



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

**“ANÁLISIS DE LAS OPCIONES DE EQUIPAMIENTO
PARA ADQUISICIÓN DE DATOS EN LAS PRUEBAS
A PROTOTIPOS ESTRUCTURALES DE UN TÚNEL
DE VIENTO CERRADO A ESCALA”**

T E S I N A :

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

EN LA MODALIDAD DE: SEMINARIOS Y CURSOS DE
ACTUALIZACIÓN Y CAPACITACIÓN PROFESIONAL,
DEL: SEGUNDO DIPLOMADO EN ADMINISTRACIÓN Y
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DISEÑO EN
PROYECTOS.

P R E S E N T A N :

**JUAN ESPINOSA CARMONA
CÉSAR ENRIQUE DÍAZ MURILLO**

ASESOR
ING. MOISÉS CERVANTES PATIÑO

NEZAHUALCOYOLT, EDO. DE MÉXICO 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

OBJETIVO

Analizar el equipo necesario, para la adquisición de datos en pruebas a prototipos estructurales en un túnel de viento cerrado a escala.

JUSTIFICACIÓN

Considerar las opciones existentes en el mercado para diseñar y/o seleccionar el equipo de medición para un túnel de viento, conforme a las necesidades de las pruebas a realizar, en ensayos de carácter estructural de prototipos a escala.

RESUMEN

Con base en un planteamiento del 2do. Diplomado en Administración y Aplicación de Tecnologías de Diseño en Proyectos, de plantear a la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la FES Aragón, el construir un túnel de viento cerrado a escala, con fines didácticos, en el cual se puedan estudiar modelos de estructuras a escala y el efecto que produce el viento sobre ellas, es por ello que se reúne la información necesaria para el análisis de las opciones de equipamiento para adquisiciones de datos en un túnel de viento cerrado a escala.

El resultado de este análisis es el planteamiento que se hace en el capítulo 4 Propuesta de instrumentación para ensayos estructurales, y que aún con ciertas limitaciones, permite la experimentación sistemática de modelos a escala con velocidades uniformes a través de la cámara de pruebas, por lo que consideramos, es una buena opción.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

PALABRAS CLAVE

Adquisición de Datos, Prototipos, Estructuras, Túnel de Viento Cerrado,

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

C. E. D. M.

Dedicatorias:

A mi esposa Mary, el amor de mi vida, quien me ha brindado siempre su apoyo con amor y comprensión. A mis hijos, que son la continuidad de mi vida: Jesús Enrique y Brenda Citlalli; como un ejemplo a seguir. A la memoria de mis padres: Aurelio † y Beatriz †, ellos nos dieron los bases y principios que conforman nuestra familia, están siempre en mis pensamientos. A mis hermanos Víctor Hugo, Jorge Luis, y en especial a Sergio Arturo por su aliento a terminar lo pendiente.

Agradecimientos:

Agradezco profundamente a Juan Espinosa Carmona, gran compañero y amigo por todo el apoyo brindado a lo largo del Diplomado y en este proceso de titulación que nos reunió.

A mi primo Oswaldo Lebrija Murillo por toda la ayuda y asesoría brindada con 3D Studio Max.

No quiero dejar de agradecer a nuestros profesores del Diplomado; al Ing. Minerva Segura Rauda, por su amistad; al Ing. Luis Roa, por su compañerismo y especialmente al Ing. Moisés Cervantes Patiño, por su asesoría y por su palabra empeñada en su objetivo dado al Diplomado: Actualización de Conocimientos y Titulación. Todos grandes personas y quienes nos ayudaron con sus conocimientos y asesoría a concluir esta etapa.

Y a todos y cada uno de los profesores y compañeros de nuestra Alma Mater, la otrora ENEP y actual FES “Aragón” durante nuestros estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Siempre seremos: Orgullosamente UNAM.

Sinceramente
César Enrique Díaz Murillo.

J. E. C.

Dedicatorias:

A mi mamá y mi papá que me dieron la vida y me formaron para ser una persona de bien. Que siempre creen y confían en mí, además que son un claro ejemplo a imitar en todos los rubros pero en especial el del amor de madre y padre a hijo y entre esposos. Con un cúmulo de conocimientos con un valor incalculable, y con palabras y acciones que me llenan de dicha al tenerlos conmigo y con mi familia.

A mi esposa Elizabeth que gracias a su apoyo, cariño, impulso de superación y sobre todo el amor que me tiene, me ayudaron a la realización final de una etapa más en mi vida, compartiendo este éxito.

A mis hermanas y hermanos que formamos esta gran familia.

A mis tíos que me impulsaron a la culminación de mi carrera.

A mis suegros que dieron a luz una hermosa hija que es hoy el impulso de mi vida.

Agradecimientos:

Agradezco a César Enrique Díaz Murillo, por su amistad y apoyo durante el Diplomado y durante este proceso de titulación que nos reunió y que estoy seguro que seguiremos estando en contacto y acrecentando la amistad.

A Oswaldo Lebrija Murillo por toda el apoyo y la ayuda con 3D Studio Max.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

A los profesores del Diplomado; al Ing. Minerva Segura Rauda, por su empuje; al Ing. Luis Roa, por todo el conocimiento transmitido y al Ing. Moisés Cervantes Patiño por su asesoría y por su palabra empeñada en su objetivo dado al Diplomado: Actualización de Conocimientos y Titulación. Todos ellos unos excelentes seres humanos y profesionistas en toda la extensión de la palabra quienes con sus conocimientos y asesoría nos ayudaron a la realización de este trabajo.

Y a todos y cada uno de los profesores y compañeros de nuestra Alma Mater, anteriormente la ENEP y ahora FES “Aragón” durante nuestros estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Siempre Orgullosamente UNAM.

Sinceramente
Juan Espinosa Carmona.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

I ÍNDICE GENERAL:

<i>OBJETIVO</i>	2
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	2
<i>RESUMEN</i>	2
<i>PALABRAS CLAVE</i>	3
<i>C.E.D.M.</i>	4
<i>Dedicatorias:</i>	4
<i>Agradecimientos:</i>	4
<i>J.E.C.</i>	5
<i>Dedicatorias:</i>	5
<i>Agradecimientos</i>	5
<i>Introducción</i>	10
CAPITULO 1. ANTECEDENTES DE LOS TÚNELES DE VIENTO.	12
<i>1.1 Modelos</i>	14
<i>1.2 Número de Reynolds.</i>	15
<i>1.3 Túnel de viento.</i>	15
<i>1.4 Tipos de túneles de Viento.</i>	17
<i>1.5 Aplicación de los túneles de viento.</i>	21
CAPITULO 2. PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS A REALIZAR.	24
<i>2.1. Tipos de Mediciones.</i>	26
<i>2.2 Accesorios</i>	26
<i>2.3 Variables a recolectar y estudiar.</i>	28
CAPITULO 3. EJEMPLOS DE INSTRUMENTACIÓN OPCIONAL PARA UN TUNEL DE VIENTO.	30
<i>3.1 Medición de fuerzas.</i>	31
<i>3.1.1 Balanzas.</i>	32
<i>3.2 Medición de presiones.</i>	46
<i>3.2.1 Manómetros.</i>	46

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

3.3 Medición de temperatura y dirección del flujo.	51
3.4 Determinación de la velocidad.	54
3.4 Principios y medición de variables a través de dispositivos eléctricos.	60
3.4.1 Dispositivos eléctricos de medición.	60
3.4.2 Balanzas de “strain gage”.	62
3.4.3 Calibración de los “strain gage” de la balanza interior.	67
3.4.4 Vicios e interferencias en las mediciones.	69
3.4.5 Diseño y construcción de Modelos.	70
3.4.6 Planeación de pruebas.	71
3.4.7 Procedimientos generales de pruebas.	72
3.4.8 Generadores de humo.	73
3.4.9 Sensores de presión.	75
3.4.10 Tubo de Pitot simple.	77
3.4.11 Tubo de Pitot multi-puertos	78
3.4.12 Un sistema de procesamiento de señales.	80
3.4.13 Plataformas de fuerzas.	81
3.4.14 Principios de operación, medición e instalación mediante extensometría eléctrica.	83
3.4.15 El Transductor.	84
3.4.16 ¿Qué es y cómo opera un extensómetro eléctrico?	85
3.4.17 ¿Cómo se mide ΔR o la deformación unitaria ϵ ?	87
3.4.18 Diferentes configuraciones.	88
3.4.19 Preparación de superficies.	91
3.4.20 Selección de materiales y equipo.	91
3.4.21 Configuración de extensómetros.	94
3.4.22 Características de las opciones disponibles.	94
3.4.23 Procedimiento para la selección de extensómetros.	95
3.4.24 Cableado.	97
3.4.25 Sistemas de adquisición de datos.	99
3.4.26 Formas de adquisición de datos.	99
3.4.27 Termopares.	100
3.4.28. Visualización y video cámara digital.	101
CAPITULO 4. PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN PARA ENSAYOS ESTRUCTURALES.	102
4.1 Equipo e instrumentación propuesta para el túnel de viento a escala.	103
4.2 Ejemplo de otro tipo de instrumentación.	129
4.3 Esquema para la obtención de señales dentro de un túnel de viento.	137
4.4 Consideraciones económicas respecto a la propuesta de instrumentación.	140
CONCLUSIONES.	148

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

<i>ANEXO A.</i>	<i>151</i>
<i>ANEXO B.</i>	<i>158</i>
<i>ANEXO C.</i>	<i>159</i>
<i>ANEXO D.</i>	<i>164</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA.</i>	<i>170</i>

INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México, se está considerando la construcción de un túnel de viento de baja velocidad a escala, con una sección de pruebas que permita realizar ensayos y cuantificar el comportamiento de modelos estructurales también a escala. Esta investigación analiza las opciones de equipamiento existentes en el mercado, para medir el comportamiento de estructuras frente a los flujos de aire, buscando apoyar el crecimiento y el conocimiento en la Universidad, así como ayudar a la investigación y el desarrollo de la industria a nivel nacional, considerando determinar los criterios para seleccionar los equipos más convenientes desde el punto de vista técnico y funcional, para que posteriormente éste análisis sirva de base en la evaluación económica del estudio de factibilidad correspondiente.

Si queremos conocer y visualizar un fluido en movimiento alrededor de un cuerpo, podemos hacerlo de varias formas: resolviendo las ecuaciones que rigen el movimiento en régimen laminar (las ecuaciones de Euler o la teoría de los potenciales o paneles, por ejemplo), o resolviendo las ecuaciones que rigen el movimiento en régimen turbulento y laminar a la vez (ecuaciones de Navier-Stokes), las cuales no se verán en esta investigación, y otra forma sería utilizando un túnel de viento.

El túnel de viento es una herramienta que con el tiempo se ha vuelto muy confiable y que además ha sido utilizada para una gran variedad de aplicaciones como la aviación, el automovilismo, la construcción, etc., redundando en mejores diseños, más seguros y con el consecuente ahorro en la construcción de los mismos al utilizar materiales más ligeros pero más resistentes.

El objetivo del túnel desde sus inicios ha sido el mismo por siempre, debido a la inexistencia de modelos matemáticos apropiados para conocer el comportamiento de un objeto respecto a un fluido, en este caso aire, por lo tanto el túnel de viento nos lleva a una experimentación directa, de manera que se puedan tomar mediciones con la precisión requerida y en un ambiente controlado como lo es el laboratorio. Por ende las dificultades pasan de una serie de ecuaciones con n-variables a medir, a solo las variables de interés en el objeto en su condición de operación real en un modelo a escala o parcial. La velocidad del fluido, la distribución de las presiones, las deformaciones provocadas por el fluido, son algunas variables que son de gran interés en el desarrollo de infraestructuras.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LOS TÚNELES DE VIENTO.

La aerodinámica, sin la comprobación empírica de los diseños, no es nada, bajo este punto de vista cierto, es necesario realizar tanto ensayos y pruebas en campo como en laboratorios para evaluar la eficiencia o no de aquello que se ha diseñado.

La información experimental para solucionar problemas puede ser obtenida por diferentes caminos como son pruebas reales de vuelo de aviones o cohetes, túneles de agua, modelos a escala, túneles de viento en todas sus variantes, etc., cada uno tiene sus características pero ninguno es mejor que otro, todo depende de las necesidades y los elementos a determinar.

Un túnel de viento es una herramienta experimental para estudiar los efectos y como actúa e incide un fluido, en este caso el viento sobre objetos o cuerpos sólidos de distintas formas y naturaleza. El principio de funcionamiento se basa en que el fluido (aire) es soplado o aspirado a través de un conducto con una sección de pruebas, la cual se encuentra instrumentalmente equipada y donde se colocan modelos de distintas geometrías para su estudio.

Estos estudios permiten predecir las fuerzas generadas cuando estos cuerpos se desplazan en el seno del aire (cohetes, aviones, automóviles, motocicletas, etc.) o por la acción del viento sobre cuerpos estacionarios (edificios, antenas, etc.).

Hay 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. Las técnicas para medir van desde el uso de tubos pitot (presión), anemómetros de hilo caliente, láser Doppler (velocidad), balanzas aerodinámicas (fuerzas) y partículas trazadoras tipo humo (visualizaciones).

Pocas empresas o instituciones (Universidades, empresas de diseño en aeronáutica, automovilismo, navegación, militares, etc.) poseen túneles de viento, ya que son equipos extremadamente complejos y caros, sin embargo en muchos casos es imprescindible, por lo que quienes no poseen un túnel de viento propio lo alquilan. (Figura 1.1)



Figura 1.1 Aspecto exterior del túnel de viento de McLaren.

Por otra parte, los túneles de viento permiten probar el modelo, antes de pasar a su construcción a escala real, lógicamente abaratando el proyecto a futuro y evitando la pérdida de vidas.

Para saber si un modelo cumple lo especificado o no y en qué proporción, no hay más remedio que intentar probar el modelo en cuestión bajo condiciones reales de funcionamiento, lógicamente el hecho de probarlo en condiciones reales, implica el construirlo a escala 1:1 (tamaño real) pero en muchos casos puede ser peligroso para un ser humano, extremadamente costoso, y en consecuencia alarga el tiempo del desarrollo. Por ello, se aplica lo que ya dijo, en su momento, Leonardo da Vinci: “Tanto se mueve el aire contra la cosa, como la cosa contra el aire”. He aquí el principio de todo túnel de ensayos. Un túnel de experimentación, no es más que un recinto donde se “crean” las condiciones ambientales, con lo que se pueden prever la actuación o las reacciones de dicho modelo, antes de construirlo a tamaño real.

En la inmensa mayoría de túneles de viento, los modelos se ensayan a escala, aunque existen otros en que la escala es real, el tamaño de éstos últimos es enorme, pero existe una condicionante básica que todos los diseñadores deben tener en cuenta, cuanto más grande sea un túnel, tanto mejor y más fiables serán los resultados, con su consecuente incremento de

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

capital a invertir para su construcción. Evidentemente, el límite del tamaño a usar, lo determina el capital que se tenga para tal efecto y la fiabilidad de su extrapolación.

1.1 Modelos.

Si el modelo a construir para ser probado en el túnel no es a escala real, entonces deberá de ser a una escala menor, ello implica un alto grado de dificultad en su construcción fiel al original, pero posible y más económico. Cuanto mejor sea dicha reproducción, más fiables serán los resultados obtenidos y más correlación tendrán dichos resultados con los obtenidos en el modelo real. (Figura 1.2)



Figura 1.2 Ejemplos de modelos a escala.

