

ADECUACIÓN EN EL BANCO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL
FLUJO DEL AIRE CON INYECCIÓN DE HUMO ALREDEDOR DE VEHÍCULOS A
ESCALA

FERNANDO ANDRES CUELLO NUÑEZ
GIOVANNI JAVIER GUERRA CÓRDOBA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

FLORIDABLANCA

2014

ADECUACIÓN EN EL BANCO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO Y
ANÁLISIS DEL FLUJO DEL AIRE CON INYECCIÓN DE HUMO
ALREDEDOR DE VEHÍCULOS A ESCALA

FERNANDO ANDRES CUELLO NUÑEZ

GIOVANNI JAVIER GUERRA CÓRDOBA

Trabajo de grado para optar por el título de

Ingeniero Mecánico

DIRECTOR:

EDWIN CÓRDOBA

Msc. Ing. Mecánica

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

FLORIDABLANCA

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Floridablanca, 18 de Noviembre de 2014

DEDICATORIA.

Dedico principalmente este proyecto a Dios, por guiarme, darme fortaleza, entendimiento y salud para llegar a esta etapa de mi vida.

A mis Padres Osmar Enrique Cuello Ramírez y Tania Cecilia Núñez Carrillo quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, depositando su entera confianza sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. A mis hermanos María Fernanda Cuello Núñez, José Alejandro Cuello Núñez y Alejandro José Cuello Núñez quienes me han brindado todo su cariño y apoyo durante mi formación profesional.

Es así por mi familia que obtengo este logro y por ellos soy lo que soy ahora.

FERNANDO ANDRES CUELLO NUÑEZ

DEDICATORIA.

En primer lugar agradecer a Dios y la Virgen por la sabiduría para sacar adelante este proyecto.

Agradecer a mis padres Giovanni Guerra y Luz Elena Córdoba, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por estar ahí siempre que los necesité. A mis hermanos Luis Felpe Guerra y Ivonne Lorena Guerra, por sus consejos y apoyo, por ser el motivo para seguir adelante.

A los docentes y a todos aquellos que contribuyeron en mi formación integral, por su dedicación y conocimiento.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

GIOVANNI JAVIER GUERRA CÓRDOBA

AGRADECIMIENTOS.

Al Ingeniero Edwin Córdoba por su colaboración, asesoría, sabias enseñanzas y atención, ya que gracias a esto fue posible la ejecución de este proyecto en su totalidad.

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga por contribuir en nuestra formación integral y colaborarnos con el préstamo de sus instalaciones para la ejecución de este proyecto.

A los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, que de forma directa e indirecta compartieron sus conocimientos y nos aconsejaron en este proceso de formación profesional e hicieron posible el cumplimiento de esta meta.

TABLA DE CONTENIDO.

1. JUSTIFICACIÓN.....	14
2. OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. MARCO TEÓRICO.....	17
3.1 TÚNEL DE VIENTO.....	17
3.2 TÚNEL DE VIENTO DE CIRCUITO ABIERTO.....	18
3.3 PARTES PRINCIPALES DEL TÚNEL DE VIENTO.....	19
3.3.1 Ventilador axial impulsor.....	19
3.3.2 Cámara de prueba.....	20
3.3.3 Difusores.....	22
3.3.4 Alisadores de flujo.....	22
3.3.5 Direccionadores de flujo.....	23
3.4 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	24
3.4.1 Número de Reynolds.....	24
3.4.2 Ecuación de Bernoulli.....	25
3.4.3 Fuerza de arrastre.....	25
3.4.4 Coeficiente de arrastre.....	26
3.4.5 Modelo a escala.....	26
4. METODOLOGÍA.....	28
4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO GENERADOR DE HUMO.....	28
4.1.1 Visualización del patrón del flujo.....	28

4.1.2	Líneas de humo.....	29
4.1.3	Ductos.....	31
4.1.4	Inyectores y Manifold.	31
4.2	Diseño y construcción del sistema de medición de la fuerza de arrastre..	33
4.3	DISEÑO DE COBERTORES AERODINÁMICOS.....	34
4.3.1	Opciones de cobertor aerodinámico frontal.....	35
4.3.2	Fabricación de los cobertores aerodinámico frontales y laterales.	36
4.4	PROCESO DE TOMA DE DATOS.	40
4.4.1	Medición de la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre.....	40
4.4.2	Medición de la fuerza de arrastre sin cobertores aerodinámicos.	42
4.4.3	Medición de la fuerza de arrastre con cobertor aerodinámico remplazo de la opción 2.	43
4.4.4	Medición de la fuerza de arrastre cobertores aerodinámicos opción 3. 44	
4.4.5	Medición del coeficiente de arrastre sin cobertores aerodinámicos. ...	45
4.4.6	Medición del coeficiente de arrastre con cobertor aerodinámico reemplazo de la opción 2.	46
4.4.7	Medición del coeficiente de arrastre cobertor aerodinámico opción 3. 47	
4.5	PRUEBAS DE VISUALIZACIÓN.	48
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
5.1	FUERZA DE ARRASTRE.....	50
5.2	COEFICIENTE DE ARRASTRÉ.	52
5.3	GRAFICAS FUERZA DE ARRASTRE Y COEFICIENTE DE ARRASTRE. 54	
5.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	57
6.	CONCLUSIONES.....	60
7.	RECOMENDACIONES.	62

8. OBSERVACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	66

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 1: TÚNEL DE VIENTO DE CIRCUITO ABIERTO.	19
FIGURA 2: VENTILADOR AXIAL.	20
FIGURA 3: DIRECCIONADORES DE FLUJO	23
FIGURA 4: MODELO A ESCALA HYUNDAI MIGHTY.....	29
FIGURA 5: DIRECCIONADORES DEL FLUJO INSTALADO.....	29
FIGURA 6: VISUALIZACIÓN DEL PATRÓN DE FLUJO.	30
FIGURA 7: LUZ LED Y PATRÓN DE HUMO.....	30
FIGURA 8: MÁQUINA DE HUMO, MANQUERA Y TANQUE.....	31
FIGURA 9: MANIFOLD Y RACORES.....	32
FIGURA 10: INYECTORES Y RACORES.....	33
FIGURA 11: CELDA DE CARGA CON SU BASE.	34
FIGURA 12: SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA FUERZA DE ARRASTRE.....	34
FIGURA 13: OPCIONES DE COBERTOR AERODINÁMICO FRONTAL.	35
FIGURA 14: COBERTOR AERODINÁMICO FRONTAL OPCIÓN 2.....	36
FIGURA 15: PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MOLDE.....	37
FIGURA 16: MOLDE EN SILICONA INDUSTRIAL.	37
FIGURA 17: PROCESO DE FABRICACIÓN MOLDE EN FIBRA DE VIDRIO.	38
FIGURA 18: COBERTOR FRONTAL AERODINÁMICO OPCIÓN 3.....	38
FIGURA 19: COBERTOR AERODINÁMICO LATERAL.....	39
FIGURA 20: COBERTOR LATERAL INSTALADO.....	39
FIGURA 21: MODELO DENTRO DE LA CÁMARA DE PRUEBA.....	40
FIGURA 22: INICIO DEL SOFTWARE PAC CONTROL BASIC.....	41
FIGURA 23: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE SIN COBERTORES.....	42
FIGURA 24: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR SUSTITUTO.....	43
FIGURA 25: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.	44

FIGURA 26: PANTALLAZO HMI COEFICIENTE DE ARRASTRE SIN COBERTORES AERODINÁMICOS.....	45
FIGURA 27: PANTALLAZO HMI COEFICIENTE DE ARRASTRE CON COBERTOR SUSTITUTO.	46
FIGURA 28: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.	47
FIGURA 29: LÍNEAS DE HUMO CONTINUO.	48
FIGURA 30: SISTEMA IMPULSOR DEL HUMO.	49
FIGURA 31: FUERZA DE ARRASTRE VS VELOCIDAD SIN COBERTOR AERODINÁMICO.	54
FIGURA 32: FUERZA DE ARRASTRE VS VELOCIDAD COBERTOR AERODINÁMICO SUSTITUTO.	55
FIGURA 33: FUERZA DE ARRASTRE VS VELOCIDAD COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3	55
FIGURA 34: COEFICIENTE DE ARRASTRE VS REYNOLDS SIN COBERTOR AERODINÁMICO .	56
FIGURA 35: COEFICIENTE DE ARRASTRE VS REYNOLDS COBERTOR SUSTITUTO	56
FIGURA 36: COEFICIENTE DE ARRASTRE VS REYNOLDS COBERTOR OPCIÓN 3	57

LISTA DE TABLAS.

TABLA 1: FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO HYUNDAI MIGTY.....	27
TABLA 2: FRECUENCIAS FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.....	41
TABLA 3: DATOS OBTENIDOS FUERZA DE ARRASTRE SIN COBERTOR AERODINÁMICO	50
TABLA 4: DATOS OBTENIDOS FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR AERODINÁMICO SUSTITUTO.....	51
TABLA 5: DATOS OBTENIDOS FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3	51
TABLA 6: DATOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE (CA) SIN COBERTOR AERODINÁMICO.....	52
TABLA 7: DATOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE (CA) CON COBERTOR AERODINÁMICO SUSTITUTO.....	53
TABLA 8: DATOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE (CA) CON COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.	53
TABLA 9: REDUCCIÓN O AUMENTO DE LA FUERZA Y COEFICIENTE DE ARRASTRE	59

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ADECUACIÓN EN EL BANCO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL FLUJO DEL AIRE CON INYECCIÓN DE HUMO ALREDEDOR DE VEHÍCULOS A ESCALA

AUTOR(ES): GIOVANNI JAVIER GUERRA CÓRDOBA
FERANDO ALANDREES CUELLO NUÑEZ

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): EDWIN JESÚS CÓRDOBA TUTA

RESUMEN

El trabajo realizado surgió con la necesidad de adecuar el túnel de viento de circuito abierto de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. El trabajo elaborado se enfocó en la adecuación del túnel de viento de circuito abierto para determinar la fuerza de arrastre y la visualización de las líneas de corriente de humo. Durante el desarrollo del proyecto se consultó y recopiló la información de mayor interés, seguidamente se llevó a cabo el diseño del sistema generador de humo y el sistema de medición de fuerza de arrastre y la construcción del vehículo a escala Hyundai Mighty y los cobertores aerodinámicos. Como resultado se desarrolló el mecanismo generador de humo con cualidades específicas para garantizar la visualización de las líneas de corriente de humo y el sistema de medición de fuerza de arrastre. Finalmente se hicieron pruebas y se elaboró las guías para el laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

PALABRAS CLAVES:

TÚNEL DE VIENTO DE CIRCUITO ABIERTO

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: ADAPTATION ON THE BENCH FOR TEACHING STUDY AND ANALYSIS OF AIRFLOW WITH SMOKE INJECTION AROUND SMALLSCALE VEHICLES

AUTHOR(S): GIOVANNI JAVIER GUERRA CÓRDOBA
FERANDO ANDRES CUELLO NUÑEZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: EDWIN JESÚS CÓRDOBA TUTA

ABSTRACT

The work was created by the need to match the wind tunnel open circuit Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga. The elaborate work focused on the adequacy of open wind tunnel to determine the drag force and the visualization of the streamlines smoke circuit. During the project were consulted and compiled the information of interest, then took out the design of the generator smoke system and measurement system drag force and the construction of the vehicle scale Hyundai Mighty and aerodynamic covers As a result the smoke generator was developed mechanism of smoke generation with specific qualities, in order to ensure the visualization of smoke current line and measuring system drag force Finally, tests were made and the guidelines was developed for fluid mechanics laboratory of the Pontificia Bolivariana University, Bucaramanga.

KEYWORDS:

the wind tunnel open circuit

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN.

Los túneles de viento se han utilizado por bastante tiempo para estudiar y validar el desempeño de prototipos a través de modelos a escala. Son utilizados tanto para estudiar flujos alrededor de objetos aerodinámicos (aeroplanos, carros y otros) como objetos de forma obtusa (como edificios, personas, terrenos y cualquier tipo de estructura civil). Para predecir adecuadamente el desempeño de los prototipos, el túnel debe cumplir con determinadas características dependiendo de la aplicación. Lo que obliga a construir túneles con diferentes características dependiendo su aplicación, por ejemplo: túneles de baja velocidad, supersónicos, o presurizados, entre otros.

La industria encargada de la construcción y diseños de modelos aerodinámicos cada día se ha ido enfocando en la reducción de la fuerza de arrastre y el coeficiente de arrastre, siendo esta un área en continuo desarrollo y en el que actualmente existen muchos focos de investigación.

El siguiente es un estudio experimental para determinar la reducción del coeficiente de arrastre mediante el uso de cobertores aerodinámicos. Para la realización del estudio, se construyó un modelo a escala 1:16 de un vehículo de carga media marca Hyundai modelo Mighty de 5,5 toneladas de peso bruto.

Este proyecto se centra en la adecuación del túnel de viento de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional-Bucaramanga y en la preparación de guías de laboratorios para mecánica de fluidos utilizando el código fuente de las estrategias de control y pantallazo de HMI.

1. JUSTIFICACIÓN.

Las razones por la cual se realizó este proyecto de adecuación en el banco didáctico para el estudio y análisis del flujo del aire con inyección de humo alrededor de vehículos a escala, se debe a que la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) cuenta con un túnel de viento de circuito abierto al cual se le dará un nuevo funcionamiento que la va a beneficiar, en este momento no hay ninguna practica en el laboratorio de mecánica de fluidos enfocada en el análisis de fuerza de arrastre y los laboratorios de mecánica de fluidos están enfocados más a la parte de estructura, con esto se quiere más ese enfoque a la ingeniería mecánica

Las prácticas de laboratorio en ingeniería son unas de las mejores estrategias de aprendizajes significativos de tipo alternativo, en las cuáles se genera conocimiento desde un enfoque constructivista.

Teniendo en cuenta que la Ingeniería Mecánica es una disciplina que involucra la aplicación de los principios físicos para el análisis de procesos y que se abordaría el componente de profundización del programa académico: moldeamiento de sistemas; el desarrollo del proyecto satisface el alcance de las competencias del egresado de Ingeniería Mecánica

Para cumplir con los objetivos propuestos se anexa un manual para explicar el funcionamiento, cómo se realiza el mantenimiento de la máquina de humo y recomendaciones para alargar la vida útil del activo.

2. OBJETIVO.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

- Adecuar el túnel de viento de circuito abierto por inyección, el cual se generará un flujo de líneas de humo a lo largo de la cámara de prueba y se hará un análisis sobre un objeto sólido que en este caso será un vehículo a escala Hyundai Mighty donde será sometido a estas corrientes de aire y será medida la fuerza de arrastre.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Implementar un sistema mecánico para visualización de las líneas de corriente de flujo sobre el vehículo a escala Hyundai Mighty que estará colocado en la cámara de prueba y el sistema de medición de la fuerza de arrastre.

Resultado: Túnel de viento instrumentado y equipado.

Indicador: El sistema permitirá la visualización de las líneas de flujo durante un periodo no inferior a un minuto.

- Instrumentar y controlar el túnel de viento para la realización de práctica para los estudiantes de mecánica de fluido.

Resultado: Código fuente de las estrategias de control y pantallazo de HMI.

Indicador: La instrumentación y control usará la arquitectura OPTO 22.

- Realizar las guías del laboratorio de mecánica de fluidos correspondiente al análisis de fuerza de arrastre

Resultado: Documento de las guías de laboratorio.

Indicador: Las guías de laboratorio tendrán como mínimo tres pruebas diferentes.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 TÚNEL DE VIENTO.¹

Un túnel de viento o túnel aerodinámico es una herramienta experimental para estudiar los efectos del flujo de aire sobre objetos o cuerpos sólidos. Con él se simulan las condiciones experimentales por el objeto en la situación real. El túnel de viento es el sistema de simulación por excelencia, y aunque su funcionamiento es más complejo de lo que parece, se basa en conceptos bastante simples que se explican a continuación.

