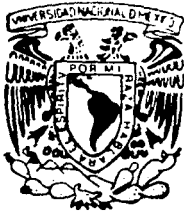


69.  
2ef



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO  
DIDACTICO PARA LA VISUALIZACION DEL FLUJO Y  
MEDICION DE FUERZAS AERODINAMICAS

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

**MAURICIO GONZALEZ MONTIEL**

DIRECTOR DE TESIS DR. FRANCISCO SOLORIO



MEXICO, D. F.

1991

**FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
2.1	TIPOS DE BALANZAS Y CRITERIOS DE SELECCION	4
2.1.1	Balanza tipo alambre	
2.1.2	Balanza tipo apoyo	
2.1.3	Balanza tipo plataforma	
2.1.4	Balanza tipo yugo	
2.1.5	Balanza tipo piramidal	
2.1.6	Balanza de brazos	
2.2	TUNELES DE VIENTO	14
2.2.1	Clasificación de los túneles de viento	
2.2.2	Características básicas de los túneles de viento abiertos	
2.2.2 a)	Principales ventajas	
2.2.2 b)	Principales desventajas	
2.3	TECNICAS DE VISUALIZACION DE FLUJO	21
2.3.1	Clasificación de las técnicas de visualización de flujo	
2.3.1.1	Inyección de un material extraño al flujo	
2.3.1.1 a)	Humo	
2.3.1.1 b)	Generador de humo por medio de Keroseno	
2.3.1.1 c)	Método de alambre de humo	
2.3.1.2	Técnicas de visualización por medios ópticos	
2.3.1.2 a)	Método de sombras	
2.3.1.2 b)	El interferómetro	

<b>3</b>	<b>BALANZA DE BRAZOS DISEÑO Y CONSTRUCCION</b>	
3.1	INTRODUCCION	33
3.2	ENSAMBLE DE LA BALANZA	33
3.3	OPERACION	37
3.4	LISTA DE MATERIALES	42
3.5	PLANOS DE FABRICACION	44
<b>4</b>	<b>GENERADOR DE HUMO DISEÑO Y CONSTRUCCION</b>	
4.1	DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE HUMO	50
4.2	APLICACIONES	51
4.3	CARACTERISTICAS FISICAS	52
4.4	OPERACION	54
4.5	LISTA DE MATERIALES	62
4.6	PLANOS DE FABRICACION	63
<b>5</b>	<b>PRACTICAS PROPUESTAS</b>	
5.1	INTRODUCCION	66
5.2	PRACTICA I, "ANGULO DE PERDIDA"	67
5.3	PRACTICA II, "SUSTENTACION Y ARRASTRE"	70
5.4	RESULTADOS DE LAS PRACTICAS	75
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>81</b>

## INTRODUCCION

Entre las disciplinas básicas de la ingeniería, la mecánica de fluidos constituye uno de los mejores ejemplos donde el avance en el conocimiento de su objeto de estudio se ha logrado gracias al complemento entre los métodos teóricos y experimentales. La mecánica de fluidos posee, además, una de las bases matemáticas más completas y extensas. Generalmente es posible formular las ecuaciones diferenciales que describen los cambios de velocidad, presión, temperatura y algunas otras cantidades de interés, y completar matemáticamente el problema al especificar las condiciones apropiadas en la frontera. Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible resolver en forma general tales ecuaciones y solamente se han encontrado soluciones particulares. Dichas soluciones se han obtenido despreciando algunos términos de las ecuaciones generales, lo que limita su aplicación.

Como consecuencia de lo anterior, una cantidad importante de los procedimientos de diseño relacionados con el manejo de los fluidos se han basado necesariamente en la experimentación. De esta manera la mecánica de fluidos experimental se ha constituido actualmente en una disciplina, ofreciendo un método para resolver problemas sin llegar, algunas veces, a necesitar de un soporte teórico o matemático.

Para el caso particular de la determinación de las fuerzas, momentos y comportamiento de un cuerpo sumergido en un escurrimiento, la mecánica de fluidos experimental cuenta con una serie de técnicas que van desde la visualización del flujo, hasta

el uso de complejas balanzas. En general, cuando dicho cuerpo tiene una forma y orientación no simétrica, las fuerzas y momentos que el fluido ejerce sobre él, tienen componentes en los tres ejes ortogonales. Por otro lado, si el cuerpo es simétrico con respecto a los planos formado por el eje paralelo y normal a la dirección del flujo (como en el caso de aviones, barcos, automóviles, cohetes, etc.), la fuerza lateral y los momentos desaparecen, reduciéndose entonces, a un caso donde la fuerza resultante  $F$  se puede descomponer en las direcciones paralela y normal a dicha dirección, denominando FUERZA DE ARRASTRE ( $F_d$ ) a la componente paralela, y FUERZA DE SUSTENTACION ( $F_l$ ) a la componente perpendicular.

Estas dos fuerzas son de suma importancia en el diseño de turbinas, compresores, mamparas, deflectores, secadores, propelas, impulsores, etc. ya que, con un diseño adecuado, pueden proporcionar grandes fuerzas perpendiculares a la corriente no perturbada con resistencia mínima.

Debido a la presencia de un gradiente de presión adverso que muchas veces conduce a la separación o desprendimiento del flujo laminar, existen muy pocos casos para los cuales se pueden determinar las fuerzas de sustentación y arrastre sin recurrir a los resultados experimentales. Por lo tanto, para la mayor parte de las formas de cuerpo de interés, debemos recurrir al empleo de coeficientes determinados experimentalmente para el cálculo de fuerzas y momentos inherentes al sistema.

Si bien en el curso de DINAMICA DE FLUIDOS que se imparte en la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en el área de Mecánica, se presentan los conceptos básicos relacionados con las fuerzas de sustentación y arrastre, y se dan una serie de valores empíricos para sus coeficientes, es importante completar

este marco teórico con la experimentación. De esta forma, lo ideal sería que el alumno pudiera diseñar sus propios modelos (alas, automóviles, aviones, etc.) e intuir, basado en la experimentación, la mejor configuración aerodinámica de éstos. Lo anterior resulta de vital importancia en la formación de los alumnos como ingenieros y para ello, deben contar con el equipo adecuado de visualización de flujo y medición de fuerzas.

El objetivo de esta tesis consiste en diseñar y construir una balanza con una serie de modelos de pruebas para medir las fuerzas de sustentación y arrastre en ellos, y un generador de humo para visualizar el flujo a través de los mismos. Además se sugerirán algunas prácticas recomendadas como complemento a la teoría correspondiente. Todo el equipo se diseñará para colocarse en el túnel de viento del Laboratorio de Fluidos y Térmica de la Facultad de Ingeniería.

## CAPITULO 2 GENERALIDADES

### 2.1 TIPOS DE BALANZAS Y CRITERIOS DE SELECCION

La medición de efectos, cargas y presiones causadas por las fuerzas que actúan en un modelo aerodinámico a escala, son hechas con el propósito de predecir el comportamiento de cuerpos con dimensiones reales. Dichas cargas y efectos pueden ser obtenidos por los siguientes tres métodos:

- 1.- Medir las fuerzas y momentos reales con una balanza para túneles de viento.
- 2.- Midiendo el efecto que el modelo presenta al someterse a un flujo por medio del estudio de la corriente (o estela) y de la distribución de presiones en las paredes del túnel.
- 3.- Midiendo la distribución de presiones en el modelo. Dicha distribución de presiones se pueden obtener mediante una serie de orificios en la pared del modelo conectados a sensores de presión.



Dado que en el presente trabajo se emplea exclusivamente el método de la balanza debido a un grado menor de complejidad comparado con los otros dos métodos, a continuación se describe las generalidades de dicho método.

Existen dos tipos fundamentales de balanzas de uso común: las balanzas externas, en las cuales las fuerzas y momentos se miden fuera del túnel de viento, y las balanzas internas, las cuales van dentro del modelo y están diseñadas para mandar los datos de la medición por medio de impulsos electrónicos.

Teniendo en cuenta que para las balanzas internas se requiere de sistemas analógicos-digitales de un tamaño reducido con características especiales para no causar turbulencia en el flujo, el costo de las mismas es considerablemente mayor que el de las balanzas externas. Por lo tanto, atendiendo a los recursos actuales de laboratorio de máquinas térmicas e hidráulicas de la facultad de ingeniería, consideramos adecuado utilizar las balanzas de tipo externo. A continuación se mencionan algunos tipos de balanzas externas comunmente usadas en el campo de la investigación:

#### 2.1.1) BALANZA TIPO ALAMBRE (WIRE BALANCE):

En este tipo de balanza, el modelo se encuentra sostenido por medio de alambres colocados de forma tal que las cargas registradas en cada uno de ellos, representan una fuerza o momento actuante en el modelo de pruebas. A dichos alambres se les aplica una precarga inicial para tener la certeza de que tengan la adecuada tensión al inicio de la prueba.

Como muestra la figura 2.1 (plano 1A-01), las fuerzas son transmitidas a un simple sistema de palancas, el cual debe ser balanceado por el operador por medio de pesas. La balanza de alambre mostrada es comúnmente llamada "BALANZA DE SEIS COMPONENTES" porque tiene la capacidad de medir las fuerzas de sustentación, arrastre, fuerzas laterales y los momentos de balanceo, guiñada y cabeceo. Si los cables E, C y F fueran fijos, solo se podría leer las fuerzas de arrastre, sustentación y el momento de cabeceo.

La balanza de alambre es probablemente la más simple y fácil de construir, pero tiene desventajas muy serias: Los alambres comúnmente tienden a cristalizarse o bien a corroerse presentandose la ruptura de éstos con el tiempo, lo que puede ocasionar la destrucción del modelo e incluso daños mayores al túnel. Además, los dispositivos usados para la medición no son lo suficientemente confiables, debido a que cualquier deflección en el sistema podría cambiar el ángulo de ataque del modelo y/o la localización del momento central de la balanza (RESOLVING CENTER).

#### 2.1.2) BALANZA TIPO APOYO (STRUT-TYPE BALANCE):

Este tipo de balanza sostiene al modelo por medio de dos apoyos frontales y uno caudal (fig. 2.2 - plano 1A-01). Los apoyos están conectados con la parte interna de un marco de

carga flotante con libertad de giro, dicho mecanismo tiene la capacidad de dar ángulos de ataque y puede aumentar o disminuir en la parte trasera la altura, produciendo así el movimiento de cabeceo.

La parte exterior del marco flotante se mantiene en su lugar por medio de un sistema de apoyos, los cuales son especialmente diseñados para soportar cargas de compresión y tensión con la ventaja de ser muy sensibles a la flexión. Dichos soportes separan las componentes de las cargas por medio de un sistema de unión, y alimentan al sistema de medición por medios electrónicos.

La balanza tipo apoyo es un instrumento preciso y tanto el modelo como el túnel de viento se encuentran completamente seguros. La desventaja que presenta es que se contrucción es costosa y complicada.

### 2.1.3) BALANZA DE PLATAFORMA :

La balanza de plataforma es ampliamente usada en el campo de la investigación debido a que su construcción se realiza con un mínimo de dificultades. Este tipo de balanza utiliza tres o cuatro barras, dependiendo del modelo, soportando el marco principal, en donde las fuerzas y momentos que el modelo experimenta, se transmiten hacia dichas barras en forma de tensión o compresión. Algunas de las

desventajas que presenta son: En primer lugar, los momentos aparecen como pequeñas diferencias en fuerzas grandes inherentes al sistema. En segundo lugar, el centro de momentos no está en el modelo, por lo tanto, el arrastre y fuerzas adjuntas en interacción con los momentos de cabeceo y balanceo, deben ser transportados para su lectura final. Esto se esquematiza en la figura 2.3 (plano 1A-01).

#### 2.1.4) BALANZA TIPO YUGO (YOKE-TIE BALANCE) :

Este tipo de balanza ofrece una ventaja sobre las balanzas de plataforma y de tipo apoyo debido a que los momentos son leídos con respecto al centro de momentos en el modelo, sin embargo, presenta mayores flexiones que éstas, particularmente en el momento de cabeceo y fuerzas laterales.

Debido a que el marco de la balanza tiene que empalmar con la sección de pruebas, de forma tal que las dos barras de arrastre queden alineadas en su posición, la barra correspondiente a el momento de guiñada debe ser muy larga (barras d y c fig. 2.4 - plano 1A- 02). Lo anterior causa que sus soportes esten sujetos a grandes esfuerzos de flexión.

### 2.1.5) BALANZA TIPO PIRAMIDAL :

La manera en que la balanza piramidal mide las fuerzas y separa los momentos, es muy compleja. Para ejemplificarlo consideremos una estructura la cual tenga las dos barras unidas en un mismo punto en la parte superior (fig. 2.5a - plano 1A-02). La fuerza D actuando sobre el punto "O", produce tensión en la barra OE y compresión en la barra OF. Tomando en cuenta que la fuerza actuante en el punto G produce un momento flexionante capaz de romper la barra OE, se aplica una fuerza en el punto A, compensando dicho momento y evitando así lo anterior.

La fuerza en el punto A se define como:

$$F_A = \frac{a \times G}{b}$$

Siendo "G" y "b" datos conocidos, la magnitud de la fuerza "A" determinará la distancia a la que debe estar el punto de acción de la fuerza "G" (distancia a). De esta forma si "G" fuera la fuerza de Arrastre, su momento de cabeceo con respecto al Centro de Momentos "O", sería determinado por la magnitud de la fuerza A.

En la figura 2.5b (plano 1A-01), se ejemplifica esquemáticamente la balanza tipo piramidal.

Muchas de las desventajas que presenta la balanza tipo plataforma y la balanza tipo Yugo, son superadas por la balanza piramidal

debido a que lee los momentos y fuerzas con respecto al centro de momentos, y las componentes son separadas y leídas directamente por los sistemas de medición; Las dificultades relacionadas con la lectura de pequeñas diferencias en fuerzas grandes son eliminadas, y la lectura directa de las fuerzas y momentos simplifica el equipo de instrumentación.