En la actualidad, la forma más común de construir los modelos para ensayos o incluso para maquetas de exposición de los mismos, es el modelaje, ello además de ser un trabajo complicado, es un trabajo en el cual se invierte gran cantidad de tiempo convirtiéndose en algo considerablemente caro e inalcanzable para muchas empresas.

Existe la tecnología CAD-CAM donde a partir de un diseño computarizado del modelo, se introduce a una máquina, la cual a través de un proceso de maquinado, transforma un bloque de material. Dicha pieza por tanto, se convierte en nuestro modelo.

1.2 Número de Reynolds.

El Número de Reynolds, es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido; su velocidad, su densidad y su viscosidad y la geometría del conducto por el que fluye, que no sólo depende de la temperatura sino también del tamaño del objeto a ensayar; dicho número se define como el cociente de “ v ”, la velocidad del fluido por “ ρ ” la densidad del fluido, y por “ D ” el diámetro del conducto; entre “ μ ” la viscosidad del fluido.

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \dots\dots\dots (1.1)$$

Por ejemplo; si la escala es muy pequeña, en el caso de coches a escala 1:10, necesitamos para que los ensayos sean análogos y los resultados extrapolables que la velocidad sea 10 veces mayor, lo cual no es posible, puesto que a partir de 330 Km/h más o menos, se hacen patentes otra serie de fenómenos, para evitar este problema es posible disponer de un túnel de agua, con lo que la densidad es 1000 veces mayor que la del aire, pudiendo realizar ensayos que equivalen a grandes velocidades. Por otro lado, es posible incluso, presurizar el túnel de viento, de tal forma, que podemos variar la densidad del aire a nuestro antojo con el mismo objetivo, el problema de estos túneles es que son extremadamente costosos.

Hay que tener en cuenta, que podemos jugar con la velocidad, la densidad y la viscosidad, para mantener el Número de Reynolds constante, que en definitiva, es el objetivo de un túnel de viento.

1.3 Túnel de viento.

Un túnel de viento o túnel aerodinámico es una herramienta de investigación desarrollada para el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos, este aparato simula las condiciones experimentadas por el objeto en una situación real. El objeto permanece estacionario mientras se fuerza el paso de aire o gas alrededor de él. Se utiliza para estudiar los efectos del movimiento del aire en objetos como aviones, naves espaciales, misiles, automóviles, edificios o puentes, etc.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

El aire se sopla o aspira en un conducto equipado con una ventana y otros aparatos en los que los modelos o formas geométricas se montan para su estudio. Se utilizan varias técnicas para estudiar el flujo de aire real alrededor de la geometría y se compara con los resultados teóricos, que también deben tener en cuenta el número de Reynolds y el número Mach para su régimen de funcionamiento.

Ejemplo de elementos utilizados en el túnel de viento:

- Pueden unirse cintas a la superficie de estudio para detectar la dirección del flujo de aire y su velocidad relativa.
- Pueden inyectarse tintes o humo en el flujo de aire para observar el movimiento de las partículas al pasar por la superficie.
- Pueden insertarse sondas en puntos específicos del flujo de aire para medir la presión estática o dinámica del aire.



Figura 1.3 Modelo a escala de un avión en un túnel de viento.

Idealmente el diseño de un túnel de viento inicia con definir su propósito, para definir así la forma y la velocidad que manejará, que va relacionada directamente con la energía que consumirá debido a su operación. Las pérdidas en la sección de pruebas, esquinas, difusores, cono de entrada son consideradas en su totalidad para la energía requerida y esto va en función

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

de la inversión o del capital con que se cuenta para este proyecto. También se debe de considerar la ubicación física de todo el túnel.

1.4 Tipos de túneles de Viento.

Existen diferentes tipos de túnel de viento, los cuales se clasifican de acuerdo a su construcción y a su velocidad, a continuación se mencionaran y se señalaran algunas de sus características.

De acuerdo a como circula el aire se clasifican en:

1.- Túnel abierto.- Estos recogen aire y lo lanzan directamente a la atmósfera y no retorna el aire. Después de que el aire deja el difusor no es desviado al interior. El túnel absorbe el aire directamente de la atmósfera. No son presurizables, con lo que la densidad no se puede variar, están a expensas de los cambios de temperatura del aire, de todas formas se puede variar la velocidad del flujo para mantener el número de Reynolds constante.

Estos también son conocidos como túneles “rectos”, fueron los primeros construidos de este tipo. Como se muestra en la figura 1.4 cuentan con un cono de entrada, área de remanso, una cámara o sección de pruebas¹, un inyector y un expulsor, normalmente en el difusor. Aunque uno pudiera ver un túnel de circuito abierto e instintivamente asumir que es ineficiente, no hay bases para estas suposiciones, la energía utilizada por estos es solo una pequeña parte en comparación con la energía utilizada por los cerrados.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

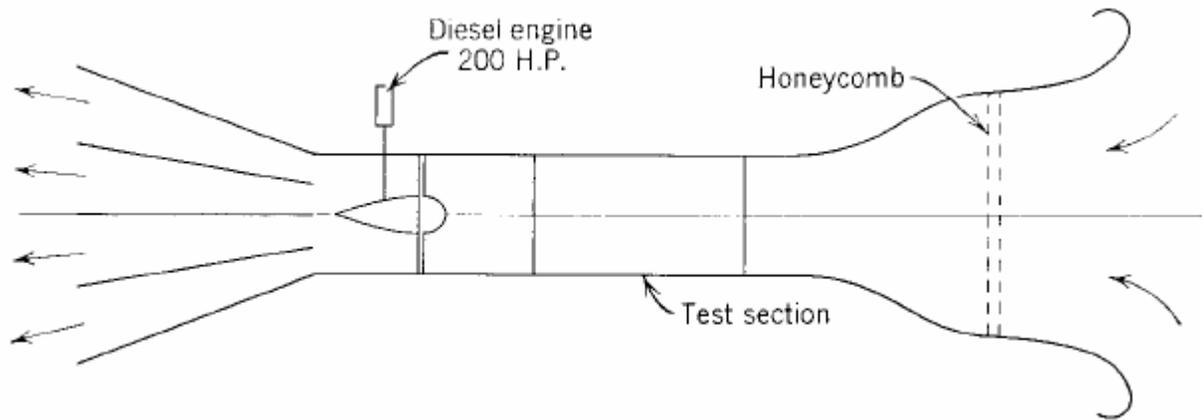
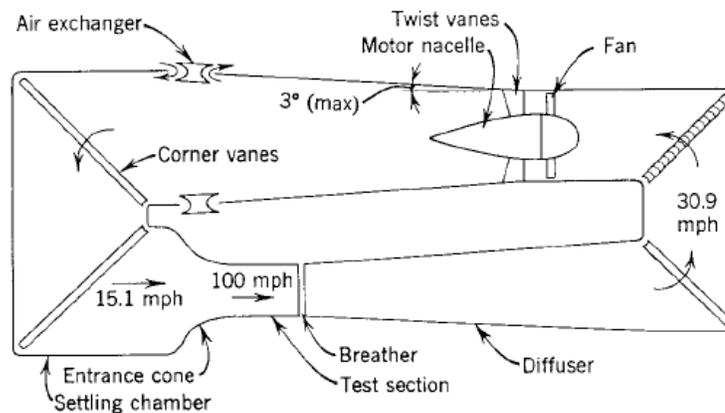


Figura 1.4 Túnel abierto.

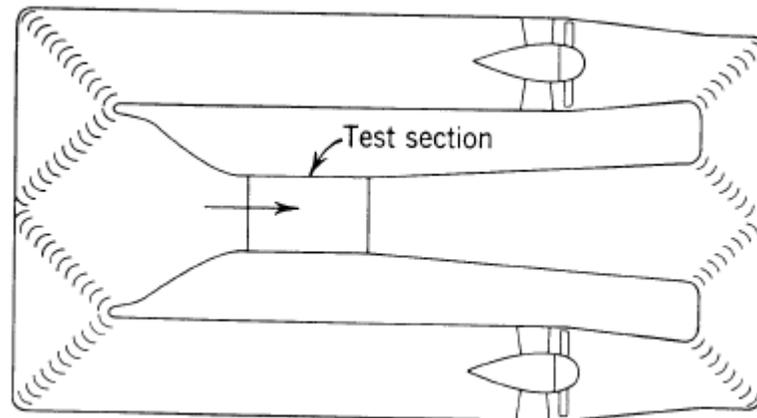
- (1) Sección de Pruebas.- La mayoría de los túneles son concebidos bajo dos criterios principales, el tipo de pruebas a realizar y para que serán las pruebas. La sección de pruebas puede ser redonda, elípticas, cuadradas, rectangulares, octagonales, etc., porque aquí se determinan los requerimientos de energía y el impacto económico del mismo. Además de que son especialmente diseñados para tener una extremada baja turbulencia en la corriente y que en esta sección puedan tomarse todas las lecturas requeridas por las pruebas del modelo.

Túnel cerrado.- En ellos el aire circula en un camino preestablecido. Dentro de esta categoría existen 3 tipos, los sencillos que son los más utilizados (figura 1.5 a), los dobles (figura 1.5 b) y los de anillo (figura 1.5 c). Su propósito fundamental es de alimentar aire “bueno” a la cámara o sección de pruebas²: uniforme, libre de ráfagas, con cierto control sobre su temperatura y evitar el ruido, permitiendo mediciones más exactas y controladas, solo que su única desventaja es el alto costo de mantenimiento en comparación con los abiertos. La mayor ventaja de los túneles cerrados sobre los abiertos es que se pueden presurizar y mantener una temperatura constante del aire durante la prueba.

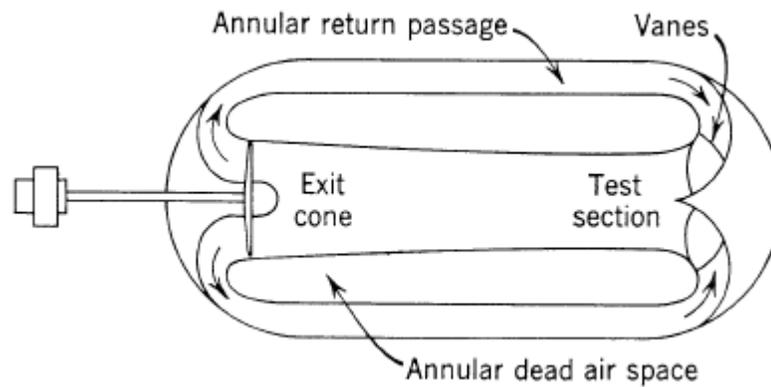


(a)

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



(b)



(c)

Figura 1.5 Túneles Cerrados (a, b, c).

- (2) La sección de pruebas: Es donde el flujo de entrada es uniforme gracias al diseño cuidadoso de la contracción; la capa límite sobre las paredes es muy delgada y crece poco en ese tramo. En esa zona se ubica toda la instrumentación: los soportes para el modelo, el equipo para medición de fuerzas, los momentos de torsión, la presión y velocidad, así como el control de velocidad de los abanicos.

De acuerdo a su velocidad:

Su clasificación se realiza en función de la velocidad del flujo, donde el valor clave es el número Mach, donde si $Mach < 1$ el túnel es subsónico, y si $Mach > 1$ es supersónico.

1.- Túneles de baja velocidad: el aire o fluido circula a velocidades subsónicas (inferiores a la del sonido) y en régimen incompresible (el número de Mach es menor de 0.4).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

2.- Túneles de alta velocidad: el aire o fluido circula a velocidades superiores a la del sonido y en régimen de compresibilidad (número Mach mayor a 1), pudiendo ser próxima a la misma (transónicos), hasta 5 veces ésta (supersónicos) o por encima de 5 veces ésta (hipersónicos). Los túneles de alta velocidad tienen mayores exigencias de diseño, al necesitar una potencia considerablemente mayor y necesitar resistir mayores esfuerzos estructurales.

Los parámetros más importantes que definen la calidad de un túnel de viento son:

- (1) Rango de velocidad.
- (2) Uniformidad del flujo de aire en la sección de ensayo.
- (3) Fluctuaciones temporales de velocidad ($< 0.3 \%$).

Por lo que para lograr un túnel de calidad, es necesario diseñarlo usando un nivel de ingeniería avanzado, que incorpore una gran parte de Ingeniería Mecánica, y fundamentalmente un gran conocimiento de Mecánica de Fluidos, lo cual no se verá en el presente trabajo.

Otros tipos de túneles que no encajan propiamente en estas clasificaciones pero que son utilizados son:

Sopladores.- Son equipos que “soplan” aire, en los cuales es necesario “laminar” el aire que expulsan, y son mucho más pequeños que los túneles abiertos, figura 1.6.

Figura 1.6



“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Túnel de agua.- Normalmente usado para ensayar modelos de alta velocidad, la cámara de ensayos suelen ser pequeñas, figura 1.7.



Figura 1.7 Ejemplo de un túnel de agua.

Túneles criogénicos.- Son los que usan gases pesados, son aún muy costosos y se encuentran patrocinados principalmente por empresas transnacionales. La mayoría de las compañías o de las universidades que tienen túneles de viento su construcción es a escala debido a su alto costo.

1.5 Aplicación de los túneles de viento.

A continuación se citan algunas clasificaciones y ejemplos de las aplicaciones más comunes de los túneles de viento:

Experimentos didácticos.

- Observación de perfiles de flujo y medición de fuerzas sobre objetos diversos.
- Estudio del desarrollo de la capa límite.
- Operación de generadores eólicos.
- Operación de ventiladores axiales o mixtos.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Enfriamiento por convección.
- Correcciones por turbulencia, etc.

Áreas de investigación y desarrollo.

- Estudio de perfiles aerodinámicos y objetos de forma arbitraria sometidos a un flujo.
- Difusión de gases en el viento.
- Patrones de erosión de terrenos.
- Cargas dinámicas sobre construcciones.
- Frecuencias naturales de construcciones.
- Vibraciones sobre construcciones.
- Alabes para ventiladores, bombas y hélices.
- Generadores eólicos o ventiladores.
- Sistemas de ventilación natural.
- Características acústicas.
- Vibraciones inducidas por viento.
- Susceptibilidad a propagación de incendios o gases.

Contribución a la sociedad.

- Ventilación de edificios.
- Contaminantes en el interior de edificios.
- Operación de sistemas de aire acondicionado o extracción.
- Simulación de propagación de incendios en edificios.
- Simulación de avance de incendios en campo abierto o en conglomerados de edificios.
- Simulación de difusión y propagación de contaminantes gaseosos o suspendidos.
- Comportamiento de estructuras.
- Análisis acústico.
- Frecuencias naturales de vibración.
- Predicción de cargas dinámicas por viento.
- Determinación de zonas de alta velocidad de flujo.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

CAPÍTULO 2. PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS A REALIZAR.