En un túnel de viento, el objeto permanece estacionario mientras se fuerza el paso de aire o gas alrededor de él. El aire se sopla o aspira por medio de una turbina o ventilador a través de un conducto equipado con una ventana y otros aparatos en los que los modelos o formas geométricas se montan para el estudio. Después se utilizan varias técnicas para estudiar el flujo de aire real alrededor de la geometría y se comparan con los resultados teóricos, que también deben tener en cuenta el número de Reynolds y el número de Mach para su régimen de funcionamiento.

En su topología más elemental, un túnel de viento es una instalación formada por un conducto tubular de sección arbitraria y regular, capaz de someter al modelo bajo ensayo a un flujo fluido con determinadas propiedades, con tal de caracterizar los fenómenos producidos durante su interacción.

¹ MUÑOZ M. Alberto. Diseño y análisis computacional para túnel de viento de baja velocidad [en línea].
http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15901/pfc_alberto_munoz_mejias_2012.pdf?sequence=1> Consultado (julio 1 de 2014)

La experimentación en túneles de viento resulta a menudo el método más rápido, económico y preciso para la realización de estudios aerodinámicos; ofrecen capacidades de trabajo con modelos a escala en fases iniciales de desarrollo, representan enteramente la complejidad del comportamiento de un fluido real, y proporcionan grandes cantidades de información fiable que sirve de base para diferentes decisiones de diseño.

3.2 TÚNEL DE VIENTO DE CIRCUITO ABIERTO.

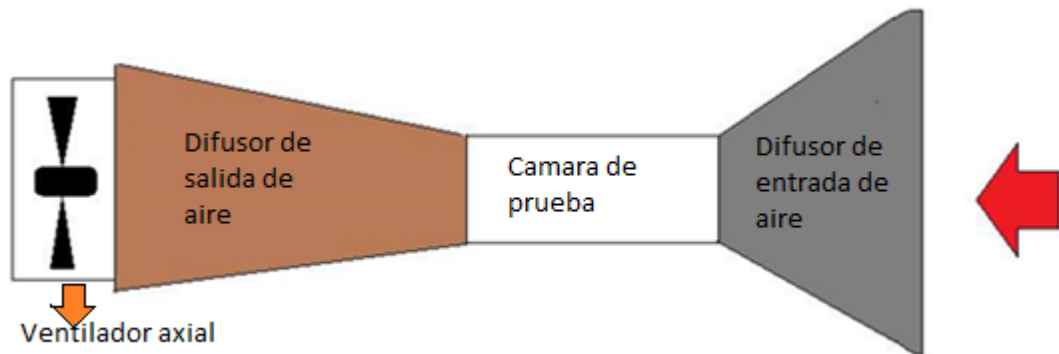
Los túneles de viento de circuito abierto son denominados “Eiffel” (por Gustav Eiffel) o “NPL”, estos túneles de viento aspiran el aire fresco del exterior que ingresa por el cono de entrada y luego a la zona de pruebas finalmente por medio del ventilador es devuelto a la atmósfera por el difusor, al final de la zona de pruebas².

El flujo de aire que circula por su interior describe una trayectoria recta; penetra en el circuito desde el exterior a través de la sección de entrada, que suele albergar la zona de acondicionamiento de flujo. Llega al cono de contracción donde pierde presión y gana velocidad, entrando posteriormente en la cámara de ensayo. A continuación, circula a través del difusor y la sección del propulsor, para regresar finalmente al exterior por medio de la sección de salida³.

² ROJAS Z. Gerardo J. “Estudio de la reducción del consumo de combustible de vehículo terrestre de 5,5 toneladas mediante el uso de cobertores aerodinámicos” Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2008.

³ Op. Cit Muños. PP 9

FIGURA 1: TÚNEL DE VIENTO DE CIRCUITO ABIERTO.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

3.3 PARTES PRINCIPALES DEL TÚNEL DE VIENTO.

3.3.1 Ventilador axial impulsor.⁴

Esta clase de propulsores poseen las ventajas de ser más económicos, proporcionar un gran caudal y ser, su montaje y mantenimiento, sencillos de realizar. Su mayor inconveniente, sin embargo, es el movimiento de rotación que inducen en el flujo a su paso debido al giro del rotor, propiedad poco deseable para aplicaciones en túneles de viento, necesitando así del montaje de elementos de diseño adicionales para dotar al fluido de las características apropiadas requeridas en estas instalaciones.

Según su método de ensamblaje, los ventiladores axiales pueden ser clasificados en tres categorías principales:

- **Circulador de aire o ventilador libre:** Ventilador instalado en un espacio abierto, sin estar integrado en estructura alguna que conduzca el aire de manera predeterminada hacia él, ni lo fuerce a pasar entre sus álabes.

⁴ Op. Cit. Muños. PP 50

Propulsores de este tipo son los ventiladores de pedestal, pared escritorio o techo, generalmente destinados a funciones de aclimatación de dependencias.

- **Ventilador de montaje en diafragma:** Ventilador cuya función principal es la posibilitar una transferencia de flujo entre dependencias de gran tamaño. Dispositivos extractores de gases pertenecen a ésta categoría.
- **Ventilador de conducto:** Ventilador instalado en el interior de un conducto cerrado que limita el movimiento del flujo y lo conduce hacia su rotor. Diferentes etapas adicionales montadas en serie inducen mayores incrementos de presión en el fluido, alcanzando un comportamiento como compresor en situaciones extremas.

FIGURA 2: VENTILADOR AXIAL.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

3.3.2 Cámara de prueba.

Una de las ventajas de la utilización de los túneles de viento, es la de que los experimentos pueden ser realizados bajo condiciones controladas, en

comparación con las que se realizan en ambientes abiertos. El inconveniente de estas experimentaciones pudiera ser la utilización de modelos a escala, en lugar de la utilización de modelos en escala real. Por lo que, con la finalidad de alcanzar los números de Reynolds¹⁷ que se encuentran en un modelo a escala real, la viscosidad y las velocidades de flujo frecuentemente deben de cambiarse⁵.

Se debe elegir una sección transversal adecuada para la zona de pruebas, sin embargo, no existe un método de diseño que garantice una presión estática uniforme y constante en toda la sección transversal de la zona de pruebas. Se tiene preferencia por las secciones circulares o elípticas debido a que se obtiene una mejor distribución de presión y calidad de flujo; las secciones rectangulares no ofrecen una calidad de flujo tan buena como las secciones circulares, pero tiene muchas ventajas constructivas.

Según A. Pope, la condición más importante y fundamental para túneles de uso automotriz, es que el área proyectada de la sección transversal del modelo a escala, no supere el 10% de área transversal de la sección de la zona de pruebas, a esta condición se le denomina factor de bloqueo (FB).

Para evitar inestabilidades y flujos desordenados en la zona de pruebas, se utilizan los direccionadores de flujo al ingreso del cono de entrada; posterior a los direccionadores de flujo se colocan alisadores de flujo que destruyen la turbulencia generada por los direccionadores. En túneles de succión se debe asegurar la obtención de un flujo ordenado y paralelo a las paredes de la zona de pruebas, para evitar la influencia de la succión del ventilador en la zona de pruebas A. Pope

⁵ SILVA T. Carlos J. “Diseño y construcción de un túnel de viento bidimensional subsónico de circuito abierto por inyección” [Línea].
http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Carlos_Jeronimo_Silva_T.pdf [Consulta: viernes 7 noviembre 2014].

recomienda que el largo de dicha zona deberá ser tres veces la longitud del lado de su sección transversal⁶.

3.3.3 Difusores.

La mayoría de los conocimientos sobre los difusores es totalmente empírica, por lo que son sensibles a errores de diseño. Existen dos tipos principales, los difusores de salida y los difusores de gran ángulo. Los primeros por lo general se ubican en la salida de los túneles de viento de inyección y tienen como función principal la de garantizar mediante el incremento de su sección la de equilibrar dentro de lo posible las variaciones de presión del aire en el interior de la cámara, y proveer de un mayor área de salida del aire. Los segundos se ubican dentro del mismo tipo de túneles, antes de las rejillas de panal y el área de contracción como una medida extra para el equilibrio de presiones y velocidades del aire antes de su entrada a la cámara de prueba⁷.

Los difusores se dimensionan con la relación de aire de entrada salida o con el ángulo equivalente de cono que surgen al trazar un cono trucado entre el aire de entrada y de salida (ángulo de divergencia). La relación de área recomendada debe ser de 5 0 6 a 1 y el ángulo debe de ser de 7° o menos⁸.

3.3.4 Alisadores de flujo.⁹

El alisador de flujo, consiste en una malla colocada en la sección transversal del túnel de viento, cuyo propósito es destruir la turbulencia generada por los

⁶ Op. Cit. ROJAS. PP 83

⁷ Op. Cit. SILVA. PP 35

⁸ Gonzales Salome, Urcuhuaranga William, Chiroque José. "Diseño, construcción e instalación de un túnel de viento para pruebas de pequeños aerogeneradores". [en línea]. [http://tecnica.uni.edu.pe/site/DataTecnica/TECNIA-25-\(2\)-2011-04.pdf](http://tecnica.uni.edu.pe/site/DataTecnica/TECNIA-25-(2)-2011-04.pdf). [Consulta: viernes 7 noviembre 2014].

⁹ Op. Cit. ROJAS. PP 86

direccionadores de flujo y proporcionar a la zona de pruebas un flujo de aire con mínima turbulencia.

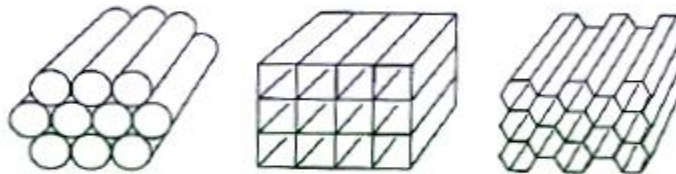
En los túneles de viento se emplean diferentes grados o niveles mesh (cantidad de espacios entre alambres en una pulgada lineal) de alisadores de flujo, comúnmente los túneles de viento, poseen de una a tres mallas dependiendo del grado de turbulencia.

3.3.5 Direccionadores de flujo.¹⁰

Los direccionadores de flujo son dispositivos que se instalan en los túneles de viento con la finalidad de distribuir el flujo uniformemente sobre la sección transversal de la zona de pruebas, evitando flujos en sentidos diferentes al de la velocidad de corriente libre.

Los direccionadores pueden ser fabricados de diferentes formas, entre ellas tenemos la circular, la cuadrada o la hexagonal.

FIGURA 3: DIRECCIONADORES DE FLUJO



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

¹⁰ Op. Cit. ROJAS. PP 83

3.4 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

3.4.1 Número de Reynolds.¹¹

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Este número recibe su nombre en honor de Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo describió en 1883.

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo, en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Desde un punto de vista matemático, el número de Reynolds de un problema o situación concreta se define por medio de la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho \vartheta s D}{\mu} \quad (3.1)$$

O equivalente por:

$$Re = \frac{\vartheta s D}{\vartheta} \quad (3.2)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido

ϑs : Velocidad característica del fluido

D=Diámetro de la tubería a través del cual circula el fluido o longitud característica del fluido

μ : Viscosidad dinámica del fluido

ϑ : Viscosidad cinemática del fluido

¹¹Op Cit. MUÑOZ. PP 83

3.4.2 Ecuación de Bernoulli.¹²

La ecuación de Bernoulli asume que el flujo de fluidos es incompresible, no viscoso, y que la energía mecánica a lo largo del flujo, se conserva Bernoulli describe el comportamiento del flujo del aire en función de la presión estática y la presión dinámica. La altura respecto del suelo, no se considera ya que las alturas son pequeñas y el aire posee una densidad también pequeña, por lo que los efectos gravitacionales pueden ser ignorados.

La ecuación de Bernoulli establece que si se incrementa la presión estática (p_1) en el punto 1 del flujo (Figura 2.2), deberá disminuir la velocidad (V_1) en ese mismo punto. De igual forma, si se disminuye la presión (p_2) en un punto 2 del flujo, deberá incrementarse el valor de la velocidad (V_2) en ese mismo punto.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = cte \quad (3.3)$$

3.4.3 Fuerza de arrastre.¹³

La fuerza más importante para el análisis aerodinámico de los vehículos de carretera, es la fuerza de arrastre cuyos efectos mecánicos sobre los vehículos, son más significativos al incrementarse la velocidad. La fuerza de arrastre determina las características más importantes del vehículo como la potencia del motor, la velocidad máxima del vehículo, la forma del vehículo, el consumo de combustible entre otros.

La fuerza de arrastre, es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de corriente libre y al coeficiente de arrastre C_A .

¹² Op. Cit. ROJAS. PP 10

¹³ Op. Cit. ROJAS. PP 31

$$FA = \left[\frac{1}{2} \rho \cdot A \right] CA \cdot V^2 \quad (3.4)$$

3.4.4 Coeficiente de arrastre.¹⁴

El coeficiente de arrastre CA, es un número adimensional que describe cuán aerodinámico es un vehículo de carretera; los efectos del arrastre por fricción, el arrastre de forma, el arrastre inducido, el arrastre por interferencia y el arrastre por flujos internos, están incluidos en el coeficiente de arrastre.

El número de Reynolds influye sobre el valor del coeficiente de arrastre y esta influencia complica el análisis si se requiere calcular la fuerza de arrastre del vehículo mediante pruebas experimentales con un modelo a escala en un túnel de viento. Esta dificultad se debe al principio de similitud, el cual establece que el número de Reynolds de vehículo real y del modelo a escala, deben ser iguales.

3.4.5 Modelo a escala.¹⁵

El modelo a escala, es la réplica de un vehículo de carretera que se utiliza para realizar los experimentos aerodinámicos dentro de un túnel de viento, el modelo debe fabricarse imitando al vehículo real con máxima exactitud en sus dimensiones, A. Pope, Barnard y H. Hucho recomiendan hasta $\pm 1,5\text{mm}$ (1:16) de tolerancia.

Los modelos a escala se fabrican con diferentes materiales, muchos son fabricados completamente de metal, otros son fabricados de madera o una combinación de madera y metal. Existen también modelos fabricados de plásticos, fibra de vidrio y materiales similares.

¹⁴ Op. Cit. ROJAS. PP 41

¹⁵ Op. Cit. ROJAS. PP 41

TABLA 1: FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO HYUNDAI MIGTY.

DATOS DEL VEHÍCULO	
Marca	Hyundai
Modelo	Migty
VELOCIDAD	
Velocidad máx.(km/h)	105
PESOS	
Peso sin carga (kg)	2250
Peso útil (kg)	3250
peso bruto (kg)	5500
DIMENSIONES	
Longitud (m)	6,7
Altura (m)	3,26
Ancho (m)	2,22

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4. METODOLOGÍA.

En la realización de las pruebas se desarrolló en primera medida la adecuación del túnel de viento, que consistió en diseñar el mecanismo generador de humo y el sistema de medición de fuerza de arrastre, seguidamente se construyó el vehículo a escala Hyundai Mighty y los cobertores aerodinámicos.

4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO GENERADOR DE HUMO.

Para el diseño del mecanismo generador de humo se contó con las experiencia de proyectos de tesis similares referenciados, que nos sirvieron de guía para nuestro diseño y construcción.

4.1.1 Visualización del patrón del flujo.

Para visualizar el patrón de flujo en el modelo a escala, en primera instancia se pintó el prototipo de color gris como se aprecia en la figura 4, para visualizar el patrón de humo, pero por la alta claridad del laboratorio se dificultó mucho la toma de evidencia, por lo que fue necesario crear un sistema de luz led para reflejar el patrón dentro de la cámara de prueba como se ve en la figura 7.

Dentro de la cámara se tiene que garantizar un flujo laminar por lo que fue necesario instalar una rejilla direccionadores y posteriormente una rejilla alisadora del flujo como se aprecia en la figura 5.