Sin embargo, como generalmente ocurre, este tipo de balanza también presenta algunas desventajas, por ejemplo:

El alineamiento de los soportes es crucial en la construcción y calibración de la balanza además de ser sumamente complicado; con el tiempo los soportes presentan una deflexión causando fallas en el dicho alineamiento y como consecuencia, en las mediciones.

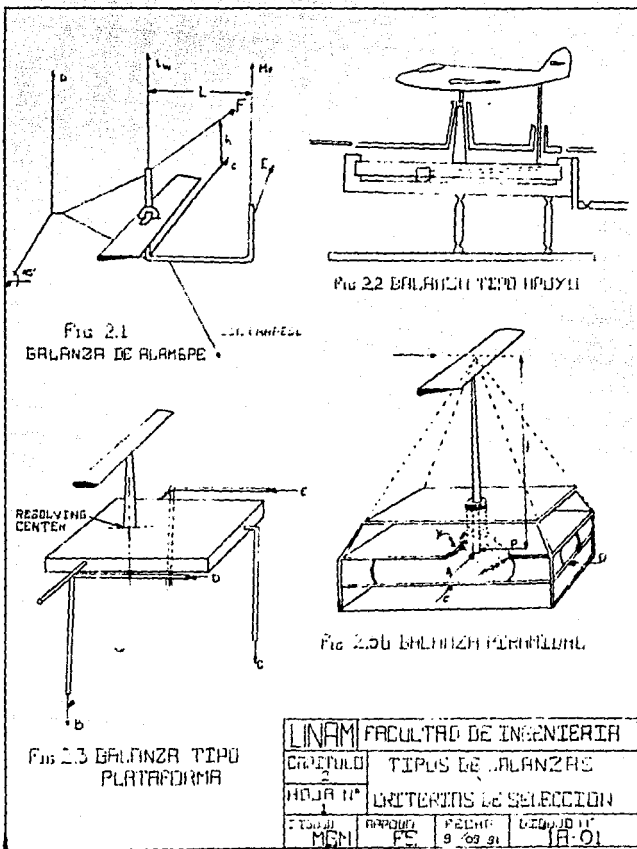
#### **2.1.6] BALANZA DE BRAZOS:**

En este tipo de balanza, las mediciones de las fuerzas de arrastre y sustentación se llevan a cabo equilibrando, por medio de pesas, el momento que produce cada fuerza con respecto a los puntos "A" y "B" (fig.2.6 - plano 1A-02). El modelo es colocado en la parte superior de la balanza donde el centro geométrico del mismo, coincide con el punto "O", de tal forma que al actuar una fuerza sobre el modelo produce un momento de "O" a "A", en el caso de arrastre, y un momento de

"O" a "B", en el caso de la sustentación. Para lograr lo anterior, el modelo aerodinámico (ala de avión) se debe colocar en posición vertical, con el fin de que la fuerza de sustentación se aplique en dirección perpendicular al flujo y produzca el momento con respecto a "B".

Este tipo de balanza tiene la ventaja de que su construcción es económica y fácil. Su manejo y mantenimiento son sumamente sencillos y la calibración se realiza fácilmente con los contrapesos colocados en la parte posterior de cada brazo.

La desventaja que presenta, es que sólo puede medir las fuerzas principales (sustentación y arrastre ). Los momentos de cabeceo, balanceo y guiñada no son posibles de leer en este arreglo.





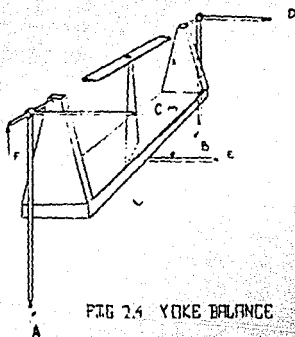


FIG 2.4 YOKE BALANCE

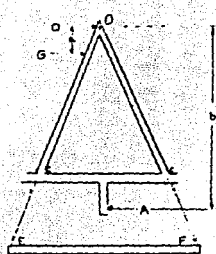


FIG 2.5a BALANZA PLANIMETRAL

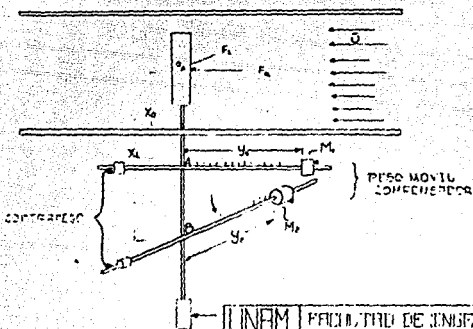


FIG 2.6 BALANZA DE BRAZOS

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA		
TITULO	TIPOS DE BALANZAS		
NUMERO	Y		
2	CRITERIOS DE SELECCION		
FECHA	FECHA	FECHA	DESENHO N°
11/11	11/11	9 09/91	1A-02

## 2.2 TUNELES DE VIENTO

La información experimental utilizada para resolver problemas de aerodinámica, puede ser obtenida de distintas formas: en cámaras de choque, vuelos de modelos a escala, alcances balísticos, vuelos de prueba, vuelos de cohetes, túneles de viento, etc. Cada dispositivo tiene su propio campo en donde supera a los demás, pero debido a que es posible utilizar modelos a escala y hacer pruebas de visualización con el equipo adecuado sin exponer la vida humana, los túneles de viento ofrecen ventajas, tanto económicas como técnicas, para el estudio aerodinámico de objetos inmersos en un escurrimiento (aviones, hélices, álabes, autos, etc.). También se pueden simular condiciones extremas que actúen sobre algunos modelos a escala para posteriormente diseñar y construir el prototipo basándose en determinados parámetros adimensionales, entre ellos el número de Reynolds y número de Mach.

Asimismo, los túneles de viento se utilizan para estudiar la propagación de las vibraciones, las pérdidas debidas al tamaño y forma de los objetos, la rugosidad de diferentes materiales, y similares.

### 2.2.1 CLASIFICACION DE LOS TUNELES DE VIENTO

Los túneles de viento se clasifican básicamente en dos tipos:

De baja velocidad: En donde los factores predominantes son los efectos inerciales y viscosos, despreciándose la compresibilidad del aire.

De alta velocidad: Los cuales se utilizan para la investigación de flujos donde las principales fuerzas que actúan se debe a la inercia y a la compresibilidad.

Los túneles de viento de baja velocidad, se llaman "Túneles de Viento Subsónicos", ya que operan a una velocidad menor que la del sonido, mientras que los túneles de alta velocidad, los cuales operan a velocidades mayores o iguales a las del sonido, se dividen en tres tipos:

- a) Túneles de Viento Transónico: operan a la velocidad del sonido.
- b) Túneles de Viento Supersónicos: operan a una velocidad mayor que la del sonido.
- c) Túneles de Viento Hipersónicos: operan a un alto grado supersónico.

Otra clasificación que se hace de los túneles de viento se relaciona con la forma de la sección transversal de la zona de prueba, la cual puede ser: cuadrada, rectangular, rectangular con esquineros, octagonal, circular o elíptica.

Asimismo, algunos autores clasifican a los túneles de viento básicamente en: Abiertos, los cuales no tienen guía de retorno y la energía cinética que se transmite al aire se pierde a la

salida del difusor; Cerrados (túneles de viento con flujo de retorno) los cuales, como lo indica su nombre, tienen una trayectoria cerrada y continúa por donde circula el aire y, debido a los cambios de dirección, la velocidad del mismo varía.

Los túneles de viento de circuito cerrado pueden ser de tres tipos:

- con circuito de retorno simple
- con circuito de retorno doble
- con circuito de retorno anular

Existen además otros túneles que, aunque en menor número, son más especializados; entre ellos se puede citar los túneles de presión de retorno simple, túneles de densidad variable, túneles con refrigeración, túneles de rotación, etc.

Los túneles de presión tienen la ventaja de obtener altos números de Reynolds sin utilizar grandes modelos ni altas velocidades. Debe mencionarse que una alta presión no satisface completamente la obtención de un número de Reynolds alto, ya que la resistencia del modelo puede ser un factor decisivo a considerar.

Todos estos tipos, características, diseños y dimensiones de los túneles de viento se usan de acuerdo con las necesidades que se tengan. Algunos tienen mayor versatilidad en comparación con otros y se utilizan con enorme ventaja al ser convertibles en algunas de sus partes pudiéndose modificar inclusive, algunos de sus parámetros como son dirección del flujo, potencia del motor, velocidad del aire, etc.

En el laboratorio de Máquinas Térmicas e Hidráulicas de la Facultad de Ingeniería, se cuenta con dos túneles de viento de tipo abierto, es por ello que a continuación se dará una

descripción básica de los túneles de viento tipo abierto y se mencionarán las ventajas y desventajas que se presentan en ellos.

#### 2.2.2 CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS TUNELES DE VIENTO ABIERTOS

Los túneles de circuito abierto llamados también túneles rectos continuos fueron los primeros tipos de túneles que se construyeron; en su estructura cuentan con un cono de entrada, una cámara de dirección de corriente de aire, un inyector o embocadura, una sección de prueba y una unidad impulsora localizada generalmente en el difusor. Si la sección de prueba es abierta, el túnel se conoce como "Túnel Eiffel". Por otro lado, si la sección de prueba es cerrada, el túnel se llama "Túnel NPL" (National Physical Laboratory, Inglaterra).

Los túneles de circuito abierto no tienen control alguno sobre la temperatura del aire, ya que éste lo toman directamente del medio ambiente. Para tener cierto control sobre la turbulencia del flujo es necesario que posean algunos tranquilizadores o mallas, lo que incrementa el consumo de la potencia requerida hasta en un 15%. El costo de estos túneles es de aproximadamente un 50% menor que el costo de un túnel de viento cerrado equivalente.

##### 2.2.2a PRINCIPALES VENTAJAS

En la época moderna es muy necesario hacer una evaluación de las ventajas y desventajas de cualquier proyecto a considerar ya que de esta manera pueden optimizarse los recursos humanos, económicos y el factor tiempo, que son de vital importancia para la aceptación o rechazo de todo un proyecto.

- a) **Economía:** debido a que este tipo de túneles requieren de menos componentes que un túnel de circuito cerrado resultan más económicos, siendo ésta una de las principales razones por la cual los centros de educación superior apoyan su construcción o adquisición. Por otra parte el ahorro de instrumentos de medición que se tiene en este tipo de túneles en comparación con los túneles de viento de circuito cerrado es muy relativo, ya que esto depende de la precisión que se requiera obtener en las mediciones, de los parámetros y de las variables a medir. Por lo anterior no se puede decir que un túnel de circuito abierto es más económico que un túnel de circuito cerrado en cuanto instrumentación se refiere.
- b) **Construcción rápida:** Dadas las dimensiones de estos túneles y la sencillez de su diseño se han podido construir en un tiempo considerablemente menor que el necesario para un túnel de viento de circuito cerrado equivalente.
- c) **Fácil instalación:** Generalmente casi todos los aparatos pesados y con motor requieren una cimentación especial para evitar la transmisión de las vibraciones y la posibilidad de formación de grietas en el piso. Lo anterior no ocurre en los pequeños túneles de viento debido a su poco peso facilitándose en esta forma su instalación. Por otra parte, las vibraciones que se producen, debidas al motor del túnel, se pueden eliminar satisfactoriamente con un buen diseño de la estructura que los soporta.

- d) **Tamaño práctico:** Gracias a su pequeño tamaño no ocupan una gran área por lo que generalmente se localizan dentro de los laboratorios ya existentes, de otra forma se tendría que construir un edificio especial para su funcionamiento.

#### 2.2.2b PRINCIPALES DESVENTAJAS.

- a) Estan sujetos a ráfagas las cuales pueden causar variaciones en la presión dinámica y en la distribución de la misma a través de la sección de prueba.
- b) Son ruidosos: El ruido del túnel de viento se debe principalmente al provocado por el ventilador y a las vibraciones de las paredes del mismo. Este ruido aparte de ser molesto contribuye a aumentar la turbulencia en el flujo dentro del túnel.
- c) Están expuestos a los cambios de las condiciones atmosféricas. Debido a que no se tiene control alguno sobre las propiedades del aire que se introduce al túnel, éstas cambian (temperatura, densidad, humedad relativa, etc.) teniendo que considerarlas en las pruebas realizadas para poder obtener resultados representativos.
- d) No tienen control sobre la limpieza del aire: Estos túneles debido a su diseño tan simple no tienen dispositivos que permitan eliminar las partículas en suspensión como polvo, partículas de regular tamaño, por lo que se tienen que instalar mallas metálicas tanto a la entrada

como a la salida del túnel. Se puede advertir que el polvo, aún con las mallas, penetra al túnel, sin embargo su efecto no es determinante en las pruebas a realizar. En el caso de instalar un accesorio que impidiera la entrada de éste, se aumentarían las pérdidas por fricción y se requeriría además, mayor potencia en el motor del ventilador, incrementando lógicamente el costo inicial.

- e) El ventilador está expuesto a sufrir daños. Generalmente este tipo de túneles de viento no cuenta con ningún sistema de protección en lo que al ventilador se refiere, es decir no disponen de una malla de protección, o bien, el ventilador no está localizado en uno de los retornos del túnel como en el caso de los túneles de circuito cerrado. En caso de que ocurra el desprendimiento de algún modelo, éste dañaría al ventilador, por lo que se recomienda que el ventilador no provenga de fundición, sino que esté constituido por varias aspas soldadas; de este modo en caso de ocurrir algún daño en ellas, solamente se cambiaría el aspa dañada. Es poco probable que ocurra lo anterior en túneles de baja velocidad.



