

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Unidad Valle de las Palmas



**PROTOTÍPO PARA DETERMINAR LA FUERZA AL INTERIOR DEL TUNEL DE
VIENTO SUBSÓNICO DE ECITEC**

Tesis que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO

Presentan:

MARÍA VIANEY CORTES RODRÍGUEZ

ÁNGEL GLENN LUNA SERRANO

Director de tesis

DR. OSCAR ADRIÁN MORALES CONTRERAS

Tijuana, Baja California.

Agosto de 2018

Dedicatoria

A mis padres.

José Antonio y Alicia por todos los sacrificios que hicieron para que yo fuera una persona de bien, por su apoyo y confianza,

A mi esposo.

Por ser incondicional, por su paciencia, por sus enseñanzas, pero sobre todo por su amor.

A mis amigos

Gaby, Danilo y Kenia, porque sin ustedes la escuela no hubiera sido la misma. Gracias por su apoyo total e incondicional.

Bruno.

Por ser mi compañero fiel en noches demasiado largas.

Dedicatoria

A mis padres

Martha Isabel y Ángel por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y trayectoria.

A mis hijos

Emmanuel, Ximena y Valeria, por ser la mayor motivación para seguir adelante en la vida y a mi esposa Evangelina por apoyarme en todo lo que se necesitó dentro mi trayectoria escolar por estar presente siempre.

A mi Abuela

Juana Rojas Ortega por estar siempre al pendiente de mí desde que era pequeño y apoyarme en todo lo que he hecho en mi vida.

A mi familia y amigos que siempre estaban presentes cuando requerí de un apoyo o accesoria.

Gracias a todos.

Relación de figuras.

Capítulo I

Figura 1.0 Representación de fuerza de arrastre.

Figura 1.2 Vehículo de carga Hyundai modelo Mighty de 5,5 toneladas.

Figura 1.3 Zona de pruebas.

Figura 1.4 Diagrama de mecanismo para la medición de fuerza de arrastre.

Figura 1.5 Arreglo de balanza y palanca para medición de la fuerza de arrastre.

Figura 1.6 Coeficiente de arrastre y numero de Reynolds.

Figura 1.7 Placa de acrílico y el arreglo de imanes.

Figura 1.8 Modelo experimental.

Figura 1.9 Dimensiones de interés.

Figura 1.10 Base para el montaje de los modelos.

Figura 1.11 Brazo de fuerza de arrastre.

Figura 1.12 a) Coeficiente de arrastre y numero de Reynolds b) Modelo No. 5.

Figura 1.13 Geometría de los casos de estudio.

Figura 1.14 a) y b) Coeficiente de arrastre para diferentes objetos seleccionados.

Figura 1.15 A) Coeficiente de arrastre C_D a bajas velocidades, B) Coeficientes de arrastre para varios cuerpos bidimensionales y tridimensionales, para números de Reynolds altos.

Figura 1.16 Balanza de sustentación c15-13 armfield.

Figura 1.17 P1.8.6 Medición de la resistencia del aire.

Figura 1.18 AF12 Equipo para medición de fuerza de arrastre.

Figura 1.19 Estudio de un fluido (aire) en un cuerpo romo y currentilíneo.

Figura 1.20 Esfera en una corriente de fluido que muestra el punto de estancamiento.

Figura 1.21 Fuerza de presión.

Figura 1.22 Perfiles de velocidad para el flujo en tuberías.

Figura 1.23 Forma General del perfil de velocidad para el flujo turbulento.

Figura 1.24 Tubo Pitot.

Figura 1.25 Tubo estático de Pitot.

Capítulo II

Figura 2.1 Diagrama del proceso de manufactura para el desarrollo del medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01.

Figura 2.2 Báscula digital de gancho Hanging Scale.

Figura 2.3 Galga extensiométrica de lámina.

Figura 2.4 Corte de acrílico en sierra de mesa.

Figura 2.5 Maquinado en fresadora CNC, taladrado de barreno del centro de la pieza.

*Figura 2.6 Rosca métrica M4.5*0.75.*

Figura 2.7 Barreno de centro $\varnothing=4.8$ mm.

Figura 2.8 Torno convencional modelo KENT 2060.

Figura 2.9 Rosca Whitworth 3/16 por 24 especificaciones (Portal de Dibujo Técnico, 2017).

Figura 2.10 Proceso de roscado en varilla de soporte A) Maneral con tarraja 3/16 por 24 B) Banco de presión.

Figura 2.11 Impresión de modelos en impresora 3D FORTUS. 250mc.

Capítulo III

Figura 3.1 Diagrama de la zona de prueba del túnel de viento de ECITEC.

Figura 3.2.- Distribución de puntos de medición en la sección transversal.

Figura 3.3 Anemómetro y tubo de Pitot.

Figura 3.4 FA-ECITEC-01 montado en zona de pruebas.

Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre del Medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01.

Capítulo IV

Figura 4.1 Experimento con FA-ECITEC-01.

Figura 4.2 Flujo alrededor de modelo circular.

Figura 4.3 Coeficiente de arrastre de elipsoide basado en el área frontal.

Figura 4.4 Grafica 1 perfil de velocidad posterior a modelos de mayor dimensión.

Figura 4.5 Grafica 2 perfil de velocidad posterior a modelos de menor dimensión.

Relación de tablas.

Capítulo I

Tabla 1.1 Fuerza y coeficiente de arrastre obtenido en el modelo a escala 1/16.

Tabla 1.2 C_D para $D/L = 1$.

Tabla 1.3 resultados de coeficientes de arrastre mayor y menor del modelo No. 5 placa circular.

Tabla 1.4 resultado obtenidos por el autor con COMSOL MULTIPHYSICS®.

Capítulo II

Tabla 2.1 especificaciones general de funcionamiento de balanza digital de gancho.

Tabla 2.2 propiedades mecánicas del termoplástico ABSplus-P430.

Tabla 2.3 Relación de aspecto.

Capítulo III

Tabla 3.1 Distribución de puntos de medición para obtener U_{med} .

Capítulo IV

Tabla 4.1 Tabla densidad, viscosidad y radio hidráulico.

Tabla 4.2 Reynolds en función al Rad. Hidráulico.

Tabla 4.3 Cambio de forma en modelos de prueba.

Tabla 4.4. Aumento del área de modelo circular y modelo cuadrado.

Tabla 4.5 Cambio de velocidad.

Tabla 4.6 Coeficiente de arrastre para modelos colocados cerca de la pared.

Índice

Capítulo I: Estado del arte

1.1. Antecedentes.....	Pág. 10-21
1.2. Conceptos fundamentales.....	Pág. 22-31
1.2.1. Fuerza y coeficiente de arrastre.....	Pág. 23-25
1.2.2. Número de Reynolds; flujo laminar y turbulento.....	Pág. 26
1.2.3. Perfiles de velocidad.....	Pág. 27
1.2.4. Tuvo Pitot.....	Pág. 28-30
1.2.5. Ecuación de gas ideal.....	Pág. 30-31
1.2.6 Radio Hidráulico.....	Pág. 31

Capítulo II: Diseño y construcción.

2.1 Sistema de medición de fuerza de arrastre (FA-ECITEC-01).....	Pág. 32
2.1.1 Bascula Digital de gancho.....	Pág. 33-36
2.1.2 Disco de soporte.....	Pág. 37-39
2.1.3 Buje.....	Pág. 40-42
2.1.4 Varilla de soporte.....	Pág. 43-44
2.2 Relación de aspecto.....	Pág. 45
2.3 Modelos.....	Pág. 46-51

Capítulo III: Metodología Experimental.

3.1 Zona de pruebas.....	Pág. 52
3.2 Calculo de la velocidad promedio.....	Pág. 53-55
3.3 Calculo de la densidad del aire.....	Pág. 55-57

3.4 *Calculo del radio hidráulico*.....Pág. 57-58

3.5 *Desarrollo del experimento con el sistema de medición de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01*.....Pág. 58-60

Capítulo IV: Resultados.

4.1 *Velocidad promedio y densidad*.....Pág. 61-62

4.2 *Coeficiente de arrastre*.....Pág. 62-64

4.3 *Perfiles de velocidad*.....Pág. 65-66

Conclusiones.....Pág. 67

Referencias.....Pág.68-69

Anexos.....Pág. 70-

Resumen

En la presente investigación se realizó el diseño y la construcción de un prototipo para medir la fuerza de arrastre en 4 modelos de diferentes geometrías dos círculos de $\varnothing 1 = 0.1$ y $\varnothing 1 = 0.15$ y dos cuadrados de $L1 = 0.088$ y $L1 = 0.13$, las figuras de menor dimensión tienen un área de 0.0078 m^2 y las de mayor dimensión cuentan con un área de 0.017 m^2 , los parámetros utilizados fueron los siguientes: para el círculo de diámetro menor se utilizaron valores de Reynolds de 1.12×10^5 y 1.48×10^5 , y para el círculo de diámetro mayor fueron 1.81×10^5 y 2.22×10^5 . Con el cuadrado de menor longitud los valores de Reynolds utilizados fueron de 1.06×10^5 y 1.30×10^5 y para el cuadrado de mayor longitud los valores de Reynolds fueron de 1.57×10^5 y 1.92×10^5 . Para cada modelo se realizaron 20 pruebas con cada velocidad para calcular una media en la medición y disminuir la incertidumbre de la misma.

El objetivo de la investigación fue obtener el coeficiente de arrastre de cuatro modelos y analizar de qué manera influye la forma, velocidad, y la posición en el comportamiento de dicho coeficiente.

Los resultados obtenidos para modelos circulares fue un valor de coeficiente promedio de 1.475, por otro lado para modelos rectangulares el valor de coeficiente promedio fue de 1.425.

También se midieron los perfiles de velocidad posteriores a los modelos con el fin de entender el comportamiento del flujo, en este caso para los modelos de mayor dimensión se observó una disminución en la velocidad y para los modelos más grandes el flujo alcanzó valores negativos lo que indica un comportamiento contrario al desplazamiento del flujo inicial.

Capítulo I: Estado del arte

1.1 Antecedentes.

Un cuerpo en movimiento inmerso en un fluido experimenta fuerzas ocasionadas por la acción del fluido. El efecto total de estas fuerzas es muy complejo. Sin embargo, para propósitos de diseño o estudio del comportamiento de un cuerpo en un fluido, son dos las fuerzas resultantes de mayor importancia: el arrastre y la sustentación.

Arrastre: es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el fluido que opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Las aplicaciones más familiares que requieren el estudio del arrastre se dan en el campo del transporte. La resistencia al viento es el término que se emplea con frecuencia para describir los efectos del arrastre sobre las aeronaves, automóviles, camiones y trenes. Mott, R. (2006)

En la figura 1.0 se muestra un ejemplo clásico de la mecánica de fluidos, una esfera inmersa en un fluido, el cual se opone al desplazamiento de dicha esfera. Este fenómeno natural se le conoce como fuerza de arrastre.

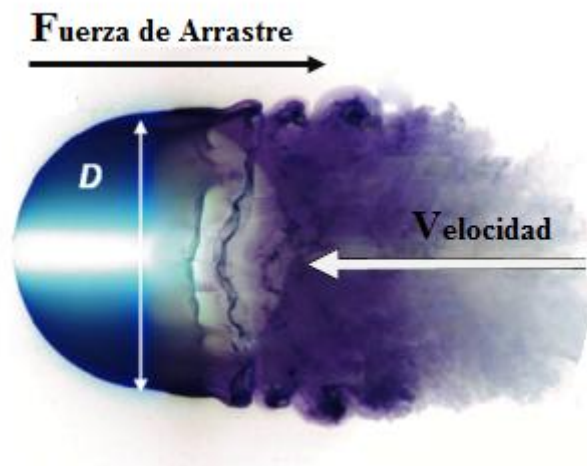


Figura 1.0 Representación de fuerza de arrastre.

A continuación, se presenta un par de trabajos que describen la metodología que dos autores llevaron a cabo para desarrollar un sistema de medición de fuerza de arrastre y el cálculo del coeficiente de arrastre, por otro lado un tercer autor solo describe como utilizó el sistema que

viene como aditamento de un túnel de viento para el desarrollo del cálculo de coeficiente de arrastre.

En la investigación que realizó Rojas Zevallos (2008) determinó la fuerza y coeficiente de arrastre mediante un experimento, en el cual desarrolló un sistema de medición de fuerza de arrastre, con el fin de hacer pruebas con un modelo a escala de un vehículo terrestre de carga Hyundai modelo Mighty de 5.5 toneladas como se muestra en la figura 1.2.



Figura 1.2: Vehículo de carga Hyundai modelo Mighty de 5,5 toneladas.

El modelo a escala se sometió a un régimen de flujo con un número de Reynolds comprendido de entre 1×10^5 a 4×10^5 . El rango de velocidades con las que el autor trabajó en la zona de pruebas fue de 5 m/s a 13 m/s . En la figura 1.3 se muestra la zona de pruebas utilizada por el autor.



Figura 1.3. Zona de pruebas.

Ahora bien el mecanismo que Rojas diseñó para medir la fuerza de arrastre está constituido por hilo metálico de aproximadamente 0.1 mm (cuerda de guitarra), el cual utilizó para sujetar el modelo de su punto de estancamiento para transmitir la fuerza hacia una palanca empotrada sobre el suelo por medio de una polea, la palanca a su vez transmitió la presión a la balanza

electrónica, lo que fue equivalente a la fuerza con la que el fluido arrastra al vehículo a escala, el mecanismo utilizó una balanza de 5 kilogramos, con una capacidad y presión de ± 2 gramos de precisión. El diagrama del mecanismo se muestra en la figura 1.4 y en la figura 1.5 se muestra la imagen del arreglo de la balanza ya instalado.

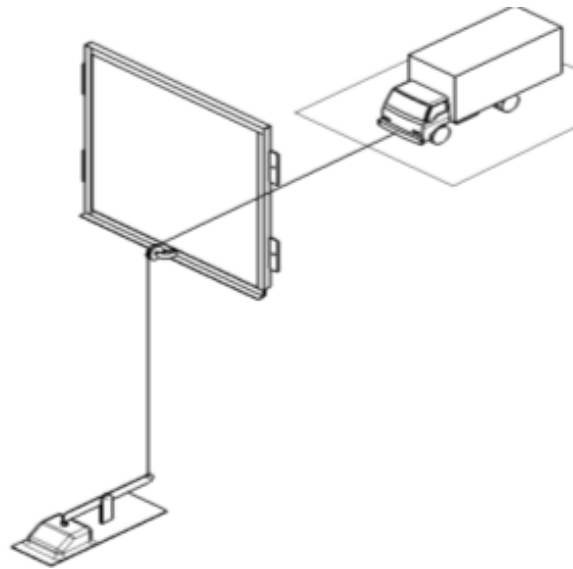


Figura 1.4: Diagrama de mecanismo para la medición de fuerza de arrastre.

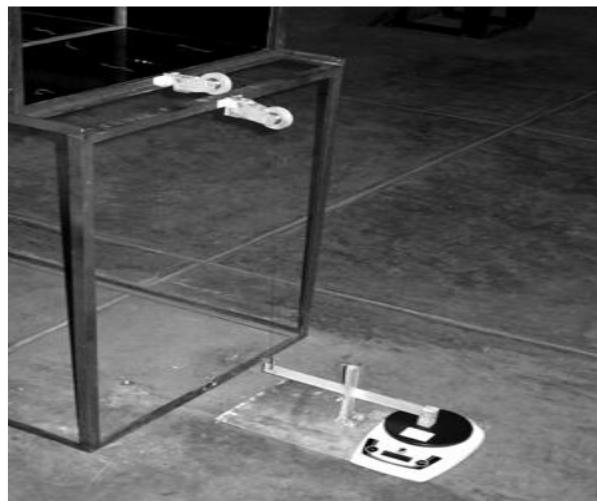


Figura 1.5 Arreglo de balanza y palanca para medición de la fuerza de arrastre.

Algunos valores de coeficiente de arrastre que el autor obtuvo se muestran en la tabla 1.1, Rojas (2008) noto que al incrementar la velocidad de 6.02 m/s hasta 12.26 m/s el coeficiente de arrastre tiene un aumento del 26% con respecto del valor mínimo y máximo. Por otro lado el

valor de coeficiente C_A tiende a ser constante a partir de $R_E = 3.5E+05$ como se muestra en la figura 1.6.

Tabla 1.1 Fuerza y coeficiente de arrastre obtenido en el modelo a escala 1/16.

V_p (m/s)	R_E	C_A
6.02	1.69E+05	0.466
6.02	1.69E+05	0.497
12.26	3.43E+05	0.636
12.26	3.43E+05	0.644

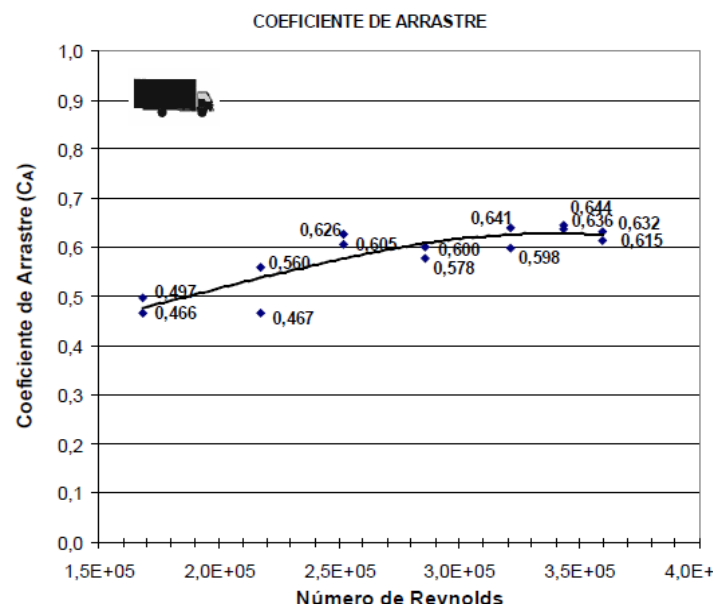


Figura 1.6 Coeficiente de arrastre y numero de Reynolds.

Otro estudio destacado es el que realizó Ortega Chávez (2016), quien también determinó el coeficiente de arrastre, pero a diferencia de Rojas (2008) utilizó modelos en forma de prismas rectangulares. El prototipo desarrollado en esta investigación consta de una celda de carga obtenida de una báscula para joyería con una capacidad máxima de 100 gramos y una precisión de ± 10 miligramos, utilizó un arreglo en el que se mide directamente la fuerza ejercida por el flujo sobre el modelo sin necesidad de considerar el arrastre generado por el soporte, el modelo tiene un movimiento independiente al soporte y ambas partes, soporte y modelo tienen contacto mediante la celda de carga que registra las mediciones.

El soporte consta de un arreglo de dos placas de acrílico, en una se enrosca una varilla que sirve de soporte y en la otra se colocan de 4-6 imanes (dependiendo del peso del modelo) cuadrados de 55 mm de longitud, de tal forma que el imán de en medio tenga una polaridad diferente al de las orillas como se muestra en la figura 1.7.

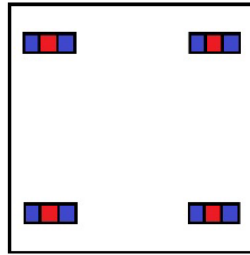


Figura 1.7 Placa de acrílico y el arreglo de imanes.

Ambas placas fueron unidas por medio de cuatro tornillos, el modelo fue instalado de tal manera que por medio de imanes hiciera contacto con el soporte los cuales tienen polaridad diferente a los que se montaron en la placa de acrílico, la celda de carga se ubicó entre las dos placas atornillada a la placa inferior lo que permitió el contacto con el modelo.

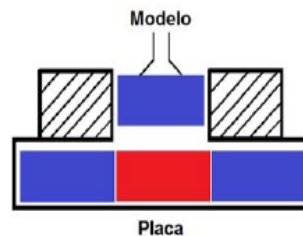


Figura 1.8 Modelo experimental.

Ortega muestra en la tabla 1.2 los valores de coeficiente de arrastre que obtiene para diferente régimen de Reynolds. La tabla muestra que para valores de Reynolds de entre 31400 a 38000 el coeficiente se mantiene entre valores de 1.9 a 2. $D/L=1$ es la relación de aspecto entre el diámetro del modelo y la longitud de la cara que se encuentra perpendicular al flujo, como lo muestra lo muestra en la figura 1.9.

Tabla 1.2 C_D para $D/L = 1$.

R_e	C_D
35000	1.9±0.03
31400	2±0.06
38300	2±0.06
38000	2±0.03

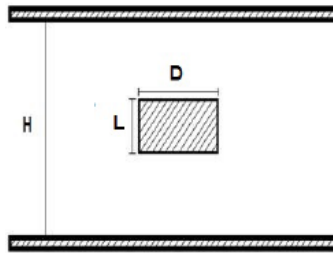


Figura 1.9 dimensiones de interés.

Por otro lado, la investigación de Moreno Regan (2008), describe como determinó el coeficiente de resistencia de seis modelos diferentes y en este trabajo solo se hace mención del modelo número cinco, el autor trabajo en un túnel comercial marca Armfield. Utilizó una balanza que viene como accesorio, la cual está constituida por un par de brazos llamados balanzas emisoras.