FIGURA 4: MODELO A ESCALA HYUNDAI MIGHTY.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 5: DIRECCIONADORES DEL FLUJO INSTALADO.



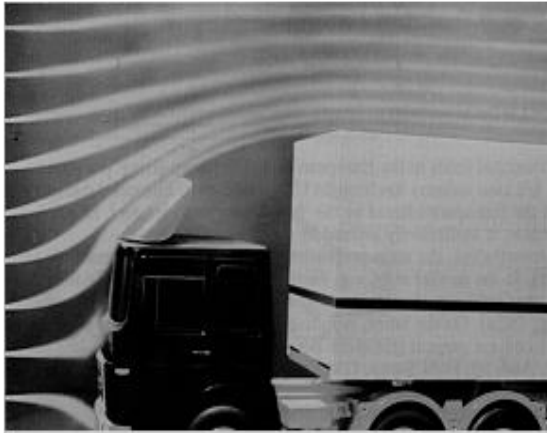
FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.1.2 Líneas de humo.

Esta técnica es preferible para pruebas a bajas velocidades, A. Pope, afirma que se considera una velocidad máxima de 18 m/s o 65 km/h; los túneles de viento con sistemas de inyección de humo, son usualmente de circuito abierto para prevenir

la acumulación de humo en la corriente principal. Sin embargo, se producirán acumulaciones de humo en los alrededores del túnel¹⁶.

FIGURA 6: VISUALIZACIÓN DEL PATRÓN DE FLUJO.



FUENTE: H. HUCHO, "AERODYNAMIC OF ROAD VEHICLES", 1987.

FIGURA 7: LUZ LED Y PATRÓN DE HUMO.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

¹⁶ POPE, Alan (1961), "Wind-Tunnel Testing" Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc, New York London.

4.1.3 Ductos.

La derivación del humo se resolvió mediante la utilización de tubería y conexiones de PVC hidráulico de 2" de pared gruesa, con el fin de que soporte altas temperaturas. Dentro de las limitaciones espaciales del lugar se procuró que la manguera principal de humo, que parte directamente de la boquilla de la máquina de humo, fuera lo más corto posible, y enfriado en el tanque de almacenamiento con el fin de disminuir un poco la temperatura que éste tiene al salir de la máquina, de esta forma se conectó una manguera de 2" y 30 cm de largo, a la máquina de humo y por el otro, a al tanque de almacenamiento.

FIGURA 8: MÁQUINA DE HUMO, MANQUERA Y TANQUE.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

Desde la parte superior del tanque se conecta la tubería en forma "Z" por medio de uniones de PVC.

4.1.4 Inyectores y Manifold.

En la figura 9 se observa que el humo es direccionado a los inyectores por medio del sistema de distribución del humo llamado Manifold.

La concentración y distribución de humo se resolvió mediante la fabricación de un tipo de Manifold de PVC de 2", el cual tiene en su extremo superior una tapa removible del mismo material, que tiene como función la de regular las presiones del flujo en el interior de ésta pieza. A este Manifold se le hicieron 7 orificios de 1/8 de pulgada (para generar 7 líneas de humo), con una separación de 2.8 cm entre cada una, para la facilidad se instaló un sistema de acoples, que consistió en racores y niple metálicos.

FIGURA 9: MANIFOLD Y RACORES.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

Los inyectores fueron diseñados con tubo de cobre capilar de 1/16 de pulgada de 25 cm de largo, andándoles un acople, para facilitar el montaje como se aprecia en la figura 10.

FIGURA 10: INYECTORES Y RACORES.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

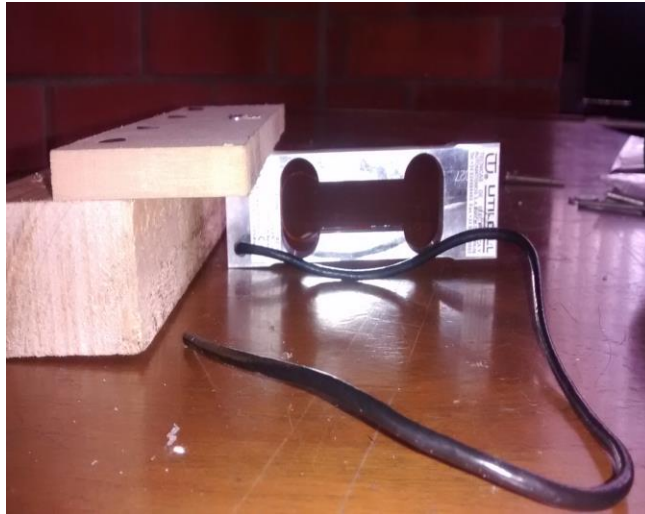
4.2 Diseño y construcción del sistema de medición de la fuerza de arrastre.

Este mecanismo consistió en un hilo de lana de 0,1mm de diámetro y 1,5 m de largo, el cual fue insertado en la parte frontal del modelo a escala del vehículo, y mediante de una polea es direccionado a la celda de carga.

Esta celda de carga funciona a tensión y a compresión en este caso se utilizó a tensión y tiene una capacidad de 0.6 kg con un margen de error de 0.0017kg que se encuentra conectado al módulo dándonos en si la fuerza de arrastre a la que es sometido el modelo a escala.

La señal análoga mv dada por la celda de carga es comunicada a un módulo comandado por la arquitectura OPTO 22 y posteriormente esta señal es transferida al programa PAC CONTROL BASIC 9,4 por medio del cable Ethernet.

FIGURA 11: CELDA DE CARGA CON SU BASE.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 12: SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA FUERZA DE ARRASTRE.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.3 DISEÑO DE COBERTORES AERODINÁMICOS.

Para el diseño de los cobertores se tomó como referencia la tesis “**ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULO TERRESTRE DE 5,5 TONELADAS MEDIANTE EL USO DE COBERTORES AERODINÁMICOS**”. En esta tesis no encontraron un modelo matemático que se

podiera aplicar para el diseño de los cobertores para el vehículo Hyundai Mighty, por tal motivo el diseño de los cobertores se realizaron mediante la teoría de capa límite.

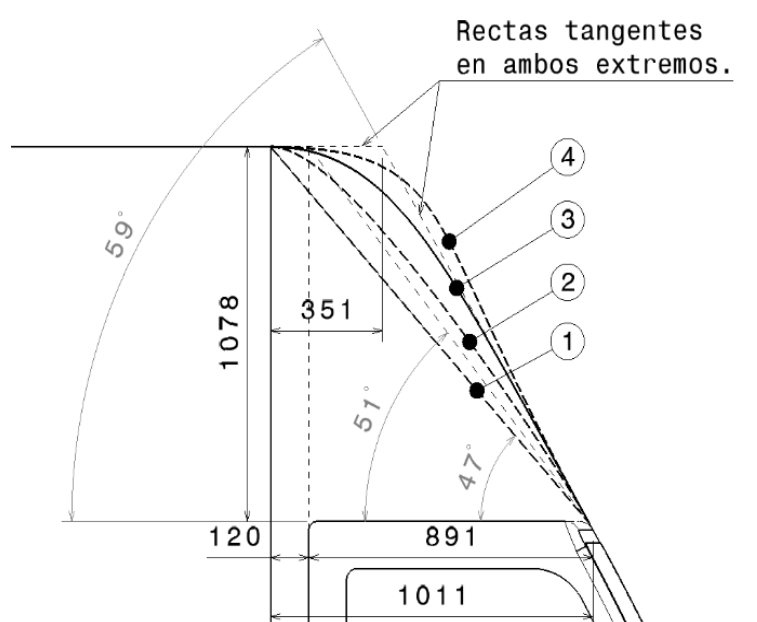
4.3.1 Opciones de cobertor aerodinámico frontal.

El cobertor construido debe garantizar los siguientes parámetros:

- Debe evitar el desprendimiento de capa límite.
- Debe evitar zonas de baja velocidad de flujo y, o puntos de estancamiento.

En la figura 13 se muestra las posibles opciones para la construcción del cobertor aerodinámico, tomando la opción 3 y 2 que en su parte superior posee unas mejores cualidades aerodinámicas y es probable que no ocurra desprendimiento de la capa límite.

FIGURA 13: OPCIONES DE COBERTOR AERODINÁMICO FRONTAL.



FUENTE: ROJAS ZEVALLOS, GERARDO JAVIER, "ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULO TERRESTRE DE 5,5 TONELADAS MEDIANTE EL USO DE COBERTORES AERODINÁMICOS", TESIS, PP 52, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, LIMA- PERÚ, 2008.

4.3.2 Fabricación de los cobertores aerodinámico frontales y laterales.

Para la construcción de los cobertores elegido, se decidió hacer el cobertor opción 2 de fibra de vidrio y el cobertor opción 3 en madera.

4.3.2.1 Cobertores opción 2.

Para la fabricación del cobertor en fibra de vidrio se siguieron los siguientes pasos:

- En la figura 14 se observa la construcción de las guía del molde en poli-estireno expandido.
- En la figura 15 y 16 se observa la Construcción del molde en silicona industrial.
- En la figura 17 se observa la Construcción del molde en fibra de vidrio.

FIGURA 14: COBERTOR AERODINÁMICO FRONTAL OPCIÓN 2.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 15: PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MOLDE.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 16: MOLDE EN SILICONA INDUSTRIAL.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 17: PROCESO DE FABRICACIÓN MOLDE EN FIBRA DE VIDRIO.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.3.2.2 Cobertores opción 3.

Para la construcción del cobertor opción 3 se utilizó una lámina de manera de 0,3 mm de espesor para poder moldear la curva requerida, forzándola con puntillas sobre el marco con se aprecia en la figura 18.

FIGURA 18: COBERTOR FRONTAL AERODINÁMICO OPCIÓN 3.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.3.2.3 Cobertores laterales.

Este cobertor cilíndrico de radio variable tiene la función de:

- Cubre el espacio entre la cabina y el tráiler.
- Cubre las aristas laterales del tráiler.

FIGURA 19: COBERTOR AERODINÁMICO LATERAL.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 20: COBERTOR LATERAL INSTALADO.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.4 PROCESO DE TOMA DE DATOS.

Como primera medida se comprobó que el sistema de medición de fuerza de arrastre y el mecanismo generador de humo estuviera funcionando correctamente.

A través del programa PAC CONTROL BASIC 9,4 se pudo visualizar la tendencia de la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre con los modelos a escala con y sin los cobertores direccionadores.

4.4.1 Medición de la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre.

Para iniciar la prueba se hicieron los siguientes pasos:

- Como se observa en la figura 21, se instaló el prototipo a escala estudiado dentro de la cámara de prueba.
- Se puso en marcha el anemometro.
- Se puso en marcha el ventilador axial y variador de frecuencia.
- Se puso en marcha el modulo.

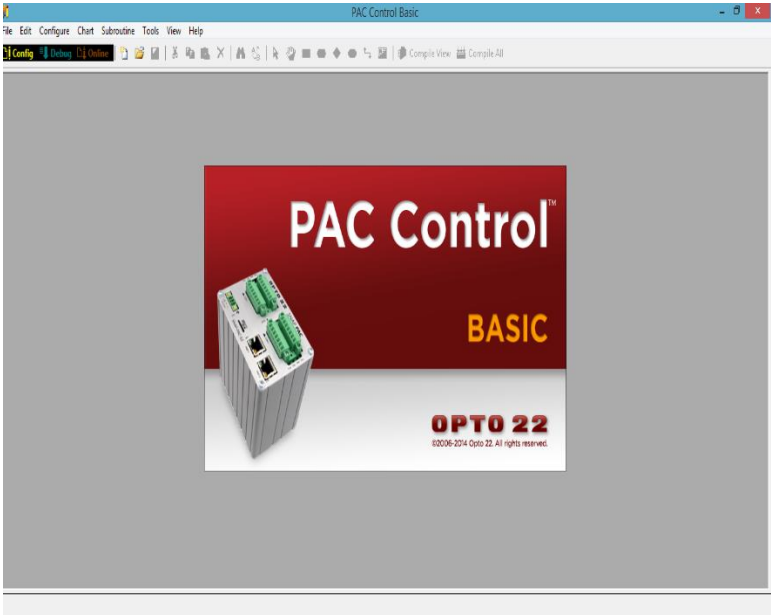
FIGURA 21: MODELO DENTRO DE LA CÁMARA DE PRUEBA.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

Para la toma de datos se usa el software PAC CONTROL BASIC 9.4. La interfaz de este programa se muestra en la figura 14. Luego se cargó el programa de control y se dio el inicio a las pruebas.

FIGURA 22: INICIO DEL SOFTWARE PAC CONTROL BASIC.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

- En siguiente paso se varió la frecuencias de trabajo como se muestra en la tabla con un tiempo de espera de 4 minutos para garantizar la estabilizacion del flujo dentro de la camara de prueba utilizando las frecuencia de trabajo como se observa en la tabla 2.

TABLA 2: FRECUENCIAS DE TRABAJO.

Frecuencia (hz)									
23	26	30	33	36	40	43	46	50	53

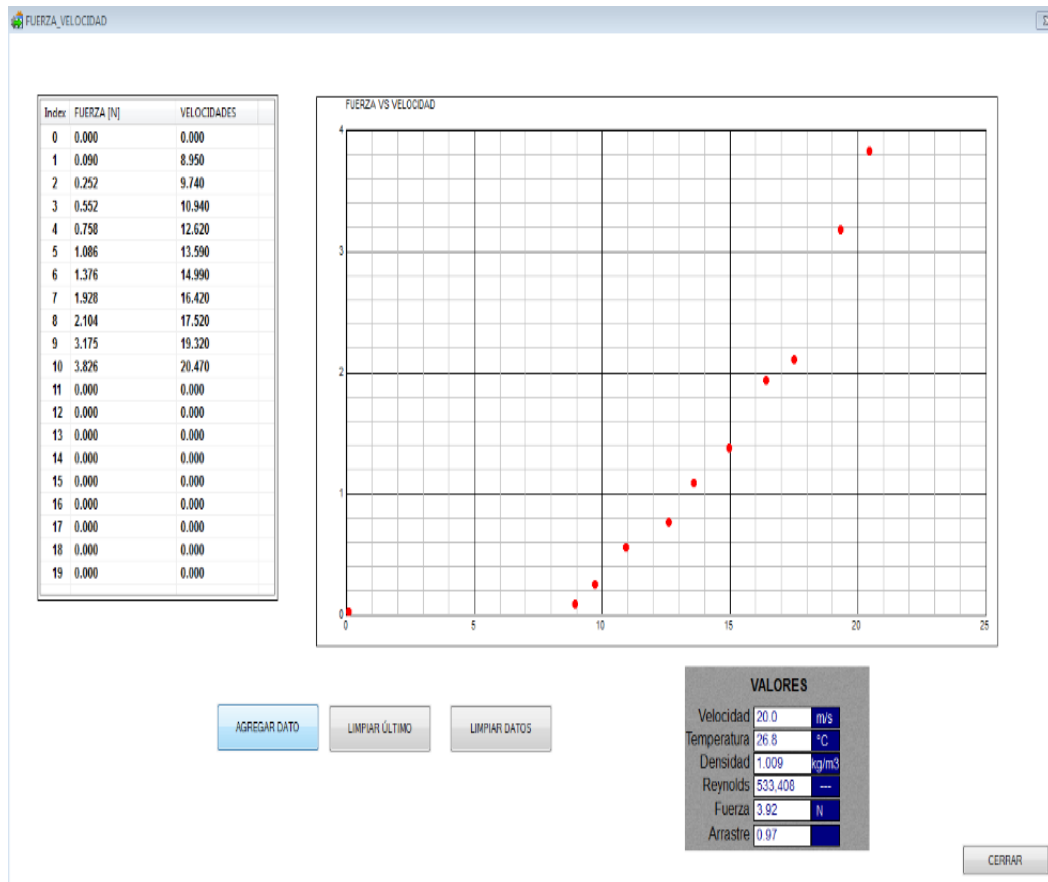
FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

- Luego se tomaron los pantallazo HMI con los datos de las variación de número de Coeficiente de arrastre vs Reynolds y Fuerza de Arrastre y Velocidad.