### 2.3 TECNICAS DE VISUALIZACION DE FLUJO

A lo largo de la historia de la aerodinámica e hidrodinámica, se ha marcado un gran interés en visualizar los flujos. Dicha visualización da una idea completa del desarrollo del flujo en un canal o a través de un obstáculo, y juega un papel importante en el entendimiento de fenómenos físicos de la mecánica de fluidos. Sin embargo, la mayoría de los fluidos son medios transparentes y sus movimientos son invisibles durante una observación directa. Este problema se resuelve al incurrir en ciertos métodos por medio de los cuales el flujo se hace visible y así mismo su movimiento. Dichos métodos son llamados técnicas de visualización de flujo. Una de las ventajas que ofrecen estas técnicas es la de proporcionar tanto datos cualitativos como cuantitativos, evitando así, pequeñas perturbaciones en el flujo causadas por instrumentos de medición; estas pequeñas perturbaciones, cuando se trata de flujos inestables, pueden llegar a modificar significativamente los resultados.

Una gran variedad de experimentos de visualización fueron efectuados por Reynold y Prandt(6), siendo ellos los pioneros en la investigación dentro de la mecánica de fluidos. Sin embargo, una persona que jugó un papel importante en el desarrollo de estas técnicas fue Ludwig Mach en Viena(6), quien logró grandes adelantos en la visualización de flujo por medio de humo (1893).

Actualmente existen una gran cantidad de instituciones que se dedican a desarrollar nuevas técnicas de visualización; originalmente dichas técnicas eran utilizadas con un enfoque ingenieril y físico experimental, pero últimamente se ha dado un nuevo enfoque hacia campos como la medicina, biología, arquitectura y otros. Así mismo, dichas técnicas se han centrado en el

estudio de problemas de fenómenos de transporte, especialmente en hidráulica, aerodinámica y plasmodinámica, pertenecientes a la mecánica de fluidos.

Diferentes sustancias han sido utilizadas para visualizar el flujo en gases y líquidos. Algunos de los más usados son, en el caso de los gases: humo, burbujas de gas helio, polvo, talco e incluso bolas de polietileno; y en el caso de líquidos: tintas de distintas clases y burbujas de gas helio entre otros.

Cuando se lleva a cabo un estudio de visualización en un fluido cualquiera, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- a) Qué es lo que se muestra en la fotografía con respecto al movimiento del fluido bajo prueba.
- b) La forma de interpretar dicha fotografía.
- c) Las sustancias inyectadas muestran realmente las líneas de emisión o, debido a distorsiones del flujo por factores externos, muestran un desarrollo falso del flujo.

### 2.3.1 CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DE VISUALIZACION

Las técnicas de visualización pueden ser clasificadas en tres grupos. El primer grupo comprende todas las técnicas por las cuales un material extraño se introduce a un flujo gaseoso o líquido. Dicho material debe ser visible y las partículas que lo compongan lo suficientemente pequeñas para asegurar que el movimiento de éstas sea el más aproximado, en dirección y magnitud, al vector velocidad del flujo.

Esta visualización es en si un método indirecto, ya que se observa el movimiento del material extraño en vez del fluido mismo. La diferencia entre el movimiento del fluido y de las

partículas del material extraño pueden minimizarse parcialmente dando a la partícula de este último una densidad aproximada a la del fluido

La técnica da excelentes resultados en flujos estacionarios pero, debido al limitado tamaño de las partículas, los errores pueden ser muy grandes para flujos inestables .

El segundo grupo, se basa en la variación de la densidad del fluido que se manifiesta en un fluido comprensible. Dado que el índice refractivo del fluido está en función de la densidad, los fluidos comprensibles pueden ser visibles por métodos ópticos sensibles a los cambios de refracción.

El tercer método es, de algún modo, una combinación de los dos grupos anteriores. En este caso se introduce en el fluido energía ( calor, descargas eléctricas, etc.). los elementos del fluido marcados por su nivel de energía, en algunos casos, necesitan una técnica de visualización óptica de tal forma que dichos elementos puedan ser discriminados del resto de la corriente. En ocasiones, la energía liberada se convierte en un haz luminoso que puede ser observado directamente a simple vista.

#### 2.3.1.1. Inyección de un material extraño al flujo.

Existen diversas sustancias que pueden ser inyectadas a un flujo para que el movimiento de éste sea visible. En el presente trabajo se mencionarán únicamente las sustancias relacionadas con la visualización de gases; básicamente el humo.

El uso de humo, para la visualización de flujo en túneles de viento se inició a principios del siglo con los estudios realizados por L. Mach (Viena 1893)(6) y E. J. Marey (Paris 1899)(6). Algunos años después Prandtl y sus colegas (Gottingan 1923)(6), F. G. Simons y N. S. Dewey (Teddington 1930)(6), experimentaron con humo en su afán de visualizar flujos. Sin embargo, los avances importantes hacia el eventual uso del humo

para la visualización de flujos empezó en los años treinta con el trabajo notable de A. M. Lippish (Darmstad 1937) y F. N. Brown (Notre Dame 1937) (6).

Brown y Lippish fueron los que establecieron las técnicas de visualización en los túneles de viento; Brown logró notables avances con respecto a Lipptsch. Por ejemplo, Brown fué el primero en hacer túneles de viento tridimensionales con rangos de contracción 24:1, comparando con 12:1 logrados por Lippisch, y además logró colocar una serie de pantallas que evitaban turbulencia, logrando mantener ésta muy por debajo de los anteriores experimentos en pruebas de alta velocidad. Brown logró incrementar el rango de contracción a 48:1 y 96:1 produciendo niveles de baja turbulencia a velocidades de 60m/seg. Posteriormente Brown junto con U. P. Goddard (Notre-Dame 1959) lograron fabricar el primer túnel de viento supersónico con un sistema de visualización de humo. Con este equipo se lograron fotografiar flujos a velocidades superiores de 404 m/seg.

#### 2.3.1.1.a HUMO.

La palabra humo es usada en un amplio sentido de la palabra en visualización de flujo e incluye una variedad de materiales que producen humo, vapores, gases y neblinas. Dicho humo debe tener ciertas características, tales como: ser generado de una manera segura ( sin riesgo para el usuario ), tener la necesaria luminosidad para que éste pueda ser fácilmente fotografiado, que no sea tóxico, corrosivo ni que la sustancia que lo produzca sea explosiva. Encontrar una sustancia que produzca humo con las características anteriores resulta, en ciertas ocasiones, muy difícil.

Las sustancias que generalmente se han utilizado para producir humo son: tabaco, madera, paja húmeda y productos

químicos como tetraclorito de titanium. Ultimamente se ha dado gran interés al uso de aerosol en lugar de humo debido a sus propiedades relacionadas con la meteorología, contaminación de aire, cámara de nubes, combustión de combustible sólido etc.

Existen dos consideraciones más que se deben tomar en cuenta para escoger la sustancia generadora de humo; las partículas del humo o del aerosol deben ser lo más pequeñas posibles para que su movimiento sea aproximado al del fluido en estudio. Estas deben tener una densidad aproximada a la del fluido y deben ser lo suficientemente densas para que se fotografíe todo el patrón de comportamiento.

Hay muchas mezclas de aceites hidrocarburos que, indudablemente, pueden ser usados para producir humo por combustión y vaporización. Desde el punto de vista de seguridad en el laboratorio, es deseable el uso de vaporización más que el de combustión. Además, resultaría favorable utilizar aceite que se vaporice a muy baja temperatura y que sea poco flamable. De los aceites comunmente usados para producir humo, el aceite mineral requiere de una temperatura muy alta para la vaporización, mientras que el vegetal tiene una temperatura de vaporización muy baja. El keroseno reúne muchas de estas características, ya que posee una buena luminosidad, buen tamaño de película, baja temperatura de vaporización y, una de las características más importantes, es poco flamable.

#### 2.3.2.1.b GENERADOR DE HUMO POR MEDIO DE KEROSENO.

Aunque el primer generador de humo por medio de aceite, fue desarrollado por Preston y Sweeting(6), uno de los mas eficientes generadores de humo fué hecho por Brown en 1961(6). Grandes cantidades de denso humo de keroseno se produjeron rapidamente de forma segura con 4 tubos generadores.

Una resistencia plana es colocada en medio de un cuadrado de paredes delgadas de 55 mm<sup>2</sup>. Dicho cuadrado tiene un ángulo de inclinación de 60 grados (para un conveniente deslizamiento del keroseno) junto con una válvula reguladora de alimentación situada en la parte superior del mismo, esta última deja caer alrededor de 2 gotas por segundo a la resistencia. Cuando la alimentación es superior a la descrita, resulta ineficiente, quedando mucho combustible sin quemar en la parte inferior, donde cuenta con un purga y un ventilador, este último es usado para forzar el humo a salir a través del sistema.

Antes de inyectar el humo generado, éste se hace pasar por un intercambiador de calor de aproximadamente 42 mm de diámetro a temperatura ambiente, para evitar así la condensación en los inyectores. El sistema tiene localizado válvulas secundarias de drenaje a lo largo de éste, una en cada doblez inferior del tubo con el fin de quitar el exceso de aceite no vaporizado y para remover el aceite condensado en el dispositivo intercambiador.

Después de pasar por el intercambiador de calor, el humo se hace pasar a un colector que lo lleva a un filtro de tela absorbente. Este filtro sirve para remover la mayoría de impurezas que tiene el aceite y para una distribución uniforme del humo.

Los generadores de este tipo se han construido en unidades sencillas, dobles y cuadruples. Con el incremento de unidades se obtiene un volumen mayor al humo generado.

#### 2.3.1.1c METODO DE ALAMBRE DE HUMO (smoke wire method).

El método del alambre de humo fué desarrollado por Raspert y Moore en los principios de los cincuentas y posteriormente fue mejorado hasta obtener filamentos de humo muy fino, capaces de representar regiones de transición y fenómenos complejos de flujo. El humo es producido por aceite vaporizado desde un alambre con diámetro aproximado de 0.1 mm, calentado por un

sistema eléctrico. La técnica fue inicialmente aplicada para determinar perfiles de velocidades en la capa límite. Actualmente las aplicaciones incluyen la investigación de flujos turbulentos.

La técnica de alambre de humo está limitada a aplicaciones donde el número de Reynolds dividido entre el diámetro del alambre sea aproximadamente 20.0. Para aplicaciones parciales, este dispositivo requiere velocidades en el túnel del orden de 4 a 6 m/s .

Un científico llamado Cornell, hizo un estudio de materiales usados para generar humo con este método; las conclusiones que obtuvo fueron que las partículas del humo deberían ser producto de una vaporización en forma de aerosol, de tal forma que fueran partículas muy pequeñas de líquido ( aprox.  $1\mu$  de diámetro ) y no partículas sólidas producto de una combustión. La resistencia calorífica y el tamaño, son factores importantes en el proceso de selección de alambre adecuado para cada experimento. Los diámetros recomendados son 0.025, 0.076 y 0.152 mm de materiales de acero inoxidable o de tungsteno. Para minimizar la turbulencia producida por el alambre, el número de Reynolds dividido entre el diámetro del alambre en  $\mu$ mm debe mantenerse menor que 20.

Los aceites que se han usado en este tipo de método son de una gran variedad. Muchos del tipo lubricante, aceites minerales, y productos disponibles en el mercado. Los componentes comerciales que dieron mayor resultado, fueron productos compuestos de aceite mineral de grado y aceite de anís con tinta china mezclada. El aceite es un producto fácil de usar y, debido a que se requiere de pequeñas cantidades resulta económico.

Existen muchos problemas de seguridad asociados con la generación de humo en grandes cantidades, pero en el caso de un túnel de circuito abierto con la salida al exterior del laboratorio, estos problemas se eliminan.

En algunos libros se habla de numerosos métodos con los cuales se puede revestir de aceite al alambre, cada uno tiene sus

ventajas sobre los otros. Un método recomendado para una posición vertical del alambre, es el método de alimentación de gravedad presurizada; pero presenta en ciertas ocasiones, un goteo continuo en el alambre y posteriormente en el modelo. Otro método consiste en revestir el alambre de aceite por medio de una franela empapada de éste. Cuando se trató de hacer de forma automática, el aparato tenía que ser instalado dentro de la zona de pruebas causando interferencia con el flujo y por ende con la visualización. Por lo anterior, la alimentación generalmente se hace en forma manual, lo cual resulta poco convencional pero muy efectivo para lograr una capa uniforme de aceite alrededor del alambre.

Debido a que el alambre siempre es situado en la zona de pruebas junto al modelo, ya sea en la parte anterior o posterior, se deben tomar las precauciones para evitar alteraciones del flujo debidas a la presencia de éste.

#### 2.3.1.2 METODOS DE VISUALIZACION POR MEDIOS OPTICOS.

Frecuentemente el flujo es alterado por instrumentos de medición de velocidad, presión y temperatura, de tal forma que los experimentos muestran datos imprecisos y erróneos.

Los métodos ópticos ofrecen la gran ventaja de no causar disturbios e interferencias con el flujo cuando se aplican adecuadamente, y se pueden utilizar como una herramienta adicional para otros métodos de visualización. En algunas ocasiones los datos obtenidos por este método son lo suficientemente precisos como para conocer parámetros importantes del flujo, en otras ocasiones solo se utilizan para datos cuantitativos del mismo. A continuación se mencionarán algunos de los principales tipos de visualización de flujo por métodos ópticos.



### 2.3.1.2a METODO DE SOMBRAS

La técnica de sombra es un método para visualización directa de un fenómeno de flujo. Para representar gráficamente esta técnica, considerese un campo de flujo, como el mostrado en la figura 1.1, con un gradiente de densidad en la dirección  $y$  y  $y'$ . Los rayos de luz paralelos entran a la sección de pruebas en dirección perpendicular al eje  $y$ , en regiones donde el gradiente de densidad es nulo, los rayos conservan la perpendicularidad, mientras que cuando existe una variación en la densidad se presenta una deflexión de los rayos causando finalmente, secciones oscuras y claras en una pantalla.