La fuerza de arrastre que se ejercía sobre cada modelo o perfil aerodinámico fue balanceada por pesas corredizas (primaria y secundaria) a lo largo de los brazos de la balanza. En la figura 1.10 se muestra el soporte vertical donde Moreno monto cada modelo, provisto de un barreno y un pequeño tornillo para anexar y sujetar los perfiles aerodinámicos en la balanza. En la figura 1.11 se puede observar el brazo de arrastre del que se obtiene los valores de fuerza de arrastre en el interior del túnel de viento para cada modelo.

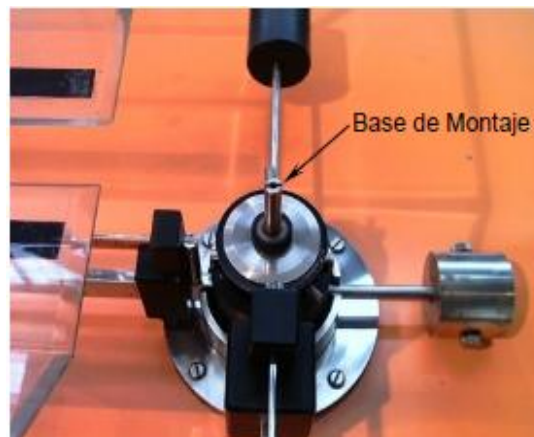


Figura 1.10 base para el montaje de los modelos.

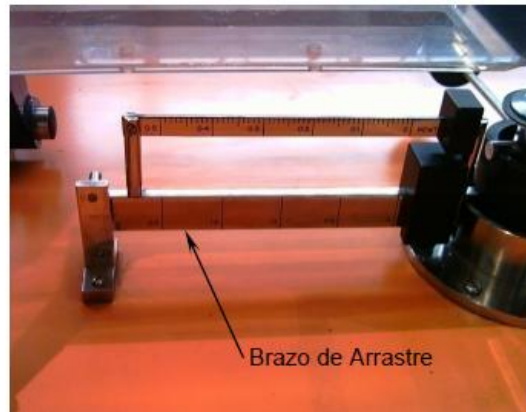


Figura 1.11 Brazo de fuerza de arrastre.

La balanza empleada en el mencionado estudio tiene un valor de sensibilidad de ± 0.01 Newton y un rango de medición de arrastre de 0- 2.5 Newton. Algunos de los resultados del modelo número cinco (placa circular) se presentan en la tabla 1.3, Moreno obtuvo un valor de coeficiente de 1.47 para una velocidad de 8m/s y un valor de coeficiente de 1.83 para 24m/s, se puede observar que existe un aumento de 20% en el valor del coeficiente al incrementar la velocidad.

La figura 1.13 se presentan los valores del coeficiente de arrastre en función del Reynolds, y se observa que a partir de un Reynolds de 8000 el coeficiente tiende a ser constante.

Tabla 1.3 resultados de coeficientes de arrastre mayor y menor del modelo No. 5 placa circular.

Velocidad (m/s)	R_e	C_D
8	4061	1.47
24	13573	1.83

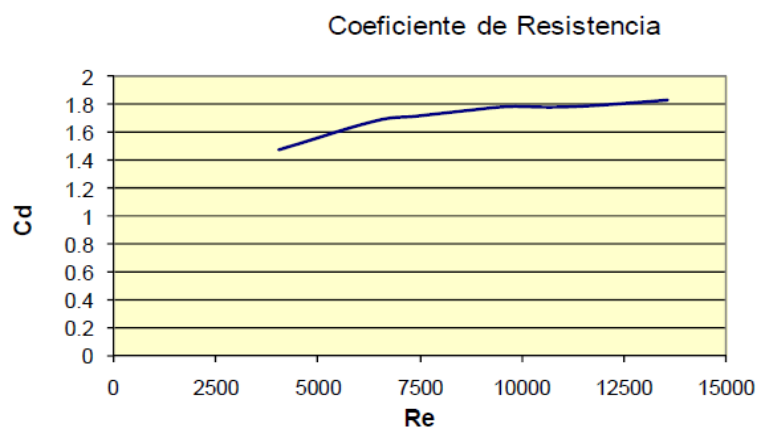


Figura 1.12 a) Coeficiente de arrastre y numero de Reynolds b) Modelo No. 5.

Otro estudio realizado por Rivero Fernández (2014), en el cual analiza de manera numérica el efecto de la razón de bloqueo, la razón de forma y la excentricidad en el coeficiente de arrastre de barras rectangulares en flujos confinados 2D como se muestra en la figura 1.1.

Razón de bloqueo: definida como la Altura del rectángulo ($B=0.1$) entre la altura del canal, $\beta = B / H$. Los valores propuestos fueron de $1/6$, $1/4$ y $1/2$

Razón de forma: definida como la altura entre el largo del rectángulo, $AR = B/A$. Los valores propuestos fueron de $1/2$ y $1/4$.

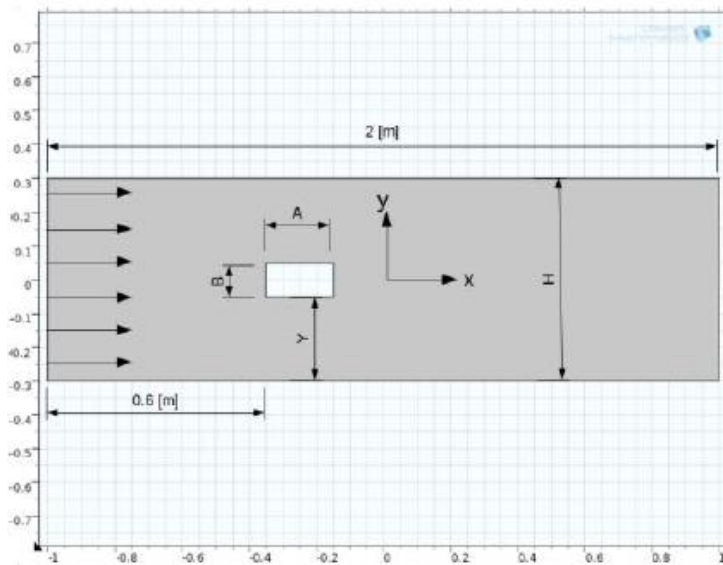


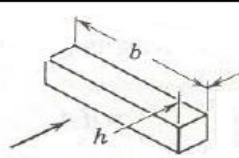


Figura 1.13 Geometría de los casos de estudio.

El autor analizó el efecto de las paredes sobre el flujo así como la posición de las barras dentro del conducto, se dio cuenta que al aumentar la razón de bloqueo y al disminuir la distancia relativa entre la barra y la pared, el coeficiente de arrastre aumenta; mientras que al disminuir la razón de forma (aumentando la dimensión del lado de la barra paralela al flujo) disminuye el coeficiente de arrastre, excepto para los casos de mayor razón de bloqueo. Los valores que obtuvo de manera numérica se presentan en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 resultado obtenidos por el autor con COMSOL MULTIPHYSICS®.

β	R_e	C_D
1/6	1000	2.16
1/2	1000	2.69

Por otro lado existen tablas con valores de coeficiente de arrastre establecidos por expertos, tales como en la figura 1.14, donde Robert W. Fox (2000) plantea valores de coeficiente de arrastre para objetos como discos, anillos, cilindros y cuadrado entre otros, para Reynolds mayores a 10000.

Objeto	Diagrama	$C_D (Re \gtrsim 10^3)$
Cilindro cuadrado		$b/h = \infty$ 2.05
		$b/h = 1$ 1.05
Disco		1.17
Anillo		1.20 ^b





Forma		Número de Reynolds	C_D
Placa plana paralela	→ 	$> 10^5$	0.002-0.014
Placa plana normal	→ 	$> 10^3$	2.0
Cilindro circular	→ 	$> 10^5$	0.2-1
Barra cuadrada	→ 	$> 10^4$	2.0

Figura 1.14 a) y b) Coeficiente de arrastre para diferentes objetos seleccionados.

Cengel (2006) plantea valores de coeficiente (figura 1.15) para diversos objetos en un estudio dimensional así como tridimensional, el observo que para valores de Reynolds muy bajos la geometría o forma del cuerpo no influye de una manera negativa en el coeficiente de arrastre, en cambio para valores de Reynolds altos la geometría y orientación del cuerpo en relación con la dirección del flujo tiene una gran influencia en dicho coeficiente.

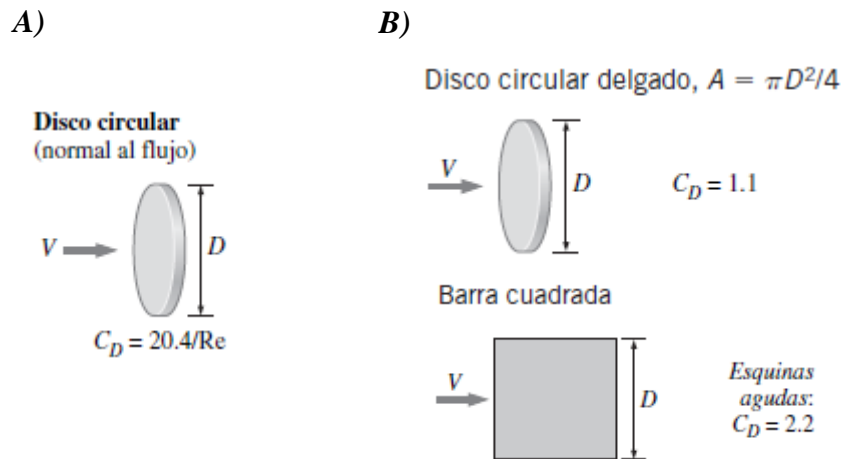


Figura 1.15 A) Coeficiente de arrastre C_D a bajas velocidades, B) Coeficientes de arrastre para varios cuerpos bidimensionales y tridimensionales, para números de Reynolds altos.

Por último, se presentan algunas empresas dedicadas a desarrollar sistemas de medición de la fuerza de arrastre.

A) Armfield es una empresa fundada en 1963 que diseña y produce equipos para la ingeniería destinados a la educación y a la investigación. Armfield es conocida por su innovación en los diseños y su nivel de calidad difícil de encontrar en la industria, la sede central se encuentra en *Bridge House, West Street Ringwood, BH24 1DY*, Inglaterra. (Armfieldonline.com, 2017).

Armfield ofrece accesorios para medición de arrastre y sustentación tal como se muestra en la figura 1.18, balanza modelo: C15-13 es electrónica la cual está constituida o seccionada en dos partes, la primera parte del sistema se utiliza para medir la sustentación y la segunda parte mide la resistencia en modelos con ciertas especificaciones y adaptables al sistema de medición. Dichos modelos se conectan a la balanza por medio de fijación sencilla la cual permite tener una correcta orientación del modelo.

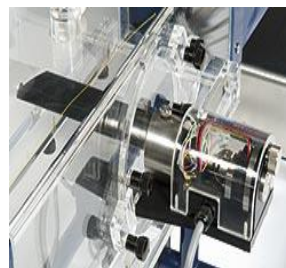


Figura 1.16 Balanza de sustentación c15-13 armfield.

Especificaciones de la balanza C15-13

- Fuerza de sustentación de 3.4 Newton en el modelo
- Fuerza de resistencia 3.4 Newton en el modelo.
- Inclinación +/-45 Grados.

B) El grupo LD DIDACTIC es uno de los principales fabricantes del mundo de sistemas educativos científicos y técnicos de alta calidad, empresa alemana fundada en 1850. ("Home - LD Didactic", 2016).

LD DIDACTIC cuenta con una gama de equipos para laboratorio, como el mostrado en la figura 1.17 modelo P1.8.6, cuenta con un complejo sistema que puede realizar diferentes experimentos empleando o variando sus accesorios, para la parte de la medición de fuerza de arrastre se utiliza un manómetro de precisión o manómetro fino, este contiene, además de una escala de precisión, otra escala que indica directamente la velocidad del flujo cuando se mide con la sonda de precisión Prandtl.

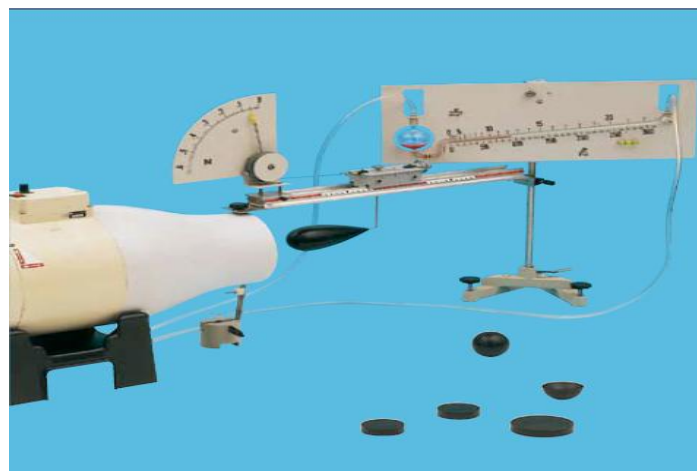


Figura 1.17: P1.8.6 Medición de la resistencia del aire.

C) TecQuipment diseña, fábrica y suministra productos para laboratorio en diferentes áreas de la ciencia aplicada. Los equipos se producen bajo un sistema de calidad 'World Class' acreditado por ISO9001. ("TecQuipment Engineering Equipment for Education", 2009).

El equipo para medición de fuerza drag Force AF12 como se muestra en la imagen 1.18, consta de un conducto con frontal y trasero transparentes. El frente tiene escamas impresas para colocar las distintas partes durante cada experimento.

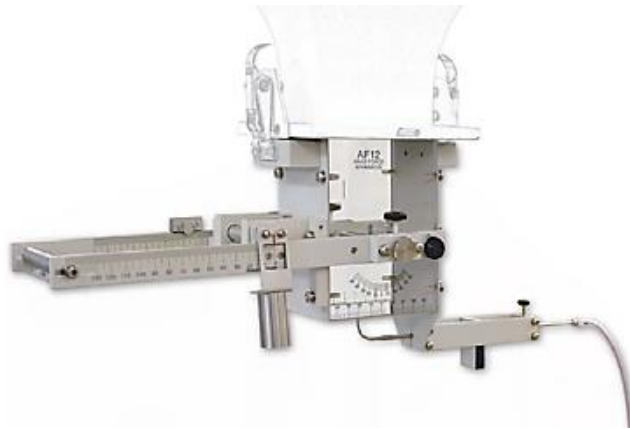


Figura 1.18: AF12 Equipo para medición de fuerza de arrastre.

AF12 cuenta con tres modelos todos de la misma área frontal:

- Un cilindro con un transportador, y un roscado de presión en su pared exterior
- Una placa plana
- Una forma aerodinámica simétrica con un perfil NACA

Especificaciones:

Dimensiones y peso del embalaje

0.2m³ y 10 kg

Conducto transparente de 100 mm x 50 mm

Rango de temperatura de operación

+5°C a +40°C

Humedad relativa de operación

80% A temperaturas < 31°C

50% A temperaturas 40°C

1.2 Conceptos fundamentales.

1.2.1. Fuerza y coeficiente de arrastre.

En la actualidad se realizan diversos estudios que se enfocan en el análisis de la fuerza de arrastre así como su coeficiente. Una experiencia común es que un cuerpo encuentra cierta

resistencia cuando se fuerza a moverse a través de un fluido (Cengel, Cimbala, Toledo Castellanos & Roig Vázquez, 2006).

En la figura 1.19 se puede observar como el estudio del coeficiente de arrastre o resistencia influye en la industria automotriz.

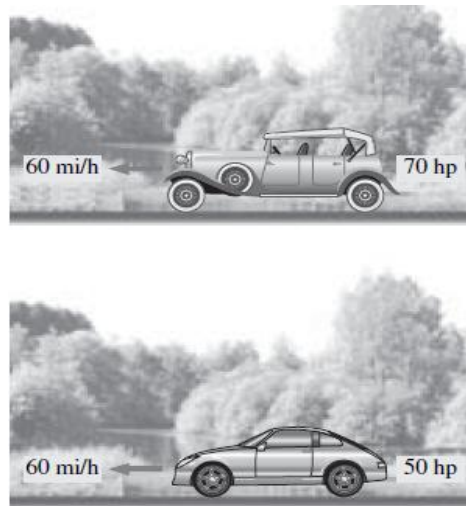


Figura 1.19 Estudio de un fluido (aire) en un cuerpo romo y currentilíneo.

Por lo cual es importante describir la ecuación que define dicha fuerza y describir los términos que constituyen la ecuación.

$$F_A = C_A \left(\frac{\rho U^2}{2} \right)$$

F_A = Fuerza de arrastre [N]

C_A = Coeficiente de arrastre. Dicho coeficiente depende principalmente de la forma que presente el cuerpo a estudiar y el ángulo que presente con respecto al flujo del fluido [adimensional]

ρ = Densidad del fluido [kg/m^3]

U = velocidad de corriente de fluidos [m/s]

A = Área del cuerpo también considerada como área característica o proyectada. Lo más común es que el área que se emplea para este tipo de estudios sea la sección transversal máxima del cuerpo para estudios de arrastre de forma o también se le conoce como arrastre de presión m^2

$\frac{\rho U^2}{2}$ = Presión dinámica es el nombre con el que se le conoce al término combinado de la densidad, la velocidad dividida entre un factor de 2. También conocida como presión de estancamiento, es la presión medida contra el flujo del fluido. Lo cual nos indica que si aumentamos la velocidad la fuerza de arrastre también aumenta de manera proporcional. De la misma manera si se disminuye la velocidad el valor de la fuerza también disminuirá. De manera matemática se expresa de la siguiente manera tomando en cuenta la figura 1.20 donde se presenta un cuerpo sumergido en una corriente de fluido que muestra el punto de estancamiento en la parte central de la superficie de la esfera.

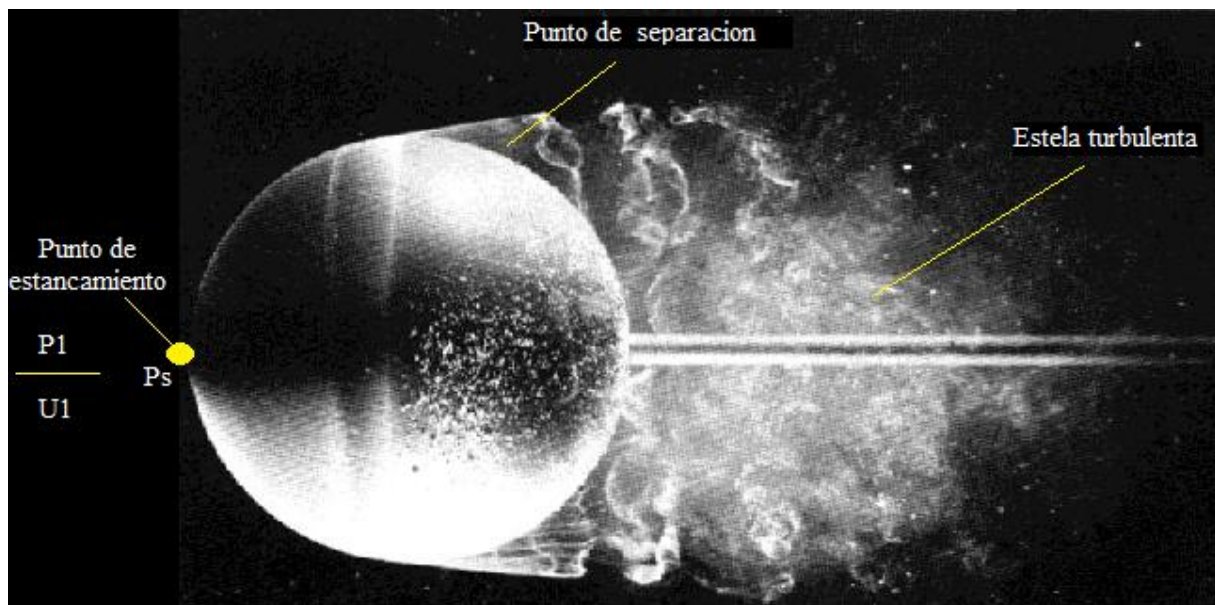


Figura 1.20 Esfera en una corriente de fluido que muestra el punto de estancamiento.

La relación que existe entre la presión inicial P_1 y la presión de estancamiento denotada por P_s , es encontrada por Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_s}{\gamma} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Para conocer el valor de P_s lo despejamos de la ecuación 1.2 y tenemos lo siguiente:

$$P_s = P_1 + \frac{\gamma U_1^2}{2g} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

tenemos que $\rho = \frac{\gamma}{g}$ se sustituye en la ecuación 1.3 y se obtiene la presión de estancamiento.

$$P_s = P_1 + \frac{\rho U_1^2}{2} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

De la ecuación 1.4 podemos inferir que la presión de estancamiento es la suma de la presión libre o inicial, más la magnitud de la presión dinámica. La energía cinética de la corriente del fluido se transforma en energía potencial que se presenta en forma de presión.

La presión de estancamiento y la presión en la parte trasera del cuerpo tienen como resultado la fuerza de arrastre, ya que resulta complicado tener los valores de presión en la parte trasera.