4.4.2 Medición de la fuerza de arrastre sin cobertores aerodinámicos.

Para la toma de los siguientes datos se tomo pantallazos HMI de la prueba cada 4 minutos de acuerdo a la frecuencia de trabaja indicada en la tabla 2 y se obtubo el pantallazo HMI final.

FIGURA 23: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE SIN COBERTORES.

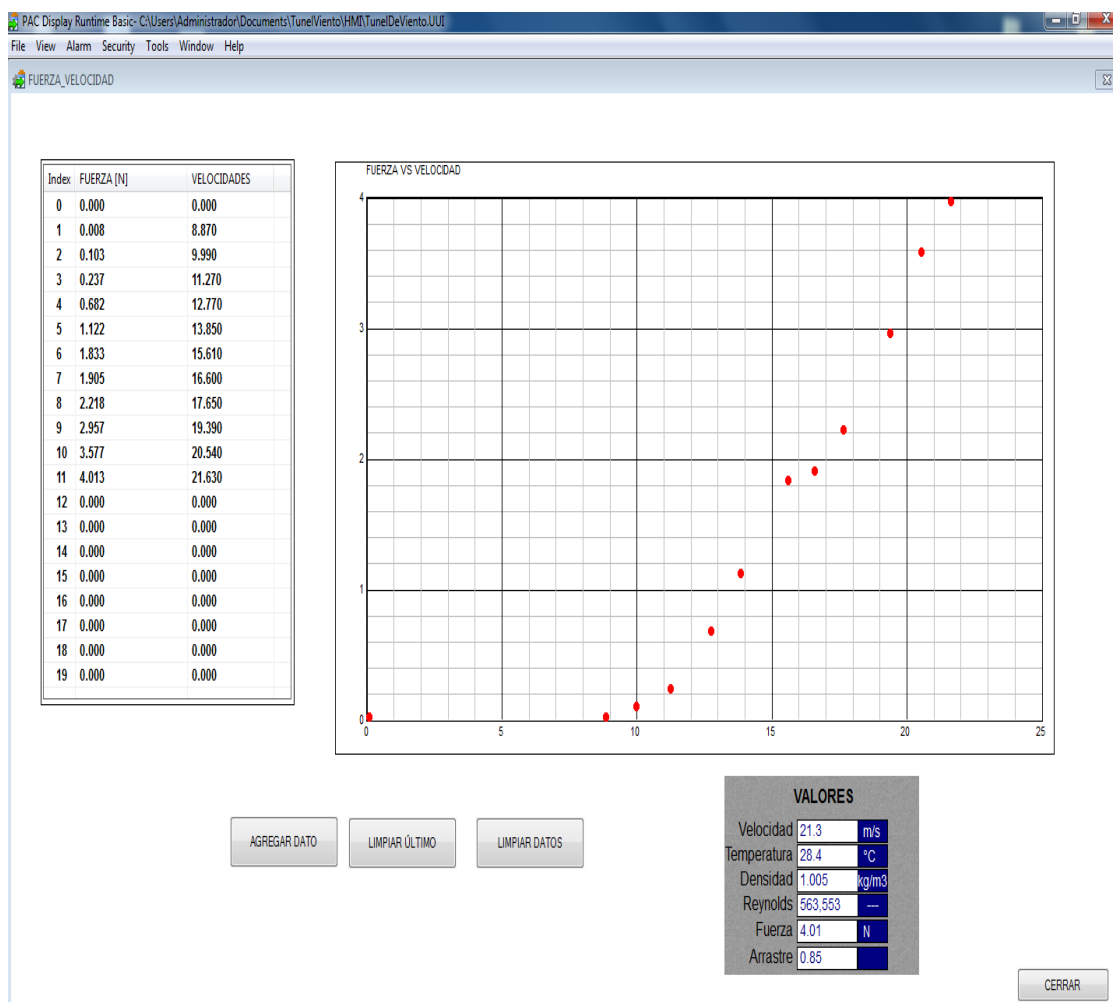


FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.4.3 Medición de la fuerza de arrastre con cobertor aerodinámico remplazo de la opción 2.

Para la toma de los siguientes datos se colocó el cobertor sustituto de la opción 2 y se tomaron pantallazos HMI de la prueba cada 4 minutos de acuerdo a la frecuencia de trabajo indicada en la tabla 2 y se obtuvo el pantallazo HMI final.

FIGURA 24: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR SUSTITUTO.

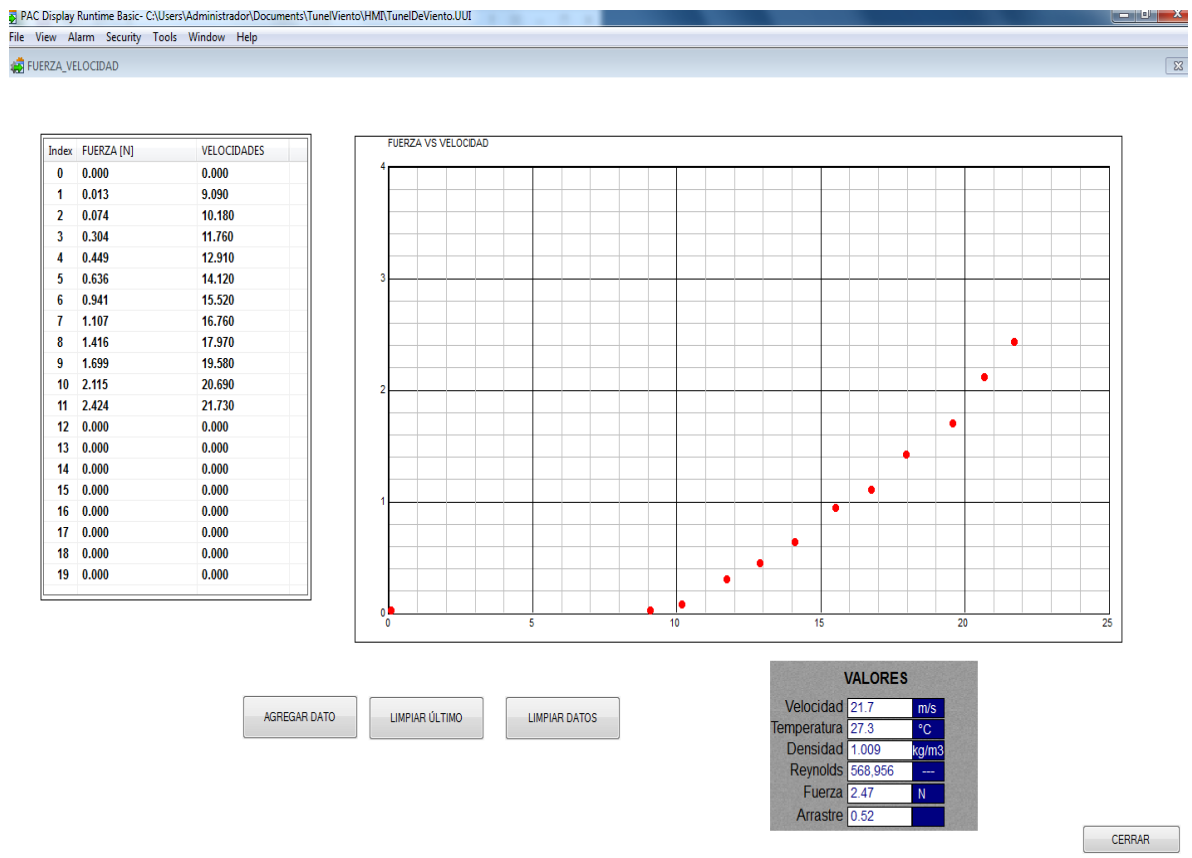


FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.4.4 Medición de la fuerza de arrastre cobertores aerodinámicos opción 3.

Para la toma de los siguientes datos se colocó el modelo a escala 2 con el convertor aerodinámico opción 3 y se tomaron pantallas HMI de la prueba cada 4 minutos de acuerdo a la frecuencia de trabajo indicada en la tabla 2 y se obtuvo el pantallazo HMI final.

FIGURA 25: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.

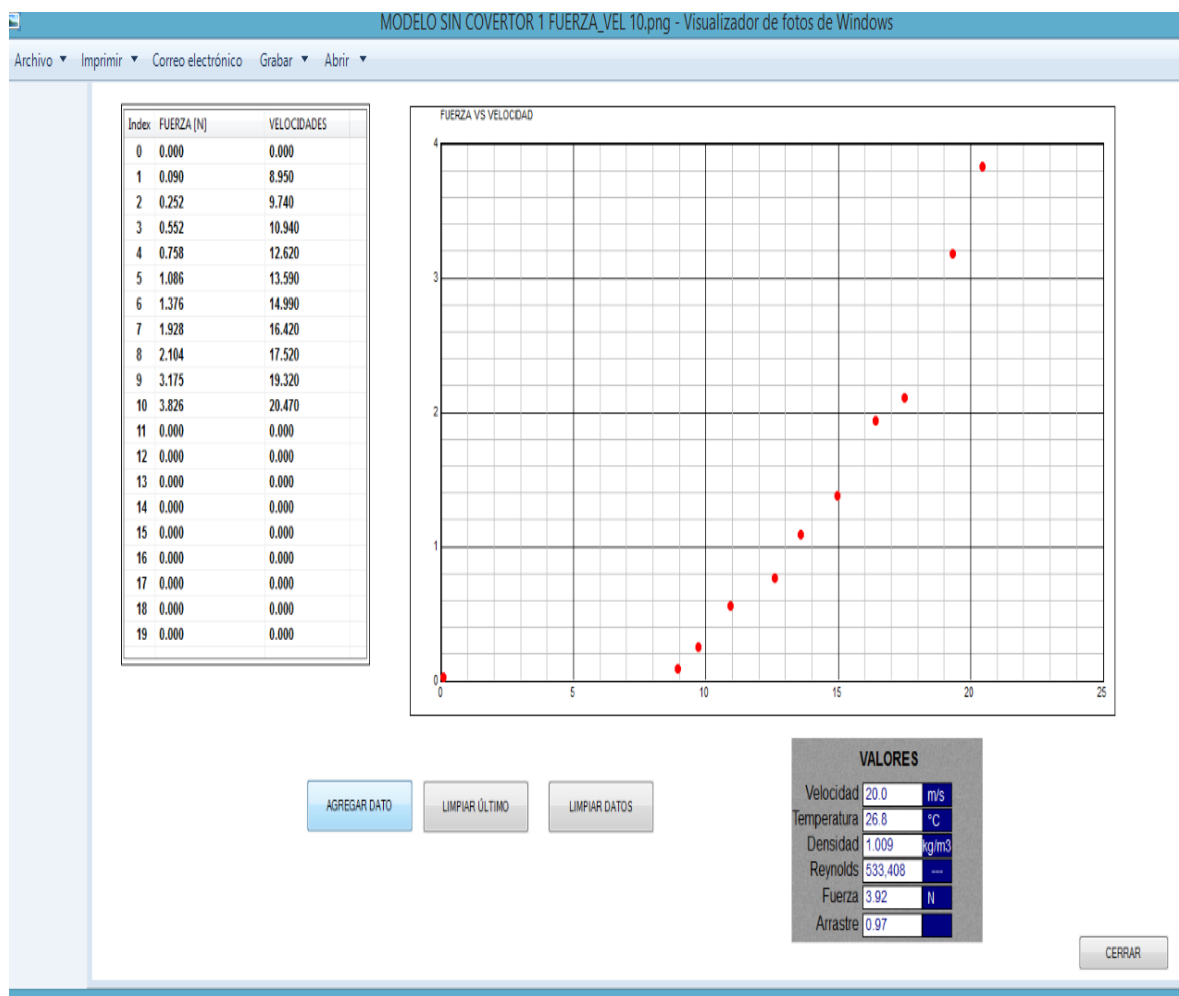


FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.4.5 Medición del coeficiente de arrastre sin cobertores aerodinámicos.

Para la toma de los siguientes datos se colocó el modelo a escala 1 sin el cobertor aerodinámico, se procedió como la guía de laboratorio (**ver anexos**) y se tomaron pantallazos HMI de la prueba cada 4 minutos de acuerdo a la frecuencia de trabajo indicada en la tabla 2 y se obtuvo el pantallazo HMI final.

FIGURA 26: PANTALLAZO HMI COEFICIENTE DE ARRASTRE SIN COBERTORES AERODINÁMICOS.

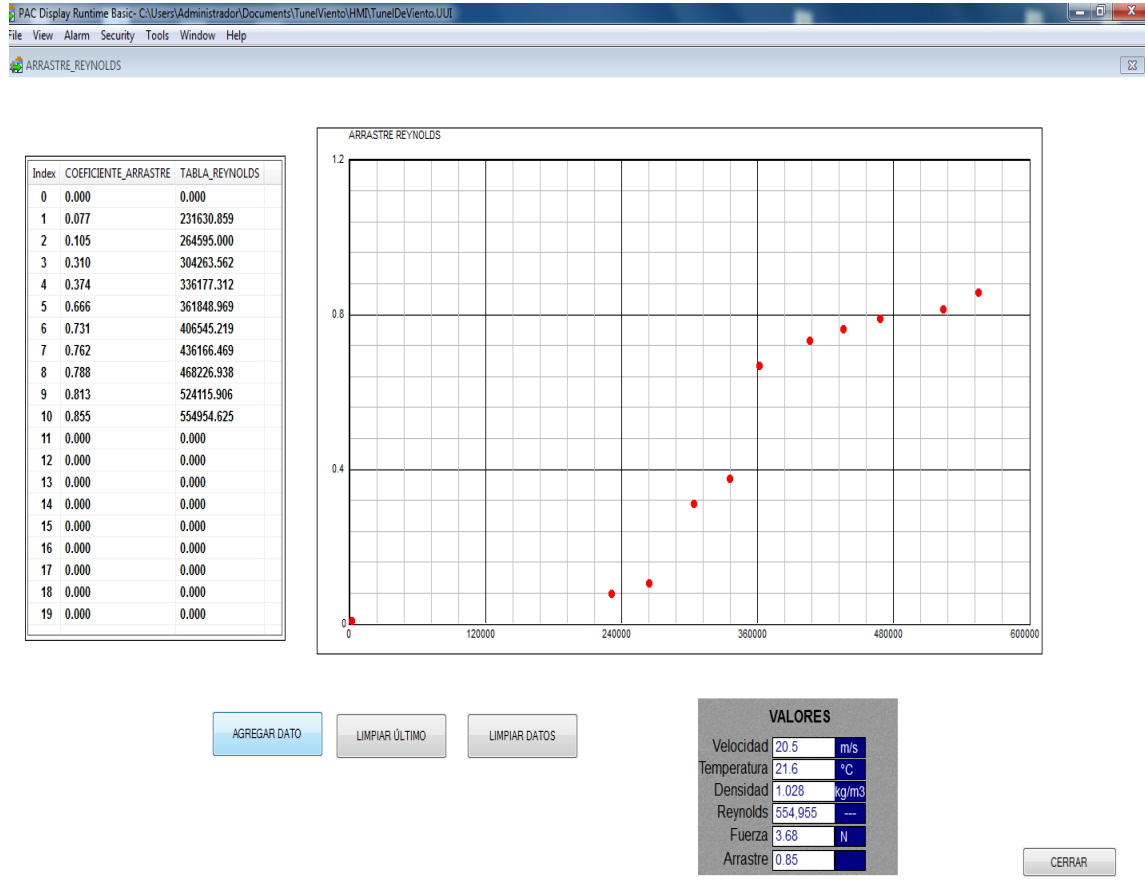


FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.5 Medición del coeficiente de arrastre con cobertor aerodinámico reemplazo de la opción 2.