Este método es un método de visualización de tipo óptico directo, esto es que sus efectos se pueden observar a simple vista. Aunque se podría creer que dada su simpleza, esta técnica es poco usada, la gráfica de sombra es extremadamente útil para visualizar flujos turbulentos, y puede ser utilizado para localizar las ondas de choque con gran precisión.

### 2.3.1.2b EL INTERFEROMETRO

El interferómetro de Mach-Zehnder, es el instrumento más preciso para visualización de flujos (Fig 1.2). El funcionamiento de este instrumento consiste en lo siguiente:

a) Una fuente de luz se dirige hacia un lente  $L_1$ , el cual afoca dicha fuente hacia un plato separador  $S_1$ . Dicho plato permite que la mitad del rayo de luz se dirija hacia el espejo  $M_1$  y la otra mitad hacia el espejo  $M_2$ .

b) El rayo dirigido hacia el espejo M1, es reflejado por éste hacia el plato separador S2 a través de la sección de pruebas. Por otra parte, el rayo reflejado hacia el espejo M2 se dirige hacia el mismo punto que el anterior, pero sin ninguna alteración.

c) En el plato separador S2, los dos rayos se conjuntan y son enfocados, por medio de un lente L2, en una pantalla.

Ahora, si los dos rayos que viajaron por diferentes trayectorias, ya sea debido a propiedades refractivas o geométricas de la sección de pruebas, presentan una diferencia de fase, al unirse o conjuntarse en el plato separador S2, se atenuará la amplitud de onda (interferencia), por el contrario si no presentan diferencia de fase, las ondas se sumarán. El efecto neto de lo anterior será una iluminación no uniforme alternante (brillante y oscuro) llamadas franjas.

El número de franjas será función del número de longitudes de onda defasados de los dos rayos, de tal forma que para una longitud de onda defasada, corresponde una franja, y así sucesivamente.

El interferómetro es usado para obtener una lectura directa de la variación de densidad en la sección de pruebas. Si la densidad en la sección de pruebas cambia, sus propiedades refractivas también lo hacen, produciéndose así una sección de franjas blancas en la pantalla. Si el gradiente de densidad en la sección es nulo, solamente se formarán franjas correspondientes a los arreglos geométricos que se encuentren dentro de la sección de prueba.

El Interferómetro da una lectura cuantitativa directa de los cambios de densidad en la sección de prueba, pero estos cambios son representados como valores integrados a los del campo de flujo. Este método es aplicable a un amplio rango de condiciones de flujo desde velocidad de 1 pie/s con capa límite y libre convección , hasta fenómenos de ondas de choque en fluidos supersónicos.

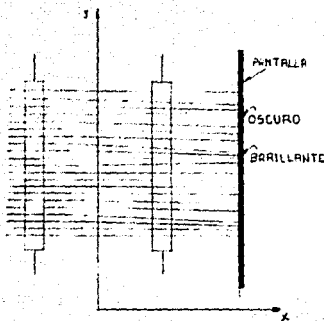


FIG. 1.1  
MÉTODO DE SOMBRAS

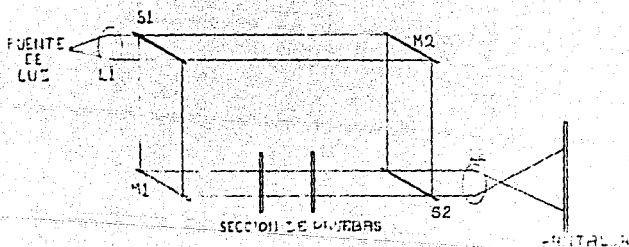


FIG. 1.2  
INTERFERENCIA

CAPITULO 3  
BALANZA DE BRAZOS  
DISEÑO Y CONSTRUCCION

3.1 INTRODUCCION

Tomando en cuenta las características de las balanzas mencionadas en el capítulo 2, y las necesidades requeridas en la materia de Dinámica de Fluidos que se imparte en la Facultad de Ingeniería, se optó por diseñar y fabricar una balanza de brazos. Este tipo de balanza con sus accesorios provee un complemento esencial para el estudio aerodinámico subsónico. El equipo es completamente seguro y requiere de un mínimo de supervisión para el estudiante por parte del instructor.

La balanza consiste en un par de "brazos" perpendiculares entre sí, paralelos y normales a la línea central axial del túnel. Las fuerzas de sustentación y arrastre que actúan sobre el modelo bajo prueba, se miden compensando, por medio de pesos deslizable, los momentos generados por éstas (fig. 2.5 - dibujo 1A-02). El arreglo general, los planos de fabricación y las fotografías de la balanza fabricada se muestran al final del capítulo.

3.2 ENSAMBLE DE LA BALANZA

A continuación se mencionan las piezas que componen la balanza:

i) Brazo de arrastre (plano 3A-1002): dicho brazo presenta en la parte graduada inferior (Mca 3) un peso deslizable principal (Mca 9), un peso secundario en la graduación superior y en el extremo contrario un contrapeso.

ii) Brazo de sustentación (plano 3A-1001): Al igual que el brazo de arrastre, el brazo de sustentación posee dos pesos deslizables (uno principal y uno secundario) y un contrapeso en la parte posterior. Además cuenta con un barrenado en la parte superior provisto de un tornillo prisionero para alojar el soporte del modelo junto con una carátula graduada.

iii) Peso estabilizador (plano 3A-1001)(Mca 5): Este peso cuenta con una barra de  $3/8''$  de diámetro en la parte superior con cuerda estandar en uno de los extremos, con el fin de que se una a la parte inferior del brazo de sustentación. Además de estabilizar el movimiento de los brazos, sirve como amortiguador para las vibraciones que se presentan en el modelo al someterse al fluido.

iv) Plato principal (2A-1003): Como muestra el arreglo general 4C-1000, el plato principal es el que soporta a los dos brazos y sirve como unión de éstos, con la mesa-soporte.

v) Recipiente de aceite (plano 1A-1005): Dicho recipiente debe tener un litro de aceite en su interior, con el objeto de que sirva como un amortiguador al introducir el peso estabilizador en

él, de esta manera disminuirán las vibraciones que se presentan en el mismo.

vi) Indicadores de Balance (plano 2A-1004): El indicador de balance muestra cuando los brazos se encuentran en la posición "CERO" (posición de equilibrio). Esto es esencial para la calibración de la balanza.

El indicador más corto se instala para equilibrar el brazo de arrastre (DIRECCION PARALELA AL FLUJO), y el más largo para el brazo de sustentación.

vii) Mesa-soporte (Mca 8, plano 4C-1000): Dicha mesa, como su nombre lo indica, soporta toda la estructura de la balanza y tiene un serie de barrenos para fijarla al túnel de viento, y dejarla completamente balanceada.

viii) Soporte del modelo (plano 2A-1004): El soporte tiene un tornillo prisionero en la parte superior y una carátula graduada en la parte inferior, para dar el ángulo de ataque requerido.

Para el ensamble de la balanza, se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Se introduce el peso estabilizador en el tanque de aceite y se vierte en éste, un litro de aceite.
- b) Se atornilla el tanque de aceite en la parte inferior de la mesa-soporte.
- c) Se atornilla el plato principal en la parte superior de la misma.

- d) Se atornillan los indicadores de balance en la mesa soporte.
- e) Se coloca el brazo de arrastre encima del plato principal, de tal forma que los soportes en forma de "v" coincidan con las ranuras del plato principal y la parte graduada con el indicador de balance.
- f) Acercando el brazo de sustentación a su posición, se atornilla FIRMEMENTE el peso estabilizador a éste. Después se coloca el brazo haciendo coincidir la graduación con el indicador de balance.
- g) Se colocan los pesos deslizables secundarios en la graduación superior de ambos brazos.
- h) Se colocan los contrapesos en la parte contraria a la graduación de cada brazo. Estos contrapesos tienen un tornillo prisionero cada uno, que sirve para fijarlos una vez que se encuentre nivelado el modelo.
- i) Se coloca la mesa-soporte en las barras situadas en la parte inferior de la zona de pruebas del túnel. Una vez atornillada, se sube toda la estructura hasta los niveles indicados. Esta operación se debe hacer entre dos personas para mayor facilidad.



- j) El soporte del modelo debe colocarse abriendo la zona de pruebas de túnel, y colocandolo con el ángulo de ataque deseado.

Debido a que el túnel de viento se utiliza en innumerables proyectos, la balanza fue diseñada para ser desmontada del túnel completamente. Sin embargo, para un desmontaje parcial, el recipiente de aceite, los indicadores de balance y el plato principal, pueden permanecer fijos en la mesa-soporte mientras que los demás accesorios pueden guardarse en una caja aparte.

### 3.3 OPERACION

Para medir las fuerzas de arrastre y sustentación de un modelo en particular, éste se coloca en el "soporte del modelo" y debe fijarse al mismo por medio de un tornillo prisionero haciendo coincidir los puntos blancos del modelo y el soporte. Posteriormente al colocar el soporte en la parte superior de la balanza se debe de dar el ángulo de ataque deseado con la carátula graduada.

Cuando el modelo se encuentre fijo en la parte superior de la balanza y con el ángulo de ataque deseado, se debe nivelar la balanza por medio de los contrapesos que se encuentran en la parte posterior de cada brazo, después, se procede a encender el túnel de viento y aumentar la velocidad de flujo. Al incrementar dicha velocidad se presentarán en el modelo las fuerzas de sustentación y arrastre, causando que se desnivele la balanza. Para obtener el valor de dichas fuerzas se nivela nuevamente el sistema, por medio de las pesas deslizables, moviendo éstas a lo largo del brazo graduado.

Los brazos de la balanza se encuentran graduados en unidades de fuerza (Newtons), de tal forma que la lectura de las fuerzas, una vez que el sistema esté nivelado, se hace en forma directa. Al finalizar las pruebas, los modelos, el soporte del modelo, los brazos de sustentación y arrastre, las pesas y los contrapesos deben ser desmontados y guardados en sus cajas correspondientes.

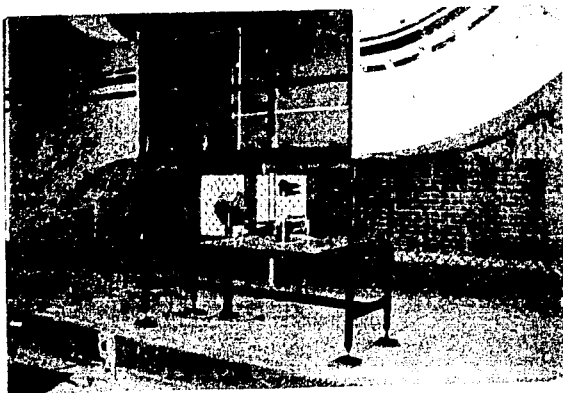


FIG. 3.1 TUNEL DE VIENTO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

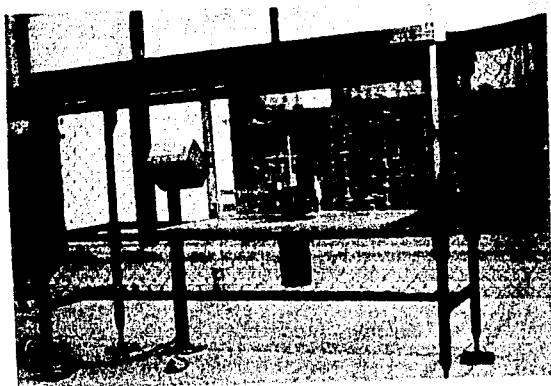


FIG. 3.2 MONTAJE DE LA BALANZA Y EL MODELO "ESFERA" EN EL TUNEL

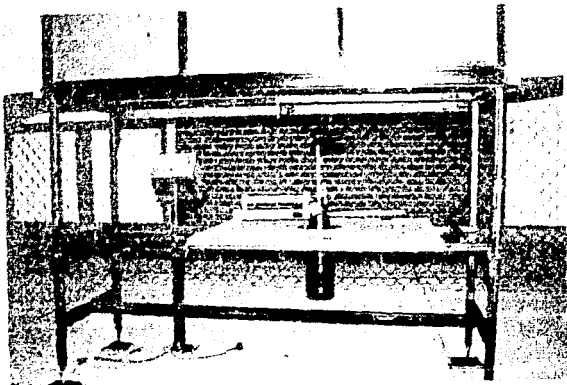


FIG. 3.3 MONTAJE DE LA BALANZA Y EL MODELO "PERA" EN EL TUNEL

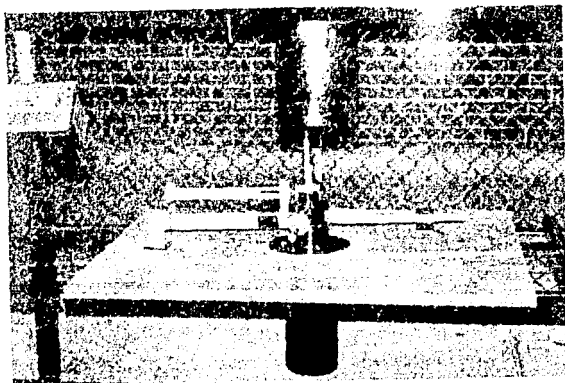


FIG. 3.4 MONTAJE DE LA BALANZA Y EL PERFIL  
AERODINAMICO "ALA DE AVION" EN EL TUNEL

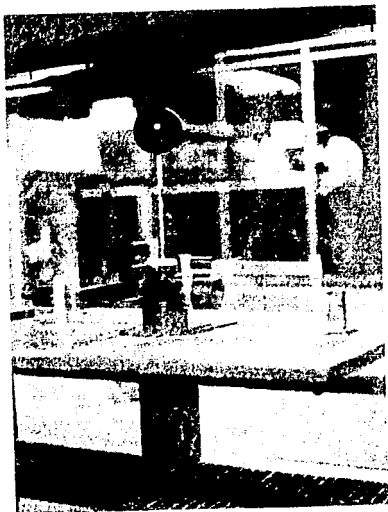


FIG. 3.5 LA FOTOGRAFIA MUESTRA UN ACERCAMIENTO DE LA BALANZA JUNTO CON EL MODELO "ESFERA".