Ahora bien hablando del arrastre este valor se debe principalmente a dos componentes denominados *arrastre de presión* y *arrastre de fricción*. En el estudio que presentaremos nos centraremos en el arrastre de presión ya que es el fenómeno de interés.

Presión de arrastre: Es debida a los disturbios en la corriente del flujo conforme este pasa en el cuerpo, creando una excitación turbulenta, en otras palabras se dice que cuando un cuerpo es sumergido en un fluido en movimiento, éste se mueve alrededor del objeto y tiende a adherirse en la longitud del cuerpo. En algún punto de la longitud, esta capa delgada se separa de la superficie y forma una estela turbulenta. La presión en este punto es mucho menor que la presión en el punto de estancamiento en el frente del objeto. Podemos decir entonces que se genera una fuerza neta que actúa en dirección contraria al movimiento del cuerpo. A esta fuerza se le conoce como arrastre de presión. Si se logra que el punto en el que la capa límite se separa ocurra en un punto lejano de la parte posterior del cuerpo, entonces se podrá disminuir el arrastre, debido a la disminución de la estela turbulenta como se muestra en la imagen 1.21

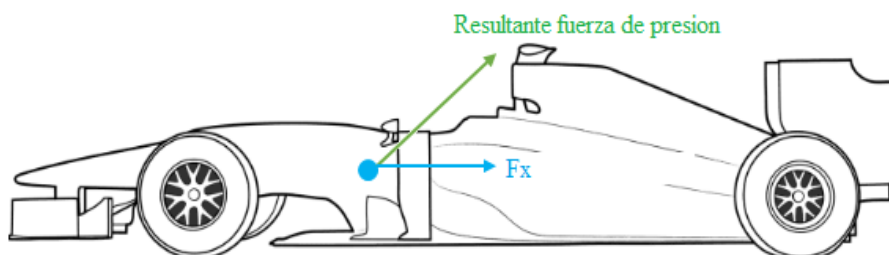


Figura 1.21: Fuerza de presión.

1.2.2. Número de Reynolds; flujo laminar y turbulento.

El número de Reynolds, es adimensional y relaciona las variables importantes de los flujos: Velocidad, tamaño de la trayectoria del flujo, densidad del fluido y viscosidad. En otras palabras, el comportamiento del fluido hablando de pérdidas de energía depende si el flujo es

laminar o turbulento. El número de Reynolds ayuda a predecir cómo será dicho comportamiento sin tener la necesidad de observar el fluido ya que en la actualidad se llegan a utilizar tubos opacos donde resulta casi imposible visualizar el flujo. (Cengel, Cimbala, Toledo Castellanos & Roig Vázquez, 2006).

Se demuestra de modo experimental y se verifica de manera analítica que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables:

ρ , Densidad del fluido

η , Viscosidad

D, Diámetro del tubo

U_{prom} , Velocidad promedio del flujo

Tenemos la siguiente ecuación

$$R_E = \frac{U_{prom} D \rho}{\eta} = \frac{U_{prom} D}{\nu} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Donde

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \text{Viscosidad cinemática} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Es posible demostrar que el número de Reynolds es adimensional, con la sustitución de las unidades estándar del SI en la ecuación 1.5

$$R_E = \frac{U_{prom} D \rho}{\eta} = U_{prom} \times D \times \rho \times \frac{1}{\eta}$$

$$R_E = \frac{m}{s} \times m \times \frac{Kg}{m^3} \times \frac{m \cdot s}{Kg} \quad \text{Se cancelan términos iguales}$$

$$R_E = \frac{m}{s} \times m \times \frac{Kg}{m^3} \times \frac{m \cdot s}{Kg}$$

Debido a que todas las unidades se cancelan N_R es adimensional. El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se desarrolla a partir de la segunda ley de movimiento de Newton $F = ma$ y la fuerza viscosa se relaciona con el producto del esfuerzo cortante por el área. Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, encontramos las siguientes condiciones:

$R_E < 2000$ Flujo laminar

$2000 < R_E < 4000$ Región Critica

$R_E > 4000$ Flujo Turbulento

1.2.3. Perfiles de velocidad.

La magnitud de la velocidad local del flujo es muy desigual en zonas diferentes de la sección transversal de un ducto circular, ducto o manguera. (Cengel, Cimbala, Toledo Castellanos & Roig Vázquez, 2006).

En la figura 1.22 se ilustra la forma general de los perfiles de velocidad para el flujo laminar y el turbulento.

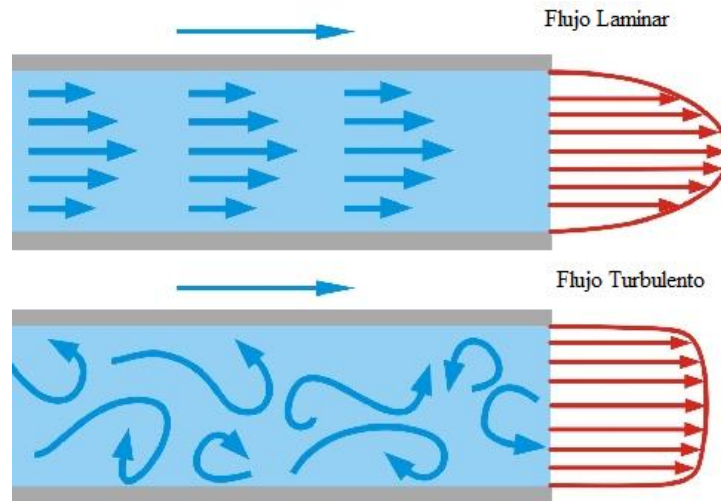


Figura 1.22 Perfiles de velocidad para el flujo en tuberías.

La velocidad de un fluido en contacto con una frontera sólida estacionaria es igual a cero. Esto corresponde a la pared interior de cualquier conducto. A partir de ahí la velocidad se incrementa en puntos hacia fuera de la pared y alcanza un máximo en la línea central del conducto circular. El flujo laminar puede verse como una serie de capas concéntricas del fluido que se deslizan una junto a otra. Este flujo suave da como resultado una forma parabólica para el perfil de velocidad. Por el contrario, se mostró al flujo turbulento como caótico, con cantidades significativas de partículas del fluido que se entremezclan, con la consecuente transferencia de cantidad de movimiento entre ellas. El resultado es una velocidad más cerca de la uniforme a través de gran parte de la sección transversal. Aún más, la velocidad en la pared de la tubería es igual a cero. La velocidad local se incrementa con rapidez en una distancia corta a partir de la pared.

El perfil de velocidad para el flujo turbulento es muy diferente de la distribución parabólica del flujo laminar. Como se aprecia en la figura 1.23.

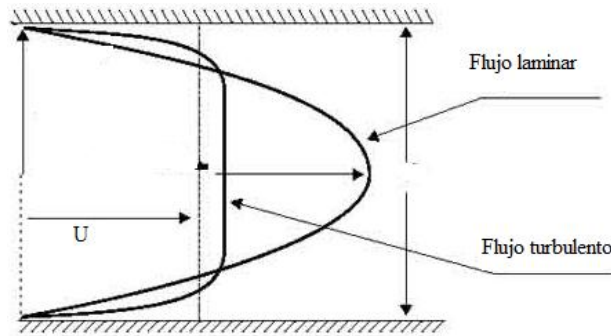


Figura 1.23 Forma General del perfil de velocidad para el flujo turbulento.

1.2.4. Tubo Pitot.

Cuando un fluido en movimiento se detiene porque encuentra un objeto estacionario, se crea una presión mayor que la de la corriente de fluido. La magnitud de esta presión incrementada se relaciona con la velocidad del fluido en movimiento. (Cengel, Cimbala, Toledo Castellanos & Roig Vázquez, 2006).

El tubo de Pitot usa este principio para indicar la velocidad, como se ve en la figura 1.24.

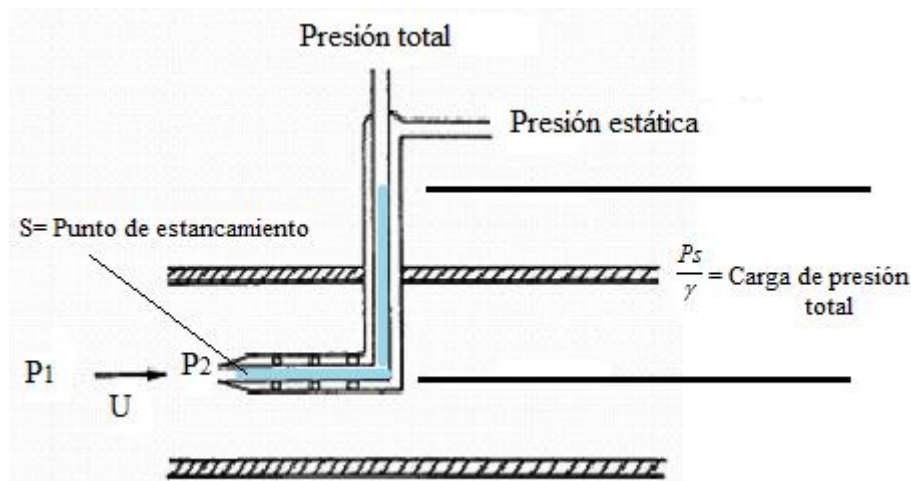


Figura 1.24 Tubo Pitot.

El tubo de Pitot es un tubo hueco que se posiciona de modo que el extremo abierto apunta directamente a la corriente de fluido. La presión en la entrada hace que se soporte a una columna de fluido. Entonces, el fluido en o justo dentro de la punta está estacionario o estancado, y esto se conoce como punto de estancamiento. Se emplea a ecuación de la energía para relacionar la presión en el punto de estancamiento con la velocidad del fluido. Si el punto 1 se encuentra con la corriente no alterada por delante del tubo, y el punto s es el punto de estancamiento, como se muestra en la ecuación 1.15 ver imagen 1.6.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 \frac{U_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_s}{\gamma} + z_s \frac{U_s^2}{2g} \quad \text{Ecuación 1.15}$$

Se observa que $v_s = 0$, $z_1 = z_s$ y $h_L = 0$ o casi y la ecuación 1.15 se reduce a:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_s}{\gamma} \quad \text{Ecuación 1.16}$$

Donde;

P_1 = Presión estática de la corriente principal del fluido

$\frac{P_1}{\gamma}$ =Carga de presión estática

P_s =Presion de estancamiento o Presión total

$\frac{P_s}{\gamma}$ =Carga de presión total

$\frac{U_1^2}{2g}$ =Carga de presión de velocidad

La carga de presión total es igual a la suma de la carga de presión estática y la carga de presión de velocidad. Al despejar de la ecuación 1.16 la velocidad para un gas, queda de la siguiente forma:

$$u_i = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad \text{Ecuación 1.17}$$

Para calcular la velocidad solo se necesita la diferencia entre P_s y P_1 . Por esta razón, la mayoría de tubos de Pitot están hechos como en la imagen 1.25, y proporcionan la medida de ambas presiones con el mismo instrumento.

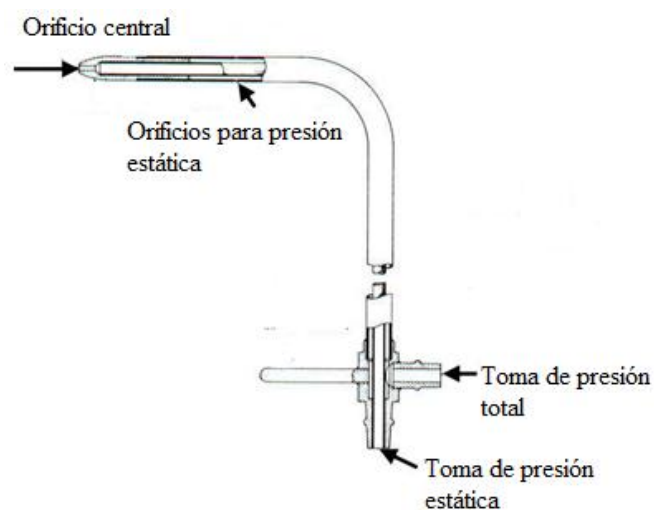


Figura 1.25 Tubo estático de Pitot.

El dispositivo que aparece en la imagen 1.7 facilita la medición de la presión estática y la del estancamiento, simultáneamente, y por ello a veces se denomina tubo de Pitot estático.

1.2.5. Ecuación de gas ideal

Usualmente la densidad del aire no es medida directamente, sino es calculada tomando en cuenta las condiciones ambientales de temperatura, presión y humedad relativa o punto de rocío. El aire como un gas real, obedece la ecuación de estado, como lo plantea Becerra (2001):

$$PV = nZRT \quad \text{Ecuación 1.18}$$

Dónde:

P = Presión absoluta (Pa).

V = Volumen del gas (m³).

n = Cantidad de sustancia (mol).

Z = Factor de compresibilidad.

R = Constante universal de gas ideal (8.314510 J / K * mol).

T = Temperatura absoluta (K).

Si se conoce que: $n = \frac{m}{M}$ y que la densidad es: $\rho = \frac{m}{V}$

Dónde: m es la masa del gas (kg) y M su masa molar (kg/mol).

Sustituyendo en la ecuación de gas ideal ecuación 1.18, se puede obtener la densidad del aire de la siguiente forma:

$$PV = \frac{m}{M} ZRT$$

$$\frac{M}{ZRT} = \frac{m}{V} = \rho = \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{\frac{N}{m^2} \frac{kg}{mol}}{K * mol} = \frac{kg}{m^3}$$

El aire húmedo consiste de una fracción molar de vapor de agua X_v, y una fracción molar de aire seco (1 - X_v). En estas condiciones se tiene:

$$M = Ma \left[1 - X_v \left(1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right]$$

Ecuación 1.19

Donde:

Ma masa molar del aire húmedo ($Ma = 0.028\ 963\ 512\ 440\ \text{kg mol}^{-1}$)

Mv masa molar del agua ($Mv = 0.018\ 015\ \text{kg mol}^{-1}$)

Por lo tanto la ecuación de gas ideal queda de la siguiente manera (Becerra Santiago & Guardado González, 2003).

$$\rho = \frac{PMa}{ZRT} \left[1 - X_v \left(1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right]$$

Ecuación 1.20

1.2.6 Radio Hidráulico

A la dimensión característica de las secciones transversales no circulares, se les denomina radio hidráulico, R, y se define como la razón del área neta de la sección trasversal de una corriente de flujo al perímetro mojado de la sección. Es decir:

$$R = \frac{A}{PM}$$

Ecuación 1.21

Donde A= Area

PM= Perímetro mojado

La unidad de R es el metro en el SI.

Capítulo II: Diseño y construcción.

2.1 Sistema de medición de fuerza de arrastre (FA-ECITEC-01).

A continuación se presentara el diagrama (Figura 2.1) que describe el proceso de manufactura del FA-ECITEC-01.

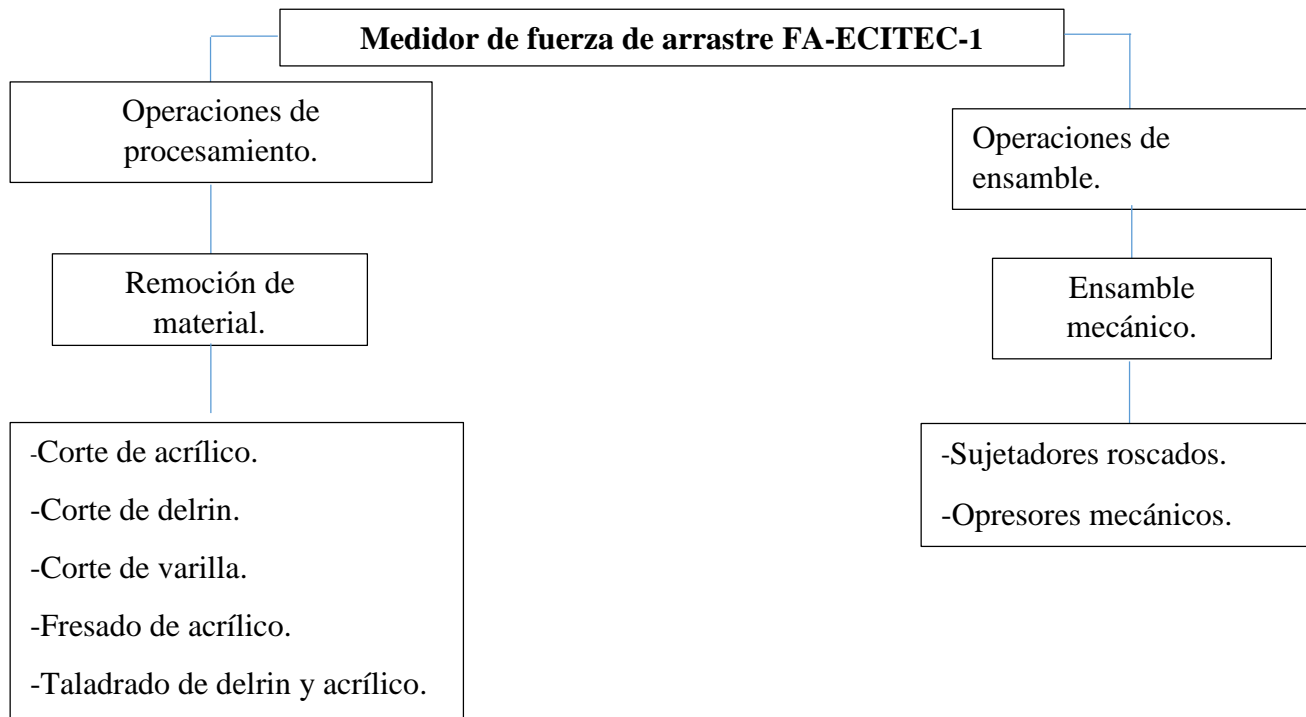
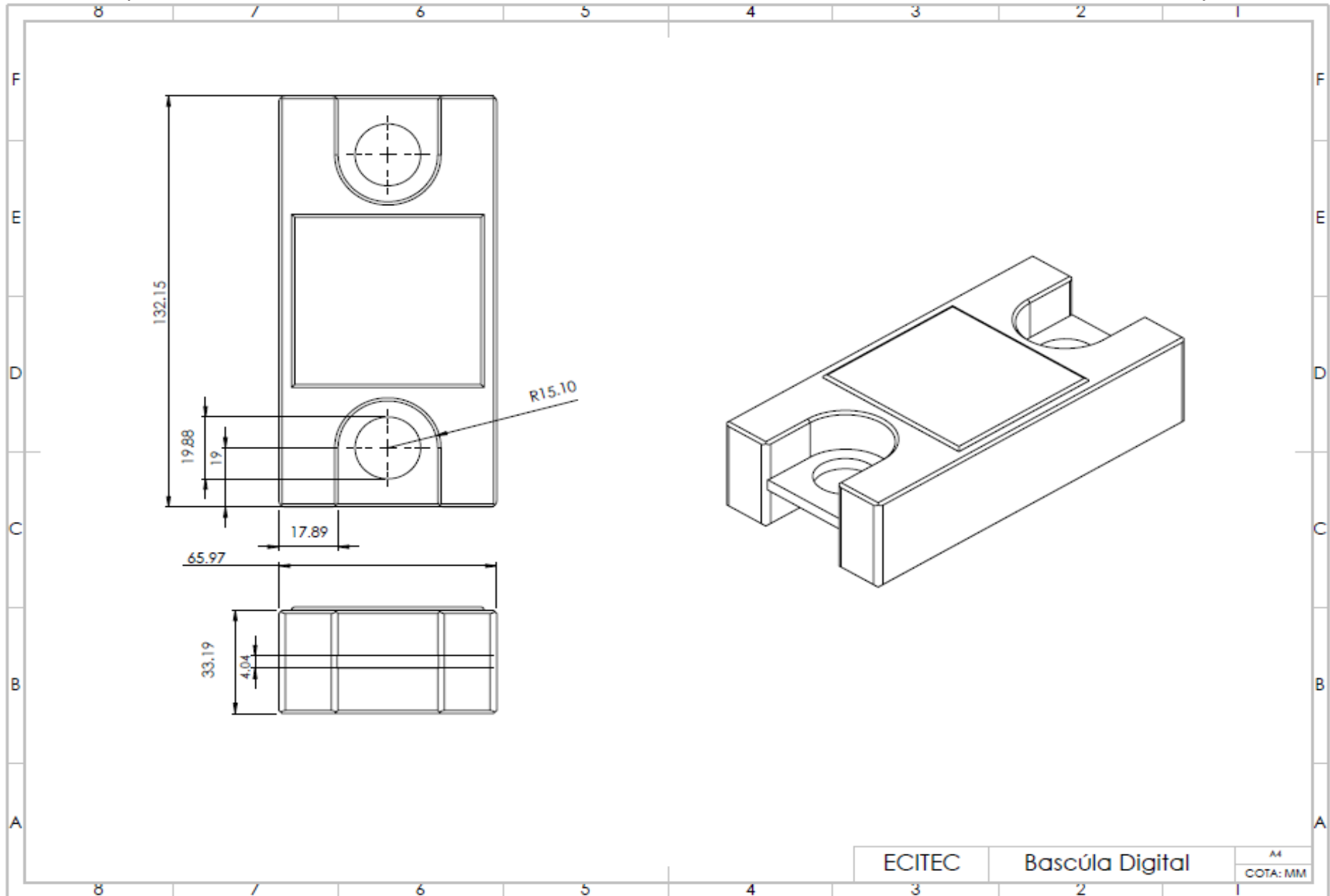


Figura 2.1 diagrama del proceso de manufactura para el desarrollo del medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01.