Para la toma de los siguientes datos se colocó el modelo a escala 1 con el cobertor aerodinámico sustituto de la opción 2, se procedió como la guía de laboratorio (**ver anexos**) y se tomaron pantallazos HMI de la prueba cada 4 minutos de acuerdo a la frecuencia de trabajo indicada en la tabla 2 y se obtuvo el pantallazo HMI final.

FIGURA 27: PANTALLAZO HMI COEFICIENTE DE ARRASTRE CON COBERTOR SUSTITUTO.

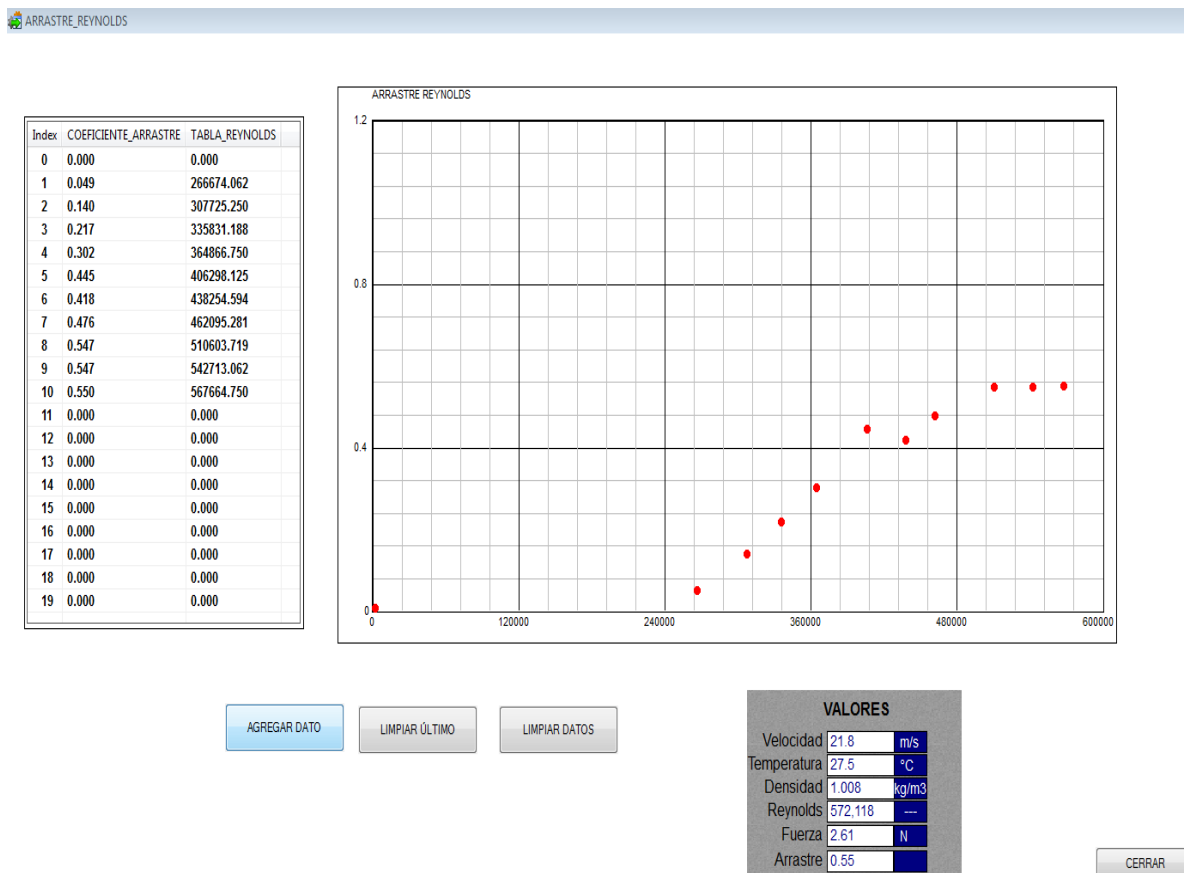


FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.5.1 Medición del coeficiente de arrastre cobertor aerodinámico opción 3.

Para la toma de los siguientes datos se colocó el modelo a escala 2 con el cobertor aerodinámico opción 3 y se procedió como la guía de laboratorio (**ver anexos**) y se tomaron pantallazos HMI de la prueba cada 4 minutos de acuerdo a la frecuencia de trabajo indicada en la tabla 2 y se obtuvo el pantallazo HMI final.

FIGURA 28: PANTALLAZO HMI FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.

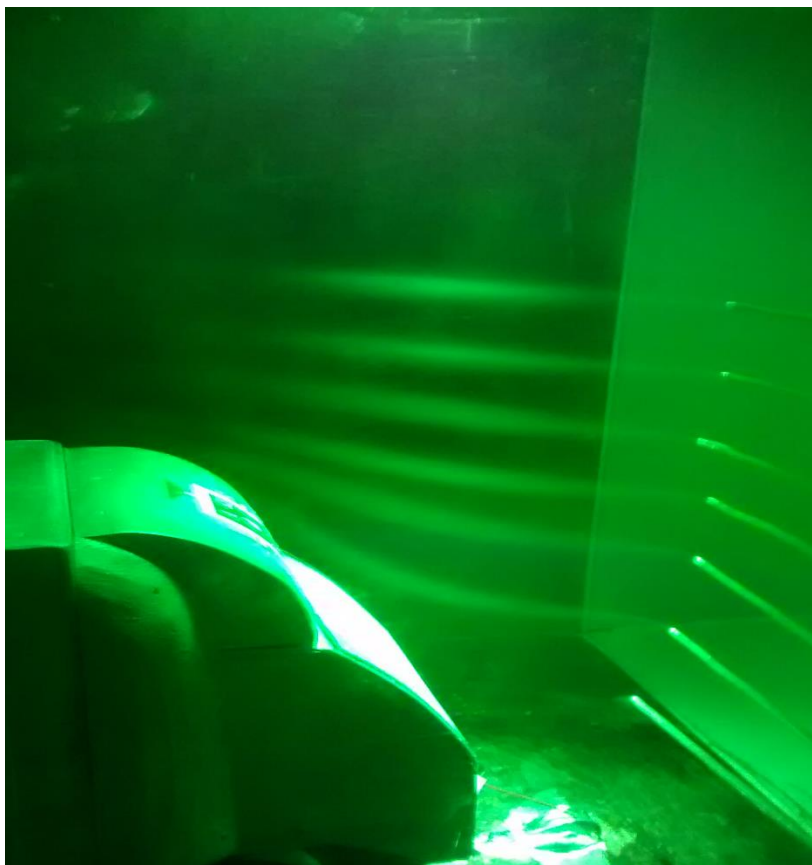


FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

4.6 PRUEBAS DE VISUALIZACIÓN.

La figura 29 muestra las 7 líneas de flujo continuo. El flujo se pudo visualizar 1 minuto gracias a la luz led y a un nuevo sistema impulsor del humo como se aprecia en la figura 30.

FIGURA 29: LÍNEAS DE HUMO CONTINUO.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 30: SISTEMA IMPULSOR DEL HUMO.



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

A continuación se presentan los resultados y análisis para cada uno de los ensayos que se realizaron. En cada ensayo se tomaron 11 pantallazo HMI a las frecuencias de trabajo estudiada y se promediaron con el listado final del último pantallazo HMI. Se tabula y se grafica el promedio de las variables estudiadas que se obtienen al resolver el procedimiento mencionado. Además se plasman las líneas de tendencia de las curvas promedio del comportamiento de la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre con respecto a la velocidad y número de Reynolds respetivamente, apreciando las diferentes curvas y las líneas de tendencia con o sin los cobertores aerodinámicos para su análisis. Esta información se encuentra desde la tabla 3 hasta la 8 y partiendo de la figura 31 hasta la 36.

5.1 FUERZA DE ARRASTRE.

En las tablas 3, 4 y 5 se presenta el resumen de los 11 pantallazo HMI correspondiente a la fuerza de arrastre sin cobertores aerodinámicos y con los dos cobertores aerodinámicos. Además de los datos presentados se plasman el promedio de las variables velocidad, y fuerza de arrastre.

TABLA 3: DATOS OBTENIDOS FUERZA DE ARRASTRE SIN COBERTOR AERODINÁMICO.

Frecuencia (hz)	Velocidad (m/s)	Fuerza de arrastre (N)
23	0,0	0
26	9,0	0,44
30	10,1	0,45
33	11,7	0,52
36	12,2	0,75

40	13,5	1,16
43	15,4	1,66
46	16,6	1,90
50	16,8	2,27
53	19,5	2,64
56	20,6	3,53

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

TABLA 4: DATOS OBTENIDOS FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR AERODINÁMICO SUSTITUTO.

Frecuencia (hz)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Promedio Velocidad (m/s)	Fuerza de arrastre 1 (N)	Fuerza de arrastre 2 (N)	Promedio Fuerza (N)
23	8,87	8,9	8,89	0,008	0,01	0,009
26	9,99	9,9	9,95	0,103	0,1	0,102
30	11,27	11,3	11,29	0,237	0,24	0,239
33	12,77	12,8	12,79	0,682	0,67	0,676
36	13,85	13,7	13,78	1,122	1,12	1,121
40	15,61	15,5	15,56	1,833	1,82	1,827
43	16,6	16,3	16,45	1,905	1,89	1,898
46	17,65	17,9	17,78	2,218	2,19	2,204
50	19,36	19,3	19,33	2,957	2,94	2,949
53	20,54	20,5	20,52	3,577	3,59	3,584
56	21,63	21,3	21,47	4,013	4,01	4,012

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

TABLA 5: DATOS OBTENIDOS FUERZA DE ARRASTRE CON COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.

Frecuencia (hz)	Velocidad 1 (m/s)	Velocidad 2 (m/s)	Promedio Velocidad (m/s)	Fuerza de arrastre 1 (N)	Fuerza de arrastre 2 (N)	Promedio Fuerza (N)
23	9,09	9,1	9,10	0,013	0,02	0,02
26	10,18	10,2	10,19	0,074	0,09	0,08

30	11,76	11,8	11,78	0,304	0,3	0,30
33	12,91	12,9	12,91	0,449	0,44	0,44
36	14,12	14,1	14,11	0,636	0,62	0,63
40	15,52	15,8	15,66	0,941	0,94	0,94
43	16,76	16,8	16,78	1,107	1,12	1,11
46	17,97	18,1	18,04	1,416	1,43	1,42
50	19,58	19,1	19,34	1,699	1,7	1,70
53	20,69	20,7	20,70	2,115	2,17	2,14
56	21,73	21,7	21,72	2,424	2,47	2,45

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

5.2 COEFICIENTE DE ARRASTRÉ.

En las tablas 6, 7 y 8 se presenta el resumen de los 11 pantallazo HMI correspondiente al coeficiente de arrastre (CA) sin cobertores aerodinámicos y con los dos cobertores aerodinámicos. Además de los datos presentados se plasman el promedio de las variables coeficiente de arrastre y Reynolds

TABLA 6: DATOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRÉ (CA) SIN COBERTOR AERODINÁMICO.

Frecuencia (hz)	Coeficiente de arrastre	Reynolds 1	Reynolds 2	Promedio Reynolds
23	0	0	0	0
26	0,52	245770,80	245954,00	2,46E+05
30	0,42	287209,88	290016	2,89E+05
33	0,36	335692,38	337215	3,36E+05
36	0,44	367855,06	367823	3,68E+05
40	0,60	388754,41	399865	3,94E+05
43	0,69	440571,47	440571	4,41E+05
46	0,62	487731,84	487750	4,88E+05
50	0,72	515959,44	491879	5,04E+05
53	0,64	575204,19	575500	5,75E+05
56	0,77	613647,00	613647	6,14E+05

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

TABLA 7: DATOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE (CA) CON COBERTOR AERODINÁMICO SUSTITUTO.

Frecuencia (hz)	Coefficiente de arrastre 1	Coefficiente de arrastre 2	Promedio Coeficiente de arrastre	Reynolds 1	Reynolds 2	Promedio Reynolds
23	0			0		
26	0,077	0,09	0,084	231630,856	232665	2,32E+05
30	0,105	0,11	0,108	254595	264436	2,60E+05
33	0,31	0,32	0,315	304263,561	304080	3,04E+05
36	0,374	0,37	0,372	336167,312	335712	3,36E+05
40	0,666	0,66	0,663	361848,669	361367	3,62E+05
43	0,731	0,73	0,731	406545,215	406545	4,07E+05
46	0,761	0,76	0,761	436166,469	436166	4,36E+05
50	0,788	0,77	0,779	468226,938	468227	4,68E+05
53	0,83	0,82	0,825	524115,906	518562	5,21E+05
56	0,855	0,85	0,853	554954,625	554955	5,55E+05

Fuente: Autores del proyecto.

TABLA 8: DATOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE (CA) CON COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3.

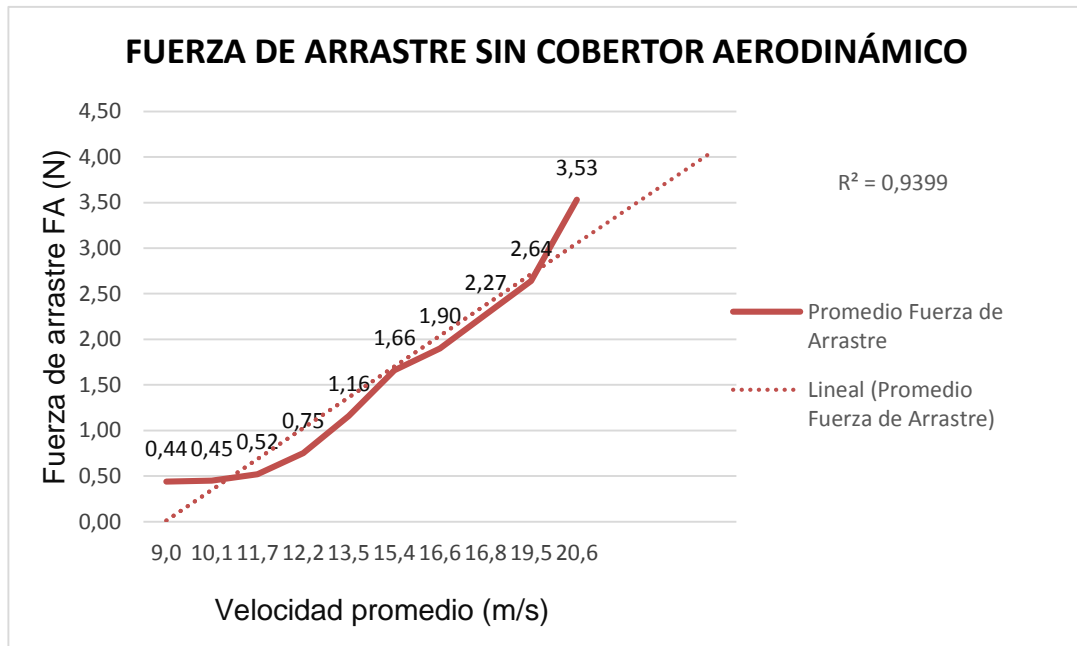
Frecuencia (hz)	Coefficiente de arrastre 1	Coefficiente de arrastre 2	Promedio Coeficiente de arrastre	Reynolds 1	Reynolds 2	Promedio Reynolds
23	0	0	0	0	0	0
26	0,049	0,06	0,05	2,67E+05	2,7E+05	2,68E+05
30	0,14	0,14	0,14	3,08E+05	3,1E+05	3,08E+05
33	0,217	0,21	0,21	3,4E+05	3,4E+05	3,36E+05
36	0,302	0,32	0,31	3,7E+05	3,6E+05	3,63E+05
40	0,445	0,43	0,44	4,1E+05	4,1E+05	4,08E+05
43	0,418	0,44	0,43	4,4E+05	4,4E+05	4,37E+05
46	0,476	0,48	0,48	4,6E+05	4,7E+05	4,64E+05
50	0,547	0,56	0,55	5,1E+05	5,10E+05	5,10E+05
53	0,547	0,55	0,55	5,4E+05	5,41E+05	5,42E+05
56	0,55	0,55	0,55	5,7E+05	5,71E+05	5,70E+05

Fuente: Autores del proyecto.