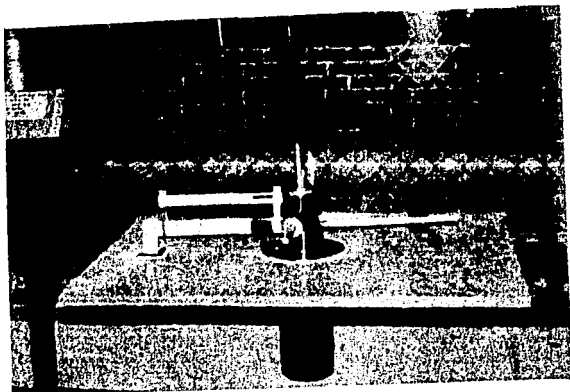


FIG. 3.6 FORMA DE MONTAJE DEL PERFIL AERODINAMICO "ALA DE AVION" EN LA BALANZA PARA LA MEDICION DE FUERZAS.

## 3.4 LISTA DE MATERIALES

ARREGLO GENERAL 4C - 1000

HOJA 1/2

EQUIPO BALANZA

FECHA 09/Sep/91

MCA	PLANO No	UNIDAD	CANT	DESCRIPCION	MAT
1	2A-1004	PZA	1	SOPORTE DEL MODELO	
1		PZA	1	REDONDO 5/16"φ X 4-9/16" LG	AI116
2		PZA	1	CARATULA 1-7/8"φ ext X 1/8" esp	ACRI
3		PZA	1	TORNILLO ALLEN 3/16"φ X 1/4" LG	AC
2	3A-1001	PZA	1	BRAZO DE SUSTENTACION	
1		PZA	1	REDONDO 1-1/2"φ X 2-5/16" LG	CLR
2		PZA	1	SOLERA 1/8" X 3/4" X 9-1/2" LG	AI116
3		PZA	1	SOLERA 1/8" X 1-1/8" X 10-3/16" LG	AI116
4		PZA	1	REDONDO 3/8"φ X 6-1/4" LG	CLR
5		PZA	1	REDONDO 1-3/8"φ X 3-1/2" LG	CLR
6		PZA	1	REDONDO 3/8"φ X 11-3/8" LG	CLR
7		PZA	2	REDONDO 1/4"φ X 3/4" LG	CLR
8		PZA	1	REDONDO 2"φ X 1-5/8" LG	CLR
9		PZA	1	REDONDO 3/4"φ X 1-1/2" LG	CLR
10		PZA	1	REDONDO 1-1/2"φ X 1-3/8" LG	CLR
11		PZA	2	SOLELA 1/8" X 1/2" X 3-1/4" LG	AI116
3	3A-1002	PZA	1	BRAZO DE ARRASTRE	
1		PZA	1	TUBO 2-5/16"φ ced 20 X 2-3/4" LG	AC
2		PZA	1	SOLERA 1/8" X 3/4" X 9-1/2" LG	AI116
3		PZA	1	SOLERA 1/8" X 1-1/8" X 10-3/16" LG	AI116
4		PZA	1	REDONDO 3/8"φ X 1-1/8" LG	CLR

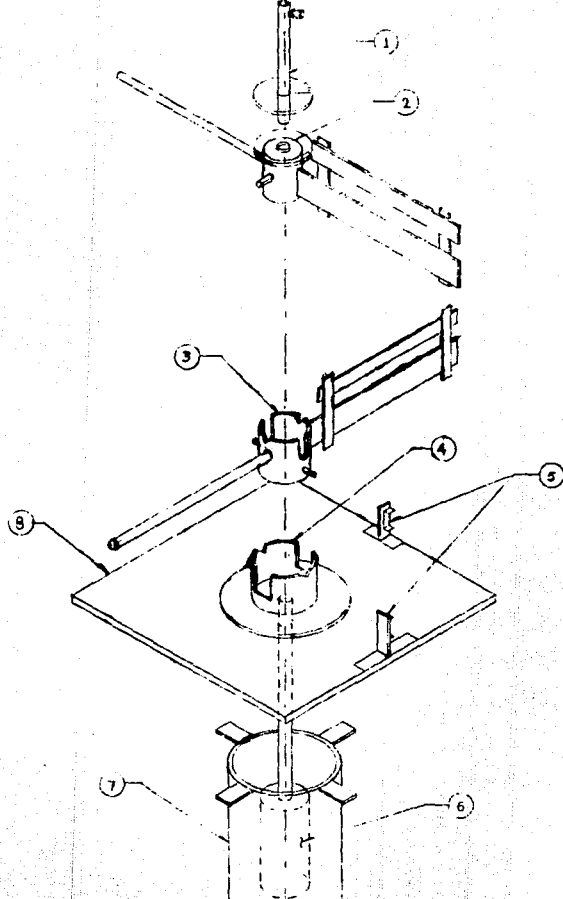
ELABORO MGH PLANO No. 4C-1000

EQUIPO BALANZA

FECHA 09/Sep/91

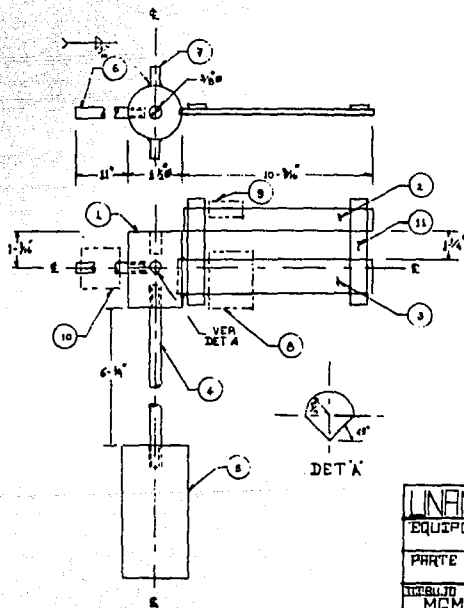
MCA	PLANO No	UNIDAD	CANT	DESCRIPCION	MAT
		PZA	2	REDONDO 1/4"φ X 3/4" LG	CLR
		PZA	2	SOLERA 1/8" X 1/2" X 3-1/4" LG	AI316
		PZA	1	REDONDO 3/4"φ X 1-1/2" LG	CLR
		PZA	1	REDONDO 1-1/2"φ X 1-3/8" LG	CLR
		PZA	1	REDONDO 2"φ X 1-5/8" LG	CLR
4	2A-1003	PZA	1	PLATO PRINCIPAL	
		PZA	1	PLACA 1/4" X 6-1/2" X 6-1/2" LG	AC
		PZA	1	TUBO 3"φ ced 20 X 1-3/4" LG	AC
5	2A-1004	PZA	2	INDICADOR DE BALANCE	
		PZA	1	P.R.T. 1" X 1/2" X 2-1/4" LG	GALV.
		PZA	1	P.R.T. 1" X 1/2" X 4-1/4" LG	GALV.
		PZA	1	PLACA 1/4" X 1" X 2" LG	GALV.
		PZA	1	PLACA 1/4" X 1" X 2" LG	GALV.
		PZA	1	LAMINA CAL 10 X 3/4" X 2" LG	GALV.
		PZA	1	LAMINA CAL 10 X 3/4" X 2" LG	GALV.
6	1A-1001	PZA	1	PESO ESTABILIZADOR	
		PZA	1	REDONDO 1-3/8"φ X 3-1/2" LG	AC
7	1A-1005	PZA	1	RECIPIENTE DE ACEITE	
		PZA	1	TUBO 4-1/2"φ ced 10 X 7-3/8" LG	AC
		PZA	1	LAMINA CAL 10 X 4-5/8" X 4-5/8" LG	AC
		PZA	1	LAMINA CAL 10 X 1" X 1/2" LG	AC

ELABORO HGM PLANO No. 4C-1000



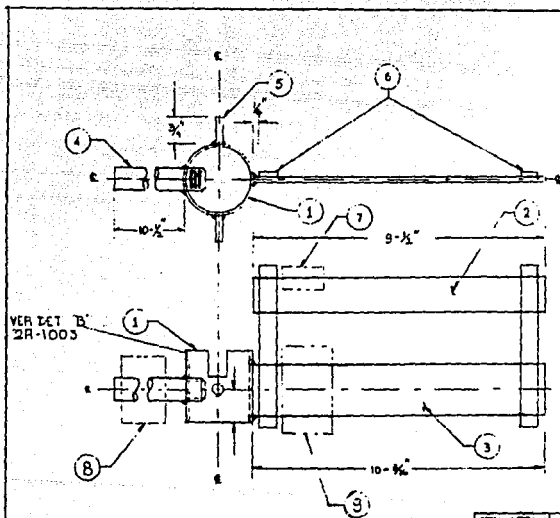
7	1	BRANZO DE APARELHO	3A-100
4	1	PLAIO PRINCIPAL	2A-100
5	2	INDICADORES DE BALANCA	2A-100
6	1	PESO ESTABILIZADOR	1A-100
7	1	RECIPIENTE DE AGETE	1A-100
8	1	MESA - SOPORTE	4C-100





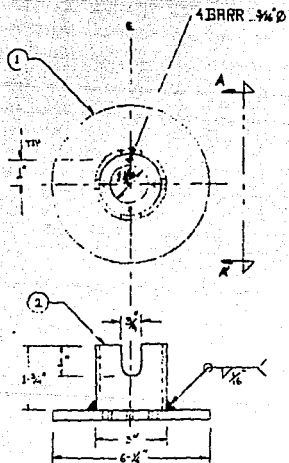
Mca	Carit	DESCRIPCION	MAT
1	1	RNDO 1-1/2" Ø X 2-3/8" Lg	AC
2	1	SOLERA 1/8" X 3/4" X 9-1/2" Lg	AI
3	1	SOLERA 1/8" X 1-1/8" X 10-3/16" Lg	AI
4	1	RNDO 3/8" Ø X 5-1/4" Lg	AC
5	1	RNDO 1-3/4" Ø X 3-1/2" Lg	AC
6	1	RNDO 3/8" Ø X 11-1/8" Lg	AC
7	2	RNDO 1/4" Ø X 3/4" Lg	AC
8	1	RNDO 1/2" Ø X 1-3/8" Lg	AC
9	1	RNDO 3/4" Ø X 1-1/2" Lg	AC
10	1	RNDO 1-1/2" Ø X 1-3/8" Lg	AC
11	2	SOLERA 1/8" X 1/2" X 3-1/4" Lg	AI

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA		
EQUIPO	BALANZA		
PARTE	BARZO DE SUSTENTACION		
DIBUJISTA	APROBADO	FECHA	DIBUJO N°
MGM	F'S	8/29/51	3A-1001

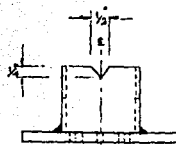


Cant	DESCRIPCION	Mat
1	TUBO 2-5/16" x 20 X 2 1/2	AC
2	SOLETA 1/8" X 3/4" X 3 1/2	AI
3	SOLETA 1/8" X 1 1/2" X 10 3/4	AI
4	RNDO 3/8" Ø X 1 1/8" L	AC
5	RNDO 1/4" Ø X 3/4" L	AC
6	SOLETA 1/8" X 1/2" X 3 1/2	AI
7	RNDO 3/8" Ø X 1 1/2" L	AC
8	RNDO 1-1/2" Ø X 1-3/8" L	AC
9	RNDO 2" Ø X 1-5/8" L	AC

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA		
EQUIPO	BALANZA		
PARTE	BRAZO DE ARRASTRE.		
DIBUJO MGM	APROBADO FS	FECHA 9/69/91	DIBUJO N° 3A-1002

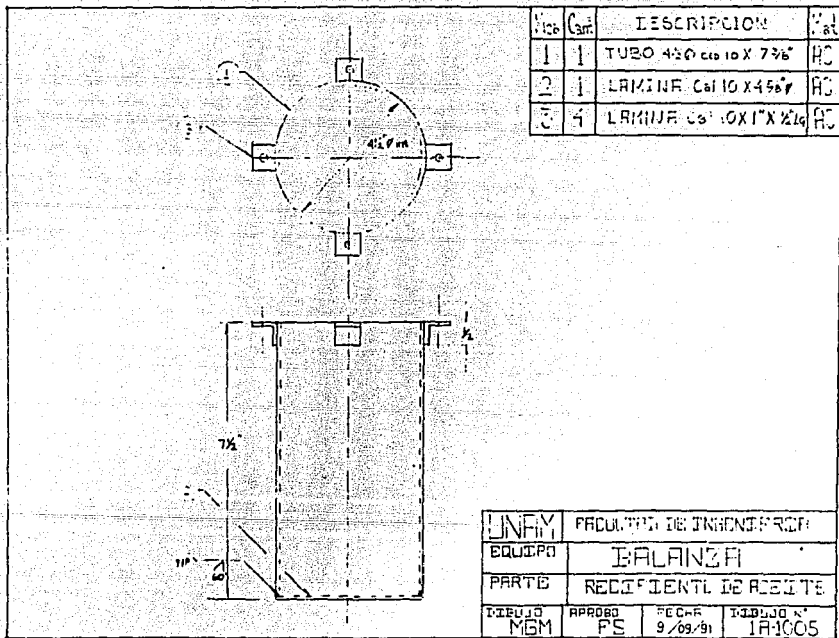


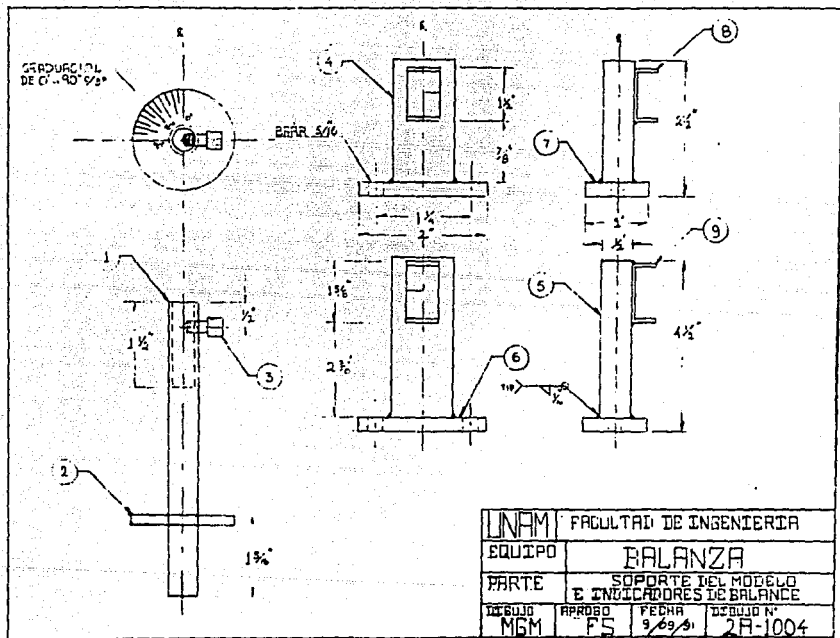
Mto	Cant.	DESCRIPCION	Mnt
1	1	PLACA 1/4" X 6-1/2" X 6-1/2"	AC
2	1	TUBO 3" Ø c.c. 20 X 1-3/4"	AC