A continuación se muestran los planos en formato A-04 realizados en el programa de diseño Solid Works 2016® de cada uno de los componentes del FA-ECITEC-01.

1. Bascula digital de gancho.
2. Disco de soporte.
3. Buje.
4. Varilla.

También se agregan las especificaciones de cada elemento tales como, en el caso de la báscula las unidades, capacidad y modo de uso etc., para el disco de soporte se agregó el tipo de material del cual está construido así como proceso de manufactura que se llevó a cabo para adecuarlo al sistema de medición. De la misma manera para el buje y la varilla de sujeción de modelo.



2.1.1 Bascula Digital de gancho

En primera instancia se utilizó una báscula digital de gancho la cual mide la fuerza ejercida sobre el modelo a experimentar con las siguientes especificaciones:

- Unidades: kg, lb;
- Capacidad/Graduación: 150kg/0.05kg;
- Exactitud de+ / - 0.15% de su capacidad total;
- Fácil visualización, gran luz de fondo LCD 44x26mm;
- Apagado automático después de 3 minutos de inactividad
- Alojamiento ABS , 133x66x33mm sin gancho y aro;
- Auto calibración;
- Gancho: 95mm de acero inoxidable, Ø 8mm;
- Aro de metal de seguridad: 90mm, Ø 8.6mm;
- Poder: 2xAAA baterías;
- Escala con embalaje: 400g

Para prender la báscula y programar las unidades en las que se registrarán las mediciones se siguieron los siguientes pasos.

1. Mantenga pulsado el botón de apagado durante 3 segundos para apagar la escala ;
2. Mantenga pulsado el botón MODE para elegir kg / lb ;

Tabla 2.1 especificaciones general de funcionamiento de balanza digital de gancho.

Modelo	HS4-150
Máxima capacidad	150kg, 330lb
Legibilidad	0.05kg, 0.1lb
Repetibilidad	±2d
Linealidad	±2d
Poder	2x AAA baterías

La báscula de gancho electrónica se muestra en la figura 2.2, utiliza celdas o célula de carga, en cuyo interior se encuentran sensores de deformación llamado strain Gauges o galgas

extensiométrica, de tal manera que mide el peso aplicada mediante un componente eléctrico que modifica su tensión en función del peso soportado.



Figura 2.2 Báscula digital de gancho Hanging Scale.

Las principales características técnicas son:

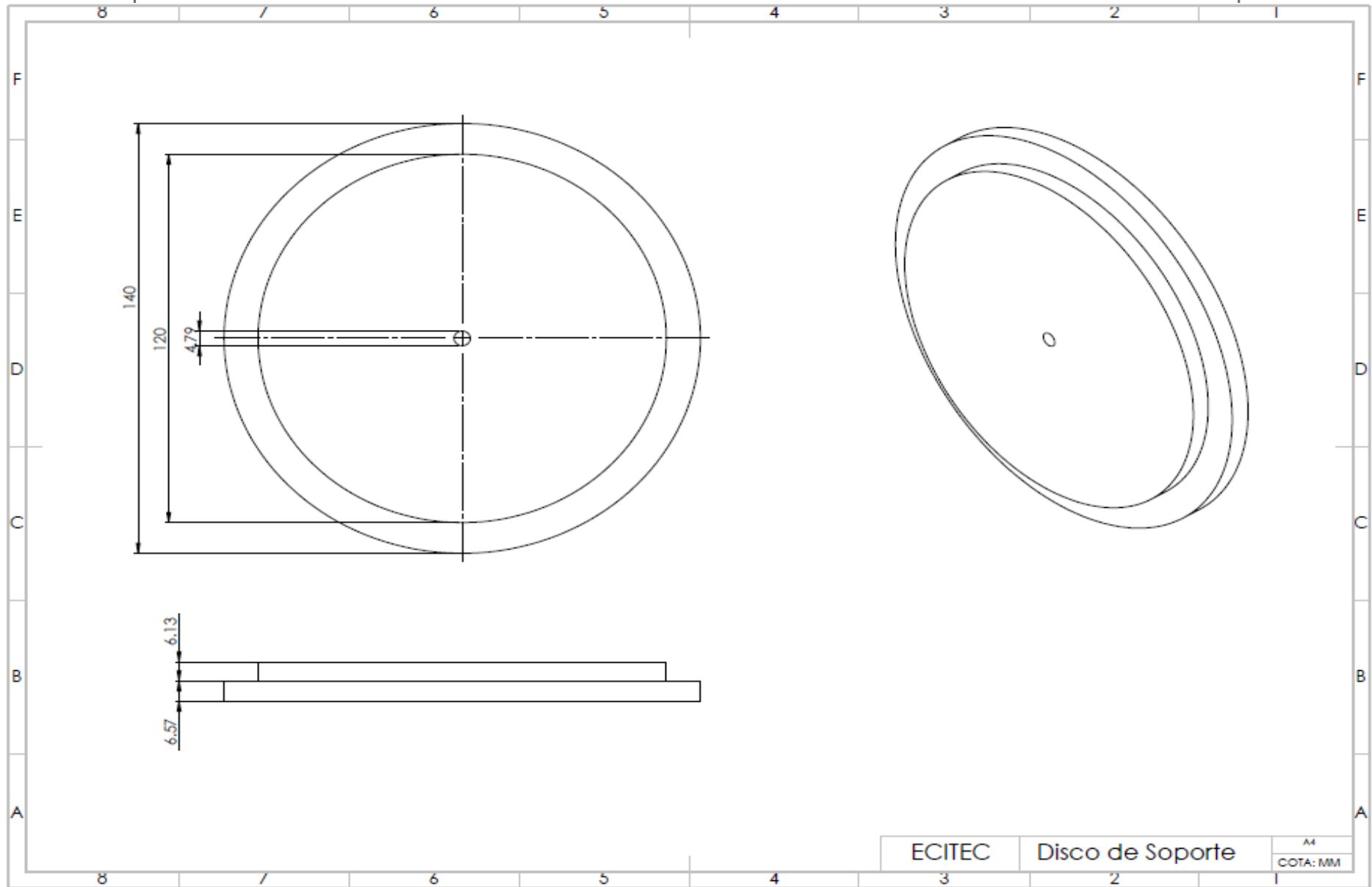
- Precisión y reproducibilidad según la recomendación de OIML R60
- Precisión: 0,2% de la capacidad total de la balanza (F.S.)
- Alta precisión y reproducibilidad.
- Número máximo de divisiones de la célula de carga: $nLC = 3000$.
- Sensibilidad: $2mV/V \pm 10\%$. - Resistencia de entrada: 1100 Ohmios.
- Resistencia de salida: 1000 Ohmios.
- La carga nominal cede después de 4 horas: 0,03% del rango total.
- Compensación térmica: $-10^{\circ}C / +40^{\circ}C$ - Vida prevista: si la célula no sufre golpes y/o sobrecargas y es sometida a un mantenimiento regular, alcanzará una vida teórica que va desde los 3 a los 5 años.

La galga extensiométrica es un sensor, que mide la deformación, presión, carga, par, y posición. Se basa en el efecto piezorresistivo, que es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se les somete a ciertos esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos. Un esfuerzo que deforma la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica como se muestra en la figura 2.3. Esta variación se produce por el cambio de longitud, el cambio originado en la sección o el cambio generado en la resistividad



Figura 2.3 Galga extensiométrica de lámina.

La galga es mucho más sensible a las deformaciones en la dirección vertical que en la horizontal. El material de color azul es un conductor, por lo que la corriente debe fluir a través de los estrechos canales verticales. Si el indicador se extiende verticalmente, los canales se hacen más largos y más estrechos. El dato generado por dicha galga fluye a través del operacional al micro controlador el cual muestra el dato obtenido en la pantalla LCD. El plano de la balanza digital se presenta en la página 34.



2.1.2 Disco de soporte: El material de Fabricación del disco de soporte es acrílico (Policarbonato), en este elemento se sujeta la báscula con dos pines de ajuste de interferencia de 4mm de diámetro, el disco está construido de policarbonato con dimensiones de 0.135m de diámetro exterior y 0.120m de diámetro interior, con 0.01227m de espesor, en la parte central cuenta con un barreno de 0.0048m de diámetro. La placa de acrílico tuvo un costo de 1400 pesos y los pines de ajuste 30 pesos c/uno, el proceso de corte, maquinado y barrenado no tuvo costo ya se realizó en los talleres de maderas y metal mecánica de la ECITEC-UABC, Valle de las Palmas.

El corte de la placa de acrílico se realizó en una sierra de mesa como se muestra en la figura 2.4 que se encuentra en el taller de maderas de ECITEC, consta de las siguientes especificaciones:

- Disco de carburo de tungsteno de 36 dientes
- Potencia nominal: 1,650 w/2.2 hp
- Tensión/frecuencia: 127 v/50 v / 60 hz
- Diámetro de disco: 10" (254 mm)
- Diámetro de eje: 5/8" (16 mm)
- Velocidad: 4,800 rpm



Figura 2.4 Corte de acrílico en sierra de mesa.

EL proceso de barrenado fue realizado en una máquina VF4BM400S Fresadora Vertical CNC Viwa, con Control CENTROID M400 que se encuentra en el taller metal mecánica de ECITEC como se muestra en la figura 2.5. A continuación sus especificaciones:

- Motor principal 5 HP
- Cabezal de velocidad variable 70-4000 r.p.m.
- Nariz del husillo a la mesa 23.5"
- Diámetro del cañón 3 15/16"
- Cono del husillo ISO-40
- Centro del husillo a la cara de columna 18"
- Tamaño de la mesa 320 X 1,270 mm. 12" x 50"
- Ranuras T de la mesa 3 x .63" x 2.52"
- Capacidad de carga 580 Kg.



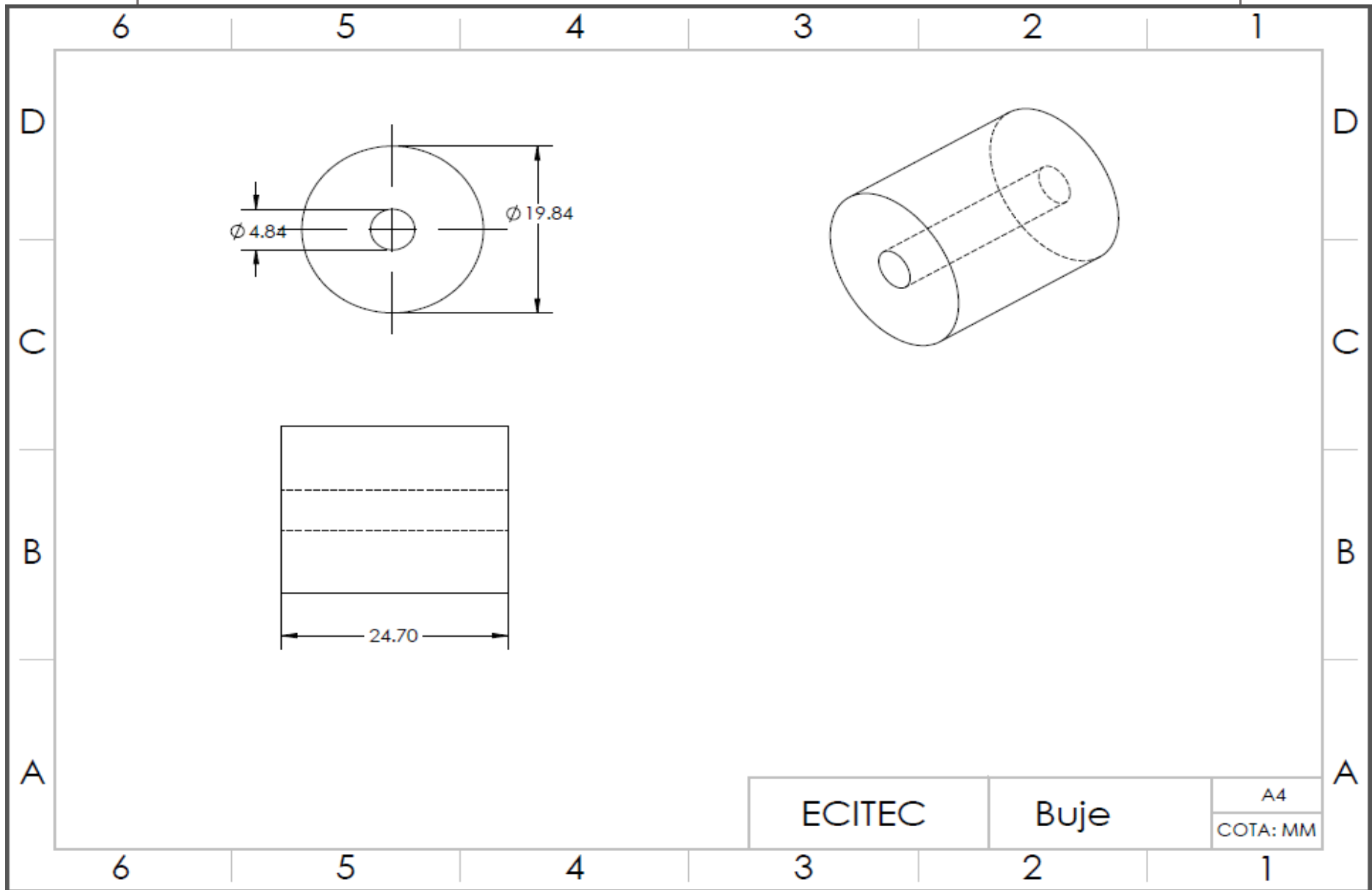
Figura 2.5 Maquinado en fresadora CNC, taladrado de barreno del centro de la pieza.

Las brocas que se utilizaron para los barrenos de los pines y el barreno del centro de la pieza fueron de:

$$\varnothing = 4 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 4.8 \text{ mm}$$

En la página 37 se muestra el plano del disco de soporte.



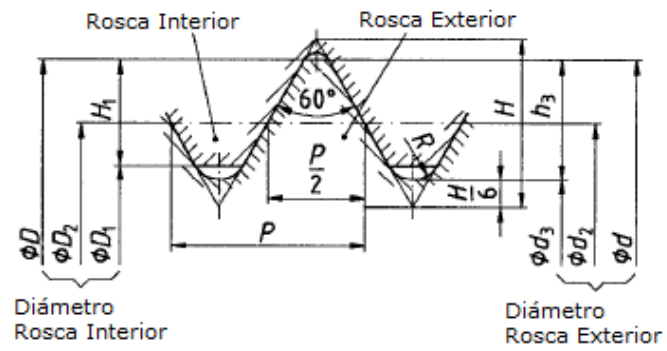
2.1.3 Buje: en este mecanismo se soporta y asegura la varilla de acero, está construido de delrin blanco con diámetro interior de 4.8mm y diámetro exterior de 20 mm con una longitud de 25.3mm. Además cuenta con 3 barrenos de 5mm de diámetro distribuidos longitudinalmente, en éstos se insertan opresores que cuentan con rosca métrica M4.5*0.75 ver figura 2.6, con estos opresores se mantiene fija la varilla para evitar que se desplacen los modelos en el interior de la zona de pruebas.

Características técnicas delrin:

- Bajo coeficiente de fricción.
- Fácil mecanizado.
- Rigidez, dureza.
- Bajo coeficiente de deslizamiento
- Gran estabilidad dimensional.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Alta termo estabilidad.
- Resistente a la degradación por oxidación térmica.

El buje se maquina en torno convencional modelo KENT 2060, la profundidad de arranque de viruta fue de 5mm, Velocidad de 1800 rpm, para el proceso de barrenado se utilizó una broca de acero rápido (HSS) de un diámetro 4.8 mm como se muestra en la figura 2.7. El torno se encuentra en el taller metal mecánica de ECITEC como se muestra en la figura 2.8. A continuación sus especificaciones:

- Motor de eje de 7.5 HP, 12 velocidades
- 36-1800 RPM
- 3.125 " husillo
- Base de fundición sólida de longitud completa con bandeja de virutas con carga frontal para una limpieza más fácil
- Embragues de alimentación de sobrecarga ajustables
- Freno de pie de seguridad de larga duración



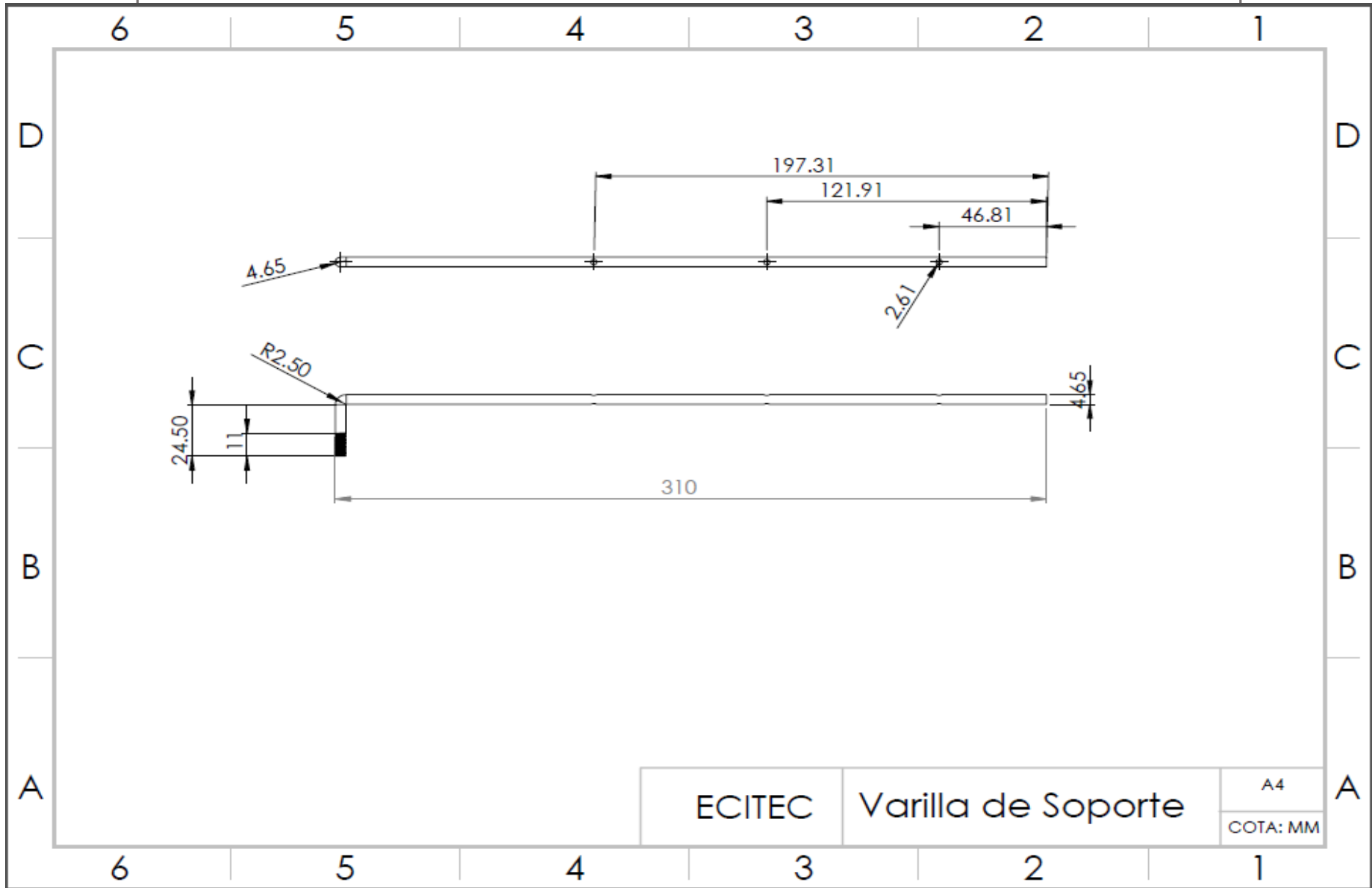
*Figura 2.6 Rosca métrica M4.5*0.75*



Figura 2.7 Barreno de centro $\phi=4.8$ mm



Figura 2.8 Torno convencional modelo KENT 2060



2.1.4 Varilla de soporte: en este componente se aseguran los modelos, es de acero, de 0.0047m de diámetro y longitud de 0.300m, con un doblé a 90° en la parte inferior de 0.0288m de longitud, en esta sección a la varilla se le realizó una rosca whitworth como se muestra en la figura 2.9 con especificaciones 3/16 por 24, figura 2.10. Se utiliza para soportar los modelos, la longitud de la varilla es de 0.15m. Para realizar el tipo de rosca whitworth se utilizó un maneral con tarraja 3/16 por 24, un banco de presión para sujetar la varilla mientras se hace el paso y WD-40 aceite para lubricar con el fin de evitar que el roscado no sea uniforme, así como fracturas en el material. El material y el proceso tuvieron un costo de \$800.

