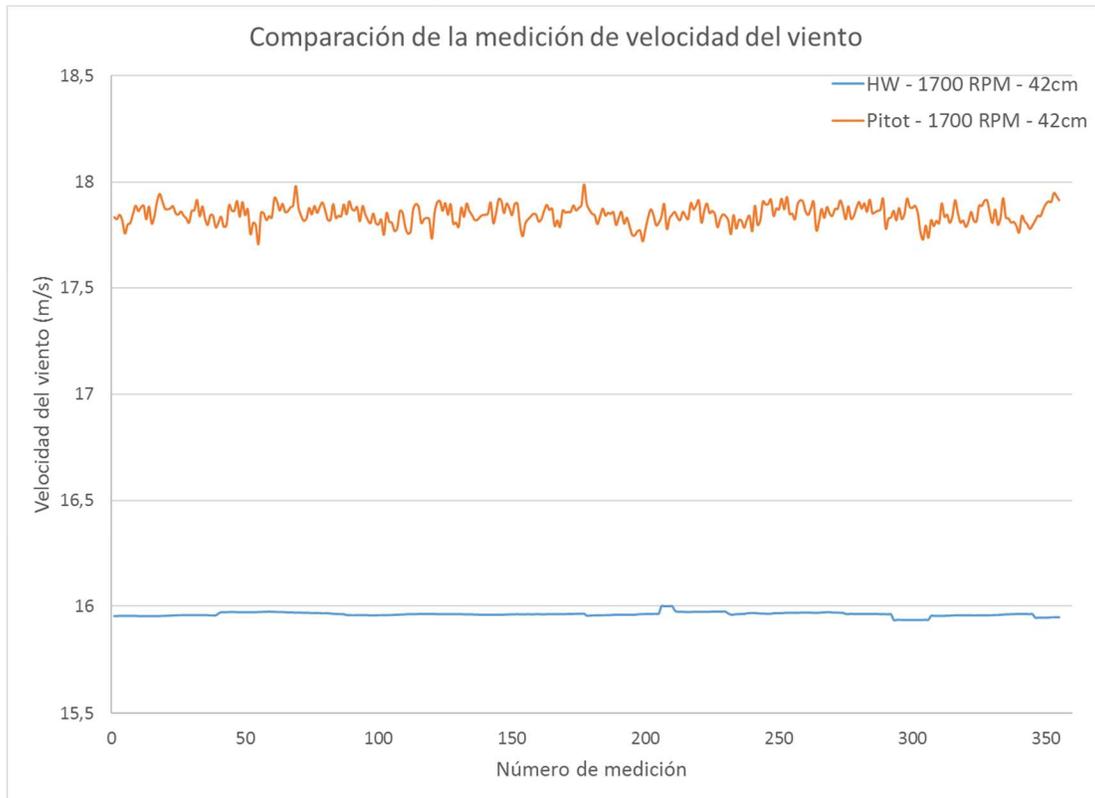
### Velocidad del túnel 1700 RPM, separación 10 cm



### Velocidad del túnel 1700 RPM, separación 72 cm



## Velocidad del túnel 1700 RPM, separación 42 cm



## Conclusiones

Después de comparar las mediciones realizadas por el Pitot y el HW, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se comprobó experimentalmente que la velocidad dentro del túnel de viento no es un valor constante en un plano perpendicular al flujo, tal como lo indica el fabricante.
- Las mediciones realizadas por el anemómetro de hilo caliente presentan menos variación instantánea que las registradas por el Pitot.

## Recomendaciones

Luego de realizar esta primera experiencia de laboratorio en el túnel de viento de la UCR, se anotan las siguientes recomendaciones:

### Para el trabajo de campo

- Verificar la hora que tiene cada computador o usar el mismo computador. Lo segundo es lo ideal, pero se debe verificar si se puede instalar programas en las computadoras de la UCR. Esto para que coincidan las marcas de tiempo de los diferentes anemómetros.

### Para el análisis y procesamiento de los datos

- Usar un programa más avanzado que Excel para procesar los datos, en este caso no se usó Matlab por un tema de licencia, lo que sugiere el uso de algún software libre.
- Utilizar técnicas estadísticas como Análisis del error, en el procesamiento de los datos.