5.3 GRAFICAS FUERZA DE ARRASTRE Y COEFICIENTE DE ARRASTRE.

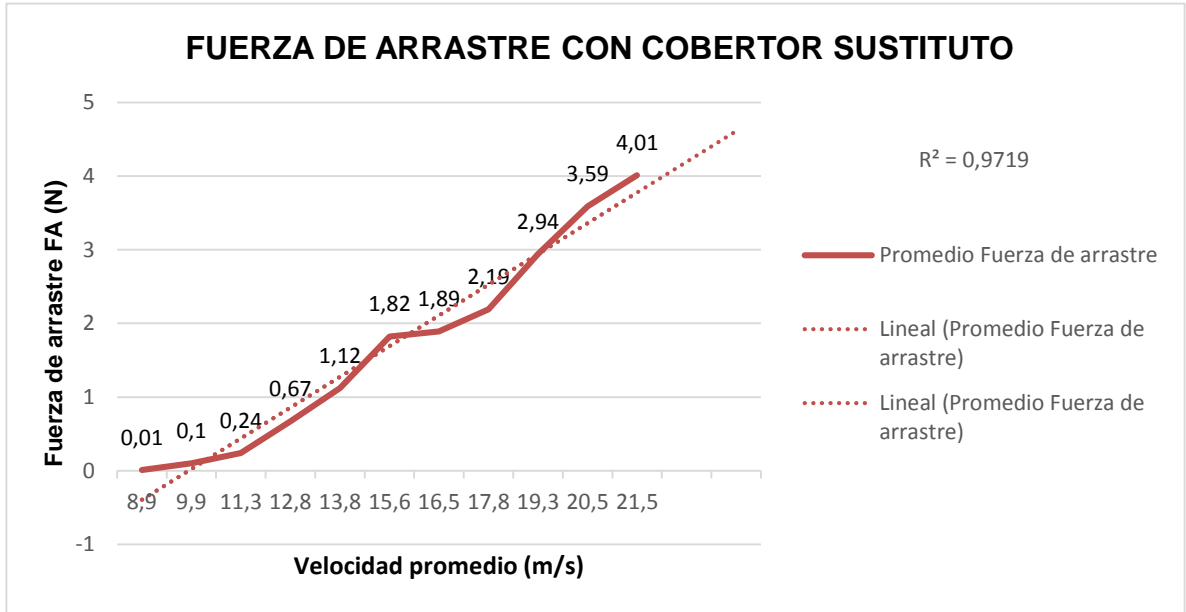
En las figuras 31 hasta 36 se muestran las gráficas de la fuerza de arrastre con respecto a la velocidad sin cobertores aerodinámicos y con los dos cobertores aerodinámicos. Además de los datos presentados se plasman la línea de tendencia.

FIGURA 31: FUERZA DE ARRASTRE VS VELOCIDAD SIN COBERTOR AERODINÁMICO.



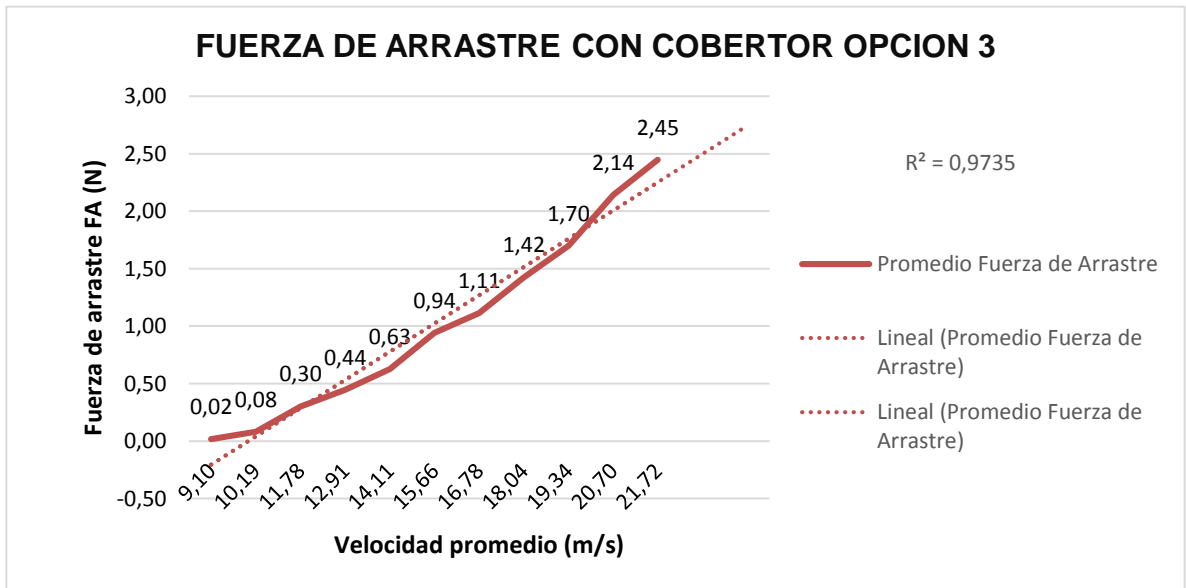
FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 32: FUERZA DE ARRASTRE VS VELOCIDAD COBERTOR AERODINÁMICO SUSTITUTO.



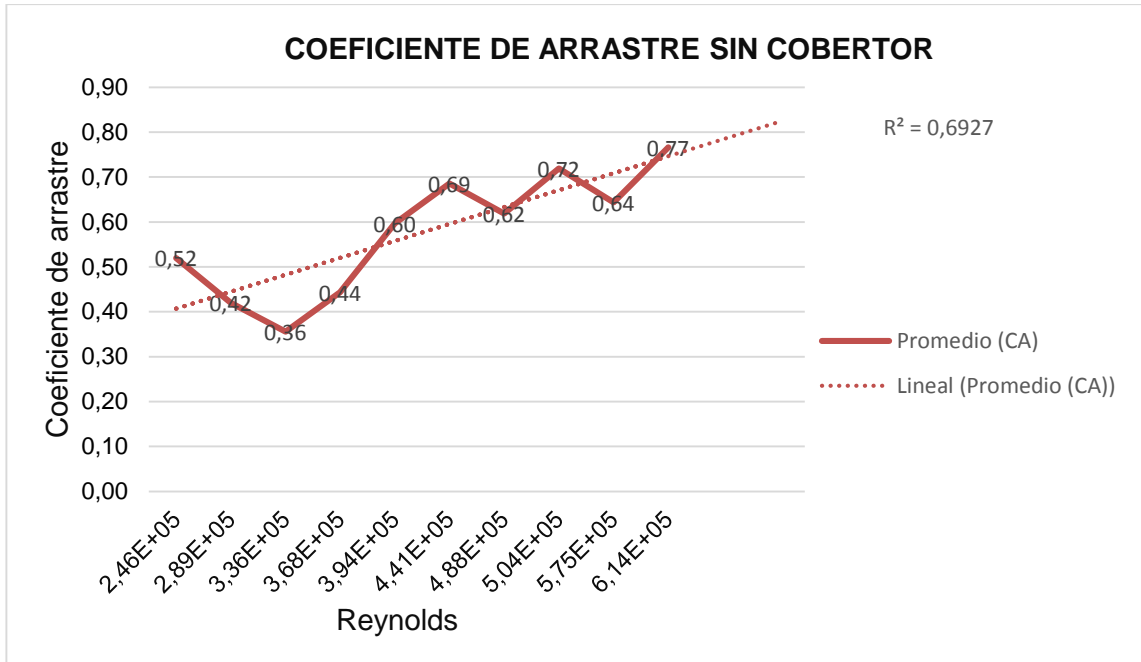
FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO.

FIGURA 33: FUERZA DE ARRASTRE VS VELOCIDAD COBERTOR AERODINÁMICO OPCIÓN 3



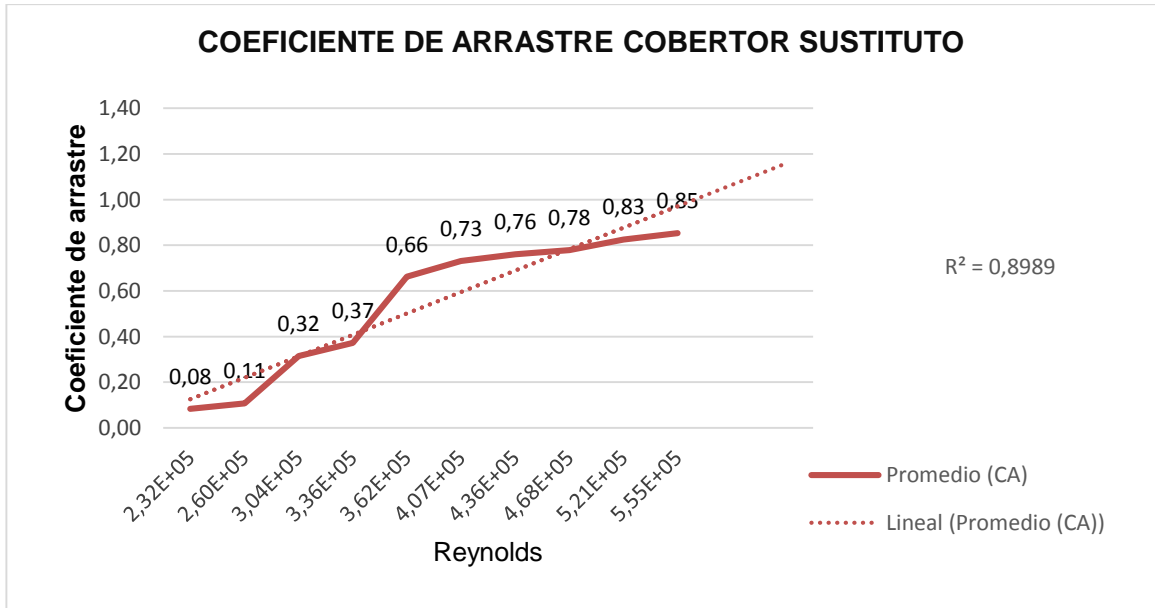
FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

FIGURA 34: COEFICIENTE DE ARRASTRE VS REYNOLDS SIN COBERTOR AERODINÁMICO



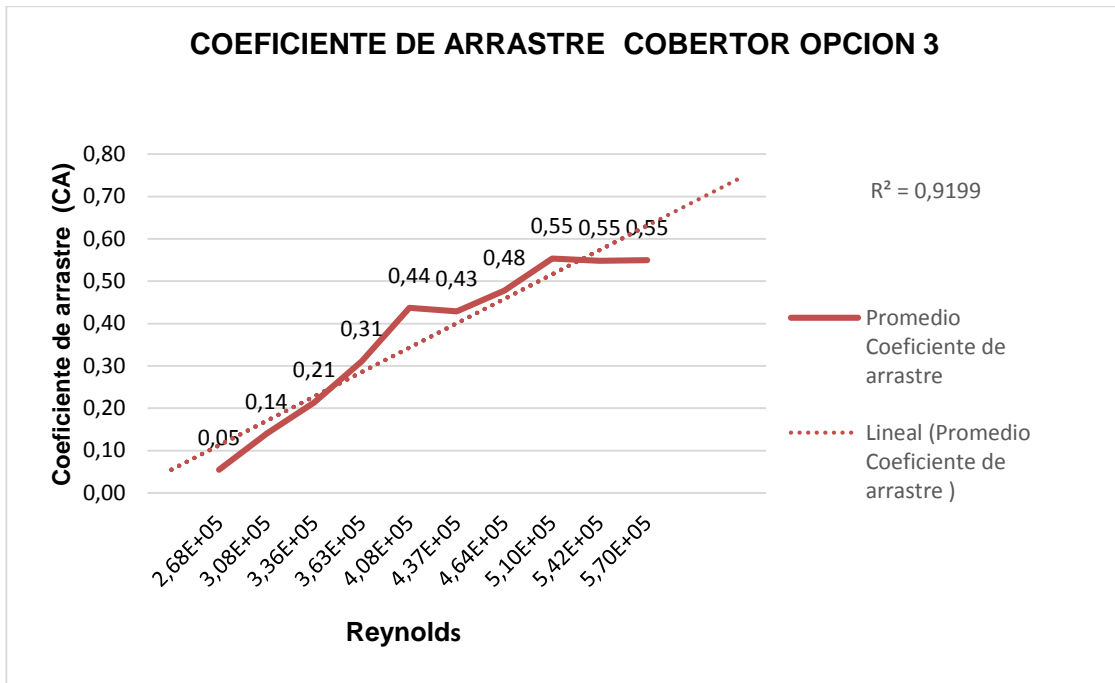
FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

FIGURA 35: COEFICIENTE DE ARRASTRE VS REYNOLDS COBERTOR SUSTITUTO



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

FIGURA 36: COEFICIENTE DE ARRASTRE VS REYNOLDS COBERTOR OPCIÓN 3



FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En esta sección del capítulo se muestra el análisis del comportamiento de los modelo a escala analizando las variables fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre cuando se cambia las velocidades.

- La grafica de la fuerza de arrastre sin cobertor (ver figura 31) experimento una fuerza de arrastre máximo de 3,53 N a una velocidad promedio de 20,6 m/s, la línea de tendencia lineal es aceptable y tiene un coeficiente de determinación R^2 de 0,9399. También muestra que el incremento de la fuerza de arrastre respecto a la velocidad, tiene forma parabólica.
- La grafica de la fuerza de arrastre con cobertor aerodinámico sustituito (ver figura 32) experimento una fuerza de arrastre máximo de 4,01 N a una

velocidad promedio de 21,5 m/s, la línea de tendencia lineal es aceptable y tiene un coeficiente de determinación R^2 de 0,9719. El cobertor no redujo la fuerza de arrastre si no que la aumento; el cobertor no estuvo sujeto a ninguna guía o parámetro de diseño.

- La grafica de la fuerza de arrastre con cobertor aerodinámico opción 3 (ver figura 33) experimento una fuerza de arrastre máximo de 2,35 N a una velocidad promedio de 21,72 m/s, la línea de tendencia lineal es aceptable y tiene un coeficiente de determinación R^2 de 0,9735. El cobertor aerodinámico si redujo la fuerza de arrastre.
- La grafica del coeficiente de arrastre sin cobertor aerodinámico (ver figura 34) experimento un coeficiente de arrastre máximo de 0,77 a una velocidad promedio de 21,72 m/s y un Reynolds de $6,11E+05$, la línea de tendencia lineal es aceptable y tiene un coeficiente de determinación R^2 de 0,693.
- La grafica de las líneas de humo dejan ver claramente la tendencia y el perfil aerodinámico de los prototipos estudiados ver figura 29.
- La grafica del coeficiente de arrastre con cobertor aerodinámico sustituto (ver figura 35) experimento un coeficiente de arrastre máximo de 0,85 a una velocidad promedio de 21,5 m/s y un Reynolds de $5,55E+05$, la línea de tendencia lineal es aceptable y tiene un coeficiente de determinación R^2 de 0,899.
- La grafica del coeficiente de arrastre con cobertor aerodinámico opción 3 (ver figura 36) experimento un coeficiente de arrastre máximo de 0,55 a una velocidad promedio de 21,72 m/s y un Reynolds de $5,7E+05$, la línea de

tendencia lineal es aceptable y tiene un coeficiente de determinación R^2 de 0,919.

- La siguiente tabla muestra el incremento o reducción de la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre con respecto al vehículo a escala sin cobertores aerodinámicos, siendo los números negativos el incremento y positivo la disminución.