Cuando un cuerpo se mueve a través de un medio, las fuerzas presentes son debido a la viscosidad del medio, la inercia, la elasticidad y la gravedad. La fuerza de la inercia es proporcional a la masa del aire afectada y a la aceleración dada por la masa. Así, mientras que es verdad que una gran cantidad de aire es afectada por un cuerpo móvil (y cada partícula de aire a diferente cantidad), entonces decimos que la fuerza de la inercia es el resultado de dar una aceleración constante a un cierto volumen de aire. Este efectivo volumen de aire puede ser “ Kl^3 ”, donde “ l ” es una característica de longitud del cuerpo y “ K ” una constante particular del cuerpo, por lo se puede escribir de la siguiente forma:

$$\text{Fuerza de inercia} = \rho l^3 V/t \quad (\text{Newton} = \text{kg m/s}^2)$$

Donde:

ρ = es la densidad de aire (kg/m^3)

l = es la longitud (m)

V = velocidad del cuerpo (m/seg)

t = tiempo (seg)

Sabemos que la velocidad es $V = l / t$, por lo que substituyendo, $t = l / V$ [$\text{m}/(\text{m}/\text{seg})$] por t (seg) tenemos:

$$\text{Fuerza de inercia} = \rho l^3 V / (l/V) = \rho l^2 V^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Las fuerzas de la viscosidad entonces pueden ser escritas de la siguiente manera:

$$\text{Fuerza de viscosidad} = \mu V l \quad (\text{Newton}) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

μ = coeficiente de viscosidad ($\text{Newton} * \text{seg}/\text{m}^2$)

La fuerza de la gravedad es por lo tanto:

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

$$\text{Fuerza gravitacional} = \rho l^3 g \quad (\text{Newton} = \text{Kg} * \text{m} / \text{s}^2) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde:

$$g = \text{fuerza de la gravedad} \quad (\text{m}/\text{s}^2)$$

Por definición el módulo de elasticidad del gas es la tensión desarrollada para un cambio en la unidad de volumen. Que esta dado por el símbolo E (N/m^2) expresado en la siguiente fórmula:

$$\text{Fuerza de elasticidad} = E l^2 \quad (\text{Newton} = \text{Kg} \text{ m} / \text{s}^2) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

La velocidad de sonido en el aire a está relacionada a la elasticidad por:

$$E = \rho a^2 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Que se puede escribir:

$$\text{Fuerza de elasticidad} = \rho a^2 l^2 \quad (\text{Newton}) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

A continuación se indican otros parámetros que son muy importantes utilizados en los cálculos de fuerzas producidos por el viento y que varían de acuerdo al fluido y la velocidad (son identificados con los nombres de quienes primero le dieron su importancia) que son:

$$\begin{aligned} \text{Número de Reynolds} &= (\text{Fuera de inercia}) / (\text{Fuerza de viscosidad}) = (\rho v D / \mu) \\ &(\text{Es un número adimensional}) \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Número Mach} &= (\text{Fuerza de inercia}) / (\text{Fuerza de elasticidad}) = (V / a) \\ &(\text{Es un número adimensional}) \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Número Froude} &= (\text{Fuera de inercia}) / (\text{Fuerza de gravitación}) = Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \\ &(\text{Es un número adimensional}) \dots\dots\dots (2.9) \end{aligned}$$

2.1 Tipos de Mediciones.

Un túnel de viento, sin medición, no sirve para nada. Las medidas que podemos realizar, son muy variadas y se extienden a diversos campos de aplicación: fuerzas, momentos, temperatura, presión, vibraciones, humedad, etc.

Existen 2 tipos de sensores que se utilizan para la toma de mediciones: los fijos y los móviles; los fijos se usan principalmente para determinar parámetros del flujo, y los móviles para determinar los valores en el lugar preciso donde se requiera o necesite. Por lo que las balanzas de fuerzas y momentos, son esenciales en todo túnel de viento ya que combinan los dos tipos de mediciones, figura 2.1.



Figura 2.1 Balanzas de un túnel de viento.

2.2 Accesorios.

Los accesorios son diversos y podemos encontrar cámaras de alta velocidad, de infrarrojos (para determinar campos de temperatura), anemómetros láser Doppler, pisos rodantes (para pruebas de autos de carreras), etc. y todo dependerá de lo que queramos determinar o medir.

Otra de las cosas o aplicaciones muy importantes y utilizadas, aunque no sean relativas a la cuantificación pero sí a la tendencia o comparación, es la visualización del flujo; para ello, en

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

el caso de túneles de agua, se utiliza tinta de diverso color, que el propio modelo expulsa a través de orificios estratégicamente colocados y dispuestos, figura 2.2.

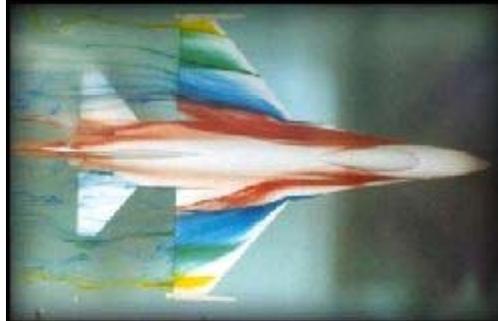


Figura 2.2 Visualización del flujo.

En el caso de túnel de viento, se utilizan generadores de humo, hay que tener en cuenta, que no solo se trata de introducir humo en el flujo de aire, es necesario introducirlo a la misma velocidad del flujo para no insertar perturbación alguna, o el menos, la menor posible, lo que complica la infraestructura y el sistema inyector. (Figura 2.2 y 2.3).



Figura 2.3 generador de humo.



Figura 2.4 Túnel de Viento de la Universidad de Glasgow.

La información sobre el patrón de distribución de presiones de viento en estructuras es un problema vital para su análisis estructural y para su viabilidad. Por ejemplo los edificios de los hoteles, casas, torres de transmisión, torres de telecomunicaciones, etc., localizados en el Caribe son un claro ejemplo de los efectos del viento sobre ellos, los cuales han presentado daños tanto leves como severos durante azotes de los huracanes.

2.3 Variables a recolectar y estudiar.

Torque o momento de fuerza.- Es el producto del módulo de la fuerza por la distancia entre el punto de aplicación y el eje de giro (brazo de potencia). El momento de una fuerza con respecto a un punto da a conocer en qué medida existe capacidad en una fuerza o desequilibrio de fuerzas para causar la rotación del cuerpo con respecto a éste.

El momento tiende a provocar un giro en el cuerpo o masa sobre el cual se aplica y es una magnitud característica en elementos que trabajan sometidos a torsión (como los ejes de maquinaria) y en elementos que trabajan sometidos a flexión (como las vigas). Por lo que se utilizan galgas extensométricas para los cálculos.

Temperatura.- Es una medida utilizada que expresa el grado de calor de un cuerpo o del ambiente. Está relacionada con la energía interna (velocidad con que se mueven los átomos o moléculas) de un cuerpo, a mayor temperatura mayor será la energía interna. Por lo que se utilizan termopares que se basan en un voltaje eléctrico producido por la unión de conductores diferentes y que cambia con la temperatura, este voltaje se usa como medida indirecta de la temperatura. O los termistores, que son semiconductores que varían el valor de su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

Presión.- Es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

Tensión.- Es la cantidad de deformación de un cuerpo debido a la acción de una fuerza aplicada, más específicamente, la tensión se define como el cambio fraccional en longitud.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

CAPÍTULO 3. EJEMPLOS DE INSTRUMENTACIÓN OPCIONAL PARA UN TÚNEL DE VIENTO.

La sección de pruebas, es la razón de ser de un túnel de viento (Cerrado o Abierto), donde el flujo de entrada es uniforme gracias al diseño. En esta zona se ubica toda la instrumentación, los soportes para el modelo, el equipo para medición de fuerzas, los momentos de torsión, la presión y velocidad, así como el control de velocidad de los ventiladores. En esta sección es donde incide la mayor inversión, debido a los equipos y elementos que se utilizan para la medición.

La corriente de aire de baja velocidad se define cuando conocemos la distribución de la presión dinámica, estática, y presión total, la temperatura y turbulencia. Es entonces que con ayuda de estos parámetros podremos calcular su velocidad y el número de Reynolds para un modelo en particular. Mucho de nuestro interés es entonces el de conocer la presión. El dispositivo mediante el cual medimos la presión que ejerce el fluido se llama manómetro, por lo que estudiaremos a los objetos que son factibles de medir este parámetro en los fluidos.

El problema fundamental con el que se enfrenta todo diseñador, es que a la hora de medir la eficiencia de aquello que ha creado, necesita evaluarlo a través de datos adquiridos en pruebas y ensayos.

En la tabla A se muestra los instrumentos que se requieren y cuáles son sus funciones:

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Instrumento	Funciones
Balanza	Medición de fuerza de 1 a 3 ejes Medición de torsión de 1 a 3 ejes
Centro de control	Control de velocidad de flujo Protección de los motores Protección de los ventiladores Seguridad de las instalaciones
Caracterizador de flujo	Medición de velocidades Medición de presiones Medición de turbulencia Observación directa de líneas de flujo

Tabla A.

Algunos instrumentos son de fácil construcción o son fáciles de adquirir, pero se deben de tener elementos apropiados para su calibración y su buen funcionamiento.

El propósito de las mediciones en el modelo es el tener las fuerzas, momentos y presiones para predecir el desempeño de modelos a escala real.

La carga se puede obtener por tres métodos; 1) midiendo las fuerzas actuales y momentos, con una balanza del túnel de viento; 2) midiendo el efecto que el modelo tiene en la corriente de aire por medición de las estelas de corriente y la presión de la pared del túnel; 3) midiendo la distribución de la presión sobre el modelo mediante orificios conectados a calibradores de presión.

3.1 Medición de fuerzas.

Un sistema de medición de fuerzas, puede medir hasta seis posibles componentes (3 fuerzas y/o 3 de momento de torsión) que resultan sobre un cuerpo en el espacio tridimensional. Usualmente, son las balanzas las que se basan en el concepto de que cada fuerza provoca una deformación sobre el soporte del modelo, dichas deformaciones se determinan típicamente a través de galgas de deformación (*strain gages*) y permiten una lectura rápida y precisa de datos proporcionales a la fuerza de interés.

3.1.1 Balanzas.

Además de los movimientos de elevación, cabeceo, arrastre, los modelos están sujetos a rotación y desviación en especial los aviones, y a fuerzas laterales. Esto hace un total de 6 mediciones: 3 fuerzas mutuamente perpendiculares y 3 momentos sobre ejes mutuamente perpendiculares. La balanza del túnel de viento debe separar estas fuerzas y momentos, presentando exactamente las pequeñas diferencias entre las fuerza, todo sin percibir desviaciones en el modelo. Las fuerzas y los momentos varían ampliamente en tamaño. Se ha observado que las balanzas presentan problemas que no deben ser despreciados, de hecho el diseño de dichas balanzas es uno de los problemas más atacados en esta materia. El costo de esta balanza refleja estas dificultades, por lo que entre más compleja y de mayor tamaño, será más cara. Para tener un marco de referencia, una balanza de alambre es impráctica, basada en lecturas por medio de resortes, como se muestra en la figura 3.1.

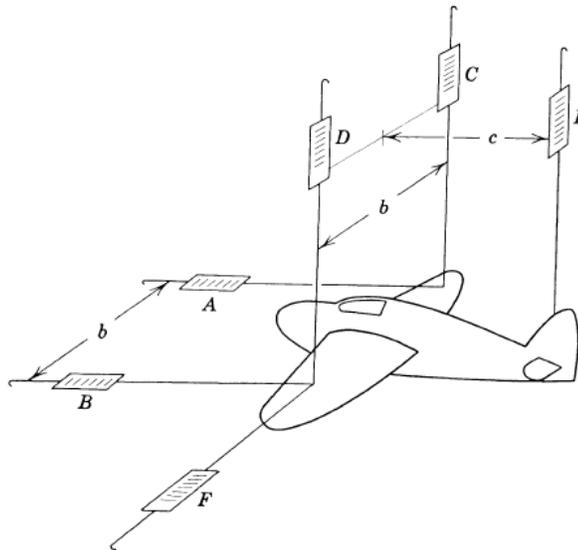


Figura 3.1 Diagrama de una balanza con cables en un túnel de viento.

El modelo supuestamente pesado para ser levantado es sostenido por seis cables y las 6 fuerzas son leídas por las escalas A, B, C, D, E y F.

1.- Debido a que las fuerzas A, B y F no pueden presentar deformación, la fuerza vertical es (El levantamiento): $-L = C + D + E$.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

2.- El arrastre: $D = A + B$.

3.- La fuerza lateral: $Y = F$.

4.- Si no hay movimiento de rotación las escalas C y D tendrán el mismo valor. Un movimiento de rotación aparecerá cuando $RM = (C-D) * b/2$.

5.- De forma similar el movimiento de desviación $Y M = (A-B) * b/2$.

6.- El movimiento de cabeceo $M = E * c$.

Estos componentes deben estar colocados exactamente perpendiculares. Por ejemplo si el cable (o fuerza) de la medición F no está colocada exactamente a los cables A y B, el componente de arrastre aparecerá al realizar la prueba como una fuerza lateral, por lo que se debe de poner extremo cuidado al diseñar este tipo de balanzas.

En general hay 2 tipos de balanzas empleadas: Externas, las cuales cargan o soportan el peso del modelo fuera del túnel antes de realizar las medidas. Internas, que son metidas o insertadas en el modelo, y mediante cables envían información a los equipos electrónicos de medición.

Ambos tipos de balanzas tienen sus ventajas y desventajas y pocos túneles pueden convivir al mismo tiempo con estos dos tipos de balanzas.

Las balanzas se identifican por los miembros que soportan la carga: De Cable y de Puntal, las cuales se verán a continuación.

1.- Balanzas de Cable.- Sujeta al modelo mediante cables, cuyas cargas son medidas en cada uno de los cables. Su principal problema radica en el de soportar la carga del modelo, ya que una deflexión en el sistema acarrea una mala toma de lecturas, además de que los cables son sensibles a la corrosión por lo cual se pueden romper y provocar que el modelo caiga y se destruya, provocando resultados desastrosos también para el túnel de viento. Su virtud es que es una balanza que mide 6 componentes, los cuales son 3 fuerzas (elevación, arrastre, fuerzas laterales) y 3 momentos (desviación, cabeceo y rotación), figura 3.2.

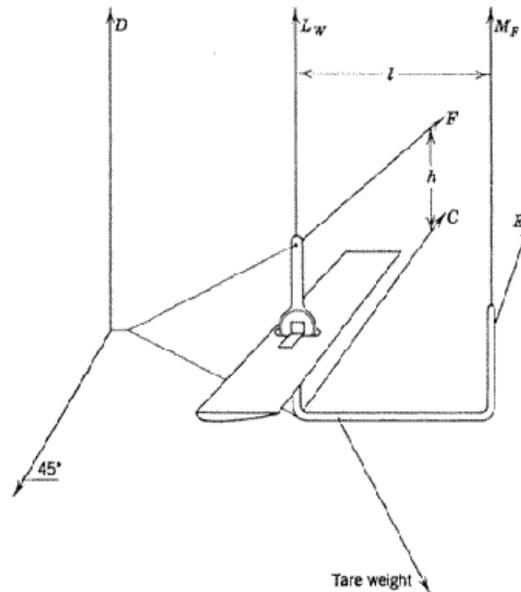


Figura 3.2 Balanza de cables.