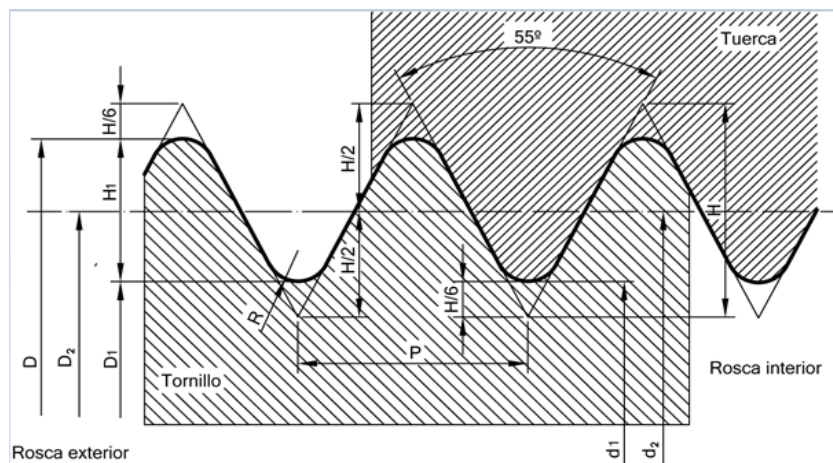


Figura 2.9 Rosca Whitworth 3/16 por 24 especificaciones (Portal de Dibujo Técnico, 2017)

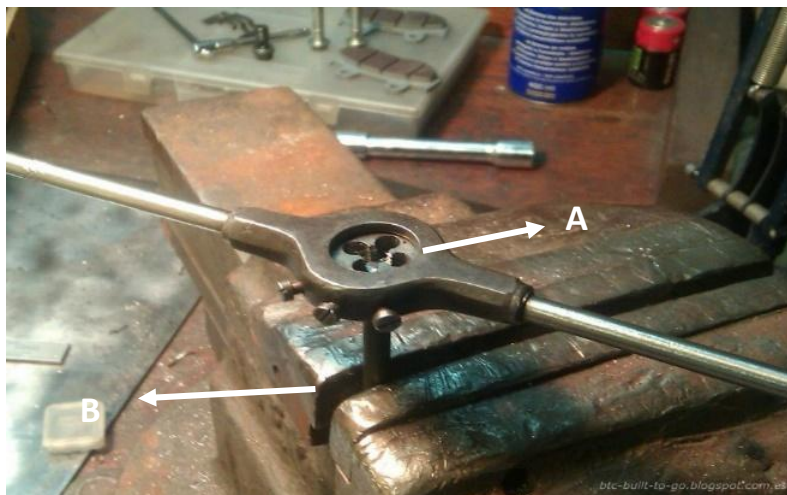

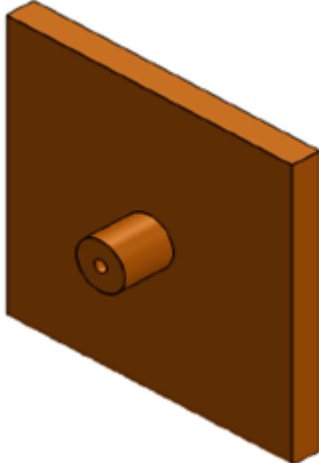


Figura 2.10 Proceso de roscado en varilla de soporte A) Maneral con tarraja 3/16 por 24 B) Banco de presión.

2.2 Relación de aspecto

Cuando existe un flujo confinado sus características aerodinámicas pueden ser diferentes a aquellas que se tienen para un flujo libre, en estos casos existe un parámetro que se debe considerar que es la razón de bloqueo, que se define como el cociente de la longitud perpendicular al flujo del modelo y la distancia entre las paredes del túnel. **(Ortega 2016)**

Tabla 2.3 Relación de aspecto.

Modelo	símbolo	Longitud característica	Sección transversal	Relación de aspecto.
	D ₁	0.1m	0.0078 m ²	0.33
	D ₂	0.15m	0.017 m ²	0.5
	L ₁	0.088m	0.0078 m ²	0.29
	L ₂	0.13m	0.017 m ²	0.43

En la tabla anterior se especifica la relación de aspecto, la cual es la relación entre la longitud característica de cada modelo y la altura (H) de la zona de pruebas. A continuación, se presentan los planos en formato A-4 realizados en Solid Works 2016® de cada uno de los cuatros modelos empleados en esta investigación.

2.3 Modelos

Los cuatro diferentes modelos que se utilizaron para determinar la fuerza y coeficiente de arrastre de cada uno de ellos, fueron manufacturados en una impresora de tipo 3D modelo FORTUS 25mc con una precisión de $\pm 0,127$ mm ($\pm 0,005$ pulgadas), figura 2.11. Se fabricaron en termoplástico estándar asequible ABSplus-P430 color *nectarine*. Las propiedades mecánicas se presentan en la tabla 2.2

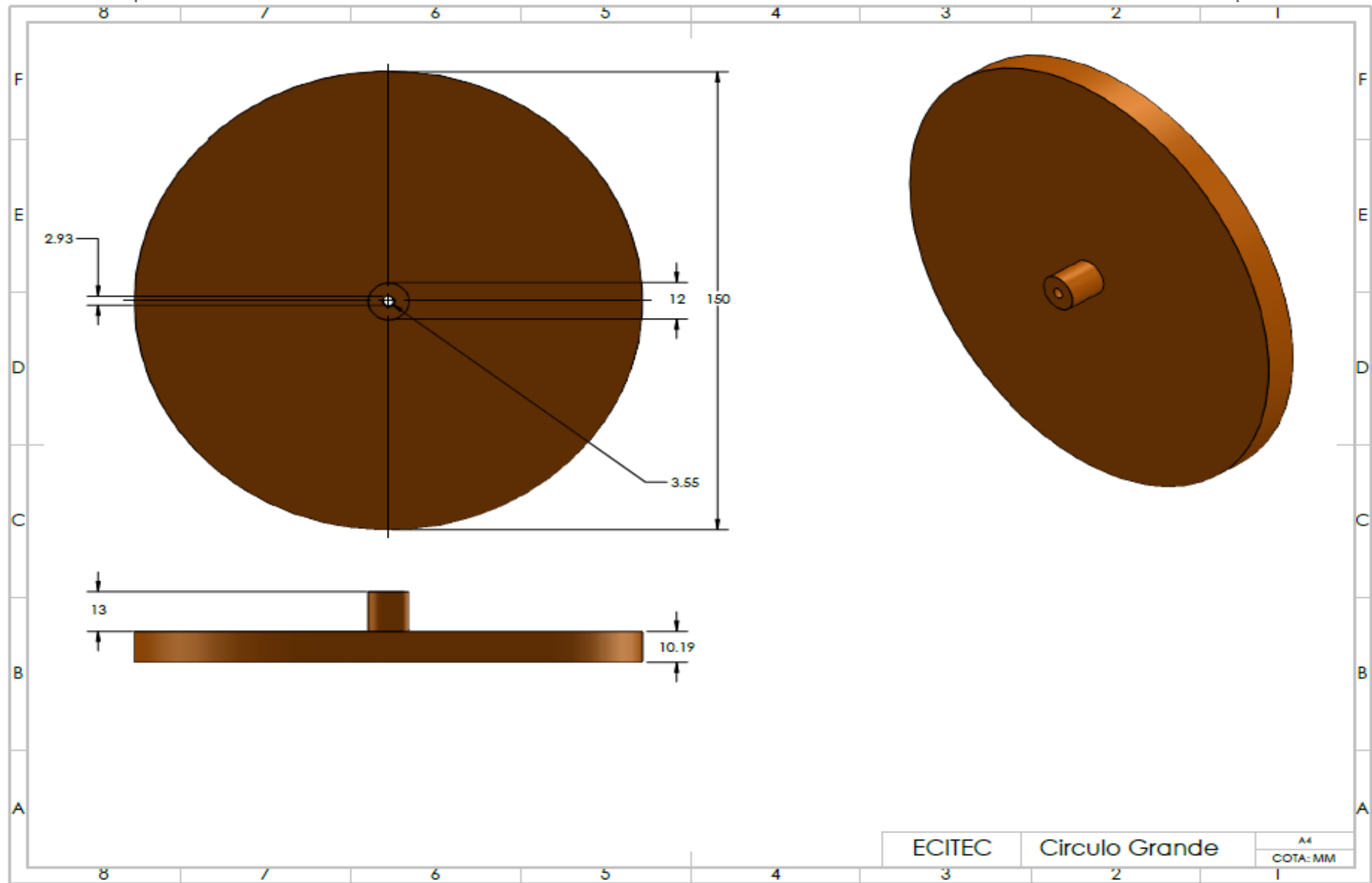
Tabla 2.2 propiedades mecánicas del termoplástico ABSplus-P430

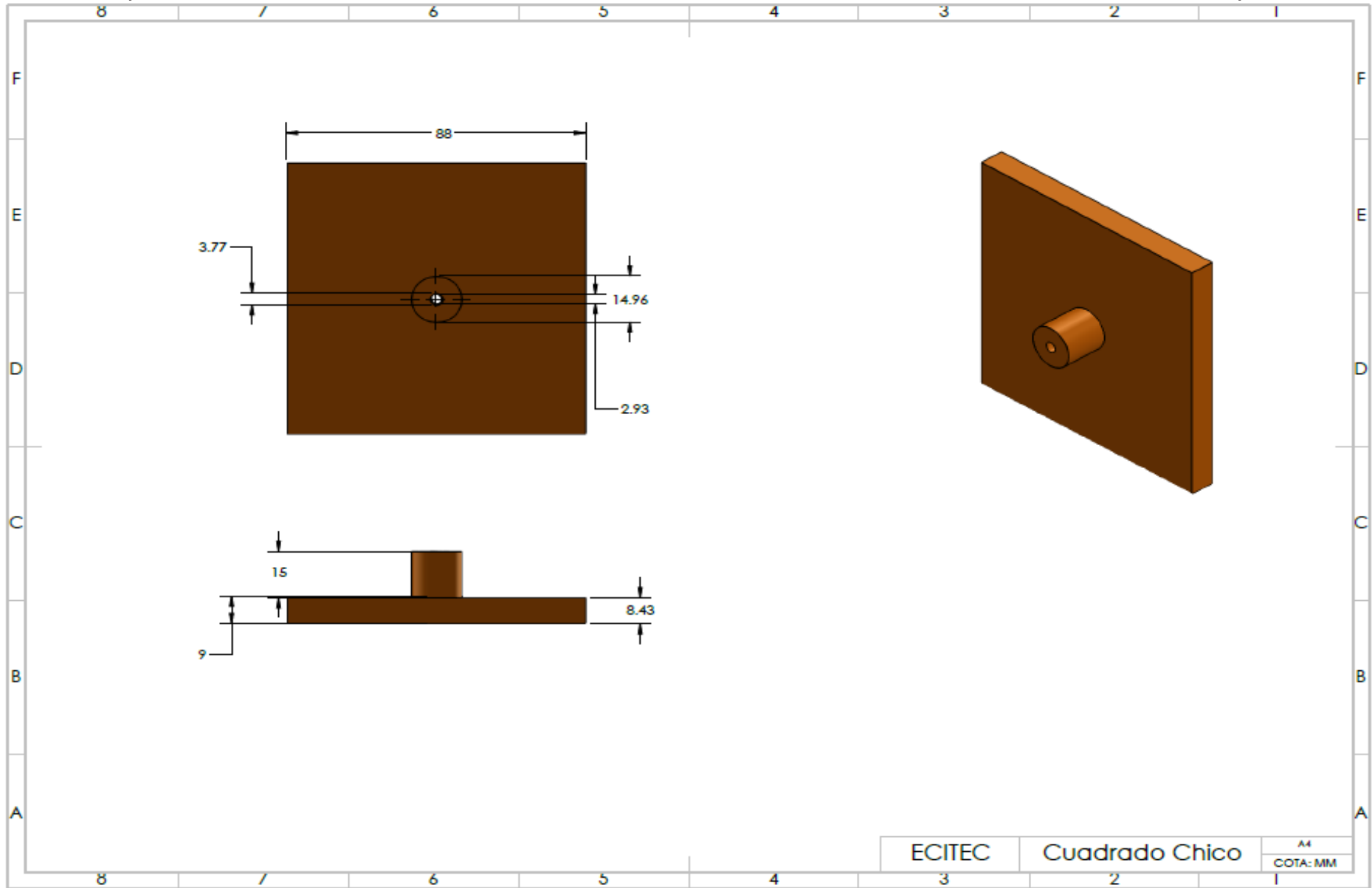
Propiedades mecánicas	Método de prueba	Sistema métrico XZ eje
Resistencia a la tracción máxima	ASTM D638	4,700 psi
Módulo de tensión	ASTM D638	320,000 psi
Tensión de elongación antes de la ruptura	ASTM D638	6%
Coefficiente térmico de expansión	ASTM E831	8.82×10^{-5} mm/mm/°C

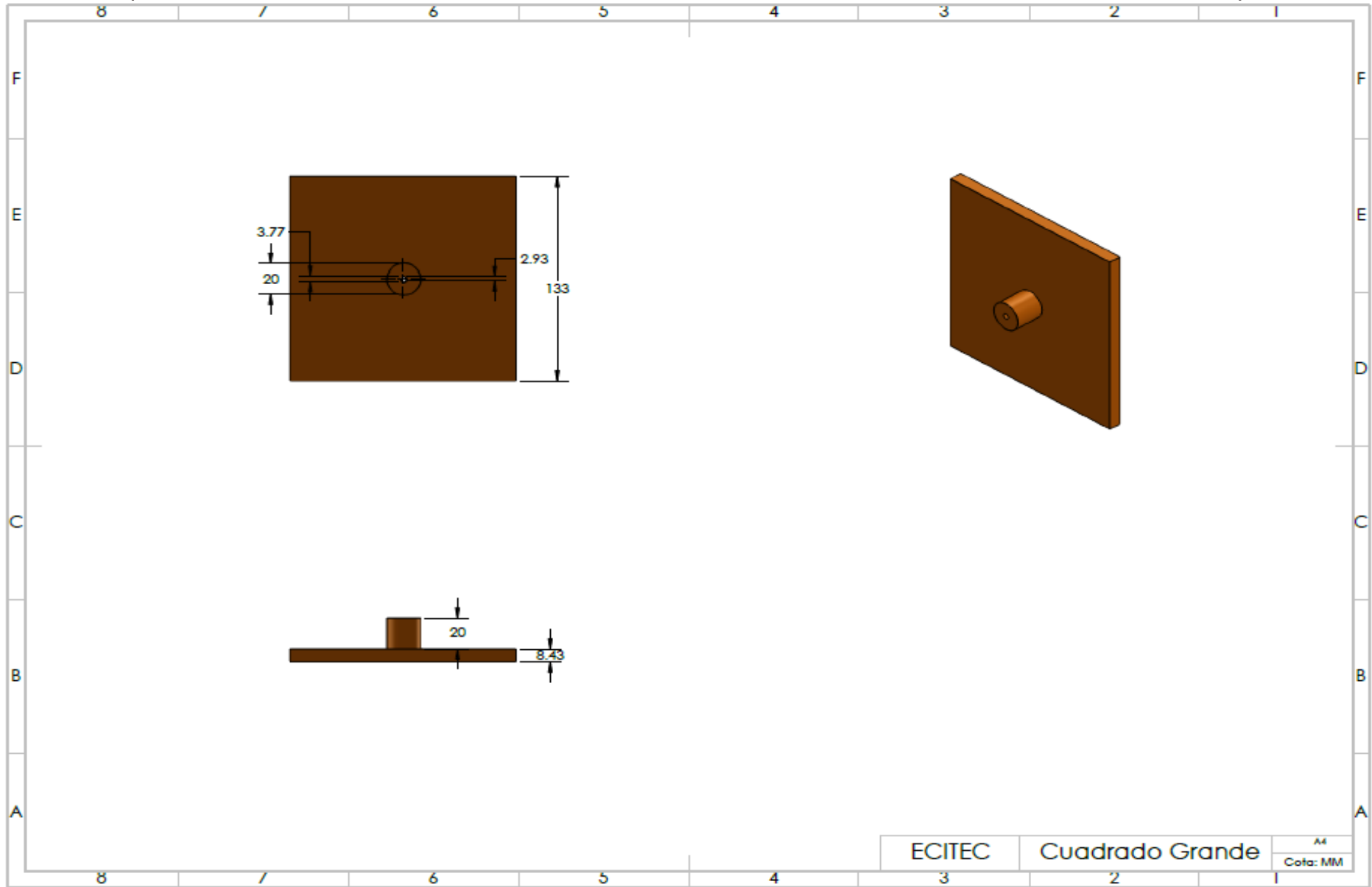
Los cuatro modelos diferentes fueron diseñados en el software de diseño Solid Works ya que es una plataforma compatible con la impresora 3D FORTUS. 250mc.

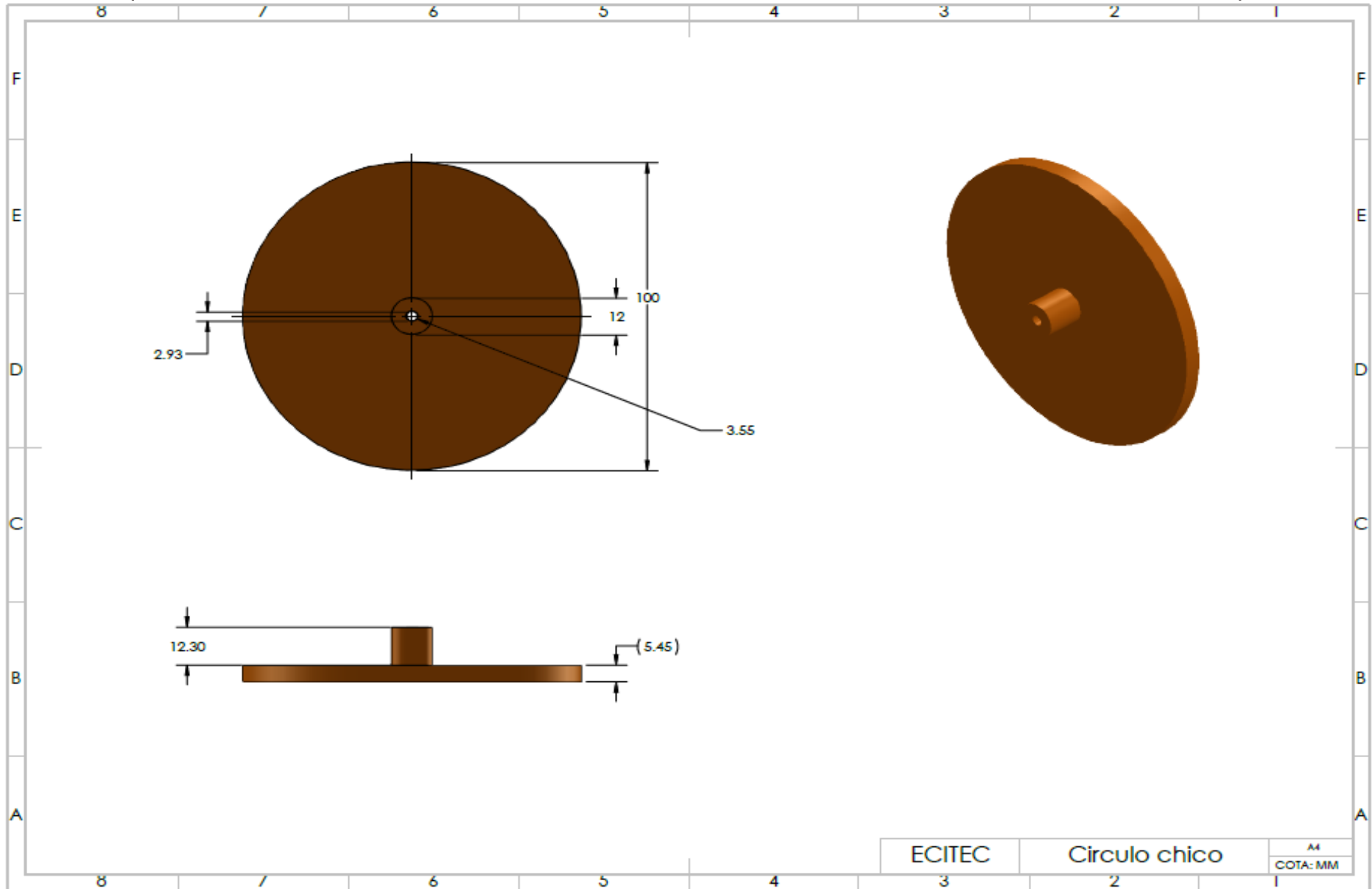


Figura 2.11 Impresión de modelos en impresora 3D FORTUS. 250mc.









Capítulo III: Metodología Experimental.