TABLA 9: REDUCCIÓN O AUMENTO DE LA FUERZA Y COEFICIENTE DE ARRASTRE

	Promedio total Coeficiente de arrastre	Promedio total Fuerza de arrastre (N)	% de incremento o reducción Coeficiente de arrastre	% de incremento o reducción Fuerza de arrastre
Modelo 1 sin cobertor	0,52	1,39		
Modelo 1 con cobertor frontal	0,55	1,69	-5,8	-21,6
Modelo 2 con cobertores frontal y lateral	0,37	1,02	28.84	26,6

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

6. CONCLUSIONES.

- La adecuación en el banco didáctico para el estudio y análisis del flujo del aire con inyección de humo alrededor de vehículos a escala fue realizado y se lograron sacar las curvas características y líneas de tendencia del coeficiente de arrastre y fuerza de arrastre, con el modelo a escala Hyundai Mighty y los cobertores aerodinámicos.
- El sistema diseñado para la visualización de las líneas de humo fue construido y probado obteniendo las líneas de humo con flujo continuo.

Para dar una mayor visualización fue necesario instalar un bombillo con luz led para reflejar las líneas de humo y lograr una evidencia fotográfica mejor. El sistema generador de humo está limitado al tiempo de descarga de la máquina de humo, la cual no supera los 30 segundos, para solucionar y aumentar el tiempo de visualización de las líneas de humo, se instaló un motor de secadora de cabello, el cual absorbe el humo almacenado en el tanque, obteniendo un tiempo de visualización mayor a un minuto.

En la instrumentación y control del túnel de viento se pudo controlar las variables velocidad, Reynolds, coeficiente de arrastre y fuerza de arrastre mediante la instrumentación de la arquitectura OPTO 22, sacando pantallazos HMI para el estudio de estas variables.

- Se elaboraron las guías de laboratorio de mecánica de fluidos utilizando el túnel de viento de circuito abierto de la Universidad Pontificia Bolivariana, en el cual se desarrollan la experiencia de la práctica y la obtención de las curvas y líneas de tendencia de las gráficas fuerza de arrastre en función de la velocidad y coeficiente de arrastre en función de Reynolds.

- El modelo a escala con el cobertor opción 3 disminuyó un 28,8% el coeficiente de arrastre y el con el cobertor sustituto aumento un 5,8% con respecto al modelo a escala sin cobertor, demostrando así que los cobertores aerodinámicos bien contruidos y diseñados puede aumentar la aerodinámica de los vehículos o por el contrario disminuirla.

7. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda hacer la toma de datos solo con la frecuencia estudiada y el tiempo indicado, para obtener la misma línea de tendencia.
- Adquirir líquido recomendado por el proveedor de la máquina de humo, realizar el paso a paso según el manual del usuario en caso de problemas con la máquina de humo, además tapabocas y tapa oídos para tener un ambiente de trabajo bajo normas de seguridad.
- Realizar más pruebas utilizando nuevos cobertores aerodinámicos en el proceso aplicado para variar diferentes parámetros involucrados, con el fin de obtener más información y fortalecer la base de datos para tener más certeza del comportamiento de la aerodinámica del vehículo.
- Se recomienda no utilizar la secadora de cabello más de dos minutos continuo para evitar sobrecalentamiento en su sistema motriz.
- Realizar una purga del de la bomba de la máquina de humo después de varios días sin ser utilizada.

8. OBSERVACIONES.

- En el proceso de moldeo para el cobertor aerodinámico opción 2, no tuvimos en cuenta el tiempo de secado de la silicona industrial y la fibra de vidrio obteniendo un cobertor poroso el cual no sirve para las pruebas.

Se diseñó un cobertor sustituto sin ningún parámetro de diseño para analizar su comportamiento. Se obtuvo un aumento del 5,8% de la fuerza de arrastre y del 21.6% del coeficiente aerodinámico con respecto al modelo a escala sin cobertores aerodinámicos,

- La bomba de la máquina de humo, fue el principal problema que presentó el sistema generador de humo, retrasando dos semanas el trabajo del proyecto. Después de utilizar la máquina de humo limpiar e insertar dentro del sistema alcohol industrial para evitar que la bomba falle.
- las líneas de humo son mejor apreciadas en horas de la noche, por la disminución de la claridad, hacer la evidencia fotográfica con el sistema de luz led y las luces del laboratorio apagadas.

BIBLIOGRAFÍA.

1. DOBYM Robertson., “Túnel de viento aerodinámico” [en línea]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3718/fichero/Parte+I%252FCapitulo+5.pdf> [Consulta: viernes 7 noviembre 2014].
2. GONZALES Salome, urcuhuaranga William, chiroque José. Diseño, construcción e instalación de un túnel de viento para pruebas de pequeños aerogeneradores [en línea] [http://tecnica.uni.edu.pe/site/DataTecnica/TECNIA-25-\(2\)-2011-04.pdf](http://tecnica.uni.edu.pe/site/DataTecnica/TECNIA-25-(2)-2011-04.pdf) [Consulta: viernes 7 noviembre 2014].
3. MUÑOZ M. Alberto, “DISEÑO Y ANÁLISIS COMPUTACIONAL PARA TÚNEL DE VIENTO DE BAJA VELOCIDAD” [en línea] http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15901/pfc_alberto_munoz_mejias_2012.pdf?sequence=1 [Consulta: martes 1 julio de 2014].
4. POPE Alan (1961), “Wind-Tunnel Testing” Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York London
5. ROJAS Z. Gerardo J., “Estudio de la reducción del consumo de combustible de vehículo terrestre de 5,5 toneladas mediante el uso de cobertores aerodinámicos”, Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima- Perú, 2008
6. SILVA T. Carlos J., “Diseño y Construcción de un Túnel de Viento Bidimensional Subsónico de Circuito Abierto por Inyección”. [Línea]. http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Carlos_Jeronimo_Silva_T.pdf [Consulta: viernes 7 noviembre 2014].

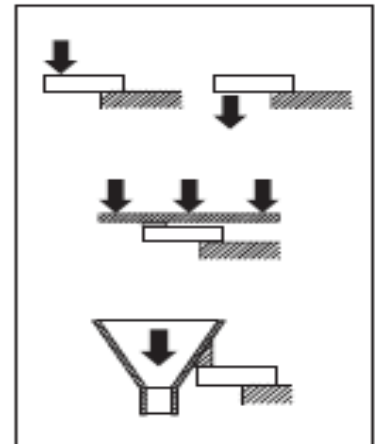
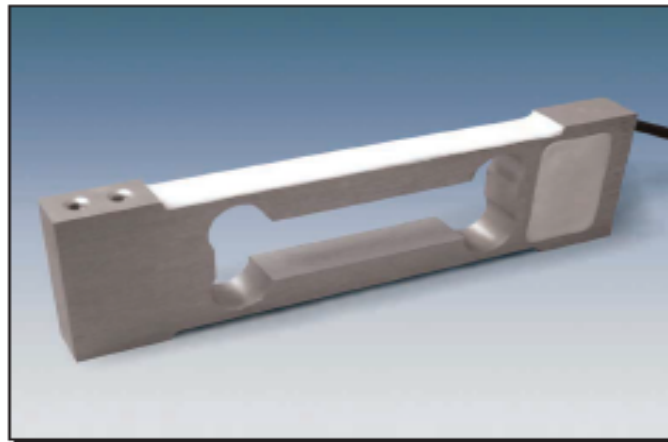
ANEXOS.

Anexo 1. CATÁLOGO DE CELDA DE CARGA



MODELO 104

0.3kg ... 3kg



- Célula de carga de flexión
- Soporte elástico de aluminio
- 3000 divisiones O.I.M.L. R60 clase C
- Protección IP 66 (EN 60529)
- Gran precisión con cargas descentradas
- Aplicaciones:
 - Plataformas monocélula hasta 200 x 200 mm
 - Maquinaria envasado

- Double bending beam load cell
- Measuring element from aluminium
- 3000 divisions O.I.M.L. R60 class C
- Protected IP 66 (EN 60529)
- Single point load cell. High accuracy with off-center loads
- Applications:
 - Direct platform up to 200 x 200 mm
 - Filling scales

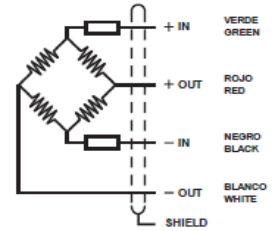
Modelo Model	Carga nominal Nominal capacity Ln	Clase de precisión Accuracy class n. OIML	División mínima Minimum division vmin	Carga de servicio Service load 150 % Ln	Plataforma Platform A x B mm	Precisión Accuracy 1/3 Ln
104 0.3 kg	0.3 kg	3000	0.06 g	0.45 kg	200 x 200	3000 v
104 0.6 kg	0.6 kg	3000	0.12 g	0.9 kg	200 x 200	3000 v
104 1.2 kg	1.2 kg	3000	0.24 g	1.8 kg	200 x 200	3000 v
104 3 kg	3 kg	3000	0.6 g	4.5 kg	200 x 200	3000 v

ESPECIFICACIONES			SPECIFICATIONS
Cargas nominales (Ln)	0.3-0.6-1.2-3	kg	Nominal capacities (Ln)
Clase de precisión	3000	n. OIML	Accuracy class
Carga mínima	0	%Ln	Minimum dead load
Carga de servicio	150	%Ln (1)	Service load
Cargas límite	200	%Ln (1)	Safe load limit
Error combinado	< ±0.017	%Sn (2)	Total error
Error repetibilidad	< ±0.01	%Sn	Repeatability error
Efecto de la temperatura: en el cero en la sensibilidad	< ±0.01 < ±0.006	%Sn/5°K %Sn/5°K	Temperature effect: on zero on sensitivity
Error de fluencia (30 minutos)	< ±0.016	%Sn	Creep error (30 minutes)
Compensación de temperatura	-10...+40	°C	Temperature compensation
Límites de temperatura	-20...+70	°C	Temperature limits
Sensibilidad nominal (Sn)	0.9±0.2	mV/V	Nominal sensitivity (Sn)
Tensión de alimentación nominal	10	V	Nominal input voltage
Tensión de alimentación máxima	15	V	Maximum input voltage
Resistencia de entrada	400 ±20	Ω	Input impedance
Resistencia de salida	350 ±3	Ω	Output impedance
Desequilibrio inicial	< ±2	%Sn	No load output
Resistencia de aislamiento	> 5000	MΩ	Insulation resistance
Deformación máxima (a Ln)	0.3-0.5	mm	Maximum deflection (at Ln)

(1) En carga centrada sobre la célula. No para cargas excéntricas
Only central loads on the load cell. Not for off-center loads

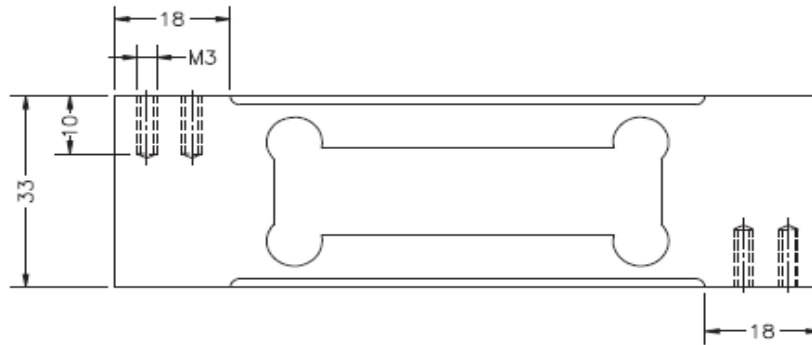
(2) Error combinado: No Linealidad e Histéresis / Total error: Non Linearity and Hysteresis

CONEXION ELECTRICA
ELECTRICAL CONNECTION:

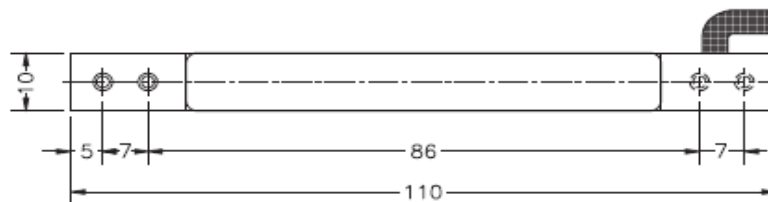


0742

MODELO 104



PVC cable 4th 0.4 m. long.



Dimensiones en mm. *Dimensions in mm.*

Peso transporte - *Transport weight:* 0.15 kg

Anexo 2. PROPIEDADES DEL AIRE A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Unidades inglesas

Temperatura (°F)	Densidad (slug/ft ³)	Viscosidad (lb-s/ft ²)	Viscosidad cinemática (ft ² /s)	Velocidad del sonido (ft/s)
-20	0.00280	3.34×10^{-7}	11.9×10^{-5}	1028
0	0.00268	3.38	12.6	1051
20	0.00257	3.50	13.6	1074
40	0.00247	3.62	14.6	1096
60	0.00237	3.74	15.8	1117
68	0.00233	3.81	16.0	1125
80	0.00228	3.85	16.9	1138
100	0.00220	3.96	18.0	1159
120	0.00213	4.07	18.9	1180
160	0.00199	4.23	21.3	1220
200	0.00187	4.50	24.1	1258
300	0.00162	4.98	30.7	1348
400	0.00144	5.26	36.7	1431
1000	0.000844	7.87×10^{-7}	93.2×10^{-5}	1839

Unidades SI

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N - s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Velocidad del sonido c (m/s)
-50	1.582	1.46×10^{-5}	0.921×10^{-5}	299
-30	1.452	1.56	1.08×10^{-5}	312
-20	1.394	1.61	1.16	319
-10	1.342	1.67	1.24	325
0	1.292	1.72	1.33	331
10	1.247	1.76	1.42	337
20	1.204	1.81	1.51	343
30	1.164	1.86	1.60	349
40	1.127	1.91	1.69	355
50	1.092	1.95	1.79	360
60	1.060	2.00	1.89	366
70	1.030	2.05	1.99	371
80	1.000	2.09	2.09	377
90	0.973	2.13	2.19	382
100	0.946	2.17	2.30	387
200	0.746	2.57	3.45	436
300	0.616	2.93×10^{-5}	4.75×10^{-5}	480

Anexo 3. MANUAL DE USUARIO MÁQUINA DE HUMO DYNO-FOG



MÁQUINA DE NIEBLA MÓVIL PROFESIONAL

DYNO-FOG™



Cuidado: ¡Las máquinas de niebla pueden disparar las alarmas de humo!

Instrucciones de usuario

A.D.J. Supply Europe B.V.
Junostraat 2
6468 EW Kerkrade
Países Bajos
www.americandj.eu

INTRODUCCIÓN

La DynoFog™ ha sido diseñada para funcionar de forma fiable durante años, si se siguen las indicaciones de este folleto. Por favor, lea y comprenda las instrucciones de este manual detenidamente y por completo antes de intentar poner esta unidad en marcha. Estas instrucciones contienen información importante relativa a la seguridad durante el uso y el mantenimiento.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- No derrame agua u otros líquidos dentro o sobre su nebulizador. Asegúrese de que todo el líquido de niebla se mantiene dentro del depósito de líquido.
- Asegúrese de que el enchufe al que conecte la máquina de niebla se corresponde con el voltaje requerido.
- No quite la cubierta superior bajo ninguna circunstancia. No hay piezas reparables por el usuario en el interior.
- Desconecte la alimentación principal de la unidad cuando se quede sin usar durante largos periodos de tiempo.
- Nunca conecte esta unidad en un atenuador.
- No intente poner en funcionamiento esta unidad si ha recibido cualquier daño.
- Nunca ponga en funcionamiento esta unidad cuando se haya quitado la cubierta.
- Para reducir el riesgo de descarga eléctrica o incendio, no exponga esta unidad a la lluvia o a la humedad.
- No intente hacer funcionar esta unidad si el cable de alimentación está rasgado o roto. No intente quitar ni arrancar la toma de tierra del cable eléctrico. Esta toma se usa para reducir el riesgo de descarga eléctrica y de fuego en caso de un cortocircuito interno.
- Desconecte de la alimentación principal antes de hacer ningún tipo de conexión.