En este tipo de balanzas, los modelos se prueban en forma invertida de tal forma que la carga se agrega a su peso. Esto imposibilita una probabilidad de desconectar los cables lo que podría ocasionar grandes descargas de fuerzas. Como se muestra, las fuerzas son traídas hacia arriba soportadas en vigas en el laboratorio que a su vez son soportadas por amortiguadores hidráulicos que deben estar equilibradas mediante operadores individuales, usando pesas. Este tipo de arreglo es excelente para la enseñanza, pero el costo de mantenimiento sería muy alto si el túnel es de uso comercial.

Estas son las más simples y fáciles de construir, pero tienen varias desventajas. Tienen un vicio ó error de arrastre, que no puede ser determinado con exactitud.

2.- Balanza de tipo de puntal.- Utilizada en túneles largos, soportan varias toneladas y proveen el cambio en su ángulo de ataque y ángulo de desvío, y transmiten las cargas de modelo hacia un sistema de acoplamiento que separa sus propios componentes. Existen 3 variantes de acuerdo a la manera en que el sistema es ensamblado y que son de Plataforma, Yunque y Piramidal que se verán a continuación. Figura 3.3

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

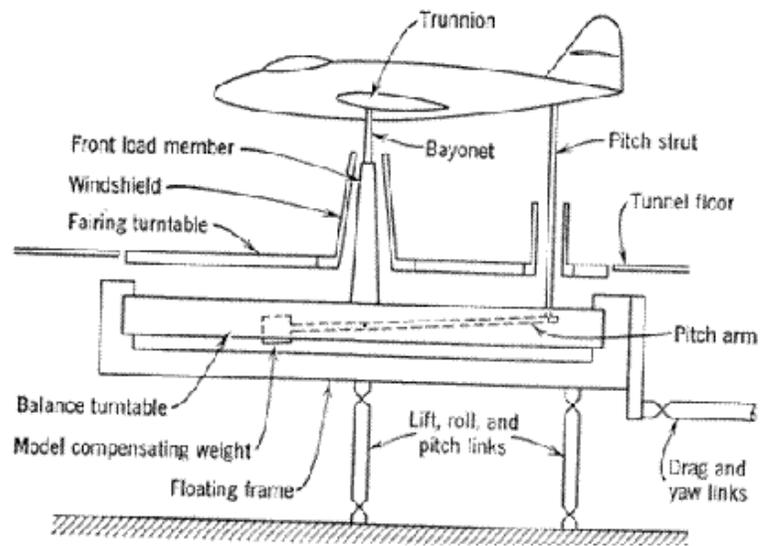


Figura 3.3 Balanza de tipo de puntal.

a) Balanzas de Plataforma.- Esta balanza mostrada en la figura 3.4 utiliza 3 o cuatro bases para soportar el marco principal.

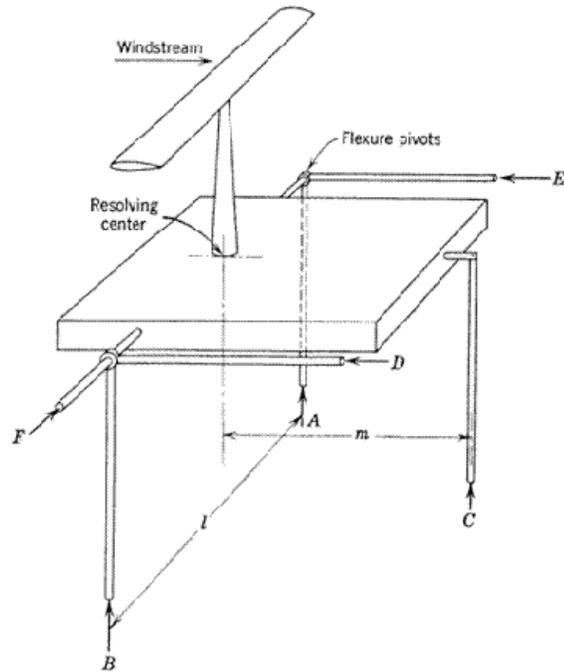


Figura 3.4 Balanza de plataforma.

Este tipo de balanzas son ampliamente utilizadas. Sus desventajas son: 1) los momentos aparecen con pequeñas diferencias cuando las fuerzas son grandes y no pueden ser corregidas; 2) el centro de balance no está en el centro del modelo; 3) las fuerzas de arrastre y laterales se suman a los momentos de cabeceo y rotación, por lo que deben ser restadas al final en los datos obtenidos.

b) Balanza de Yugo.- Está balanza (Figura 3.5) muestra una ventaja sobre la de plataforma ya que los momentos son leídos del modelo. Sin embargo el diseño inherente a este tipo de balanza lleva a mayores desviaciones que en el modelo anterior, particularmente en el cabeceo y las fuerzas laterales. Sus desventajas son: Debido a que el marco de la balanza debe incluir la sección de prueba para tener los dos brazos superiores de arrastre en su posición propia, el brazo de la palanca de desviación es extremadamente largo. Los pilares de soporte superiores están sujetos a grandes desviaciones. Una vez más las fuerza finales deben ser sumadas: El arrastre es la suma de 3 fuerzas y la elevación es la suma de 2.

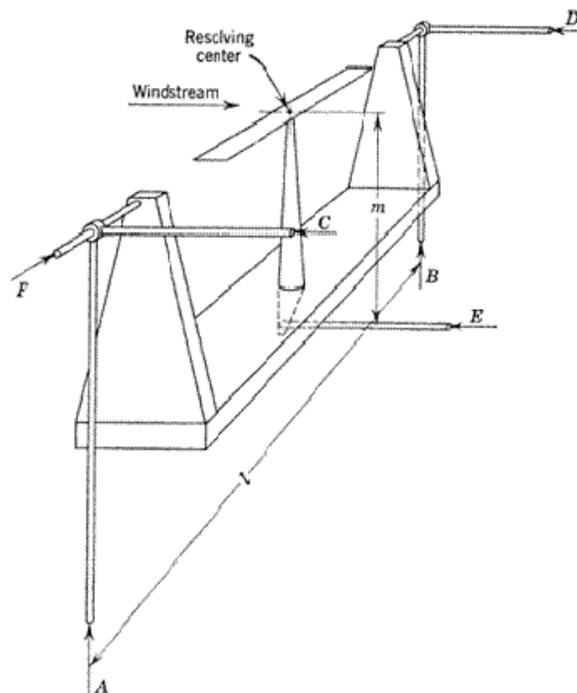


Figura 3.5 Balanza de yugo.

c) Balanza piramidal.- La mayoría de las desventajas de las balanzas anteriores son ingeniosamente superadas por la piramidal, pero como siempre surgen nuevas dificultades. Estas son las ventajas: La balanza piramidal lee los momentos y los 6 componentes son separados y leídos directamente por 6 unidades de medición. No es necesario sumar, restar o multiplicar los componentes. Se elimina la dificultad que involucra la lectura de pequeñas diferencias en grandes fuerzas, y la lectura directa de las fuerzas y momentos es simplificado por los equipos de cálculo. Las desventajas de este tipo de balanza son: la alineación del puntal es tan crítica que tanto la calibración como la construcción de la balanza son muy complicadas. Más aun las desviaciones del puntal pueden afectar las mediciones. Este efecto debe ser tomado en cuenta durante la calibración de la balanza.

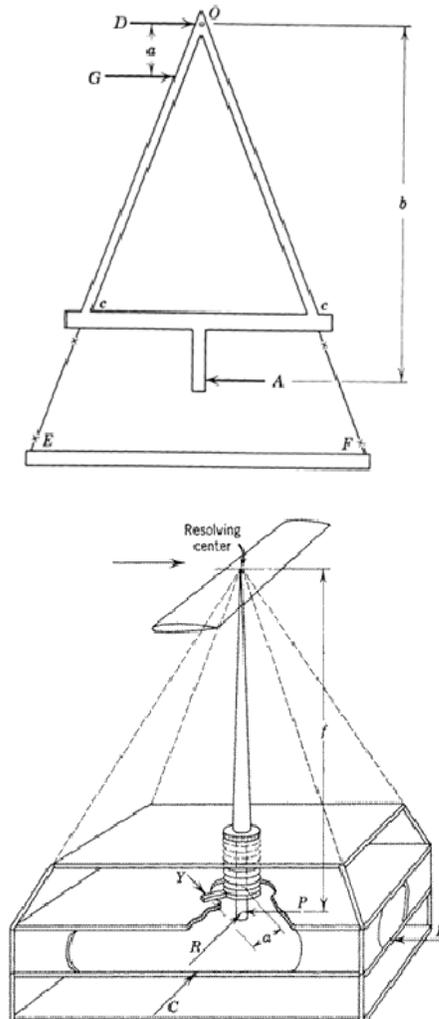


Figura 3.6 Balanza piramidal.

Toda balanza requiere de una calibración, lo que representa cargar elementos base para ver si dan las lecturas correctas, determinando las desviaciones, por lo que aplicando a la balanza varias pruebas que simulen la conglomeración de las fuerzas que afectaran el modelo, midiendo la frecuencia a la respuesta de la balanza de tal forma que no tenga resonancia, y aplicando fuerzas fluctuantes, podremos determinar las lecturas promedios de la balanza y su exactitud.

La colocación del modelo a las balanzas de puntal o cable agregará 3 cantidades a las lecturas de fuerzas. La primera es el arrastre del puntal o cables expuestos; la segunda es el efecto de la presencia del puntal al flujo de aire alrededor del modelo; y la tercera es el efecto del modelo al flujo de aire alrededor del puntal. Los últimos dos puntos normalmente se asocian al término “interferencia”, y su existencia debe de dejar claro la imposibilidad de evaluar el error total por el simple inconveniente de medir el arrastre de los puntales sin el modelo.

Los primeros accesorios fueron cables o puntales con formas aerodinámicas. El criterio de selección es agregar el menor arrastre posible y hacer la estimación o despreciarla.

En un principio los puntales de soporte del modelo tenían el mínimo criterio de arrastre y eran de forma aerodinámica. Más adelante sin embargo otros elementos de soporte, de sección poligonal fueron elaborados. La idea de esta tendencia era que los números de Reynolds de los puntales de montura sean siempre muy bajos y podrían tener no solo un gran arrastre, sino un arrastre que variara ampliamente con forme el tiempo. El motivo es que solo los puntales frontales reciban el flujo de aire, y los posteriores sean protegidos por estos, los cuales no están fijados a la balanza. De este modo el error por arrastre de la montura decrece.

Existen varios arreglos de monturas: Con un solo puntal, con un solo puntal y con un trinchete en la punta, de dos puntales, de tres puntales, de división del modelo, montura en el techo del túnel, de agujón, montaje de rotación, montaje en un pequeño puntal, etc. de los cuales solo se describirán los más utilizados:

a) Con un solo puntal.- Este arreglo es por mucho el más simple, únicamente se requiere de una sola protección contra el flujo y no necesita moverse mientras el modelo es rotado. Lo cual es satisfactorio para modelos pequeños y puede usarse en conjunto con soporte de punta de ala para evaluar los vicios (errores) e interferencias. Desafortunadamente en este modelo el puntal es suficientemente rígido particularmente en torsión. Figura 3.7.

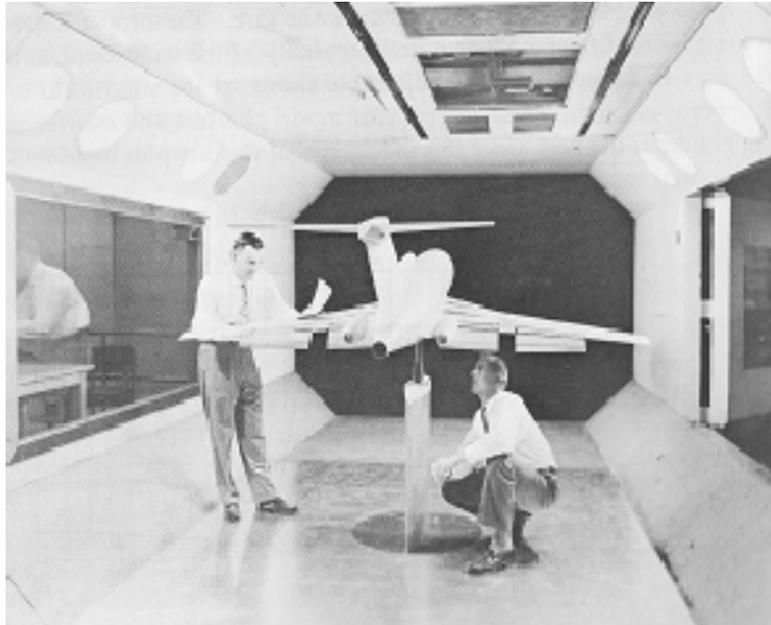


Figura 3.7 Balanza con un solo puntal (Cortesía Boeing Co.).

b) Con un solo puntal y con un trinchete en la punta.- Se puede ganar un incremento en resistencia para evitar las desviaciones dividiendo el puntal en 3 bases en la punta. Sin embargo este método no incrementa apreciablemente la rigidez en torsión del montaje. Las tres bases incrementan la interferencia en comparación al modelo anterior y no se presta para pruebas soportadas o fijadas desde el techo del túnel en la sección de pruebas. Figura 3.8.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

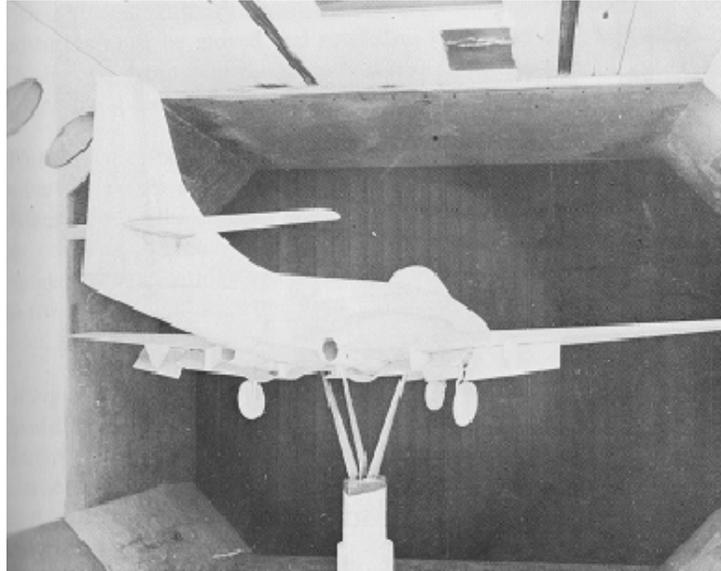


Figura 3.8 Balanza con un solo puntal y con trinche en la punta (Cortesía de McDonnell Aircraft Corp.).

c) De dos puntales.- Esta montura sobrepasa a la de una sola punta en rigidez (particularmente con respecto a la torsión), pero tiene la complicación de que las protecciones de los puntales deben de moverse y rotarse conforme el modelo es desviado. La figura 3.9 muestra un ejemplo con los puntales lado a lado y en la figura 3.10 en línea.