3.1 Zona de pruebas

Para desarrollar el experimento se utilizó el túnel de viento que se encuentra instalado en el laboratorio de Aeroespacial de la ECITEC-UABC, Valle de las palmas. La zona de pruebas consiste en una caja de acrílico de 9mm de espesor con una longitud de 1m y sección transversal de 0.3m x 0.3m, sobre la cual se monta el sistema de medición, la cual se muestra en la figura siguiente. Los modelos se pueden instalar en 3 posiciones diferentes en el interior de la zona pruebas, caracterizada con una altura (H), un ancho (w) y una longitud (L). En el primer caso el modelo puede instalarse al 25% del ancho de la zona de pruebas, en el segundo caso el modelo se puede instalar al 50% del ancho de la zona de pruebas y finalmente el tercer caso donde el modelo puede instalarse al 75% del ancho de la zona de pruebas.

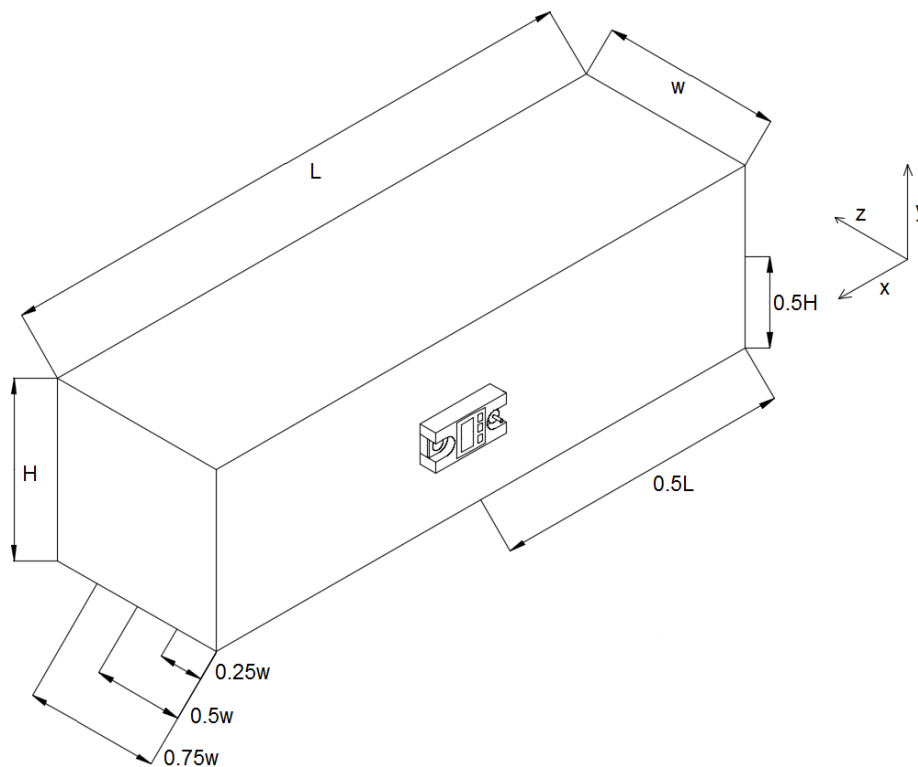


Figura 3.1 Diagrama de la zona de prueba del túnel de viento de ECITEC.

3.2 Cálculo de la velocidad promedio

Para calcular la velocidad promedio en la zona de pruebas se determina la presión dinámica en diferentes puntos distribuidos en la sección transversal, se utilizan 5 puntos por cada eje, completando un total de 25 puntos distribuidos a lo largo de la sección transversal (Wang, 2002), tal como se indica en la figura 3.2 y tabla 3.1.

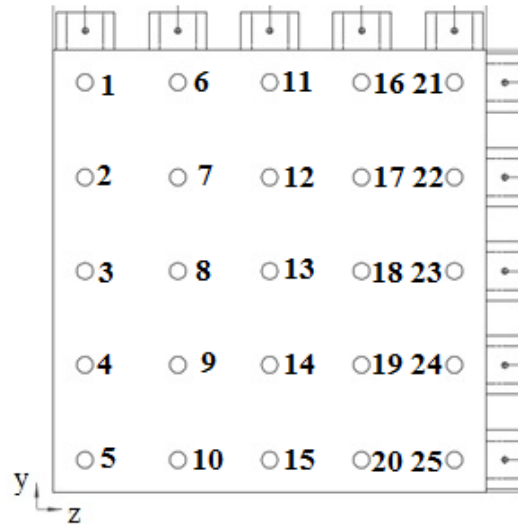


Figura 3.2.- Distribución de puntos de medición en la sección transversal.

Tabla 3.1 Distribución de puntos de medición para obtener U_{med} .

Punto	Coordenadas (z, y)	Punto	Coordenadas (z, y)	Punto	Coordenadas (z, y)
1	(0.024,0.276)	9	(0.086,0.086)	17	(0.214,0.214)
2	(0.024,0.214)	10	(0.086,0.024)	18	(0.214,0.150)
3	(0.024,0.150)	11	(0.150,0.276)	19	(0.214,0.086)
4	(0.024,0.086)	12	(0.150,0.214)	20	(0.214,0.024)
5	(0.024,0.024)	13	(0.150,0.150)	21	(0.276,0.276)
6	(0.086,0.276)	14	(0.150,0.086)	22	(0.276,0.214)
7	(0.086,0.214)	15	(0.150,0.024)	23	(0.276,0.150)
8	(0.086,0.150)	16	(0.214,0.276)	24	(0.276,0.086)
Unidades en metros.				25	(0.276,0.024)

La velocidad en cada punto (u_i) se determinará utilizando la ecuación 1.17

$$u_i = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

La velocidad promedio se obtiene utilizando la siguiente ecuación (Figliola & Beasley, 2009).

$$u_{media} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

Ecuación 3.1

Este valor a su vez se usa para calcular la desviación estándar (S_x) de la muestra:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - u_{media})^2}$$

Ecuación 3.2

El valor verdadero u^* representa el valor más probable de la velocidad y se expresa como:

$$u^* = u_{media} \pm t_v S_x \quad (P\%)$$

Ecuación 3.3

La probabilidad asignada para este trabajo es $P = 95.45\%$ y el estimador tiene un valor de 2.01, tomado de la distribución T (Figliola & Beasley, 2009).

El dispositivo utilizado para calcular la velocidad promedio es el Anemómetro y tubo de Pitot Digital + manómetro diferencial – Extech instruments (Extech.com.es, 2017), como se muestra en la figura 3.3, cuenta con las siguientes especificaciones:

- Indica simultáneamente la presión, velocidad del aire o flujo del aire más la temperatura
- Alcance de ± 0.051 psi
- 5 unidades seleccionables para medir la presión
- Grabación de lecturas promedio/mínimas/máximas y de hora aproximada
- Funciones de registro de datos y apagado automático
- Pantalla LCD grande y retro iluminada, puerto USB
- Función cero para medidas o corrección de ajustes
- Almacena/memoriza hasta 99 lecturas en cada modo

Diámetro: 0.322 pulgadas (8.2 mm).

Horizontal: 8 pulgadas de largo (204mm).

Parte Vertical: 13.4 pulgadas (340 mm).

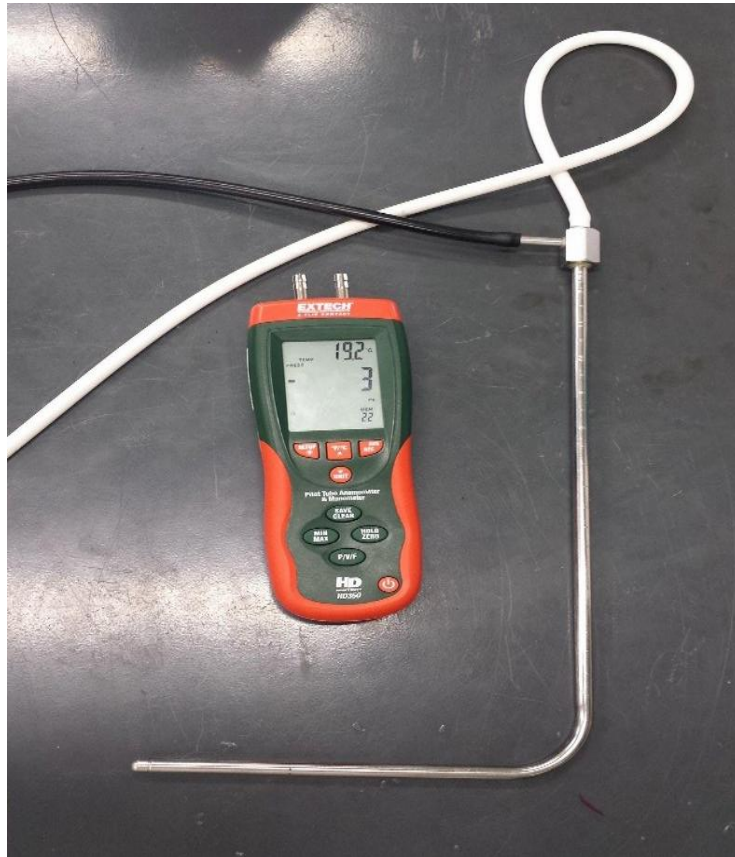


Figura 3.3 Anemómetro y tubo de Pitot.

3.3 Calculo de la densidad del aire.

Para el cálculo de la densidad del aire en el interior de túnel de viento se utilizó la ecuación 1.20. Primero se midieron los siguientes valores con ayuda de la estación meteorológica que se encuentra en el taller de aeroespacial en ECITEC.

Presión ambiental de 101680 Pa.

Temperatura de 26.73°C =299.88 K.

Humedad Relativa de 16%= 0.16

Para el cálculo de la densidad primero se calculó la presión de vapor saturado como lo indica la ecuación 21

$$P_{sv} = 1Pa * e^{\left[AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}\right]}$$

Ecuación 3.4

Donde:

$$A = 1.2378847 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-2}$$

$$B = -1.9121316 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$C = 33.93711047$$

$$D = -6.3431645 \cdot 10^{-5} \text{ K}$$

T = Temperatura del aire en K

Sustituyendo se tiene $P_{sv} = 3511.76 \text{ Pa}$

El siguiente concepto a calcular es el factor de seguridad que se obtiene de la ecuación 22

$$f = \alpha + \beta P + \gamma (T - 273.15)^2 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$\alpha = 1.00062$$

$$\beta = 3.14 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$$

$$\gamma = 5.6 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

P = Presión del aire en la Pa.

T = Temperatura del aire en K.

Sustituyendo en la ecuación No. Se tiene

$$f = 1.00339868$$

El siguiente concepto a calcular es la fracción molar de vapor de agua

$$X_v = hf \frac{P_{sv}}{P} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

P_{sv} = presión de saturación de vapor.

f = factor de fugacidad (calculado en el paso anterior).

P = presión ambiental.

h = humedad relativa.

Introduciendo la humedad relativa del aire se tiene:

$$X_v = hf \frac{P_{sv}}{P} = (0.16 * 1.00339868) \frac{3511.76}{101680} = 0.005549$$

El cuarto término se le denomina factor de compresibilidad que se determina con la siguiente ecuación:

$$Z = 1 - \frac{P}{T} \left[a_0 + a_1(T - 273.15) + a_2(T - 273.15)^2 + (b_0 + b_1(T - 273.15))x_v + (c_0 + c_1(T - 273.15))x_v^2 \right] + \frac{P^2}{T^2} (d + ex_v^2)$$

Ecuación 3.7

Donde:

$$a_0 = 1.58123 \cdot 10^{-6} \text{ K Pa}^{-1}$$

$$a_1 = -2.9331 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$$

$$a_2 = 1.1043 \cdot 10^{-10} \text{ K}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$$

$$b_0 = 5.707 \cdot 10^{-6} \text{ K Pa}^{-1}$$

$$b_1 = -2.051 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$$

$$c_0 = 1.9898 \cdot 10^{-4} \text{ K Pa}^{-1}$$

$$c_1 = -2.376 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$$

$$d = 1.83 \cdot 10^{-11} \text{ K}^2 \text{ Pa}^2$$

$$e = -0.765 \cdot 10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^2$$

X_v = fracción molar del vapor de agua.

T = temperatura del aire en K.

$$Z = 0.9996939$$

Finalmente sustituyendo en la ecuación 1.20 en el valor de la densidad es el siguiente:

$$\rho = \frac{PMa}{ZRT} \left[1 - X_v \left(1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right] = 1.179 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.4 Cálculo del radio hidráulico.

Para calcular el radio hidráulico se utilizó la ecuación 1.21 y se sustituyeron los valores de nuestra sección transversal como se muestra a continuación:

$$A = (0.3 \text{ m})(0.3 \text{ m})$$

$$A = 0.09 \text{ m}^2$$

$$PM = 4 (0.3 \text{ m})$$

$$PM = 1.2 \text{ m}$$

Sustituimos en ecuación 1.21

$$R = \frac{0.09 \text{ m}^2}{1.2 \text{ m}}$$

$$R = 0.075 \text{ m}$$

3.5 Desarrollo del experimento con el sistema de medición de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01:



Figura 3.4 FA-ECITEC-01 montado en zona de pruebas.

Para poder realizar las mediciones de fuerza dentro de la zona de pruebas del túnel de viento de ECITEC, se desarrolló una metodología en la que se utilizó el medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-1 y los cuatro modelos diseñados.

A continuación, se describe la secuencia realizada para la experimentación:

1.- Para realizar la medición de fuerza de cada uno de los cuatro modelos primero se debe seleccionar el modelo a utilizar ver página 46 a la 49, se debe enroscar a la varilla de soporte del medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01

2.- Una vez elegido y enroscado el modelo se prosigue a colocarlo en la zona de pruebas del túnel de viento ECITEC-01 y posicionarlo a la distancia requerida (ver figura 3.1). En esta parte es importante verificar que el disco se soporte este empotrado de manera correcta a la pared de la zona de pruebas y evitar pérdidas de presión dentro de dicha zona

3.- Ahora para prender la el medidor de fuerza de fuerza de arrastre FA-ECITEC-1 se realiza lo siguiente:

- Oprimir el botón $\frac{ON/OFF}{TARE}$ se deja presionado hasta que la pantalla se encienda y marque un valor inicial de 0 kg.

4.- Una vez posicionado el modelo y encendido el medidor de fuerza se prosigue a identificar a que potencia del ventilador se realizaran las pruebas (FAN: 75% y 100%), cada potencia tiene un botón de encendido, presionar el botón de la potencia a ensayar.

5.- Para tomar el valor de la medición se dejó pasar al menos 10 segundos ya que es el tiempo en el que el ventilador llega a su velocidad máxima seleccionada.

Se tomaron 20 mediciones por cada potencia de velocidad para cada respectivo modelo, en total fueron 40 mediciones por modelo.

A continuación se presenta el diagrama de cuerpo libre del medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-01 (figura 3.5), en la figura se observa cómo funciona el mecanismo. El punto rojo es donde se toma la medición de la fuerza de arrastre, A es la distancia desde el punto rojo o de medición hasta un punto de apoyo o empotramiento donde el sistema se apoya con la pared de la zona de pruebas, B es la distancia desde el punto de apoyo al punto azul esta distancia tiene 3 variantes con respecto a la pared, el punto azul es el centro de cada uno de los modelos, donde van empotrados a la varilla de soporte, es en este punto donde el aire impacta el modelo. El punto azul es el que trasmite la fuerza al punto Rojo.

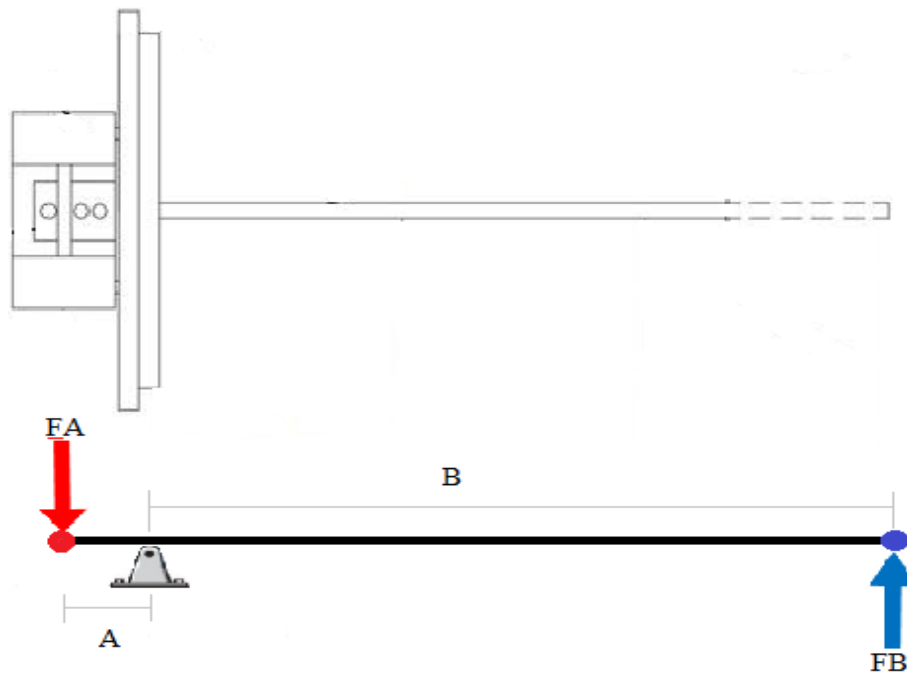


Figura 3.5 diagrama de cuerpo libre del Medidor de fuerza de arrastre FA-ECITEC-1

Para conocer la fuerza se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{M * g * \vec{M} A}{\vec{M} B} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde la fuerza ejercida sobre el modelo (F_D) está en función de:

El momento calculado en el punto A ($\vec{M} A$), el momento calculado en el punto B ($\vec{M} B$). La masa (M) representada en la ecuación es la que se registra en la balanza y se multiplica por la constante g para convertir el valor censado de kilogramos fuerza a Newton, y tiene un valor de 9.81 m/s^2 .

Capítulo IV: Resultados.

A continuación se muestran los valores obtenidos con la metodología establecida en el capítulo III, mostrando primero los valores de velocidad promedio, posteriormente los valores de coeficiente de arrastre y finalmente los perfiles de velocidad adyacentes a los modelos instalados en la zona de pruebas. En la figura 4.1 se muestra el prototipo FA-ECITEC-01, instalado en la zona de pruebas del túnel de viento subsónico de ECITEC, al realizar la medición de fuerza de arrastre en un modelo circular.

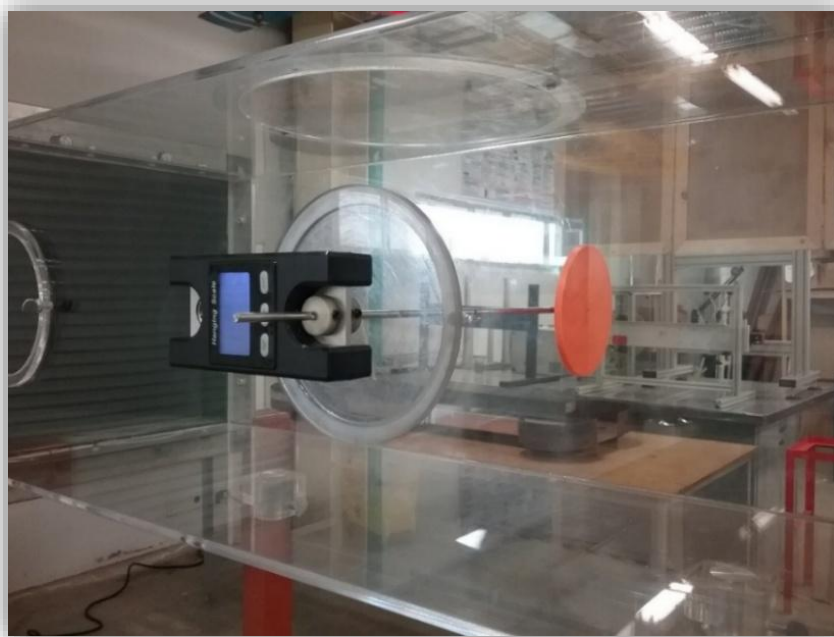


Figura 4.1 Experimento con FA-ECITEC-01.

4.1 Velocidad promedio y densidad.

En la tabla 4.1 se muestra el valor de la densidad calculado con la ecuación 1.20, así como el valor de radio hidráulico de la sección de pruebas. La viscosidad utilizada para los cálculos del número de Reynolds se obtuvo de las tablas del libro de Robert L Mott. El valor de la viscosidad planteado es el promedio de la viscosidad en un rango de temperatura de 10° a 30° C.

Tabla 4.1 Tabla densidad, viscosidad y radio hidráulico.

Densidad	1.164	kg/m ³
Viscosidad	1.81E-05	Pa-s
Rad. Hid.	0.075	m

La velocidad promedio obtenida en la zona de pruebas para los diferentes valores de potencia del ventilador utilizado, se muestra en la tabla 4.2. Los valores del número de Reynolds que se muestra en la tabla se calculan en función del radio hidráulico, lo cual indica que el flujo en la zona de pruebas es turbulento sin colocar obstáculos.

Tabla 4.2 Reynolds en función al Rad. Hidráulico.