- Monte siempre esta unidad en un lugar estable y seguro.
- Coloque el cable de alimentación fuera de las zonas de paso. Los cables de alimentación deberían colocarse de modo que no estén expuestos a que se pisen o queden aprisionados por objetos colocados sobre ellos o contra ellos.
- Personal técnico cualificado debe revisar la unidad solamente cuando:
 - A. El cable de alimentación o el enchufe se hayan estropeado.
 - B. Se hayan caído objetos o se haya derramado líquido sobre la unidad.
 - C. La unidad se haya expuesto a lluvia o agua.
 - D. El aparato no parezca funcionar normalmente o se aprecien cambios sensibles en el rendimiento.

CARACTERÍSTICAS.

- Unidad de calentamiento de 1000 vatios.
- Funcionamiento por control remoto extraíble.
- Ligera y portátil.
- Depósito extraíble de 1/4 de galón.
- Incluye soporte para colgar.
- Botón de emisión en la unidad.

INSTALACIÓN.

1. Abra la caja de embalaje y con cuidado saque la unidad de la caja de embalaje.

2. Sitúe la máquina de niebla sobre una superficie plana y seca y quite la tapa del depósito situada en la parte superior de la máquina.
3. Saque de la caja la botella de líquido de niebla de la marca American DJ® suministrada. Llene el depósito de la máquina de niebla con el líquido de niebla y vuelva a poner la tapa.
4. Enchufe la unidad a una alimentación adecuada. Espere aproximadamente cinco minutos para que el nebulizador alcance su temperatura normal de funcionamiento.
5. Siga las instrucciones de funcionamiento para un uso correcto.

INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO.

Funcionamiento: Después de haber enchufado la unidad en un enchufe de pared con la corriente adecuada, la unidad empezará inmediatamente a calentarse hasta la temperatura de funcionamiento normal. Cuando la unidad esté alimentada, el LED rojo en la parte superior de la unidad y el LED rojo del mando a distancia comenzarán a lucir inmediatamente. La unidad empezará automáticamente a calentarse hasta la temperatura normal de funcionamiento. El tiempo de calentamiento puede variar, pero la unidad tardará aproximadamente cinco minutos en calentarse hasta la temperatura normal de funcionamiento, la temperatura que necesita la unidad para convertir el líquido de niebla en niebla. Para unos resultados óptimos, nunca mantenga pulsado el botón de emisión durante más de 30 segundos. Si los LEDs rojos están apagados, y no sale niebla después de haber mantenido pulsado el botón durante 30 segundos.

LIQUIDO DE HUMO.

Asegúrese siempre de que dispone de una reserva adecuada de líquido de niebla de la marca American DJ® en el depósito de líquido. Hacer funcionar la máquina de niebla en seco provocará el fallo de la bomba y/o obstrucciones, una

circunstancia que no está cubierta por la garantía del fabricante. Esta es la causa más común de averías en las máquinas de niebla. Sólo se recomienda American Fog Juice™; no todos los líquidos de niebla se fabrican de la misma manera, y no todos los líquidos de niebla son compatibles con esta máquina de niebla.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

Si percibe una emisión de niebla reducida, ruido en la bomba o no se produce emisión de niebla en absoluto, desconecte y suspenda el uso inmediatamente. No intente seguir pulsando el botón de activación del control remoto, ya que esto podría dañar la máquina de niebla. Compruebe el nivel de líquido, el fusible o interruptor automático externos, la conexión del mando a distancia, y asegúrese de que el enchufe de la pared está alimentado. Si todo lo anterior parece estar en orden, y no es posible hacer funcionar la unidad correctamente, la unidad precisará reparación. Devuelva la máquina a un distribuidor o centro de servicio autorizado.

ESPECIFICACIONES

MODELO	DynoFog 1000™
<i>TENSIÓN:</i>	AC 230V 50Hz
<i>PESO:</i>	10 lb / 8,5 kg.
<i>DIMENSIONES:</i>	7" x 6,25" x 15,25"
<i>FUSIBLE:</i>	T5A 250V
<i>TIEMPO DE CALENTAMIENTO:</i>	5 minutos
<i>CAPACIDAD DEL DEPÓSITO:</i>	Extraíble de 1/4 de galón
<i>SALIDA:</i>	4000 pies cúbicos por minuto
<i>CICLO DE TRABAJO:</i>	No exceder de 6 horas encendido.
<i>CALENTADOR:</i>	1000 vatios

Anexo 4. Guía de laboratorio Mecánica de Fluidos

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MECANICA DE FLUIDOS

ING. MECÁNICO UPB



TUNEL DE VIENTO

Objetivos:

- Hallar las gráficas de fuerzas de arrastre vs velocidad y coeficiente de arrastre vs Reynolds con/sin los cobertores aerodinámico.
- Identificar la importancia del perfil aerodinámico y como se puede modificar.
- Realizar pantallazos según la arquitectura OPTO 22 de las variables estudiadas.

Herramientas de trabajo:

- Anemómetro
- Cámara de humo
- Celda de carga

Informe

Los informes se entregaran en grupos de 2 personas, estos deben tener como mínimo la siguiente información.

- Portada según normas ICONTEC.
- Objetivos.
- Marco teórico.
- Toma de datos.
- Cálculos realizados y ecuaciones usadas.
- Curvas
- Evidencia fotográfica.
- Conclusiones (mínimo 3).

Marco teórico

- Túnel de viento
- Tipos de túnel de viento
- Fuerza de arrastre
- Coeficiente de arrastre
- Numero de Reynolds
- Cobertor aerodinámico
- Aplicación de los túnel de viento

Tablas guías para la toma de datos.

Tabla 1. Fuerza de arrastre vs Velocidad sin cobertor

frecuencia	Velocidad 1	Velocidad 2	Promedio Velocidad	Fuerza de arrastre 1	Fuerza de arrastre 2	Promedio Fuerza
23						
26						
30						
33						
36						
40						
43						
46						
50						
53						
56						

Tabla 2. Fuerza de arrastre vs Velocidad cobertor sustituto

frecuencia	Velocidad 1	Velocidad 2	Promedio Velocidad	Fuerza de arrastre 1	Fuerza de arrastre 2	Promedio Fuerza
23						
26						
30						
33						
36						
40						

43						
46						
50						
53						
56						

Tabla 3. Fuerza de arrastre vs Velocidad cobertor 3

frecuencia	Velocidad 1	Velocidad 2	Promedio Velocidad	Fuerza de arrastre 1	Fuerza de arrastre 2	Promedio Fuerza
23						
26						
30						
33						
36						
40						
43						
46						
50						
53						
56						

Tabla 4. Coeficiente de arrastre vs Reynolds sin cobertor

frecuencia	Coeficiente de arrastre 1	Coeficiente de arrastre 2	Promedio Coeficiente de arrastre	Reynolds 1	Reynolds 2	Promedio Reynolds
23						
26						

30						
33						
36						
40						
43						
46						
50						
53						
56						

Tabla 5. Coeficiente de arrastre vs Reynolds con cobertor sustituto

frecuencia	Coeficiente de arrastre 1	Coeficiente de arrastre 2	Promedio Coeficiente de arrastre	Reynolds 1	Reynolds 2	Promedio Reynolds
23						
26						
30						
33						
36						
40						
43						
46						
50						
53						
56						

Tabla 6. Coeficiente de arrastre vs Reynolds con cobertor opción 3

frecuencia	Coeficiente de arrastre 1	Coeficiente de arrastre 2	Promedio Coeficiente de arrastre	Reynolds 1	Reynolds 2	Promedio Reynolds

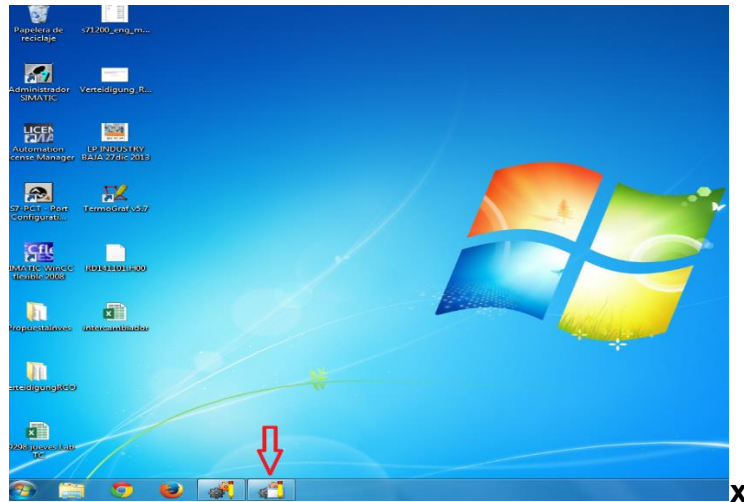
23						
26						
30						
33						
36						
40						
43						
46						
50						
53						
56						

Tabla 7. Incremento o reducción de la fuerza de arrastre y coeficiente de arrastre con la utilización de cobertores aerodinámicos

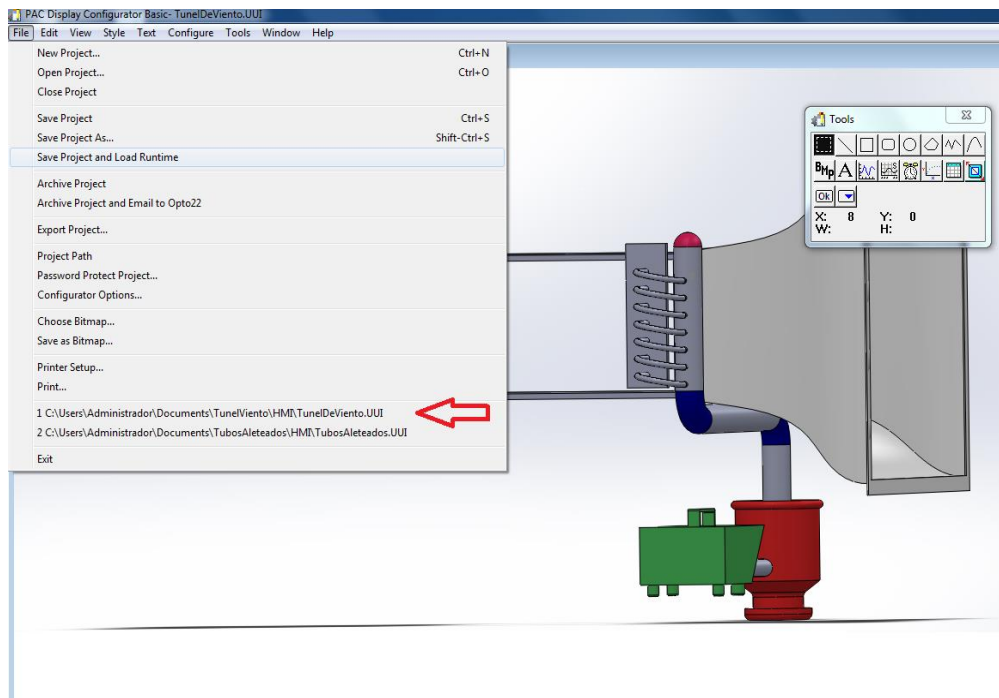
	Promedio total Coeficiente de arrastre	Promedio total Fuerza de arrastre (N)	% de incremento o reducción Coeficiente de arrastre	% de incremento o reducción Fuerza de arrastre
Modelo 1 sin cobertor				
Modelo 1 con cobertor frontal				
Modelo 2 con cobertores frontal y lateral				

Anexo 5...Procedimiento para la toma de datos mediante de la arquitectura OPTO 22

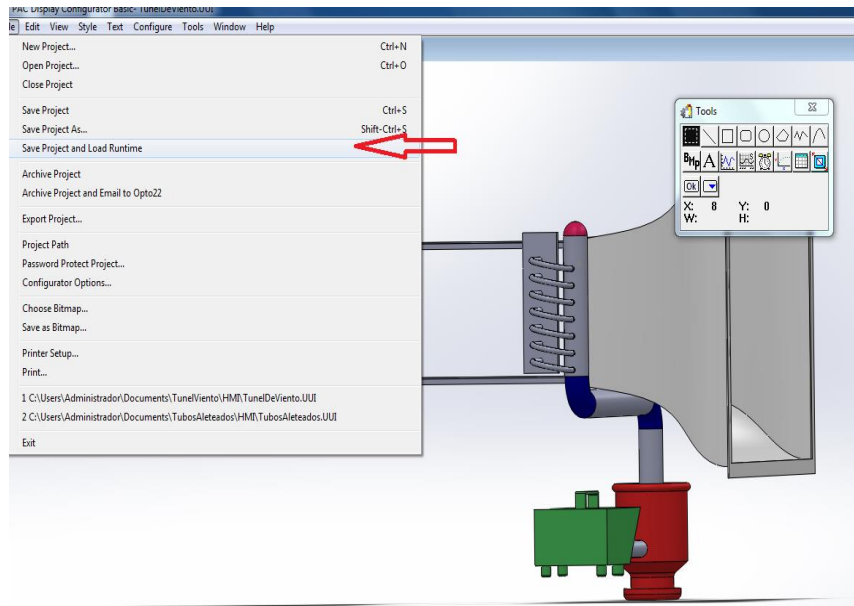
Ejecutar el programa PAC Control Basic



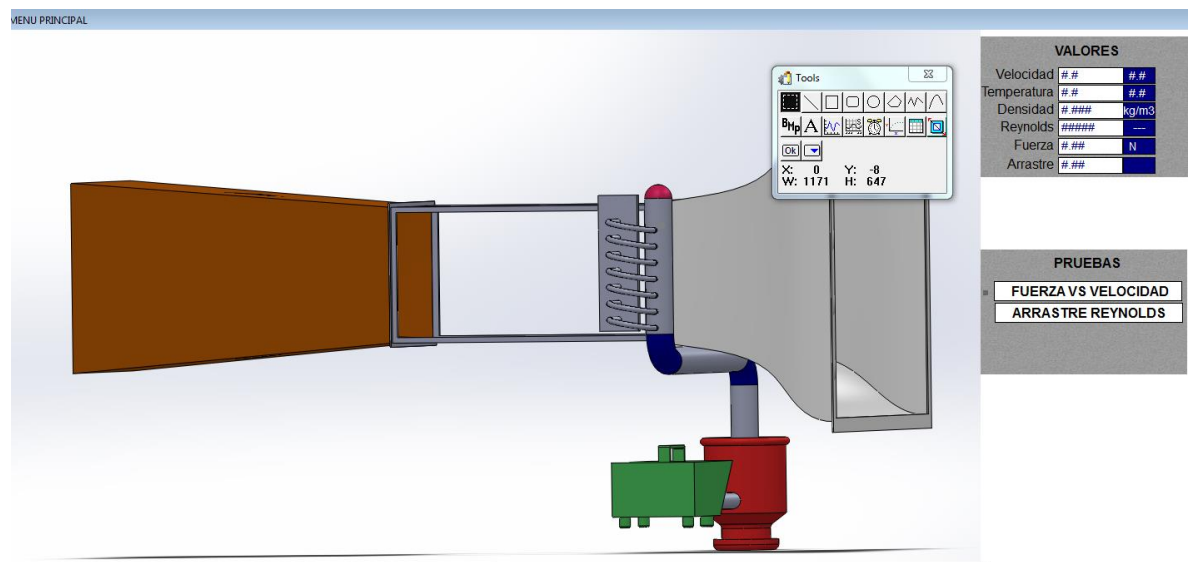
- **Seleccionar y ejecutar el archivo túnel de viento**



- Guardar el proyecto y ejecutar en Save Project and load runtime



- Dar clic en el botón de fuerza de arrastre vs velocidad o arrastre vs Reynolds, respetivamente



- Tomar datos y pantallazos HMI y luego limpiar los datos de la pantalla