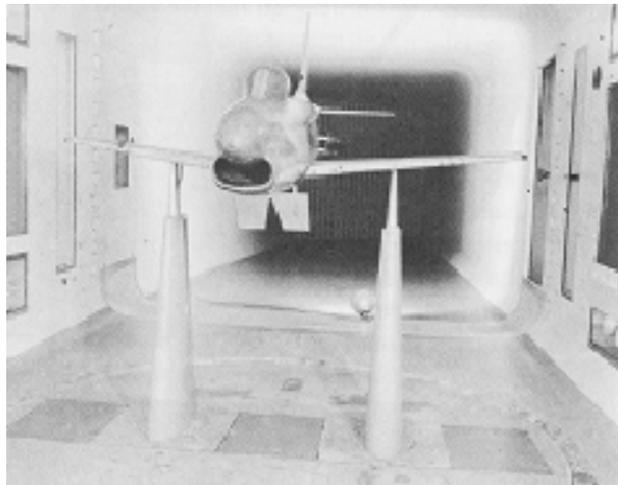


Figura 3.9 Balanza de dos puntales (Cortesía de Nort America Aircraft Corp.).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

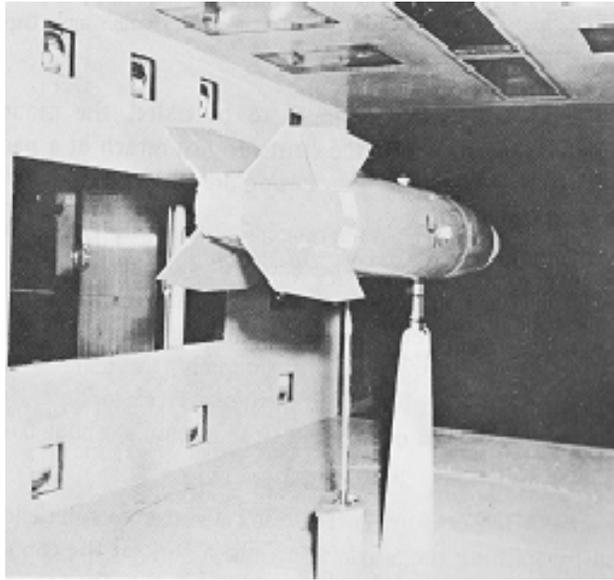


Figura 3.10 Balanza de dos puntales (Cortesía de Sandia Corp.)

Las condiciones de rigidez, vicio, evaluación de interferencia y la facilidad en la variación en el ángulo de ataque son satisfactoriamente encontradas en este sistema. Este sistema es el más complejo y requiere que 2 o 3 protecciones.

Una variación es añadir un tercer puntal a la parte trasera, introduciendo fuerzas laterales que complican la medición del momento de desvío de un modelo. Figura 3.11.

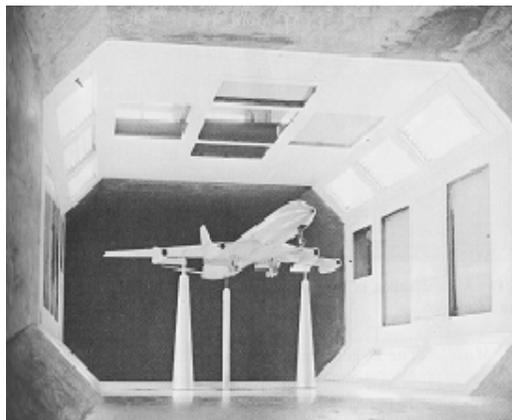


Figura 3.11 Balanza de 3 puntos (Cortesía de Convair San Diego).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

d) Montaje de aguijón.- Se encontró que el uso de puntales perpendiculares a la dirección del viento, causan un excesivo bloqueo en los túneles, por lo que se utilizan los de aguijón. (Figuras 3.12 y 3.13). También este mecanismo es utilizado en túneles de velocidad media, por lo que estos montajes son adecuados para aquellos aeroplanos o modelos que tienen sus reactores fuera del fuselaje, ya que esto hace que permita insertar el aguijón.

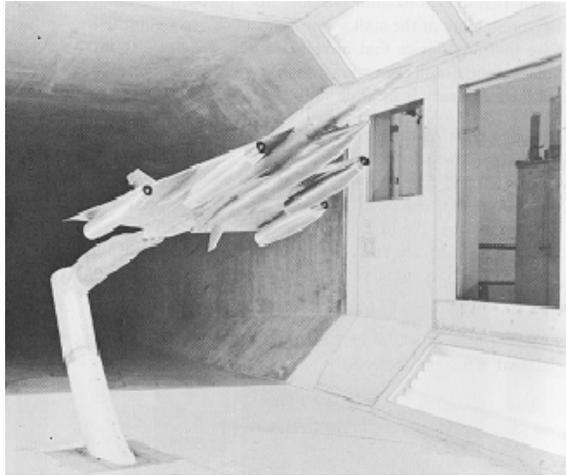


Figura 3.12 Montaje de aguijón (Cortesía de Convair San Diego).

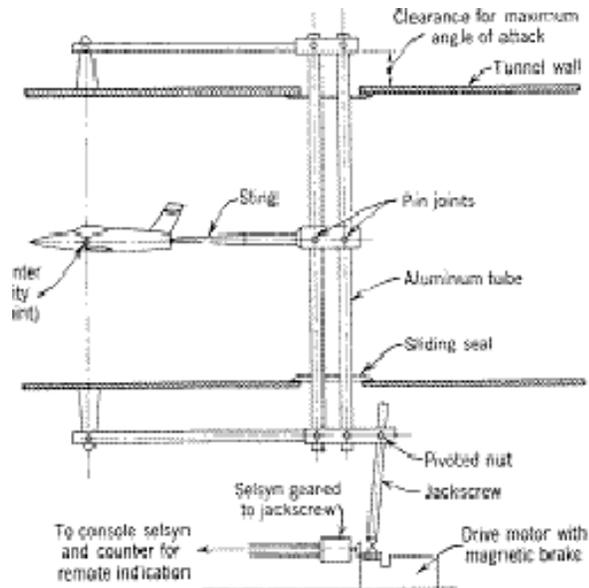


Figura 3.13 Balanza de aguijón.

e) Montaje de rotación.- Cuando el modelo es montado en una base móvil, con respecto a la pared del túnel, las fuerzas y los momentos en la base son incluidos en la información y son difíciles de separar. Afortunadamente para el tipo de pruebas normalmente vistas con este tipo de arreglos el valor absoluto del arrastre no es necesario y el efecto es despreciable. Figura 3.14

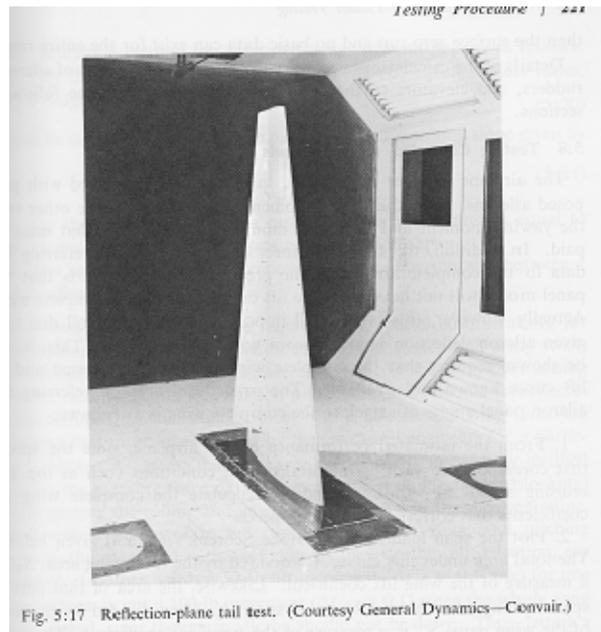


Figura 3.14 Balanza con montaje de rotación (Cortesía de General Dynamics – Convair).

Los tipos de unidades o dispositivos utilizados para las mediciones en las balanzas son: células hidráulicas, balanzas mecánicas y dispositivos eléctricos entre otros.

La mayoría de las unidades de operación trabajan mejor con cargas que son traídas a ellos en forma vertical, por lo tanto fuerzas horizontales deben de dejarse a través de acoplamientos que las roten 90 grados. Cada acoplamiento en el sistema, particularmente cada unión representa una fuente potencial de fricción y desviación. Obviamente el número de uniones debe de mantenerse al mínimo y aquellas absolutamente inevitables deben de ser diseñadas con mucho cuidado. La fricción debe mantenerse al mínimo por lo que se utilizan cuchillas o placas flexibles. Las cuchillas son poco utilizadas porque no son puntiagudas. Son en realidad

cuñas cuyas orillas de trabajo tienen un radio pequeño. Son de acero rígido al igual que sus bases. Las placas flexibles son platos de acero que han sido adelgazadas en una sección de tal forma que tengan poca resistencia para doblarse en una dirección mientras mantienen buena rigidez en la otra. Estos platos (flexibles o pivotes) tienen la ventaja adicional que pueden manejar la tensión y la compresión por lo que no están sujetos a problemas de corrosión y polvo como las cuchillas.

A parte de la habilidad de medir pequeñas variaciones en fuerzas grandes, la unidad de medición debe de tener dos cualidades adicionales: 1) deben de reaccionar instintivamente a la carga aplicada y 2) deben regresar a cero cuando la carga es removida gradualmente. La segunda es la de menor impacto al sistema. Un cambio en las lecturas de la balanza es muy difícil de detectar por lo que casi el único método para detectar variaciones en la exactitud de la balanza es el de repetir una prueba ocasionalmente o el calibrar la balanza nuevamente.

Es fundamental para la medición que pueda elaborarse un dispositivo que lea con mayor exactitud cargas hasta de 45.36 kilogramos (100 libras) y no uno que lea hasta 453.59 kilogramos (1000 libras).

Existen varios tipos de elementos para la toma de mediciones, los cuales se describen a continuación:

- De barra
- Cápsulas hidráulicas
- Dispositivos eléctricos

De barra.- Esta se muestra en la figura 3.15, consiste en una barra que tiene un indicador o cursor. Cuando la viga baja, hace un contacto que ocasiona que el motor del controlador mueva el indicador (cursor) en la dirección que nivele la balanza. Un contador en el eje localiza el cursor y puede ser calibrado para leer el valor de la fuerza. El péndulo H puede ajustarse para balancear el componente desestabilizador originado por el peso de la viga. Para evitar los problemas normalmente con contactos mecánicos es preferible utilizar un transductor lineal al final de la barra. La señal de salida puede ser enviada a un amplificador

que activa el motor de equilibrio. Este motor puede ser síncrono cuyo esclavo que está en la consola hace actuar a un contador. Las salidas del contador pueden alimentar un sistema eléctrico.

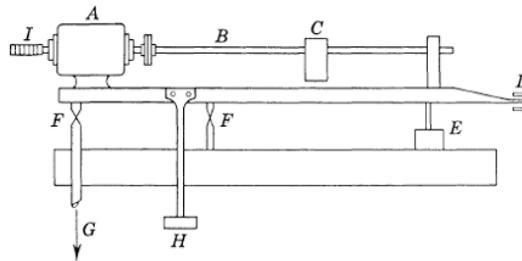


Figura 3.15 Balanza de barra.

Cápsula hidráulica.- Es un dispositivo que mide las fuerzas a través de la presión que ejercen en pistones en un área conocida. No son exactamente nulas al error, pero el monto de la desviación del pistón es tan pequeño que puede despreciarse.

El principio de operación de esta cápsula, es el siguiente (figura 3.16), a partir de una fuente de presión entra aceite a la parte cilíndrica de la cápsula a través de un pequeño orificio y gotea a través de una puerta de salida detrás del pistón. Una carga del pistón cierra el diafragma de tal forma que el área de salida disminuye, permitiendo que se acumule presión en el cilindro hasta que se ubique el pistón y la presión se balancee. La presión resultante es una función del tamaño de la carga y es medida a través de calibradores de presión.

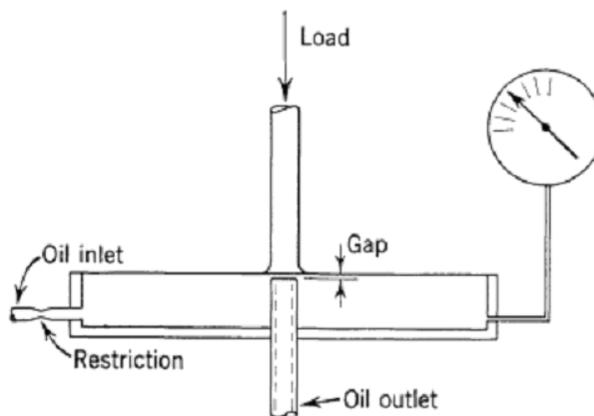


Figura 3.16 Cápsula hidráulica.

3.2 Medición de presiones.

3.2.1 Manómetros.

Después que un túnel de viento es construido, el siguiente paso es determinar las características del fluido. Por lo que primero es necesario determinar la cantidades a medir y los instrumentos que harán el mejor trabajo. El flujo de la corriente de viento en un túnel de viento es calculado cuando conocemos la presión dinámica, la presión estática y la presión total, así como su temperatura y su turbulencia. Por lo que se puede calcular la velocidad y el número de Reynolds para un caso particular. Por lo tanto nuestro interés se centra en determinar las presiones. El instrumento que se utiliza es el manómetro.

Un manómetro es un aparato que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente, dos tipos: los de líquidos y los de gases. Muchos de estos utilizan la presión atmosférica como nivel de referencia y miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor presión manométrica. El fluido más comúnmente utilizado es el alcohol por su bajo costo, fácil de obtener y con baja viscosidad, su baja densidad específica es de gran utilidad para una columna de fluido, en comparación con la del agua, donde la densidad varía con la temperatura.

La medición de la altura de las columnas de fluido en los manómetros es tomada en gran variedad de formas, esto depende de la exactitud requerida. La más simple y rápida es la de sujetar un tubo de plástico o vidrio del grueso de un palillo y leer la columna directamente, lecturas de 0.5 milímetros pueden ser obtenidas así. Los manómetros de precisión son mejores, algunos de ellos tienen marcas que son tangentes a la medición y una burbuja en el fluido, que sube o baja mediante un tornillo de posicionamiento. Otros tienen un flotador en el fluido el cual tienen un pequeño espejo para una amplificación óptica, otros leen remotamente por medios eléctricos manejados por un indicador, el cual mantiene contacto con el fluido.

Muy frecuentemente es necesario medir una gran cantidad de presiones simultáneamente, por lo que se utilizan manómetros múltiples. En algunos casos no se requiere la exactitud por lo

que es suficiente montar una gran cantidad de tubos de vidrio (25 o 30) en un plano alineados formando un manómetro múltiple. Las lecturas de los tubos son tomadas manualmente o fotográficamente.

Existen 2 tipos de manómetros múltiples. Aquellos donde los tubos frontales son iluminados con luz posterior y aquellos que se iluminan por la parte frontal. En gran medida la mayoría de manómetros múltiples son del tipo de placa de cristal.

Existen otros dispositivos que con su ayuda se obtiene la presión que son:

a) El tubo de Pitot estático.- El dispositivo más comúnmente utilizado para determinar la presión total y estática de una corriente es el tubo de Pitot, ya que proporciona estos dos valores. El tipo estándar del tubo de Pitot se muestra en la figura 3.17. El orificio en el punto *A* lee la presión total ($p + 1/2 \rho V^2$), y los orificios en *B* leen la presión estática p . Si la presión de los dos orificios, están conectadas a través de un manómetro, el diferencial de la presión será por $1/2 \rho V^2$, a partir de la cual se puede obtener la velocidad.