VISTA A-A'

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA		
EQUIPO	BALANZA		
PARTE	PLATO PRINCIPAL		
DIBUJADO	APROBADO	FECHA	DISEÑO
MGM	FS	9/69/81	2A 1003





**CAPITULO 4**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL**  
**GENERADOR DE HUMO**

**4.1 DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE HUMO**

Dados los antecedentes del generador de humo por medio de keroseno, elaborado por Brown en 1961(6), en el presente trabajo se diseño y construyó un dispositivo semejante a dicho generador, descrito en el capítulo de generalidades, haciendo algunas modificaciones de acuerdo a las necesidades del proyecto. El generador propuesto está constituido básicamente de dos resistencias, un contenedor de aceite y un envolvente, que se acoplan como se describe a continuación:

Tanto las resistencias como el contenedor, se encuentran dentro de un poliedro (envolvente) aislado por el interior con empaque para alta temperatura "GARLOCK". La alimentación de aceite esta regulada en la parte superior por medio de una válvula de aguja, la cual deja caer paulatinamente el aceite al contenedor para lograr un volúmen adecuado de humo. Cabe señalar que cuando se alimenta excesivamente el contenedor, el efecto resulta contraproducente ya que el volúmen de humo producido, contrario a lo que se pensaría, disminuye. En la parte frontal del generador se cuenta con una entrada de aire comprimido, el cual favorece la vaporización del aceite. Aunque el producto resultante de este sistema generador no es humo en el sentido estricto de la palabra, se nombrará como tal para fines prácticos.

El humo es forzado por el aire comprimido a salir por un sistema inyector, el cual consta de 4 agujas de 1/4"  $\phi$  que integran el humo al flujo y lo dirigen hacia el modelo.

#### 4.2 APLICACIONES.

Cada filamento de humo que es emanado de cada inyector, al integrarse al flujo, llega a representar las líneas de emisión. Puesto que generalmente se utiliza una línea continua de humo, los patrones resultantes son producto de un efecto integrado al movimiento del flujo que debe ser considerado como tal. El humo puede dar un dato experimental confiable, tanto como puede distorsionar el experimento. Por ejemplo, en una región de transición, las ondas generadas son muy débiles. Para hacer visibles dichas ondas se requiere de humo poco denso, muy fino. Si el humo es denso, las ondas no se podrán ver y sería muy fácil concluir que no existe turbulencia en esa región.

Por otro lado, si se usa una línea de humo muy fina, los fenómenos generados a una distancia grande a lo largo de la superficie del modelo, no se definirían y se llegaría, también, a una conclusión errónea.

Es importante recordar que los patrones de humo representan una deformación material o una representación lagrangiana del movimiento del flujo; Por lo tanto, para interpretar correctamente una fotografía, se debe tomar en consideración más de una cosa. Además es recomendable comparar los datos de las pruebas hechas con humo, con las pruebas de tinta así como con un análisis numérico si es posible.

#### 4.3 CARACTERISTICAS FISICAS

El generador esta constituido por los siguientes elementos:

- i) Envoltente
- ii) Contenedor de aceite
- iii) Sistema calefactor
- iv) Sistema eléctrico
- v) Sistema de inyección
- vi) Sistema de alimentación de aire
- vii) Sistema de alimentación de aceite

i) ENVOLVENTE: Es un poliedro hecho de lámina calibre 10, acero inoxidable 316, soldado en los extremos, con un acceso en la parte frontal para el cambio de resistencias y cableado, en caso de ser necesario.

ii) CONTENEDOR DE ACEITE: Poliedro de lámina cal 12, acero inoxidable 316, soldado en todas sus uniones. Este contenedor posee tres accesos formados con tubo 3/8"φ cédula 40, los cuales permiten la entrada de aire, aceite y salida del humo.

iii) SISTEMA CALEFACTOR: Este sistema consta de dos resistencias de potencia de 44 ohms cada una, conectadas en serie a corriente alterna de 120 volts, dando entre las dos una potencia de 660 watts.

iv) SISTEMA ELECTRICO: El sistema se compone de un cable eléctrico uso rudo de 3 hilos calibre 14, el cual alimenta a las dos resistencias conectadas en serie. Las uniones de los cables estan hechas por medio de zapatas de 1/8"φ, aisladas completamente de las paredes de la



envolvente por medio de cinta de aislar vulcanizada para alta temperatura.

v) SISTEMA DE INYECCION: El sistema consta de un tubo 1/4"φ cédula 20, el cual posee 4 perforaciones de 5/32"φ igualmente espaciadas a 3 cm cada una. En dichas perforaciones, se soldaron 4 agujas fabricadas a partir del mismo tubo, con el fin de dirigir el humo hacia el modelo y causar el mínimo de turbulencia posible. El sistema también consta de una manguera de 1/8"φ int. que dirige el humo generado hacia el tubo inyector. Dicha manguera debe tener la capacidad de soportar un temperatura relativamente alta (90 grados centígrados aproximadamente) sin deformación.

vi) SISTEMA DE ALIMENTACION DE AIRE: Este sistema consta principalmente de una válvula de aguja que se encuentra en la entrada del generador. Esta aguja es indispensable para el adecuado uso del generador ya que regula el gasto de aire que entra al generador y con esto, la densidad del humo de salida del mismo.

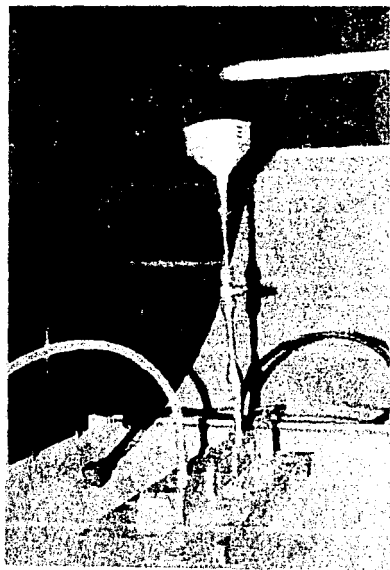
vii) SISTEMA DE ALIMENTACION DE ACEITE: Así como en el caso anterior, este sistema cuenta con una válvula de aguja, la cual regula la entrada de aceite al sistema. Es importante hacer incapié en la alimentación moderada del aceite al contenedor, ya que en el caso de ser excesiva, la densidad del humo generado será baja y casi no se distinguirá en la zona de pruebas.

#### 4.4 OPERACION

El generador de humo se coloca en la parte superior del túnel junto con las mangueras de alimentación de aire y del sistema de inyección. Posteriormente se conectan las resistencias para un precalentamiento de aproximadamente 10 min. Mientras se encuentra el generador en la etapa de calentamiento se coloca el modelo en la zona de pruebas junto con el tubo del sistema de inyección, se cierra la compuerta de vidrio procurando que ésta selle lo mejor posible y se prende el túnel en la velocidad más baja. Pasados los 10 min., se vierten aproximadamente 5 ml de aceite en el sistema de alimentación y se abre la válvula una cuarta parte durante 4 minutos. Una vez hecho esto, se abre poco a poco la válvula de alimentación de aire, hasta distinguir un volumen adecuado y denso de humo en la salida del generador. Finalmente, para lograr la visualización del flujo a través del modelo, se inserta la manguera en el tubo de inyección.

Es recomendable que al terminar de usar el generador de humo, se purgue del aceite quemado y se le de un mantenimiento adecuado a todas sus partes para una mayor durabilidad del mismo.

Los resultados de las pruebas efectuadas, las fotografías y los planos del equipo fabricado, se muestran al final del capítulo.



#### 4.1 GENERADOR DE HUMO

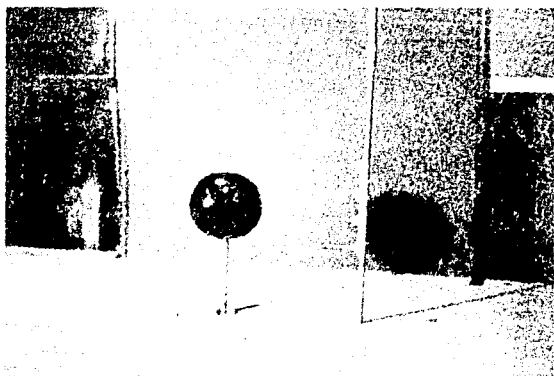


FIG. 4.1(a)

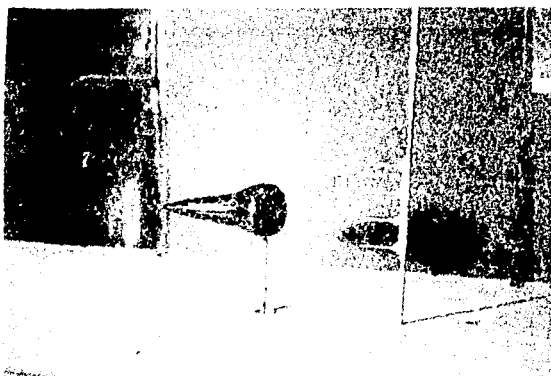


FIG. 4.1(b) LAS FOTOGRAFIAS MUESTRAN EL MODELO "ESFERA" (ARRIBA)  
Y EL MODELO "PERA" (ABAJO) COLOCADOS EN LA ZONA DE PRUEBAS

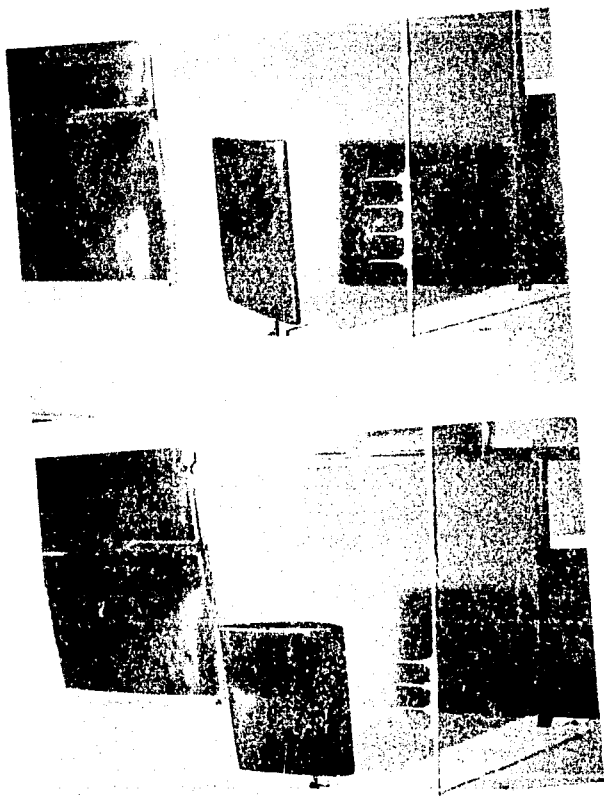


FIG. 4.2 PERFIL AERODINAMICO "ALA DE AVION" EN LA ZONA DE PRUEBAS  
DEL TUNEL DE VIENTO

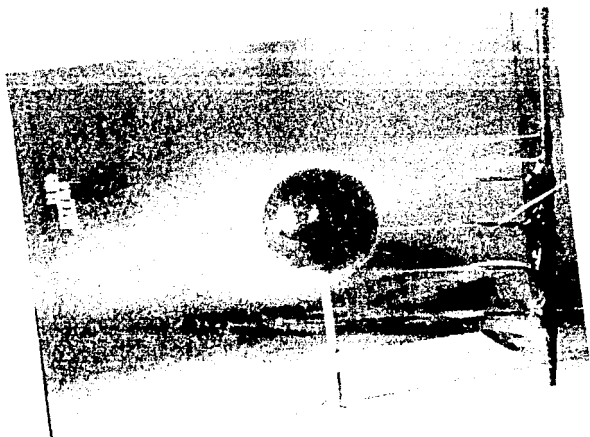


FIG. 4.3(a)

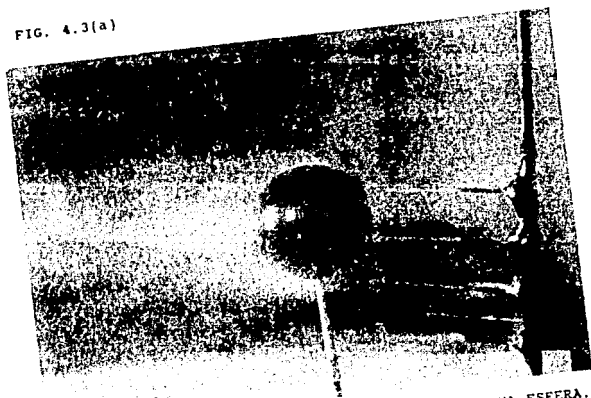


FIG. 4.3(b) FOTOGRAFIAS DEL FLUJO A TRAVES DE UNA ESFERA.  
Como se puede apreciar, existe turbulencia en  
la parte trasera de la misma. vel 2.5 m/s.