Potencia	Velocidad (m/s)	Reynolds
50%	12.6 ± 0.78	2.43E+05
75%	18.8 ± 1.0	3.63E+05
100%	23.0 ± 1.4	4.44E+05

4.2 Coeficiente de arrastre

En las tablas siguientes se muestran los resultados del coeficiente de arrastre obtenidos con el FA-ECITEC-01, analizando la influencia en el mismo debido al cambio de forma y área en los modelos, variación de la velocidad y finalmente posición de los modelos. Además se discuten los resultados de los perfiles de velocidad.

Cambio de forma.- cuando se tiene un modelo circular se encontró un valor para el coeficiente de arrastre promedio de 1.475 y para un modelo cuadrado de 1.425, los cuales se encuentran dentro del rango de valores publicado por otros autores.

De la tabla 4.3 se observa que existe una variación del 3.3% en el coeficiente de arrastre promedio obtenido cuando se cambia la forma de un modelo rectangular a circular, para Mott al variar la forma de una placa rectangular a un disco presenta una diferencia del 4.3%, por otro lado Fox obtuvo una diferencia del 41.5% y Cengel del 50%, sin embargo, no se conocen los parámetros geométricos que los autores mencionados utilizaron para calcular el coeficiente o las condiciones de flujo en las que llevaron a cabo las pruebas. Se puede concluir que al cambiar la geometría de un modelo el coeficiente de arrastre también variara.

Tabla 4.3 Cambio de forma en modelos de prueba.

Autor	Forma	Coeficiente promedio	Diferencia %
Propio	Cuadrada	1.425	3.3
	Circular	1.475	
Mott.	Placa rectangular	1.16	4.3
	Disco	1.11	

Fox.	Placa plana	2.0	41.5
	Disco	1.17	
Cengel.	Barra cuadrada	2.2	50
	Disco	1.1	

Cambio de área.- Al extender el área de los modelos existe una variación en el coeficiente de arrastre promedio obtenido, para el caso del modelo circular el coeficiente promedio cambia de 1.45 a 1.5, y para el caso del modelo cuadrado el coeficiente promedio varía de 1.45 a 1.4 como se reporta en la tabla siguiente.

Tabla 4.4. Aumento del área de modelo circular y modelo cuadrado.

Modelos	Área	C_A promedio	Diferencia %
Circulo	Pequeña	1.45	3.3
	Grande	1.5	
Cuadrado	Pequeña	1.45	3.4
	Grande	1.4	

En la tabla 4.4 se especifica el porcentaje de diferencia en el coeficiente de arrastre al realizar un incremento de área del 55% en ambos modelos, para el caso del modelo circular existe una diferencia de 3.3%, valor muy similar al del modelo cuadrado con 3.4%, estas variaciones al incrementar el área de cada modelo se deben a la relación de aspecto, la cual es el cociente entre la longitud característica de los modelos y la altura de la zona de pruebas, (ver tabla 2.3), lo que provoca un cambio en el flujo alrededor de los modelos, como se muestra en la figura 4.2. En el inciso a) de la figura se muestra el flujo alrededor de un modelo circular pequeño y en el inciso b) el flujo en modelo grande, y se destaca en ovalo azul como el flujo continua su recorrido aguas abajo sin chocar con la pared inferior de la zona de pruebas cuando el modelo es pequeño, lo que produce una zona de recirculación de menor intensidad.

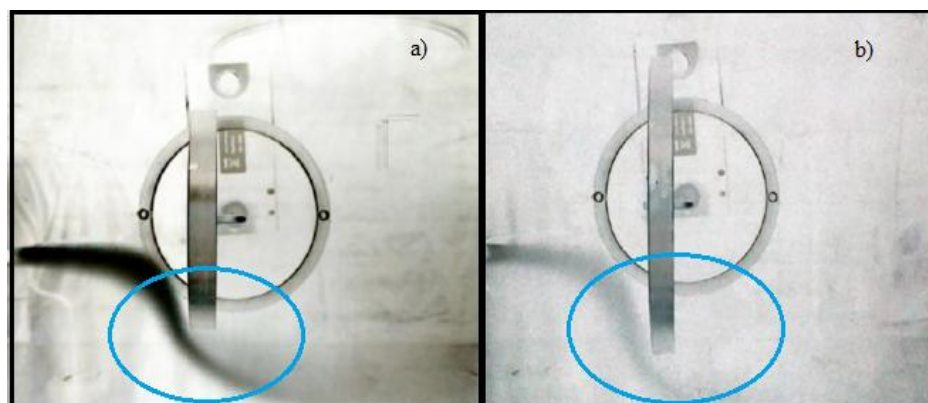


Figura 4.2 Flujo alrededor de modelo circular.

Las imágenes mostradas en la figura anterior se obtienen de una práctica de laboratorio de la carrera de Ing. Aeroespacial de ECITEC, donde se realiza la visualización de flujo con la técnica de humo en modelos circulares de diferente sección transversal.

Cambio de velocidad.- Para analizar la influencia de la velocidad en el coeficiente de arrastre se realizan mediciones utilizando el 75 y 100% de la potencia del ventilador lo que equivale a una velocidad de 19 y 23 m/s, respectivamente en la zona de pruebas.

Los modelos analizados para este experimento fueron el cuadrado y círculo de sección transversal pequeña, y en la tabla 4.5 se enlistan los resultados obtenidos, los cuales indican que al variar la velocidad un 17%, el coeficiente de arrastre aumenta de 1.3 a 1.6 en ambos casos (lo que representa un incremento del 18%).

Tabla 4.5 Cambio de velocidad.

Modelos	R_E	$C_{Apromedio}$	Diferencia %
Circular	1.21E+05	1.40	10
	1.48E+05	1.55	
Cuadrado	1.06E+05	1.35	10
	1.30E+05	1.50	

La variación en el coeficiente de arrastre debido al cambio de velocidad también es reportada por Frank M. (White, 2007), sin embargo los resultados obtenidos son para el coeficiente de un modelo aerodinámico que se somete al cambio de régimen de flujo laminar a turbulento, como se muestra en la figura siguiente:

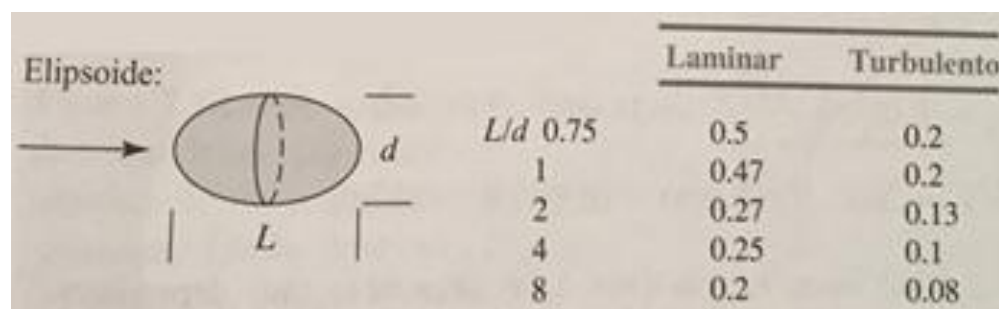


Figura 4.3 Coeficiente de arrastre de elipsoide basado en el área frontal.

Cambio de posición.- finalmente la tabla 4.6 muestran los resultados del coeficiente de arrastre obtenidos al variar la posición de los modelos (pequeños) al interior de la zona de pruebas, colocándolos cerca de la pared (a $0.25w$, como se indica en figura 3.1), y se observa que los valores cambian significativamente con respecto a los obtenidos cuando el modelo se coloca al

centro de la zona de pruebas (0.5w como se indica en la figura 3.1) existiendo una variación del 12% en los resultados, estas diferencias se deben a la influencia del flujo cerca de la pared.

Tabla 4.6 Coeficiente de arrastre para modelos colocados cerca de la pared.

Modelos	Posición	$C_{Apromedio}$	Diferencia %
Circulo	w/2	1.45	12
	w/4	1.65	
Cuadrado	w/2	1.45	12
	w/4	1.65	

4.3 Perfiles de velocidad

Los perfiles de velocidad obtenidos se presentan en las figuras 4.2 y 4.3, las gráficas denotan el comportamiento de las líneas de velocidad del flujo posterior a cada uno de los modelos.

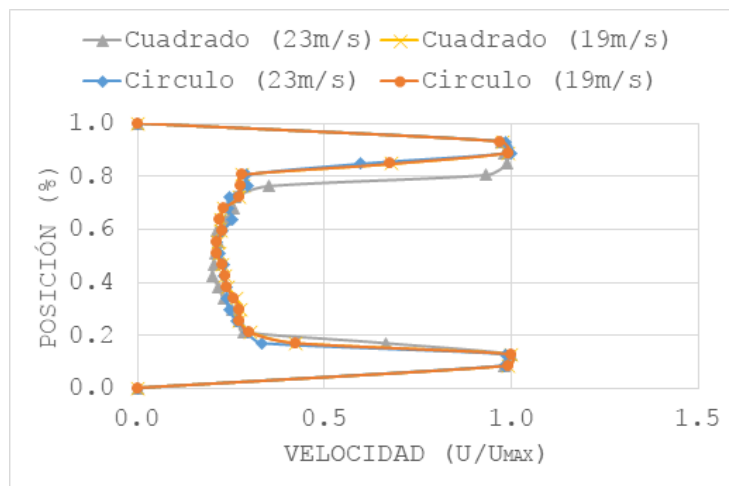


Figura 4.4 Perfil de velocidad posterior a modelos de mayor dimensión.

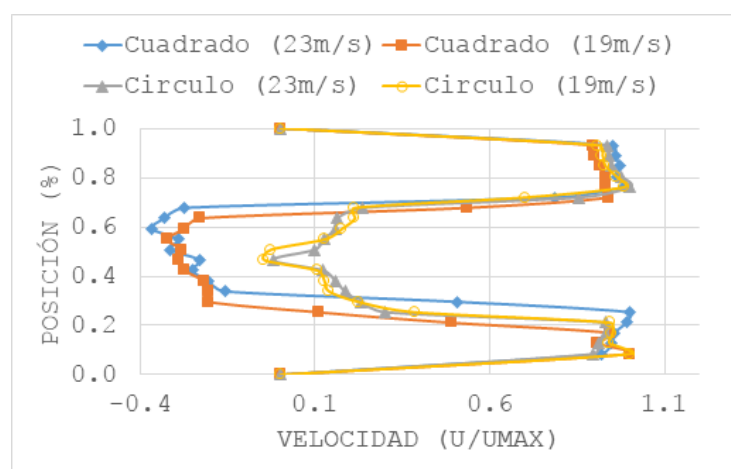


Figura 4.5 Perfil de velocidad posterior a modelos de menor dimensión.

Se puede notar una similitud en el comportamiento del flujo o circulación en los modelos de *mayor dimensión* (Figura 4.1), se graficaron dos régimen de Reynolds para cada modelo (circulo y cuadrado) y aun así la velocidad en esta zona se mantiene entre los valores de 0.25 a 0.35 m/s la diferencia es casi despreciable.

Por otro lado en los modelos de menor dimensión se tiene un comportamiento diferente, analizando el cuadrado pequeño para ambos régimen de Reynolds se obtuvieron velocidades negativas de -0.15 a -0.38m/s, lo cual nos indica que después que la velocidad llego a cero, esta empezó a aumentar y desplazarse en sentido opuesto al flujo inicial.

V Conclusiones.

En este trabajo se realizó un prototipo para medición de fuerza de arrastre en el interior de túnel de viento para obtener el coeficiente de arrastre en cuatro modelos de prueba dos rectangulares y dos circulares de diferentes áreas.

El valor de coeficiente de arrastre promedio para un modelo circular es de 1.475 y para un modelo cuadrado el valor de coeficiente promedio es de 1.425.

También se encontró que el cambio de velocidad, la relación de aspecto, la forma y la posición influyen de manera despreciable en el valor del coeficiente para esta investigación.

Los resultados encontrados en este trabajo presentan una diferencia de 4.3% con respecto a los valores obtenidos con Mott.

El prototipo construido en este trabajo tiene un costo 8 veces menor a los encontrados en el mercado por proveedores nacionales e internacionales.

Este dispositivo permitirá realizar prácticas en el laboratorio de fluidos de ECITEC, a los estudiantes de los programas educativos Ing. Mecánica, Aeroespaciales y Renovables.

Recomendaciones

Desarrollar un experimento con modelos con los que se tenga una relación de aspecto de 0.41 y geometría rectangular.

Obtener los perfiles de velocidad posteriores a los modelos en toda la sección trasversal.

Desarrollar una simulación numérica con ANSYS FLUENT.

REFERENCIAS

- Cengel, Y., Cimbala, J., Toledo Castellanos, M., & Roig Vázquez, P. (2006). *Mecánica de fluidos* (pp. 563-572). México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Discoverarmfield.com. (2016). C15: Túnel de Viento Controlado por Ordenador. [online] Available at: <http://discoverarmfield.com/es/products/view/c15/tunel-de-viento-controlado-por-ordenador> [Accessed 16 Aug. 2016].
- Morales Contreras, O. A., Gómez Roa, A., Paz González, M. L., Paz González, J. A., & Ortega Moran, L. N. (2015). *Diseño y construcción de túnel de viento subsónico para laboratorio de Aeroespacial de ECITEC-UABC. Memorias del Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*, 1(1), 930-937. Recuperado de <http://www.somim.org.mx/memorias/2015/index.html>
- Moreno Regan, U. (2008). *Rehabilitación del túnel de viento subsónico C2-00 y Determinación del coeficiente de resistencia de diferentes modelos de prueba en el túnel. Ingeniero Mecánico. Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Azcapotzalco.*
- *Physics Experiments (spanish) - LD Didactic.* (2016). Ld-didactic.de. Retrieved 16 August 2016, from <http://www.ld-didactic.de/en/catalogues/physics/physics-experiments-spanish.html>
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos. 6th ed.* México: Pearson Educación, pp.520-532.
- Rojas Zevallos, G. (2008). *Estudio de la reducción del consumo de combustible de vehículo terrestre de 5,5 toneladas mediante el uso de cobertores aerodinámicos. Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.*
- Ortega Chávez, R. (2016). *Estudio experimental del coeficiente de arrastre en prismas rectangulares en un flujo confinado. Maestro en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.*
- Fox, R., McDonald, A. and Nagore Cázares, G. (2000). *Introducción a la mecánica de fluidos.* México: McGraw-Hill.
- SADRACY, M. (2017). *Unmanned aircraft design.* San Rafael: Morgan & Claypool.

- *Portal de Dibujo Técnico. (2017). Representación de Roscas. [online] Available at: http://dibujo.ramondelaguila.com/?page_id=2699#Whitworth [Accessed 10 Oct. 2017].*
- *Extech.com.es. (2017). HD350 - Anemómetro de tubo de Pitot + manómetro diferencial. [online] Available at: <http://www.extech.com.es/instruments/product.asp?catid=1&prodid=600> [Accessed 31 Oct. 2017].*
- *Armfieldonline.com. (2017). Armfield Engineering Teaching Equipment & Research Equipment. [online] Available at: <http://armfieldonline.com/es/pages/view/acerca-de-armfield> [Accessed 31 Oct. 2017].*
- *Schlichting, H, "Teoría de la capa límite". Ediciones URMO. Bilbao. España. 1972.*
- *TecQuipment. (2017). About Us | TecQuipment. [online] Available at: <https://www.tecquipment.com/about-us> [Accessed 6 Nov. 2017].*
- *Figliola, R., & Beasley, D. (2009). Mediciones mecánicas. México: Alfaomega, pp. 131-146*
- *Wang, S. (2002). Handbook of air conditioning and refrigeration. Norwich, NY: Knovel, pp. 17.77.*
- *Turbulencia. (2018). Es.wikipedia.org. Retrieved 28 Noviembre 2017, from https://es.wikipedia.org/wiki/Turbulencia#/media/File:Escala_turbulenta.png*
- *Becerra Santiago, L., & Guardado González, M. (2003). Estimación de la incertidumbre en la determinación de la densidad del aire (pp. 1-23). Querétaro. Retrieved from <http://www.cenam.mx/myd/DENSIDAD%20DEL%20AIRE%20abril-20031.pdf>*
- *Rivero Fernández J.M , Solorio Ordaz F.J.(2014) Coeficiente de arrastre en barras rectangulares en flujos confinados 2D. TOMO II. Avances de la Ingeniería Mecánica en Termofluidos Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica A.C. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7175/tesis.pdf?sequence=1>*

ANEXOS

Practica de laboratorio: Medición de fuerza. Para las carreras de Mecánica y Aeroespacial.

Cotización No.: 7781-AL.

Cotización.: 8284-TQ.

CARRERA		PLAN DE ESTUDIO	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	Fluidos		DURACIÓN
	NOMBRE PRÁCTICA	Medición de fuerza		2 Horas
1	INTRODUCCIÓN			

Un túnel de viento es una herramienta experimental para estudiar los efectos del flujo de aire sobre objetos o cuerpos sólidos. El principio de funcionamiento se basa en que el fluido (aire) es soplado o aspirado a través de un ducto equipado con una sección de ensayos, donde se colocan modelos de distintas geometrías para su estudio. Los túneles de viento pueden ser de circuito abierto (el aire es soplado o aspirado y luego escapa del túnel hacia la atmósfera) o de circuito cerrado, donde el aire es forzado a circular en forma indefinida al interior del túnel.

Existen varias técnicas para medir las variables importantes que describen la interacción entre el flujo de aire y el modelo. Las variables más comunes son velocidad, presión, fuerzas de arrastre y sustentación etc. Las técnicas para medir van desde el uso de tubos pitot (presión), anemómetros de hilo caliente, laser doppler o PIV (velocidad) y balanzas aerodinámicas (fuerzas), partículas trazadoras tipo humo (visualizaciones).



Imagen 1. Túnel de viento de circuito abierto.

La medición y control del viento por medio de anemómetros es aplicable tanto en sectores industriales como en campos de meteorología, aeronáutica, medio ambiente, agricultura y navegación.

Los anemómetros también tienen capacidad de medir otros parámetros meteorológicos como son la temperatura ambiental, humedad ambiental, punto de rocío, temperatura de bulbo húmedo, así como el volumen de flujo del aire.



Imagen 2. Anemómetro AM-405

Los valores de coeficientes de arrastre y sustentación para modelos aerodinámicos son de gran utilidad e interés a nivel industrial y de investigación, para determinarlos se utiliza un dinamómetro, el cual es una herramienta que mide las variaciones que se producen en un objeto al tener una fuerza externa. Su funcionamiento está basado en la ley de “Hooke” se enfoca en la elasticidad del material con que están hechos los objetos.



Imagen 3. Dinamómetro

2	COMPETENCIA
----------	--------------------

Determinar la fuerza de arrastre en modelos circulares y cuadrados, mediante el uso del prototipo de medición de fuerza, para determinar el coeficiente de arrastre en dichos modelos.	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

3	FUNDAMENTO
----------	-------------------

Para esta práctica se utilizará el túnel de viento subsónico instalado en los laboratorios de fluidos de ECITEC, mostrado en la imagen 1 y el prototipo de medición de fuerza mostrado en la imagen 4.	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

El prototipo se monta en la zona de pruebas a través de una trampilla circular la cual permite sellar la apertura (enrasada con la pared interior de la sección de trabajo para evitar perturbar el flujo de aire). Y se sujeta con cierres rápidos situados en la pared lateral de la sección de trabajo.	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--



Imagen 4.- sistema de medición de fuerza.

El **anemómetro EXTECH HD350** (imagen 5) se utiliza para medir la presión, velocidad o flujo del aire, además de la temperatura, tiene 5 unidades seleccionables para medir la presión, también permite grabar las lecturas promedio/mínimas/máximas y de hora aproximada.



Imagen 5. EXTECH HD350.

El **tubo de Pitot** es utilizado para la medición de la velocidad, está constituido por dos tubos que detectan la presión en dos puntos distintos de la tubería. Uno de los tubos mide la presión total y el otro mide la presión estática.

Para determinar la velocidad con el tubo de pitot se utiliza la ecuación siguiente:

$$U_x = \sqrt{\frac{2(P_t - P_x)}{\rho}}$$

Donde:

P_t es la presión total medida en Pascales.

P_x es la presión estática medida en pascales.

ρ = densidad del aire medida en kg/m^3 .

La densidad se calcula utilizando la ecuación de gas ideal.

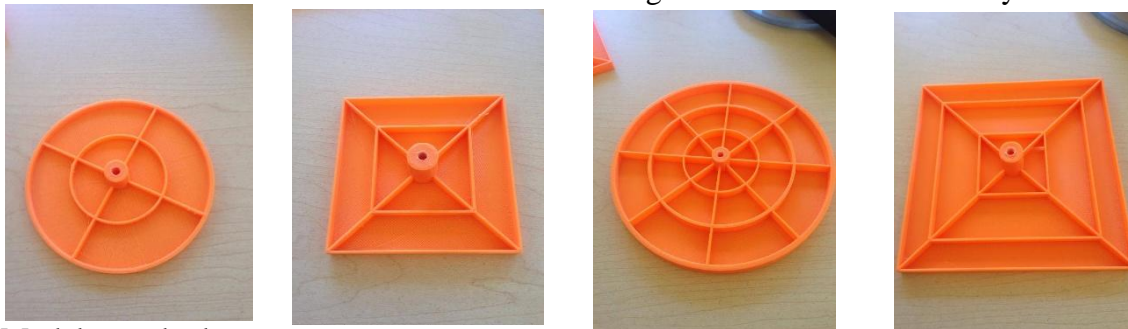
$$\rho = \frac{P}{RT}$$

Donde:

P y T son la presión y temperatura absolutas, y R es la constante universal para el aire.