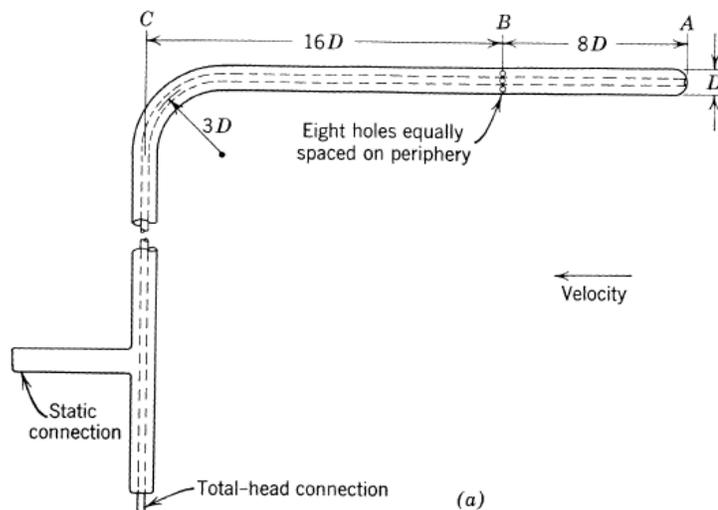


Figura 3.17 Tubo de Pitot.

Ejemplo de cómo se puede obtener la densidad del aire (ρ).

Un túnel de viento con una sección de prueba de 7 pies (2.1336 metros) por 10 pies (3.048 metros), indica una velocidad del aire de 100 mi/h (160.93 Km/h) a una presión de 740 mmHg y una temperatura de 85^o Fahrenheit (29.44^o C). Calcule la velocidad real del aire.

1.- Debemos determinar la densidad del aire ρ

$$\rho = \rho_0 (p/p_0)(T_0/T) = \left(\rho_0\right)\left(\frac{p}{p_0}\right)\left(\frac{T_0}{T}\right)$$

$$\rho_0 = \text{Densidad del aire} = 0.002378 \text{ libras/ft}^3$$

$$p = \text{Presión} = 740 \text{ mmHg}$$

$$p_0 = \text{Presión de referencia} = 760 \text{ mmHg}$$

$$T = \text{Temperatura} = 88 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_0 = \text{Temperatura de Referencia} = 59 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\rho = (0.002378)\left(\frac{459+59}{459+85}\right)\left(\frac{740}{760}\right) = 0.002204 \text{ slug /ft}^3 = 0.005333 \text{ Kg /m}^3$$

Por lo tanto:

$$\sigma = \text{Densidad Relativa}$$

$$\sigma = \rho / \rho_0 = 0.927$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad Absoluta} = 0.002204$$

$$\rho_0 = \text{Densidad de referencia} = 0.002378$$

Por lo tanto:

$$V = \text{Velocidad del aire}$$

$$V = Vi / \sqrt{\sigma} = 100 \text{ mph} / \sqrt{0.927} = 100 \text{ mph} / 0.9628 = 103.9 \text{ mph} = 46.45 \text{ m/s} = 167.21 \text{ Km/h}$$

El Tubo de Pitot estático es fácil de construir pero tiene ciertos errores inherentes, si se permiten este tipo de errores, la verdadera lectura de la presión dinámica podrá obtenerse con un error de $\pm 0.1 \%$.

Ha sido ampliamente demostrado que la presión total en la cabeza del tubo de Pitot con punta hemisférica (redondeada) leerá la presión total correctamente independientemente del tamaño del orificio de entrada mientras que la desviación sea menor de 3 grados. Este valor traerá mayores errores si los números de Reynolds son bajos o las lecturas son tomadas muy cerca de las paredes.

Los orificios u hoyos que leen la presión estáticas en el tubo de pitot sufren dos efectos:

- 1.- La saturación de las corrientes cercanas a la punta o al extremo reducen la presión a lo largo del tubo de Pitot, por lo que la presión estática en los tubos será baja.
- 2.- Existe una zona de alta presión por delante de la corriente que ocasiona que la presión estática sea muy alta.

Ambos efectos se pueden bloquear uno a otro, si los orificios en el tubo están apropiadamente localizados.

A continuación se presenta un ejemplo para calcular presión dinámica, la velocidad del aire, y la velocidad del aire real.

Un tubo de Pitot estático, cuyos orificios estático son de 3.2 D de la base a la punta, y de 8.0 D de la línea central del punto de lectura lee 12.05 inH₂O en un manómetro para un túnel en particular. Si la sección de prueba esta a una presión estándar y a una temperatura de 113 °F, teniendo en cuenta que el error en las lecturas es de 1.0063, encuentre 1) la presión dinámica, 2) la velocidad del aire, 3) la verdadera velocidad del aire.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

De acuerdo a la presión dinámica y teniendo en cuenta el error que se tiene:

$$p = (1.0063) (12.05) \text{ inH}_2\text{O} = 12.13 \text{ inH}_2\text{O}$$

Si sabemos que:

$$1 \text{ inH}_2\text{O} = 5.198 \text{ lb/ft}^2$$

Entonces al convertirlo al mismo sistema de medición:

$$p = 12.13 * 5.198 = 63.20 \text{ lb/ft}^2$$

V = Velocidad del aire

$$V = \sqrt{p/\rho_0} * V_i = \sqrt{63.20/0.00256} = 157.8 \text{ mph} = 70.54 \text{ m/s} = 253.95 \text{ Km/h}$$

Por lo tanto la densidad es:

$$\rho = (0.002378) \left(\frac{459+59}{459+113} \right) \left(\frac{740}{740} \right) = 0.00215 \text{ slug/ft}^3 = 0.00520 \text{ kg/m}^3$$

Por lo que la velocidad verdadera es:

$$V = \sqrt{\rho_0/\rho} * V_i = \sqrt{0.002378/0.00215} * 157.8 = 166.2 \text{ mph} = 74.29 \text{ m/s} = 267.47 \text{ Km/h}$$

b) Tubo de Kiel.- Este tipo de tubo está diseñado con tal forma que su exactitud es inigualable a través de las variaciones en los ángulos de desviación. Es muy útil para realizar mediciones de presión en lugares donde la dirección del flujo es incierta. (Figura 3.18)

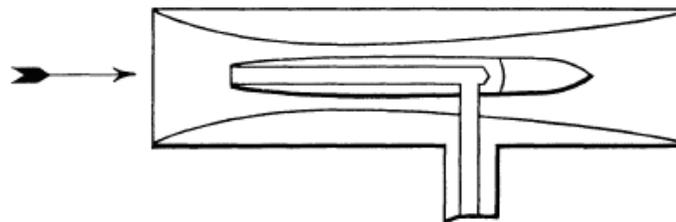


Figura 3.18 Tubo de Kiel.

3.3 Medición de temperatura y dirección del flujo.

A velocidades subsónicas bajas, la temperatura del flujo puede ser leída poniendo un termómetro en algún lugar del flujo sin consecuencia alguna. Es deseable que se lleve un registro de la temperatura en el túnel durante las pruebas, ya que los números de Reynolds varían con el cambio de temperatura.

Existe un tipo de indicadores de la dirección del flujo como el de la figura 3.19 que tienen 2 pequeños orificios, normalmente a 90 grados de separación en la cara delantera de la esfera, obviamente si están exactamente colocados, tendrán lecturas de igual presión, cuando el flujo es dirigido a lo largo del eje del aparato simétricamente, o bien tendrán una lectura con el valor fijo $\Delta p/q$ para cada grado de desviación.

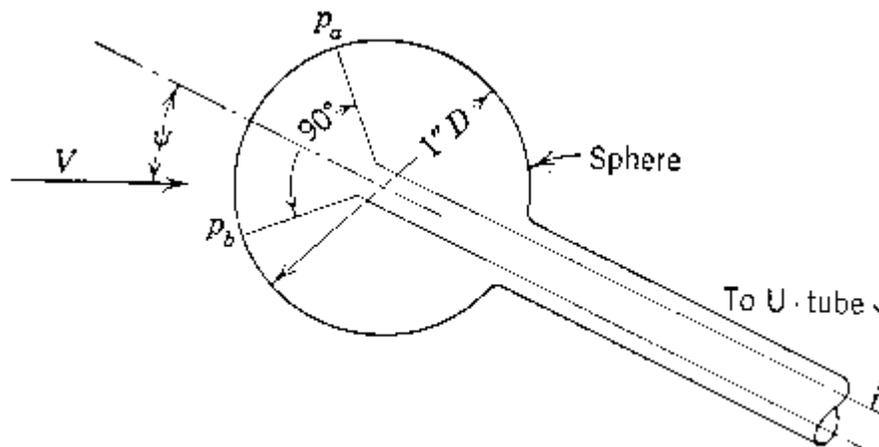


Figura 3.19.

El cambio del flujo de laminar a turbulencia ocurre en una región y no en un punto específico. El largo de esta región aumenta con el número de Reynolds. Figura 3.20.

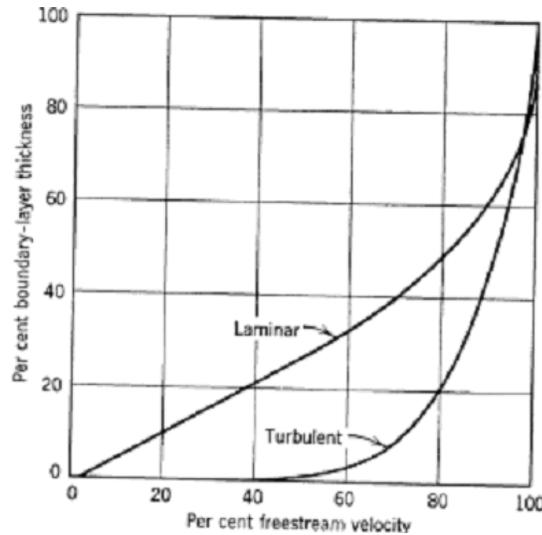


Figura 3.20 Distribución de la velocidad laminar y turbulencia.

Existen otros métodos para la visualización del flujo como:

- Lectura de la velocidad a bajas alturas de la superficie con un anemómetro de hilo caliente y anotando el inicio de la transición con el punto de mínima velocidad.
- Inyectando humo cuidadosamente a partir de orificios y anotando la transición de la dispersión del flujo del humo.
- Pintando el modelo con químicos especiales que se evaporen lentamente al paso del fluido. La evaporación es más rápida cuando el flujo es turbulento.
- O escuchando la capa límite con un estetoscopio conectado a la parte plana del instrumento de un extremo al otro para determinar el punto. Mientras el flujo es laminar se va a escuchar un suave zumbido, cuando es turbulento, se escucha un ruido diferente. Esta información se alimenta a un transductor que se convierte gráficamente en un osciloscopio. Figura 3.21

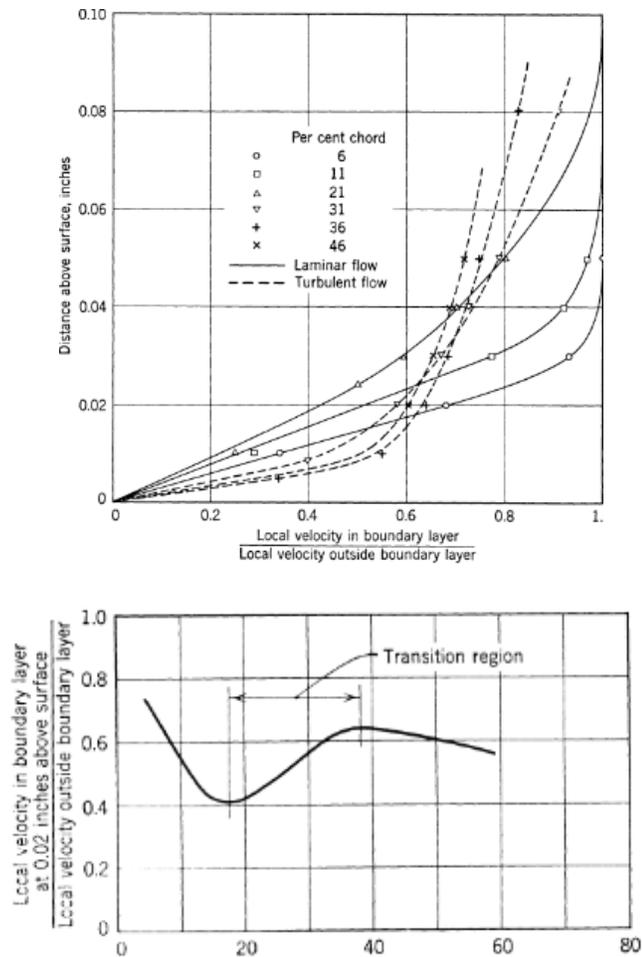


Figura 3.21 Distribución de la velocidad laminar y turbulencia.

Sería difícil de exagerar la cantidad de información que puede ser obtenida al ver el patrón de flujo en modelos complejos. Algunos aparatos para visualizar el flujo pueden ir desde añadir cintillas al modelo o superficies de estudio, colocando inyectores de humo o cubriendo el modelo con varias pastas viscosas que se alinearan al patrón de flujo en un periodo de tiempo.

Las cintillas son las más sencillas y comunes de uso. Uno puede utilizar cualquier hilo flexible de una longitud máxima de 2 centímetros para evitar el golpeteo y cuidando la separación entre ellas. Como se muestra en la figura 3.22 pueden ser de varias formas dependiendo la necesidad.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Otra forma para visualizar el flujo es colocando una malla de metal detrás del modelo para ver el comportamiento del flujo del aire en la cámara de pruebas.

Para el caso en que se utilice humo, este se puede obtener con keroseno caliente, madera seca, o papel quemado, lo cual requerirá una gran ventilación por ser tóxico.

Otro método es el de rociar con un aerosol de aceite fluorescente antes de la prueba al modelo, y examinar el patrón de flujo utilizando luz ultravioleta, y filmando el evento.

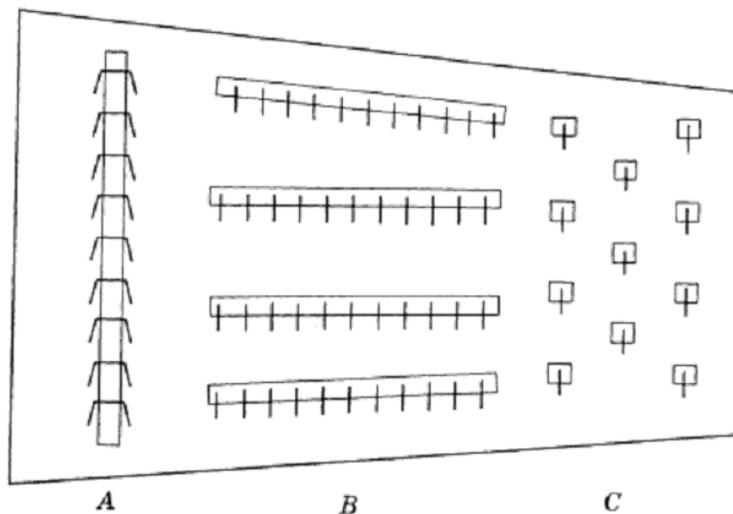


Figura 3.22 Distribución de cintilla dependiendo su utilización.