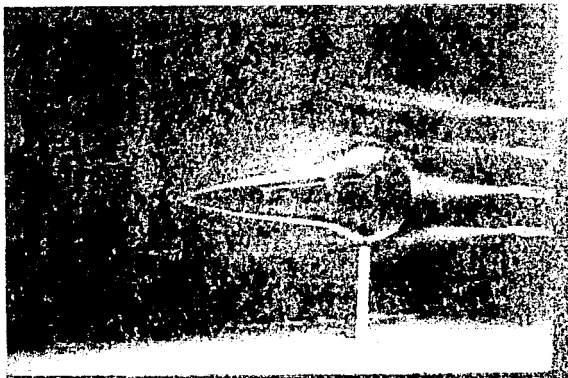


FIG. 4.4(a)

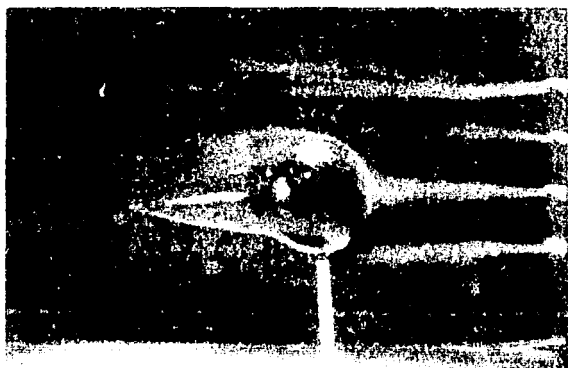


FIG. 4.4(b) FOTOGRAFÍAS DEL FLUJO A TRAVÉS DEL MODELO "PERA"  
a) Vel 2.5 m/s      b) Vel 4.5 m/s

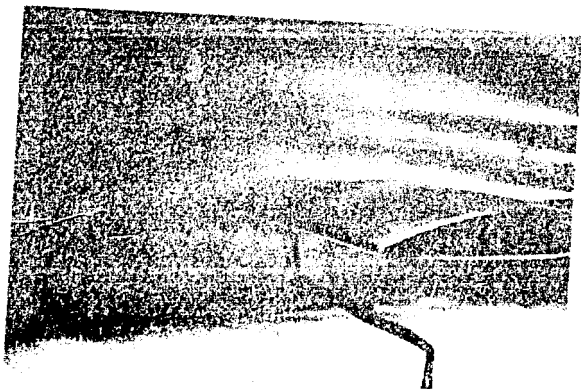


FIG. 4.5 FLUJO A TRAVES DEL PERFIL AERODINAMICO "ALA DE AVION"  
CON UN ANGULO DE ATAQUE DE 0 grados, Vel 2.5 m/s.

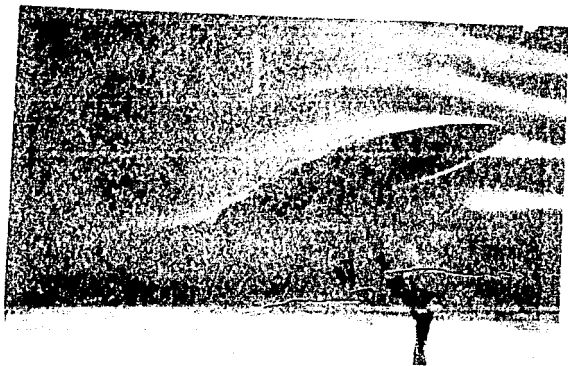


FIG. 4.6 FLUJO A TRAVES DEL PERFIL AERODINAMICO "ALA DE AVION"  
CON UN ANGULO DE ATAQUE DE 20 grados, Vel 2.5 m/s.



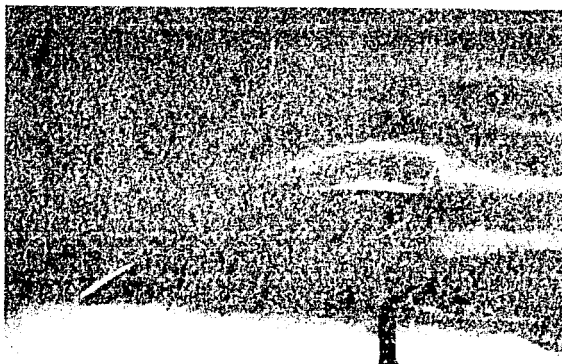


FIG. 4.7 FLUJO A TRAVES DEL PERFIL AERODINAMICO "ALA DE AVION"  
CON UN ANGULO DE ATAQUE DE 25 grados, Vel 2.5 m/s.

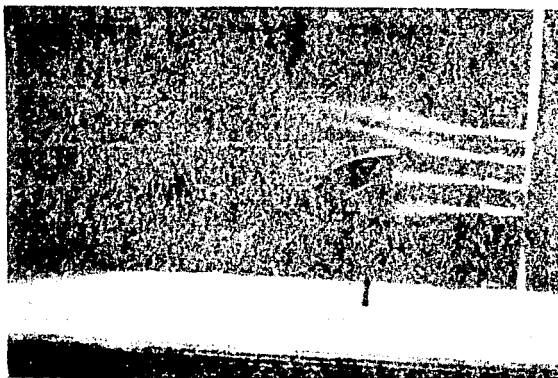


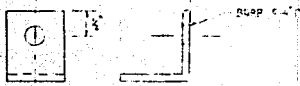
FIG. 4.8 FLUJO A TRAVES DEL PERFIL AERODINAMICO "ALA DE AVION"  
CON UN ANGULO DE ATAQUE DE 40 grados, vel 2.5 m/s.

## 4.5 LISTA DE MATERIALES

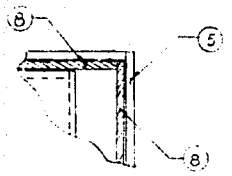
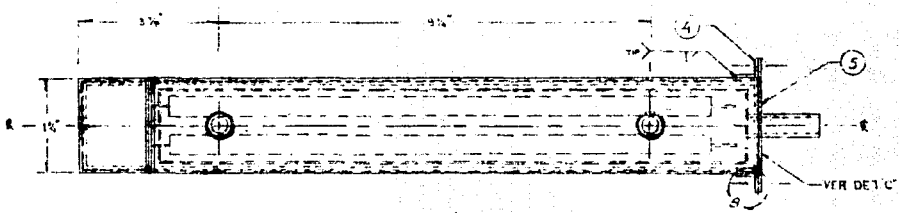
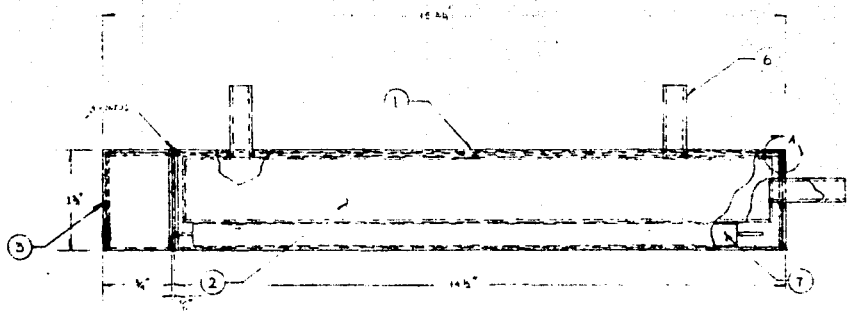
ARREGLO GENERAL 3C - 0001HOJA 1/2EQUIPO GENERADOR DE HUMOFECHA 09/Sep/91

MCA	PLANO No	UNIDAD	CANT	DESCRIPCION	MAT
1	2A-0010	PZA	1	ENVOLVENTE	
	1	PZA	2	LAMINA CAL 14 X 2-5/8" X 14-1/2"LG	AI316
2	2A-0020	PZA	1	CONTENEDOR DE ACEITE	
	1	PZA	2	LAMINA CAL 10 X 1-7/8" X 13-1/4"LG	AI316
	2	PZA	2	LAMINA CAL 10 X 1" X 7/8" LG	AI316
3	2A-0010	PZA	1	ACCESO DE MANTENIMIENTO	
	2	PZA	2	LAMINA CAL 14 X 2-5/8" X 5/8"LG	AI316
	3	PZA	1	LAMINA CAL 14 X 1-1/4" X 1-3/8"LG	AI316
4		PZA	2	LAMINA CAL 12 X 1" X 1-3/4"LG	AI316
5		PZA	1	LAMINA CAL 14 X 1-3/8" X 2-3/8"LG	AI316
6		PZA	1	TUBO 3/8"φ ced 40 X 2"LG	AI316
7		PZA	2	RESISTENCIAS DE 44 OHMS C/U, 120VAC	
8		MTS <sup>2</sup>	1	AISLANTE TIPO GARLOCK/ASBESTO	

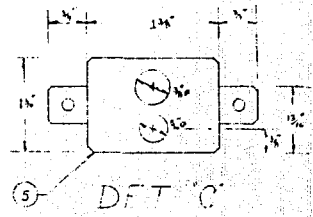
ELABORO MGM PLANO No. 3C-0001



DET "B"

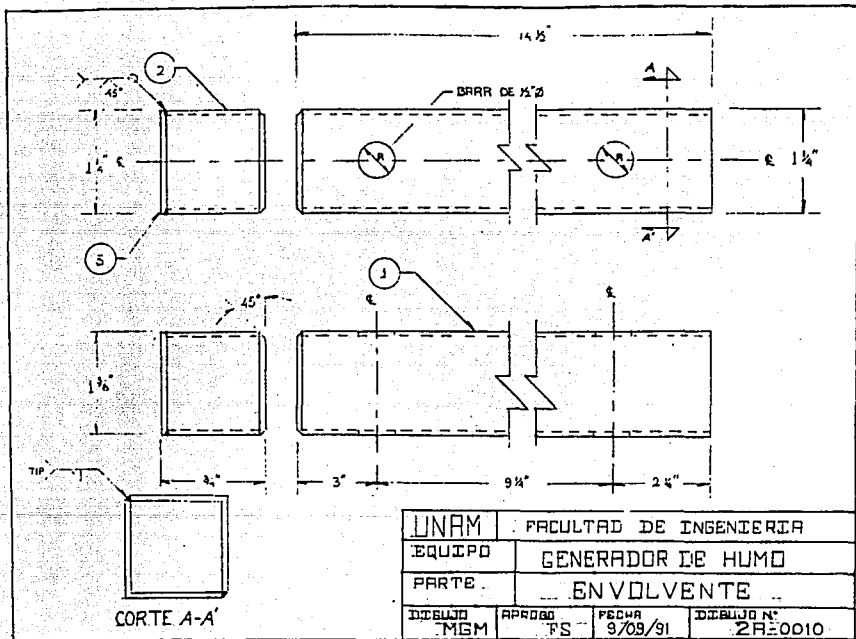


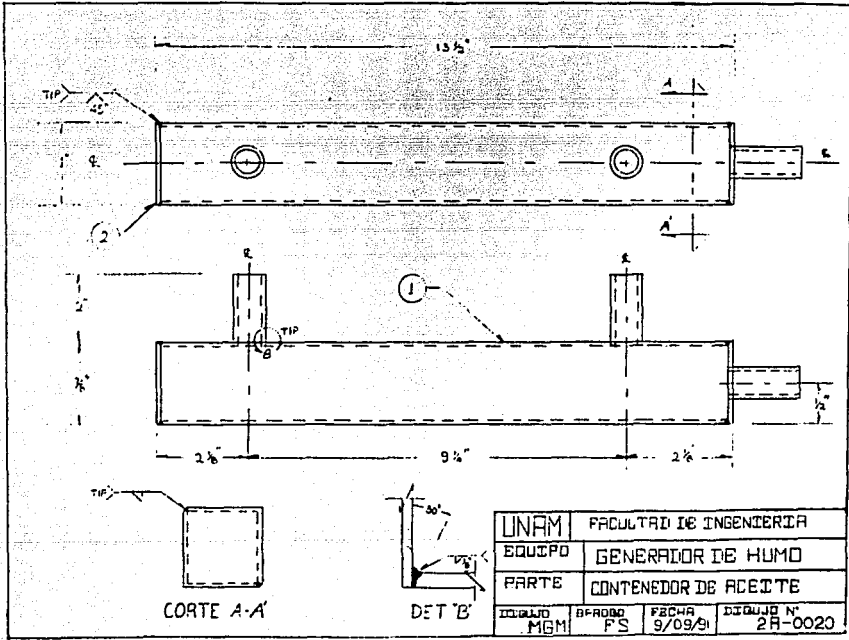
DET "A"



2	1	2A-0120
3	1	2A-0121
4	2	LUMINAR CAL 12 X 1 M
5	1	LUMINAR CAL 12 X 2 M
6	3	TUBO PARED DOB
7	2	RESISTENCIA DE F
8	4	RESORTE TIPO GR

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
EQUIPO	GENERADOR DE HUMO
PARTES	ENSAMBLE GRAL.





UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA		
EQUIPO	GENERADOR DE HUMO		
PARTE	CONTENEDOR DE ACEITE		
DISEÑO MGM	PROFESOR PS	FECHA 9/09/91	DISEÑO N° 2A-0020

## CAPITULO 5 PRACTICAS PROPUESTAS

Para medir las fuerzas de arrastre y sustentación de un modelo en particular, éste se coloca en el "soporte del modelo" y debe fijarse al mismo por medio de un tornillo prisionero haciendo coincidir los puntos blancos del modelo y el soporte. Posteriormente, al colocar el soporte en la parte superior de la balanza se debe de dar el ángulo de ataque deseado con la carátula graduada.