Los modelos a colocar en el prototipo se muestran en la imagen 6, y sus especificaciones geométricas se indican a continuación.

Imagen 6.- Modelos cuadrados y circulares.



Modelo cuadrado:

altura de 8cm (Área de 78cm^2) y 13.3cm (Área de 170cm^2)

Modelo circular: diámetro de 10cm (Área de 78cm^2) y 15cm (Área de 170cm^2)

4	PROCEDIMIENTO	
A	EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
	<ul style="list-style-type: none"> * Túnel de Viento * Medidor de fuerza. * Anemómetro. * Tubo de pitot. * Modelos. 	<ul style="list-style-type: none"> * Estación meteorológica. *Pc para adquisición de datos.
B	DESARROLLO DE LA PRACTICA	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conectar el túnel de viento. 2. Colocar el prototipo de medición de fuerza en el túnel de viento con alguno de los modelos instalado. 3. Colocar el tubo de pitot posterior al modelo. 4. Se debe asegurar que las trampillas estén completamente cerradas. 5. Encender el prototipo de medición de fuerza y anemómetro EXTECH HD350. 6. Encender el túnel de viento al 75% de su potencia. 7. Verificar que el LED del variador de frecuencia indicado con el número 2 este encendido. 8. Censar los valores, máximos y mínimos para el prototipo de fuerza, y además los valores de presión dinámica indicados en el anemómetro. 	

9. Desplazar el tubo de pitot a lo largo de eje “y” desde la base de la zona de pruebas hasta el punto superior, recorriendo los 30cm de distancia.
10. Una vez obtenido el perfil de velocidad, apagar el túnel.
11. Encender el túnel de viento ahora con el 100% de su potencia.
12. Repetir los pasos 2 al 9.
13. Repetir el procedimiento, ahora con los modelos restantes.

C CÁLCULOS Y REPORTE

Tabla de resultados de medición de Fuerza.	
Cuadrado L = 13.3cm Velocidad de 19m/s	Cuadrado L = 8.8cm Velocidad de 19m/s
Fuerza: _____	Fuerza: _____
Cuadrado L = 13.3cm Velocidad de 23m/s	Cuadrado L=8.8cm Velocidad de 23m/s
Fuerza: _____	Fuerza: _____
Circulo Ø = 15cm Velocidad de 19m/s	Circulo Ø = 10cm Velocidad de 19m/s
Fuerza: _____	Fuerza: _____
Circulo Ø = 15cm Velocidad de 23m/s	Circulo Ø = 10cm Velocidad de 23m/s
Fuerza: _____	Fuerza: _____

Tabla de resultados de perfil de velocidad.		
Punto (posición)	Presión dinámica (Pa)	Velocidad (m/s)
1 (1cm)		
2 (3cm)		
3 (5cm)		
4 (7cm)		
5 (9cm)		
6 (11cm)		
7 (13cm)		
8 (15cm)		
9 (17cm)		
10 (19cm)		
11 (21cm)		
12 (23cm)		
13 (25cm)		
14 (27cm)		

15 (29cm)

El coeficiente de arrastre se determina con la ecuación:

$$C_A = \frac{2F}{\rho U^2 A}$$

Donde:

F es la fuerza medida con el prototipo.

U es la velocidad promedio medida con el tubo de pitot.

A es el área del modelo utilizado.

ρ es la densidad del aire obtenida con la ecuación de gas ideal.

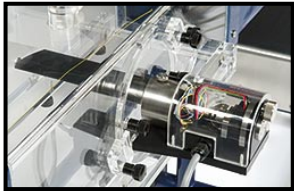
5	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
----------	----------------------------------

Reporte en formato tipo artículo.

22 de Julio de 2016

Ing. Vianey Cortés
Universidad Autónoma de Baja California, UABC
 Unidad Valle de las Palmas – Campus Tijuana
 Blvd. Universidad No. 1000
 vianey.cortes@uabc.edu.mx

COTIZACIÓN No.: 7781-AL

PDA.	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO EN US DÓLARES (No incluye IVA)
MARCA: ARMFIELD			
1	1	<p>C15-13 BALANZA DE SUSTENTACIÓN Y RESISTENCIA</p>  <p>Una balanza electrónica de 2 componentes utilizada para medir la sustentación y la resistencia en modelos apropiados (no se utiliza con modelos que tengan múltiples tomas internas). Los modelos de sustentación y resistencia se conectan a la balanza usando una fijación sencilla que asegura la correcta orientación del modelo.</p> <p>Se utilizan sensores electrónicos para medir las fuerzas de sustentación y resistencia, la primera por la reducción del peso del modelo, y la segunda directamente. El modelo también puede ser rotado sobre el montaje para medir electrónicamente el ángulo de rotación. Las lecturas de los sensores de sustentación y resistencia y el sensor de rotación se visualizan en la pantalla del software de control de la PC, y están disponibles para el sistema de registro de datos.</p> <p>La balanza está diseñada para funcionar con los accesorios C15-20 o C15-22, pero también puede funcionar con modelos alternativos creados por el usuario.</p> <p>ESPECIFICACIONES Fuerza de sustentación 3,4N en el modelo Fuerza de resistencia 3,4N en el modelo Inclinación +/- 45°</p>	5,340.00

SUTЕК

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, México, D.F.

*T (55) 5255 4316 y 6720 3445 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx

25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

CONDICIONES:

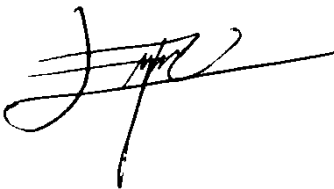
Garantía de fabrica:	2 años , con el servicio post-venta inmediato de SUTEK.
Precios:	En US Dólares (No incluye I.V.A.) pagaderos en Moneda Nacional al tipo de cambio vigente al momento de la venta. Incluye Flete.
Forma de Pago:	50% de Anticipo y 50% previo a la entrega.
L.A.B.	En sus instalaciones de la UABC.
Procedencia:	Inglaterra.
Tiempo de Entrega:	De 130 a 150 días naturales, contados a partir de la fecha de recepción del pago y pedido.
Validez de la Cotización:	2 meses. Una vez vencida la vigencia favor de solicitar una actualización de precios.

PEDIDO Y PAGOS A FAVOR DE:

SUMINISTROS TECNOLÓGICOS PARA LABORATORIO, S.A. DE C.V.

BANAMEX, CUENTA No. 4289908, SUCURSAL: 136, CLABE: 002180013642899089

ATENTAMENTE,



**LUIS ENRIQUE BARQUET
GERENTE DE VENTAS**

SUTEK

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, México, D.F.

*T (55) 5255 4316 y 6720 3445 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx

25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

07 de Noviembre de 2017

Dr. Oscar Adrián Morales Contreras
Universidad Autónoma de Baja California
 Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología(ECITEC)
 Profesor - Investigador
 Blvd. Universitario # 1000 CP: 21500
 Unidad Valle de las Palmas
 Tijuana, Baja California
 Tel: (664) 676 8222 ext: 50118
moraleso97@uabc.edu.mx

COTIZACIÓN No.: 8284-TQ

PDA.	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO EN US DOLARES (No incluye IVA)
EQUIPO MARCA: TECQUIPMENT 			
1	1	AF10 BANCO MODULAR DE FLUJO DE AIRE Un banco móvil que proporciona la unidad base para una amplia gama de módulos de experimento de flujo de aire CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES <ul style="list-style-type: none"> • La unidad base para un sistema integral para la enseñanza de principios aerodinámicos. • Funciona con ocho diferentes módulos de experimentos intercambiables, cada uno diseñado para demostrar convincentemente un principio o fenómeno de flujo de aire 	12,200.00

SUTEK

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, Ciudad de México
 *T (55) 5255 4316 y 6720 3447 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx
25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

particular.

- Fácil configuración, todos los módulos de experimento se pueden instalar y quitar en minutos.
- Simple y seguro de usar que permite a los estudiantes obtener experiencia práctica práctica con supervisión mínima
- Compacto, móvil y simple de instalar

DESCRIPCIÓN

El AF10 es un túnel de viento de pequeña escala con un ventilador eléctrico y control de flujo de aire ajustable. Es la unidad base esencial para ocho módulos de experimento diferentes que demuestran los principios clave y los fenómenos del flujo de aire.

La unidad consiste en un marco de acero robusto en el cual se monta un ventilador que suministra aire a través de una válvula de control de flujo a una cámara impelente especialmente diseñada y una contracción aerodinámica.

Cada uno de los módulos experimentales se ajusta a la cámara impelente o a la contracción. El aire luego sale del módulo de experimento a través del banco y emerge en un escape en la parte posterior de la unidad. Cuando se usa humo en experimentos con fines de visualización, los usuarios pueden colocar conductos flexibles en el tubo de escape para dirigir el humo residual en forma segura.

Las abrazaderas de palanca sostienen los módulos de experimento, lo que reduce la necesidad de herramientas. Las conexiones de medición de presión usan acoplamientos fiables de liberación rápida. Ambas características hacen que el cambio de un experimento a otro sea simple y rápido.

El formato de banco del equipo lo hace compacto, fácil de mover y almacenar. La unidad también tiene estantes prácticos y espacio de almacenamiento que es ideal para almacenar módulos experimentales cuando no están en uso.

El requisito mínimo es el AF10 y uno de los módulos de experimento, más el manómetro AF10a según sea necesario. Se pueden comprar otros experimentos en una fecha posterior, lo que permite construir un sistema completo a medida que el tiempo y los presupuestos lo permitan.

MÓDULOS DE EXPERIMENTOS DISPONIBLES (No incluidos)

- Ecuación de Bernoulli (AF11)
- Fuerza de arrastre (AF12)
- Jet Turbulento Redondo (AF13)
- Capa Límite (AF14)
- Fluir alrededor de una curva (AF15)
- Efecto Coandă y flujo de chorro (AF16)
- Visualización de flujo (AF17)



SUTEK

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, Ciudad de México
*T (55) 5255 4316 y 6720 3447 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx
25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

		<ul style="list-style-type: none"> • Aerofoil Tapped (AF18) <p>ACCESORIO RECOMENDADO (No incluido)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manómetro multitubo (AF10A) <p>SERVICIOS ESENCIALES Espacio de piso necesario: 1.5 mx 1.5 m Suministro eléctrico: Monofásico 230 VAC 50 Hz o Dos fases y neutro 220 V 60 Hz (otros suministros disponibles - especificar por orden)</p> <p>ESPECIFICACIONES Dimensiones: 740 mm de adelante hacia atrás x 950 mm de ancho x 1900 mm de alto y 125 kg</p> <p>INCLUYE:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cinco (5) años de Garantía de Fábrica, con el respaldo local inmediato de SUTЕК * Flete, Instalación, Puesta en marcha y Capacitación. * Se entrega Manual de Usuario con teoría y experimentos a detalle. * Refacciones y consumibles disponibles hasta por 7 años • Fabricado de acuerdo con las últimas directivas de la Unión Europea y bajo la Certificación ISO 9001:2008 <p>FICHA TÉCNICA: https://www.tecquipment.com/assets/documents/datasheets/AF10-Air-Flow-Datasheet-0417.pdf</p>	
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

ACCESORIO OPCIONAL RECOMENDADO PARA EL AF10

1.1	1	<p>AF10A MANÓMETRO MULTITUBO</p> <p>Un manómetro inclinable multitubo para uso con el banco de flujo de aire modular</p> <p>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para medir múltiples presiones de aire en los módulos opcionales del banco de flujo de aire modular • Utiliza agua por seguridad y simplicidad • Inclinable para una mayor sensibilidad • Datum altura ajustable y patas de nivelación • Acoplamiento de liberación rápida para facilidad de uso • Incluye tinte de color no tóxico para ver los niveles de agua claramente <p>DESCRIPCIÓN El manómetro multitubo es un accesorio del AF10 módulo base y sus módulos experimentales. Se ajusta al AF10 o cerca de él y se conecta a tomas de presión en los módulos de experimento opcionales. Algunos módulos experimentales solo pueden tener dos o tres tomas de presión, pero otros usan hasta 12 tomas. Esto hace que el manómetro multitubo sea esencial para ver</p>	2,900.00
-----	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

SUTЕК

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, Ciudad de México
 *T (55) 5255 4316 y 6720 3447 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx
25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

todas las presiones al mismo tiempo.

El manómetro usa agua limpia como fluido de trabajo para mayor seguridad y conveniencia. TecEquipment suministra colorante no tóxico de color para agregar al agua para que los estudiantes puedan ver los niveles de agua más claramente.

Un pequeño depósito al costado de los tubos del manómetro retiene el agua. Los estudiantes pueden ajustar la altura del reservorio para cambiar el dato de los niveles de agua en los manómetros. Los pies ajustables permiten a los estudiantes nivelar el manómetro con precisión antes de su uso.

Las fijaciones de tornillos permiten al usuario inclinar los tubos del manómetro desde una posición completamente vertical a 80 grados. Esto cambia la ampliación (sensibilidad) del manómetro para leer cambios muy pequeños en la presión. La Guía del usuario proporciona detalles de los factores de aumento para diferentes ángulos. Un conjunto de marcas al costado del manómetro muestra ángulos en 5 y 10 grados de división.

AUXILIAR PARA (No incluidos):

- Banco de flujo de aire modular (AF10)
- Ecuación de Bernoulli (AF11)
- Fuerza de arrastre (AF12)
- Round Turbulent Jet (AF13)
- Capa límite (AF14)
- Flow Round A Bend (AF15)
- Ala de avión con tappings (AF18)

SERVICIOS ESENCIALES

Agua limpia y de bajo contenido mineral (el agua desionizada adecuada para baterías y planchas de vapor es buena).

ESPECIFICACIONES

Dimensiones y peso netos:

640 mm de ancho x 160 mm de adelante hacia atrás y 470 mm de alto

6 kg incluyendo botella de tinte

- 14 tubos de manómetro separados con un colector inferior común alimentado desde un depósito de altura ajustable.
- Rango de escala de 0 a 260 mm de agua en divisiones de 2 mm.
- Rango de inclinación de 0 a 80 grados.

INCLUYE:

- Cinco (5) años de Garantía de Fábrica, con el respaldo local inmediato de SUTЕК
- * Flete, Instalación, Puesta en marcha y Capacitación.
- * Se entrega Manual de Usuario con teoría y experimentos a detalle.
- * Refacciones y consumibles disponibles hasta por 7 años
- Fabricado de acuerdo con las últimas directivas de la Unión Europea y bajo la Certificación ISO 9001:2008

FICHA TÉCNICA:

<https://www.tecequipment.com/assets/documents/datasheets/AF10a-Multi-Tube->

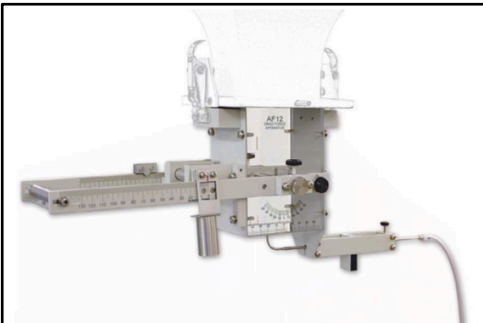
SUTЕК

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, Ciudad de México
*T (55) 5255 4316 y 6720 3447 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx
25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

MÓDULOS EXPERIMENTALES DISPONIBLES
(Existen 8 experimentos distintos. Requiere al menos de uno)

2	1	<p>AF12 FUERZA DE ARRASTRE</p> <p>Permite a los estudiantes investigar la medición directa e indirecta del arrastre en varias formas</p> <p>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</p> <ul style="list-style-type: none">• Uno de una serie de ocho módulos experimentales que se adapta al banco de flujo de aire modular (AF10)• Compara el arrastre para un cilindro calculado a partir de una distribución de presión medida, y una estela transversal contra el medido directamente para un cilindro• Permite comparaciones de la fuerza de arrastre entre un cilindro, placa plana y perfil aerodinámico• Alterne las conexiones de la abrazadera a la contracción del banco de flujo de aire modular para un montaje rápido y fácil• Acoplamiento de liberación rápida para conexiones de medición de presión rápidas y confiables al Manómetro AF10a<ul style="list-style-type: none">• El conducto de prueba tiene lados transparentes con escalas claramente impresas: permite a los estudiantes ver el experimento y posicionar con precisión los modelos y el tubo de Pitot. <p>DESCRIPCIÓN</p> <p>Este módulo de experimento simple pero completo consiste en un conducto con frente y parte posterior transparentes. El frente tiene escalas impresas en él para posicionar las diversas partes durante los experimentos. Un tubo de Pitot y un simple balance de masa se unen a la parte exterior del conducto para las medidas de estela y arrastre directo, respectivamente.</p> <p>Viene con tres modelos de la misma área frontal:</p> <ul style="list-style-type: none">• Un cilindro con un transportador y una toma de presión en su pared exterior• Una placa plana• Una forma de perfil aerodinámico simétrico con un perfil NACA <p>Todos los modelos se ajustan en los brazos del balance de masa para la estela transversal y los experimentos de medición directa. Para los experimentos de distribución de la presión del cilindro, los brazos de la balanza de masa se pueden girar fuera del conducto y el modelo de cilindro montado directamente entre las paredes del conducto.</p> <p>Tanto el tubo Pitot como el roscado del cilindro se conectan al manómetro AF10a</p>	3,150.00
---	---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------



		<p>(auxiliar) a través de tubos flexibles equipados con acoplamientos de liberación rápida.</p> <p>UNIDAD BASE ESENCIAL (No incluido)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banco de flujo de aire modular (AF10) <p>ACCESORIO ESENCIAL (No incluido)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manómetro Multitubo (AF10a) <p>LOS RESULTADOS DEL APRENDIZAJE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación del coeficiente de resistencia mediante la medición de la distribución de presión alrededor del cilindro. • Determinación del coeficiente de arrastre por wake-crossing. • Determinación del coeficiente de arrastre alrededor del cilindro mediante medición directa y comparación con los resultados obtenidos por la distribución de la presión y la estela transversal. • Medición directa y comparación del coeficiente de arrastre entre un cilindro, placa plana y perfil aerodinámico. <p>ESPECIFICACIÓN</p> <p>Dimensiones y peso embalados: 0.2 m3; 10 kg Conducto transparente de 100 mm x 50 mm</p> <p>INCLUYE:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cinco (5) años de Garantía de Fábrica, con el respaldo local inmediato de SUTЕК * Flete, Instalación, Puesta en marcha y Capacitación. * Se entrega Manual de Usuario con teoría y experimentos a detalle. * Refacciones y consumibles disponibles hasta por 7 años • Fabricado de acuerdo con las últimas directivas de la Unión Europea y bajo la Certificación ISO 9001:2008 <p>FICHA TÉCNICA:</p> <p>https://www.tequipment.com/assets/documents/datasheets/AF12-Drag-Force-Datasheet-0417.pdf</p>	
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

CONDICIONES:

- Garantía de fabrica:** 5 años, con el servicio post-venta inmediato de SUTЕК.
- Precios:** En US Dólares (No incluye I.V.A.) pagaderos en Moneda Nacional al tipo de cambio vigente al momento de la venta. **Incluye Flete, Instalación, Puesta en marcha y Capacitación. Se entrega Manual de Usuario para cada equipo.**
- Forma de Pago:** 50% de Anticipo y 50% contra entrega y entera satisfacción de la UABC-ECITEC.
- L.A.B.** En sus instalaciones de la UABC-ECITEC.
- Procedencia:** Inglaterra.

SUTЕК

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, Ciudad de México
 *T (55) 5255 4316 y 6720 3447 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx
25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México

Tiempo de Entrega: De 110 a 130 días naturales, contados a partir de la fecha de recepción del pago y pedido. En algunas ocasiones el tiempo de entrega puede ser menor.

Validez de la Cotización: 1 mes. Una vez vencida la vigencia favor de solicitar una actualización de precios.

PEDIDO Y PAGOS A FAVOR DE:

SUMINISTROS TECNOLÓGICOS PARA LABORATORIO, S.A. DE C.V.

BANAMEX, CUENTA M.N. NÚM.: 4289908, SUCURSAL 136, CLABE 002180013642899089

BANAMEX, CUENTA US DÓLARES 9081256, SUCURSAL 136, CLABE 002180013609812568

ATENTAMENTE,



**LUIS ENRIQUE BARQUET
GERENTE DE VENTAS**

SUTEK

Suministros Tecnológicos para Laboratorio S.A. de C.V.

Av. Mariano Escobedo 748 Piso 7, Col. Nueva Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11590, Ciudad de México
*T (55) 5255 4316 y 6720 3447 al 49 *E ventas@sutek.com.mx y su-tek@hotmail.com *W www.sutek.com.mx
25 años de experiencia en Equipamiento para Enseñanza e Investigación en México