3.4 Determinación de la velocidad.

Existen varios métodos que se pueden utilizar para determinar la velocidad del viento dentro de un túnel de viento, por lo cual se describen a continuación:

a) Ecuaciones de Bernoulli. Este método no es muy recomendado dependiendo de las pruebas, debido a que se tiene que insertar un tubo de Pitot al túnel de viento, cuando el modelo esté dentro, porque:

- 1.- Puede interferir con el modelo y
- 2.- No dará una lectura correcta debido a la obstrucción del flujo sobre el modelo.

La solución viene al considerar la ecuación de Bernoulli para dos puntos dentro del túnel. Por lo que en lugares predeterminados se realizan pequeños orificios dentro del túnel para la toma de lecturas de presiones, que se realizan en la sección L , S y J . La sección más pequeña puede estar al frente del modelo suficientemente lejos del final para evitar cualquier efecto cuando el modelo este en pruebas (figura 3.23).

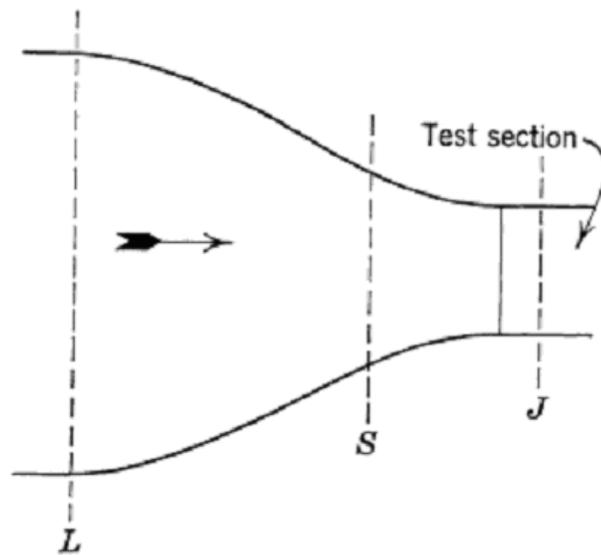


Figura 3.23.

La presión total en los dos puntos será similar, la del principio puede ser ligeramente menor debido a la baja presión entre estos dos puntos, por lo tanto tenemos la siguiente fórmula:

$$p_L + q_L = p_S - q_S K_l + q_S \dots\dots\dots (3.1)$$

en donde K_l es el coeficiente de pérdida de la sección entre la lectura estática.

p y q son las presiones estáticas y dinámicas.

Esto es:

$$p_L - p_S = q_S - q_S K_l - q_L \dots\dots\dots (3.2)$$

Como la carga varía respecto a los números de Reynolds pero es directamente proporcional a q , es preferible realizar pruebas a la presión dinámica constante en lugar de la velocidad constante.

Cada uno de los orificios de las secciones L , S y J pueden estar cerca del modelo sin afectar las mediciones. En estas secciones se colocan piezómetros para la toma de lecturas. Para este caso se pueden utilizar 2 piezómetros, uno para determinar la velocidad en la sección de pruebas, y el otro para una referencia estática para el manómetro y una validación del primer piezómetro.

b) Tubo de pitot. En el caso que se requiera medir la velocidad del aire en algún punto específico del modelo o en el túnel de viento, se puede realizar mediante la utilización de un tubo de pitot. La variación de la presión dinámica $q = (\rho/2)V^2$ puede ser medida a través de la sección de pruebas por medio del tubo de pitot estático. Las velocidades pueden ser obtenidas por:

$$V = \sqrt{\frac{2q}{\rho}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Donde:

q = La presión diferencial medida por el tubo de pitot o presión dinámica

V = Velocidad del aire

ρ = densidad del aire

Para una prueba de velocidad, el tubo de pitot es movido a lo largo del cuerpo, y la presión estática es medida en varios puntos. La velocidad es calculada por medio de la presión dinámica, se grafican sus puntos y se conectan a través de una línea.

c) Esfera de turbulencia. En las pruebas se pueden presentar turbulencia además de que las diferencias entre las pruebas hechas con diferentes túneles de viento con el mismo número de Reynolds y las pruebas en el mismo túnel de viento, se deben al efecto de la turbulencia producida por el impulsor en el túnel de viento, las guías, y la vibración de las paredes. La

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

aparición de esta turbulencia causada en el flujo por este patrón es similar al producido en el ambiente libre con un mayor número de Reynolds. El incremento del número de Reynolds es llamado “factor de turbulencia” y es definido por:

$$RN_e = TF \times RN \dots\dots\dots (3.4)$$

Donde:

RN_e = Número de Reynolds Efectivo

TF = Factor de turbulencia

RN = Número de Reynolds

La turbulencia puede ser entonces calculada utilizando una “esfera de turbulencia” como se ve en la figura 3.24.

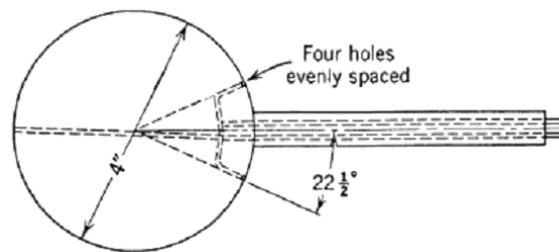


Figura 3.24 Esfera de turbulencia.

d) Anemómetro de hilo caliente. Consiste en un hilo de platino de pequeño diámetro que es colocado en el flujo de la corriente de aire de tal forma que su longitud es perpendicular a la

dirección media del flujo. Es calentado a una temperatura adecuada mediante corriente eléctrica. Fluctuaciones en el flujo de la corriente producen variaciones en la temperatura del alambre y por lo tanto en su resistencia. El voltaje a través del alambre también presenta una variación, el cual es amplificado mediante circuitos eléctricos, y los valores obtenidos pueden ser leídos por un multímetro, el cual debe ser muy sensible. También pueden ser analizados con osciloscopios.

Fundamentalmente el anemómetro de hilo caliente, debe indicar rápidamente la fluctuación con una frecuencia idéntica al cambio en el instante del suceso, y la amplitud de las fluctuaciones por el mismo monto del cambio. La mayoría de las dificultades que se presentan dependen de la calidad del alambre de pruebas. Como es de esperarse alambres de menor diámetro o menor tamaño ofrecen menor resistencia al cambio que los de mayor diámetro o tamaño.

e) El ultramicroscopio. Es un dispositivo para determinar el monto de variación de velocidad en un flujo de aire. El principio de su funcionamiento es el siguiente:

Cuando un observador viaja a la velocidad del flujo de aire, partículas de polvo aparecen como luces o manchas en el aire. Si la velocidad del observador es menor o mayor que el del flujo del aire, las partículas se vuelven inapreciables. El ultramicroscopio posee un dispositivo rotatorio, diseñado de tal forma que la velocidad de rotación puede variar en pequeños incrementos tanto como por arriba o debajo de la velocidad media del túnel. La velocidad límite en la que las partículas aparecen define el máximo y el mínimo de la velocidad presente.

f) Rastrillo.- Es un banco de tubos de presión total, el cual es frecuentemente utilizado para obtener simultáneamente varias lecturas de presión total en un flujo. Este rastrillo es fácil de construir. Las lecturas de presión estáticas son seriamente afectadas por el cuerpo del rastrillo y requieren de calibración cada vez que sean utilizados.

g) Ratón de capa límite.- Este equipo, es un banco de tubos de presión total planos, adaptado para leer la presión total en varios lugares muy cercanos a la superficie, se utilizan para localizar el punto de transición de la capa límite entre el flujo laminar y de turbulencia, y para investigar el grosor de la capa límite. Figura 3.25.

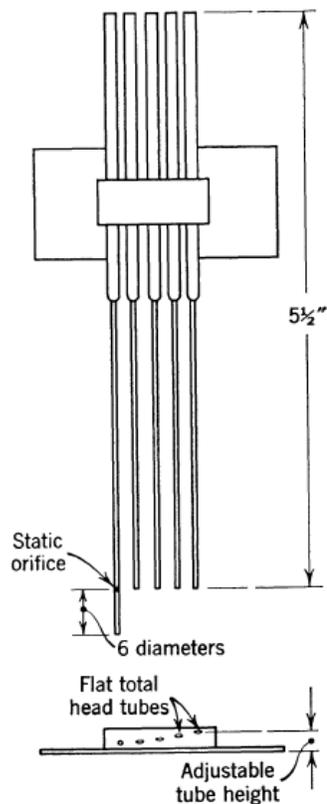


Figura 3.25 Ratón de capa límite.

El funcionamiento es el siguiente: El tipo de flujo existente en la capa límite en algún punto de la superficie de sustentación puede ser determinada a partir del incremento de la velocidad en la capa límite. Los cambios de la capa límite de laminar a turbulenta se expresa en la figura 3.20. El equipo se coloca donde se requiere la medición. Se toman lecturas de las presiones totales y de las presiones estáticas, con lo que se pueden calcular las velocidades. El dispositivo se puede mover a diferentes puntos para obtener las graficas de comportamiento. La región de transición se alcanza cuando la capa límite es reducida por la turbulencia del aire.

3.4 Principios y medición de variables a través de dispositivos eléctricos.

3.4.1 Dispositivos eléctricos de medición.

Existen varios métodos eléctricos para medir fuerzas o presiones, la mayoría de estos dependen del efecto de amplificar pequeñas variaciones de capacitancia, inductancia o resistencia del dispositivo utilizado. Por ejemplo: La resistencia de un equipo varía conforme en él la presión varíe y la corriente que pasa para un voltaje definido puede utilizarse como un indicador de la carga. El cambio en la capacitancia de un capacitor, con pequeñas desviaciones de las placas puede también indicar una carga. La resistencia de un cable cambia con la tensión del cable y la corriente que pasa por él, con un voltaje fijo, puede indicar la presión. Cientos de diferentes dispositivos pueden ser posibles. Debe de tenerse en mente que a través de la amplificación de la señal, el mínimo cambio debe ser apreciado.

Los transductores de tensión “strain gage” o galgas extensométricas son los dispositivos de medición eléctricos más utilizados, ejemplo la figura 3.26. Básicamente consiste de una resistencia hecha de alambre muy fino pegado a una placa flexible. La carga F modifica la forma de la placa con una mínima cantidad y estira los cables pegados a la placa y cambia su resistencia y la cantidad de corriente que fluye a través de esta para un voltaje fijo aplicado. La corriente, proporcional a la carga F , se convierte en el indicador del tamaño de F .

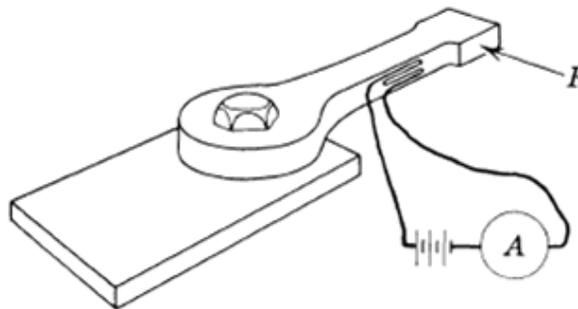


Figura 3.26.

El circuito antes mencionado es útil para ilustrar el principio de un transducción, pero muchos ajustes son necesarios antes de poder utilizar una galga extensométrica o un “strain gage”. Por ejemplo para el circuito antes descrito un cambio en la temperatura ocasionara una expansión, estirando el transductor e indicara “una carga externa”. La compensación de la temperatura se logra pegando un segundo transductor de tensión en el lado opuesto a lo mostrado en la figura 3.26 y conectándolo a un puente de Wheatstone como se muestra en la figura 3.27. Se verá que mientras ambas resistencias (Marcadas con los números 1 y 2 en la figura 3.27) sean igualmente incrementadas o disminuidas, no habrá cambio en la lectura del potenciómetro. Por lo tanto este dispositivo es insensible a la temperatura.

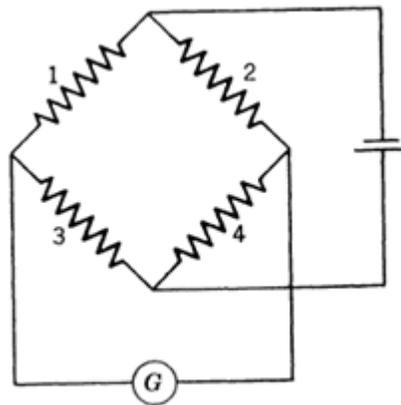


Figura 3.27.

Los diferentes tipos de transductores de tensión comerciales disponibles, hacen innecesario su construcción manual por el grado de exactitud requerida. Estos son colocados a los elementos que se deforman, pegándolos con diferentes tipos de materiales, desde pegamento comercial hasta baquelita con calor. Los transductores de tensión normalmente requieren la aplicación de voltajes que van de los 4 a los 12 volts. La excesiva amplificación puede provocar errores en la toma de lecturas.

3.4.2 Balanzas de “strain gage”.

Las balanzas con “strain gage” son las más usadas en los túneles de viento transónicos y súper sónicos, pero no son excluidas de los túneles de baja velocidad. Esta balanza puede ser utilizada tanto en la de los puntales internos como externos. Un ejemplo de tres componentes externos se muestra en la figura 3.28. Cada uno de estos componentes (elevación, arrastre y cabeceo) son medidos por transductores del tipo galgas extensométricas o “strain gages”.

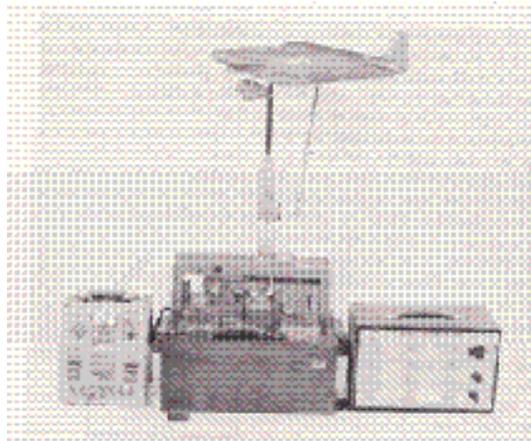


Figura 3.28.

La balanza tipo aguijón mostrada en a figura 3.29 es un modelo de la NASA, y obtiene 3 componentes (también se construyen de 6 componentes) sobre ejes del cuerpo fijos. Esta particular balanza está equipada con dos plomos, y un arreglo de “strain gages” como se muestra en la figura.