Cuando el modelo se encuentre fijo en la parte superior de la balanza y en el ángulo de ataque deseado, se debe nivelar la balanza por medio de los contrapesos que se encuentran en la parte posterior de cada brazo, después se procede a encender el túnel de viento con la velocidad más baja, y se aumenta la velocidad de flujo gradualmente con el reóstato colocado a la derecha del túnel. Al incrementar dicha velocidad, se presentarán en el modelo las fuerzas de sustentación y arrastre, causando que se desnivele la balanza. Para obtener el valor de dichas fuerzas, por medio de las pesas deslizables, se nivela nuevamente el sistema moviendo éstas a lo largo del brazo graduado. Los brazos de la balanza se encuentran graduados en unidades de fuerza (Newtons), de tal forma que la lectura de las fuerzas, una vez que el sistema esté nivelado, se hace en forma directa. Al finalizar las pruebas, los modelos (los cuales se muestran al final del capítulo junto con las gráficas de los resultados), el soporte del modelo, los brazos de sustentación y arrastre, las pesas y los contrapesos deben ser desmontados y guardados en sus cajas correspondientes.

## PRACTICAS

### Práctica I "Angulo de pérdida"

**Introducción.-** Los coeficientes de sustentación y arrastre para un perfil aerodinámico son funciones tanto del número de Reynolds como del ángulo de ataque; este último es aquel formado por la cuerda del perfil y el vector "velocidad del flujo".

Conforme el ángulo de ataque se incrementa, los coeficientes de arrastre y sustentación crecen hasta alcanzar un valor máximo. Cualquier incremento del ángulo de ataque correspondiente a dicho valor, causará un decremento brusco en el coeficiente de sustentación y un incremento en el coeficiente de arrastre. El ángulo donde ocurre dicho fenómeno se le denomina "ángulo de pérdida".

#### Objetivo.

El objetivo de esta práctica consiste en obtener el ángulo de pérdida correspondiente al perfil aerodinámico de un ala de avión, sometida a un flujo con una velocidad constante de 10 mts/seg.

#### Material.

- 1.- Balanza de sustentación y arrastre con todos sus accesorios.
- 2.- Perfil aerodinámico en forma de ala de avión .
- 3.- Túnel de viento

#### Método.

- 1.- Coloque el modelo con un ángulo de ataque inicial de 0 grados y sométalo al flujo, anotando las fuerzas de sustentación y arrastre correspondientes.
- 2.- Varíe dicho ángulo gradualmente incrementándolo 5 grados a la vez hasta llegar a un ángulo de 40 grados, registrando las fuerzas para cada caso.

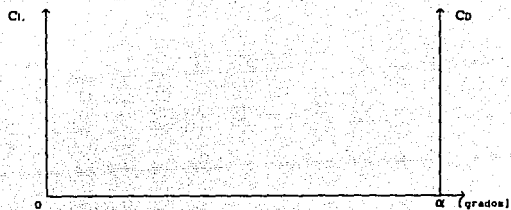


Resultados.

$V=10\text{m/s}$

$N=15$  (variac)

$\alpha$ (GRADOS)	$F_D$ (NEWTONS)	$F_L$ (NEWTONS)	$C_D$	$C_L$
0				
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				



Conclusiones..

Práctica II  
"Sustentación y Arrastre"

Introducción.- Cuando un cuerpo es inmerso en una corriente fluida, una serie de fuerzas y momentos se ejercen sobre él. En el caso de que dicho cuerpo sea simétrico con respecto a los planos formados por los ejes paralelo y normal a la dirección del flujo, los momentos desaparecen reduciéndose a un caso donde solo actúan dos fuerzas principales; La fuerza de Arrastre y la fuerza de Sustentación. Si además, el cuerpo es simétrico con respecto a dos planos de simetría (como en el caso de esferas), la fuerza de Sustentación desaparece.

Objetivo.-

El objetivo consiste en obtener el comportamiento de distintos modelos a velocidad variable, graficando su coeficiente de arrastre y su coeficiente de sustentación, contra el número de Reynolds.

**Material.-**

- 1.-Balanza de sustentación y arrastre
- 2.-Perfiles aerodinámicos (esfera, ala, gota, etc.)
- 3.-Túnel de viento.

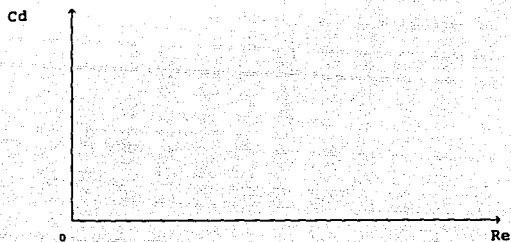
**Método.-**

- 1.-Coloque el modelo en el soporte del mismo y sométalo al flujo aumentando gradualmente la velocidad como se indica en la tabla de resultados. El ángulo de ataque recomendado para el ala de avión, es el de 15 grados por ser éste, el ángulo donde dicho perfil posee un coeficiente de sustentación máximo.
- 2.-Registre el valor de las fuerzas de arrastre y de sustentación para cada velocidad, compensando el momento que ejercen dichas fuerzas en la balanza, con los pesos deslizables de los brazos graduados.

Resultados.-

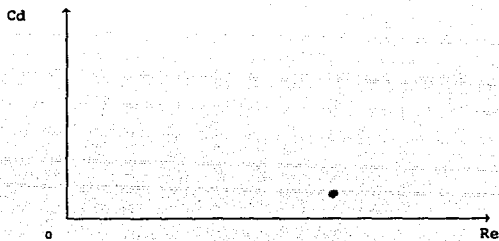
ESFERA

N	V [m/s]	Fd [N]	Re[1X10E4]	Cd
5	2.543			
7.5	4.453			
10	6.332			
12.5	8.000			
15	10.000			
17.5	11.600			
20	12.380			
22.5	13.353			
25	13.900			



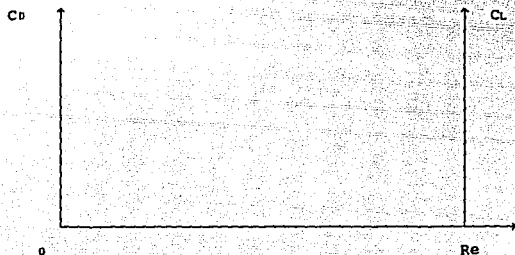
GOTA

N	V [m/s]	Fd [N]	Re[1X10E4]	Cd
5	2.543			
7.5	4.453			
10	6.332			
12.5	8.000			
15	10.000			
17.5	11.600			
20	12.380			
22.5	13.353			
25	13.900			



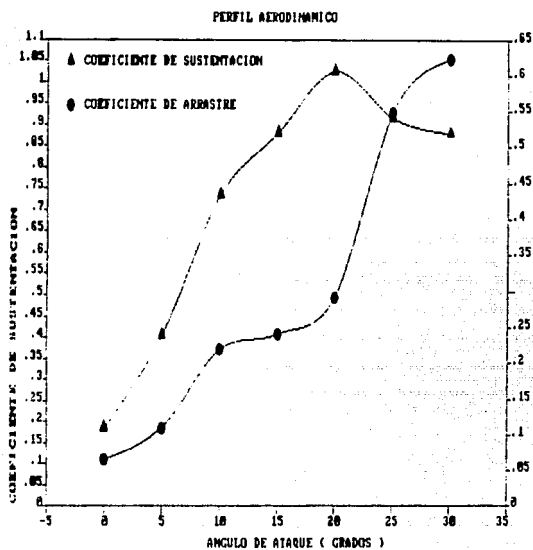
**ALA DE AVION**

N	V [m/s]	F <sub>D</sub> [N]	F <sub>L</sub> [N]	Re(1X10E4)	C <sub>D</sub>	C <sub>L</sub>
5	2.543					
7.5	4.453					
10	6.333					
12.5	8.000					
15	10.000					
17.5	11.600					
20	12.380					
22.5	13.353					
25	13.900					

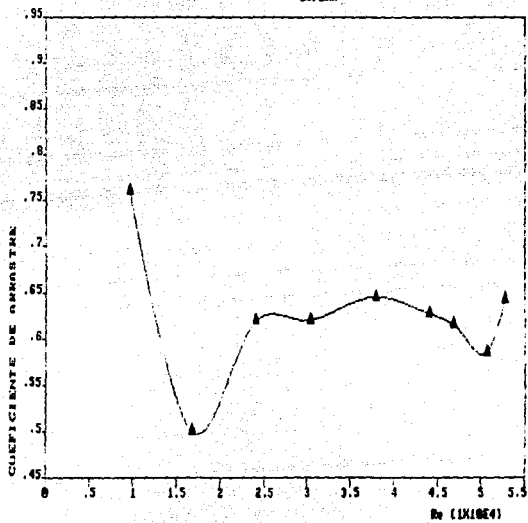


**Conclusiones.**

#### 5.4 RESULTADOS DE LAS PRACTICAS

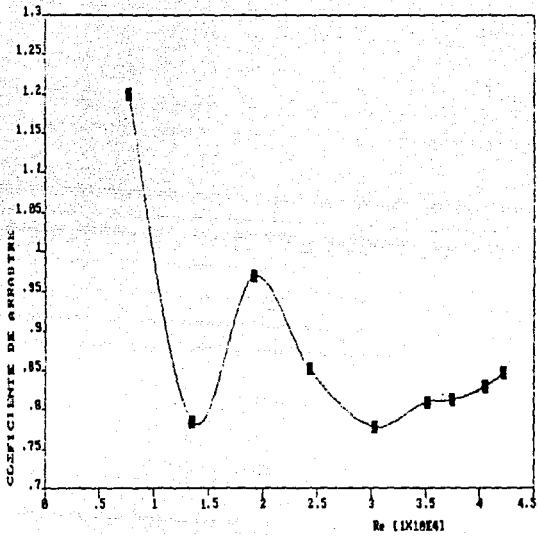


ESFERA

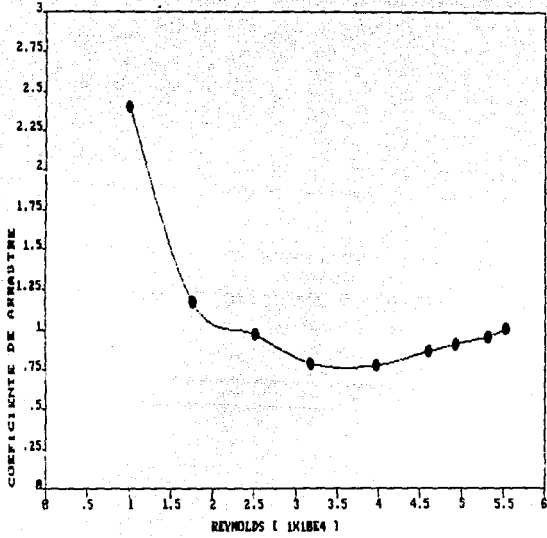




PERA



GOTA



## CONCLUSIONES

La Facultad de Ingeniería cuenta, por medio de sus laboratorios, con el apoyo práctico a la teoría correspondiente de las materias que se imparten en ella. La tendencia que se ha seguido actualmente es la de ampliar estos laboratorios con materiales didácticos que apoyen los conocimientos teórico-matemáticos de dichas materias a través de proyectos realizados por académicos y alumnos.

Con la balanza y el generador de humo diseñados y fabricados en el presente trabajo, se aporta un material didáctico sumamente valioso para las materias de Dinámica de Fluidos, Mecánica de Fluidos, Laboratorio de Máquinas Térmicas y Laboratorio de Mecánica de Fluidos fundamentalmente, dando al alumno la oportunidad de diseñar sus propios modelos, hacer los cálculos matemáticos correspondientes a la fuerzas principales de sustentación y arrastre, y comprobarlos posteriormente en el túnel de viento. Además podrá visualizar el comportamiento de los modelos a distintos ángulos de ataque y con distintos tipos de rugosidad en la superficie.

Con este material didáctico, el alumno podrá visualizar y entender, entre otros, el fenómeno de desprendimiento de capa límite y los efectos que ocasiona dicho desprendimiento en los coeficientes de arrastre y sustentación.

La balanza y el generador de humo presenta la ventaja de que su fabricación resulta ser de un precio módico y, gracias a los planos de fabricación, la reproducción de dichos equipos puede hacerse en forma sencilla.

El equipo construido, cumple en forma satisfactoria con los objetivos principales establecidos al inicio del trabajo, y resulta ser una valiosa aportación para las generaciones venideras.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) R. V. FOX/A. T. McDONALD  
**INTRODUCCION A LA MECANICA DE FLUIDOS**  
EDITORIAL INTERAMERICANA  
SEGUNDA EDICION  
MEXICO D.F. 1984
- 2) FRANK M. WHITE  
**MECANICA DE FLUIDOS**  
EDITORIAL McGRAW-HILL  
SEGUNDA EDICION  
MEXICO D.F. 1985
- 3) J. P. HOLMAN  
**EXPERIMENTAL METHODS FOR ENGINEERS**  
EDITORIAL McGRAW-HILL  
TERCERA EDICION  
TOKIO, JAPAN 1981
- 4) POPE-ALAN  
**LOW-SPEED WIND TUNNEL TESTING**  
EDITORIAL WILEY  
SEGUNDA EDICION  
NEW-YORK 1966
- 5) INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOW VISUALIZATION  
**FLOW VISUALIZATION**  
EDITORIAL YOSHI-ASANUMA  
TERCERA EDICION  
TOKYO, JAPAN 1977  
WASHINGTON D.C. 1979
- 6) RICHARD J. GOLDSTEIN  
**FLUID MECHANICS MEASUREMENTS**  
EDITORIAL HEMISPHERE PUBLISHING CORPORATION  
U.S.A. 1983  
PAGS. 307-319, 331-334
- 7) STREETER / WYLIE  
**FLUID MECHANICS**  
EDITORIAL Mc GRAW HILL  
SEXTA EDICION  
U.S.A. 1975