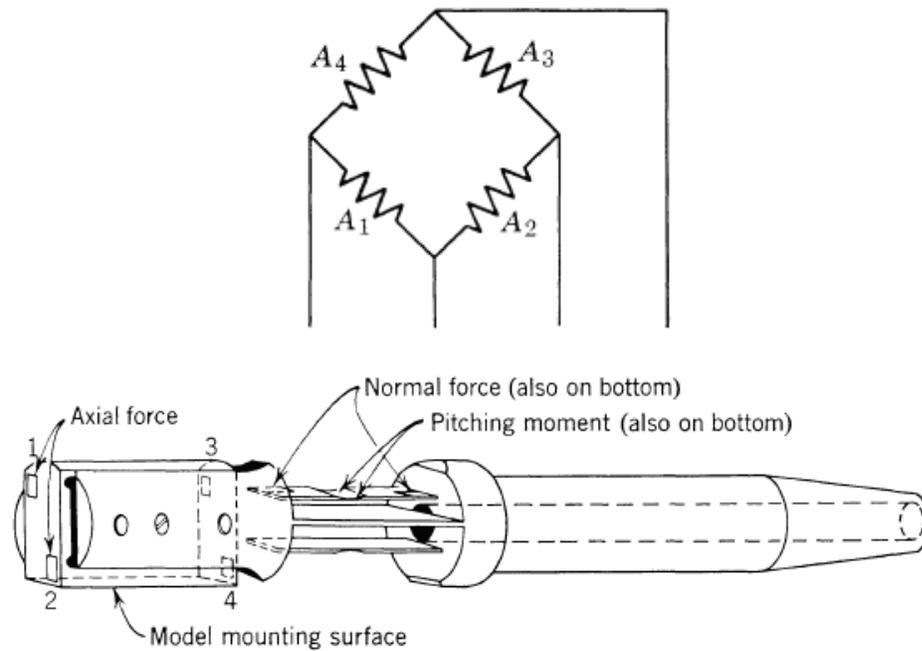


Figura 3.29.

Se sugiere el uso de estos dispositivos porque se reduce la posible falla del peso bajo vibraciones. Debido a que la balanza interna se mueve con el modelo, este lee todas las cargas con respecto a los ejes del modelo. Aunque existen diferentes tipos de balanzas con “strain gages”, no hay evolución en su diseño.

En general se da preferencia al puente de 4 brazos para cada componente debido a su mayor sensibilidad y exactitud. Algunos emplean fuentes separadas de poder para cada circuito en lugar de una sola carga. Las desviaciones pueden convertirse en excesivas si se utiliza demasiada amplificación de las señales provenientes de los transductores.

La posible gama de cargas de balanzas internas con “strain gages” pueden variar ampliamente de una fuerza normal de 5 a 6 libras a varios cientos de libras. Las balanzas pueden y normalmente son adaptadas ajustándose tanto para el modelo como para las cargas esperadas.

Las lecturas de “strain gage” pueden ser obtenidas de varias formas:

- 1.- Utilizando un osciloscopio.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- 2.- Utilizando un registro en papel.
- 3.- Utilizando un indicador estándar de tensión.
- 4.- Utilizando un osciloscopio (probablemente más útil para propósitos de monitoreo).
- 5.- Utilizando un convertidor de analógico a digital.

Este último dispositivo que puede ser tanto electromecánico como eléctrico ha contribuido a la automatización de los túneles de viento más que otros instrumentos. El convertidor funciona como el puente entre la salida de voltaje de los transductores y el almacenamiento de la información en forma digital. Esto inicio con el almacenamiento en: tarjetas perforadas y dispositivos electromagnéticos, hoy en día es en cintas magnéticas y dispositivos de almacenamiento digital de grandes capacidades. Todo esto ha mejorado la reducción de tiempos de procesamiento además de la utilización de computadoras de alta velocidad.

Recomendaciones para el uso de transductores:

1. Deben de ser proporcionados transductores adecuados a los elementos de medición bajo las cargas diseñadas.
2. Deben de coincidir los transductores para el factor de calibración y resistencia.
3. Utilizar los transductores más largos posibles.
4. Siga las recomendaciones del procedimiento de montaje (Limpiar la superficie, el tiempo de pegado, etc.).
5. Cuidar la colocación del transductor y la presión para la adherencia. Un transductor que se mueva de su lugar originara errores en los resultados.
6. Una buena fijación es indispensable. Una mala fijación provocara que el dispositivo no funcione adecuadamente.
7. Para una larga vida, todos los transductores deberían ser a prueba de agua.
8. Todas las superficies de montaje deben ser exactas.

Existen dos tipos de balanzas internas que utilizan los transductores, las de fuerza y de momentos. En cualquier sistema de 6 componentes existirán tres unidades de fuerza y tres de momento que deberán ser armados simultáneamente al construir una balanza con estos transductores.

Los elementos de medición de fuerza emplean o una barra volada o un arreglo en la columna. Una columna excéntrica proporciona mayor sensibilidad pero también permite más desviación como ocurre en una viga volada. La elección podrá depender del tamaño particular de la balanza y del arreglo necesario para un modelo en específico. En la figura 3.30a, se muestra una fuerza axial, que es uno de los tipos más comunes, esta unidad puede ser muy sensible a las flexiones, pero como el modelo esta unido a una “caja”, está sujeto a las fuerzas normales relativamente grandes, por lo que uno podría esperar que ocurra una interacción originada por la desviación en las flexiones de la “caja”. La unidad diseñada en la figura 3.30c ha reducido este tipo de interacciones al mínimo. Todas las fuerzas excepto la carga axial son soportadas por los transductores de compresión o tensión, y una barra transmite la fuerza axial a la viga volada, que también tiene montados unos transductores.

Un arreglo para fuerzas normales se muestra en la figura 3.31. En este caso, el alambre extrae la diferencia entre dos momentos leídos eléctricamente. La fuerza normal es igual a la diferencia de dos momentos dividido por la distancia entre los transductores. Es importante que los dos arreglos de transductores tengan las mismas propiedades. Es de notar, que el mismo arreglo es utilizado para medir fuerzas laterales. Los momentos de cabeceo o desviación pueden ser medidos por el mismo arreglo descrito anteriormente.

Otro modo se muestra en la figura 3.32, donde el transductor es localizado entre fuerzas normales. También puede ser utilizado para momentos oscilantes en un tubo o vigas dobles, con transductores montados a los lados de las caras de las vigas. Existen muchas variaciones mecánicas en el diseño, pero el arreglo básico y común entre todos, es el de los transductores que se fijan a donde serán o esperan las flexiones.

Los materiales empleados son tanto el aluminio y el acero para su construcción. El material más usado es el AISA 4340, pero se puede deformar con el calor. El Armco 17-4PH es uno de los pocos materiales que puede ser utilizado satisfactoriamente, de hecho este material puede ser calentado a 875 °F (468 °C), sin presentar formas líquidas. La balanza debe de tener un tratamiento para el calor y evitar fallas por fatigas por histéresis.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Como última reflexión, si las partes de la balanza tienen que ser fijadas, se debe de tener gran cuidado en el evitar desacoplos o deslizamientos y mantenerlas siempre alineadas.

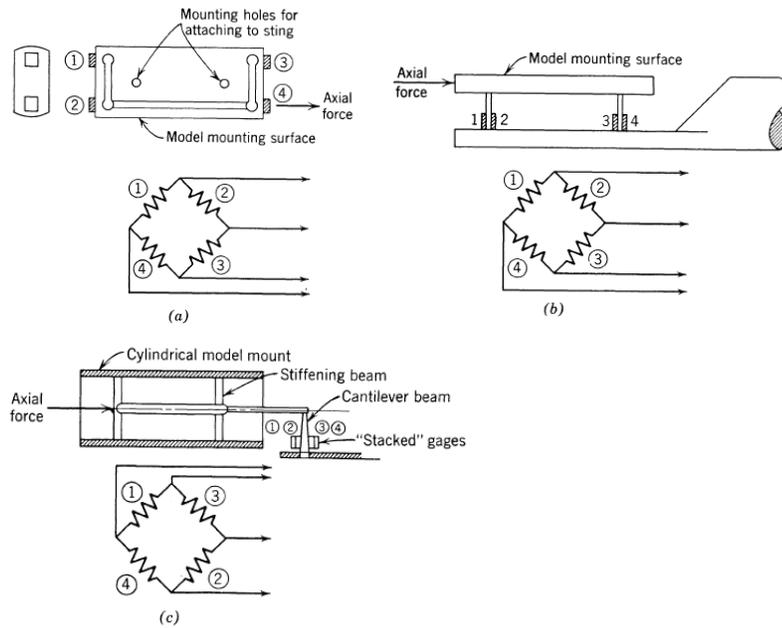


Figura 3.30 Galgas de fuerza axial.

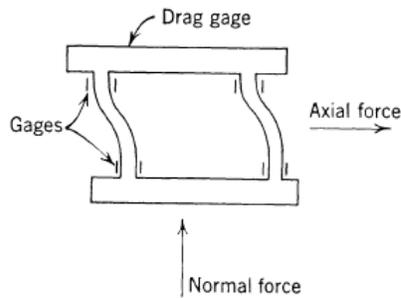


Figura 3.31 Fuerzas normales interactuando con fuerzas axiales

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

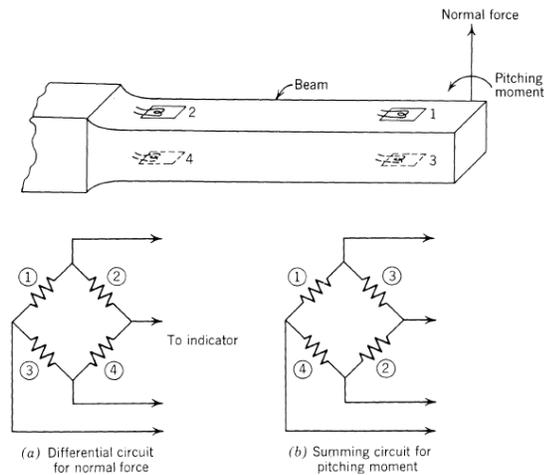


Figura 3.32 Fuerza normal y momento de cabeceo con un arreglo de galgas.

3.4.3 Calibración de los “strain gage” de la balanza interior.

Los “strain gage” dentro de la balanza, al igual que su contraparte externa, deben ser calibrados. Sin embargo, en contraste a una balanza externa, la interna no está libre de interferencias. Para tener información correcta, la balanza debe ser calibrada.

El procedimiento de la calibración tiene varios propósitos, como:

1. Comprobar las cargas en la balanza.
2. Determinar las pendientes de calibración para cada componente.
3. Determinar la sensibilidad de los componentes.
4. Determinar las interacciones en la balanza.
5. Determinar las desviaciones al aplicar cargas.
6. Revisar la repetición de las mediciones efectuadas.

Por lo cual el modelo y la balanza deben colocarse en el sistema (puede ser el pedestal de aguijón) que soportará el sistema en el túnel (Fig. 3.33).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

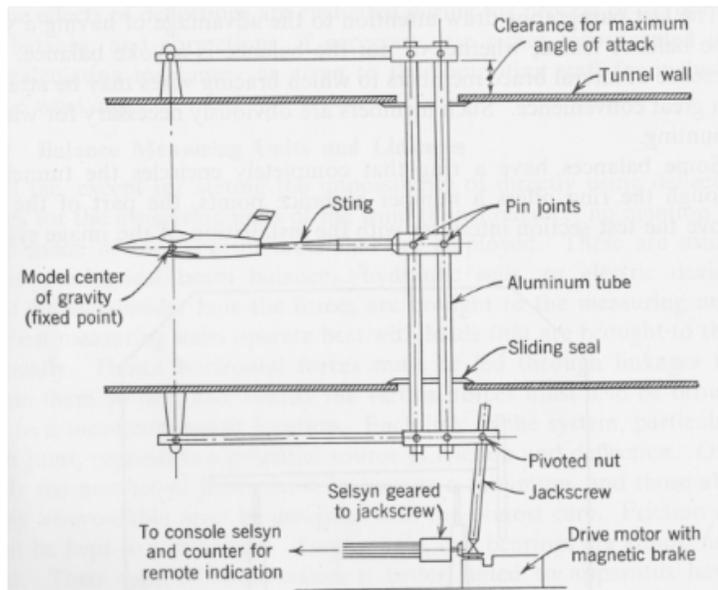


Figura 3.33.

Se procede a proporcionar la carga a través de rangos positivos y negativos de las cargas. Si no es práctico calibrar el modelo actual, se emplea un dispositivo equivalente al modelo original como se muestra en la Figura 3.34.

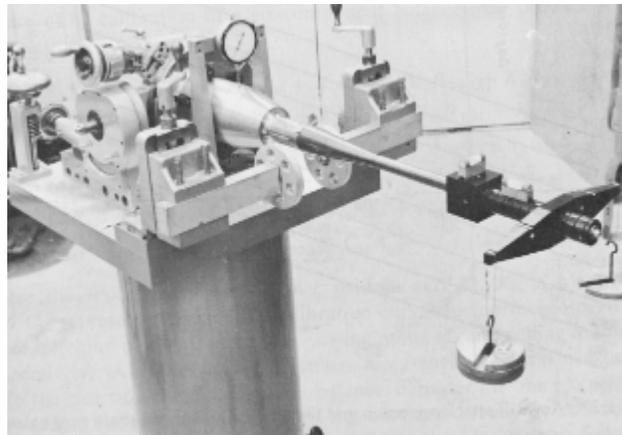


Figura 3.34.

Es importante determinar las desviaciones para la combinación completa modelo-balanza-pedestal, ver Figura 3.35.

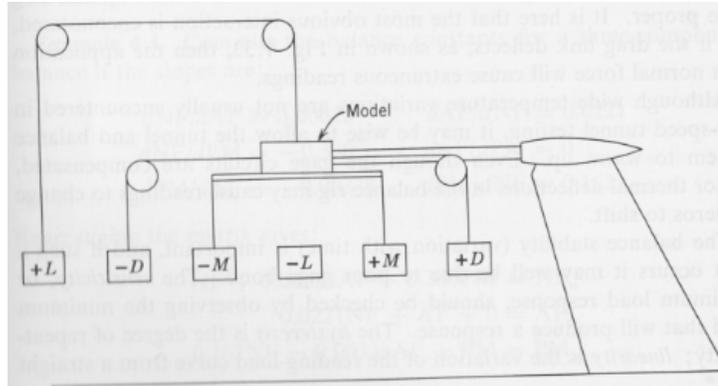


Figura 3.35.

3.4.4 Vicios e interferencias en las mediciones.

Cualquier instalación de un túnel de viento, requiere que el modelo sea soportado de alguna manera y a cambio, los soportes afectaran el libre flujo de aire alrededor del modelo y tendrán cierto arrastre estos también. El efecto en el libre flujo de aire se llama interferencia; el arrastre de los soportes se conoce como vicio. Aunque los vicios de arrastre pudieran eliminarse por completo “cubriendo” los soportes con un “escudo” (con las separaciones adecuadas), el tamaño añadido que se requiere, puede incrementara la interferencia, por lo que no se obtendrá ningún beneficio.

La evaluación del vicio (error) e interferencia es un trabajo complejo que requiere tiempo y conocimiento para su determinación. Se requiere que el estudioso mueva el modelo para medir las fuerzas en los soportes del modelo. Este procedimiento expondrá parte del soporte del modelo en la corriente del aire. Existen tres formas básicas para medir el vicio de arrastre y la interferencia:

1. Utilizar un modelo que evalúe por separado tanto el vicio como la interferencia. Este método no es muy utilizado.
2. Tener un soporte de pruebas que no sea suficientemente pesado para soportar el modelo y que tampoco requiera algún mecanismo para cambiar el ángulo de ataque del modelo.
3. Consiste en agregar unos soportes de prueba simulados en la superficie inferior, suponiendo que su efecto sea idéntico a los de los soportes reales. Algunas veces puede haber interferencia entre los soportes de pruebas simulados y reales.

Debe considerarse que las fuerzas de vicio e interferencia varían con el ángulo y cambios al modelo. Por lo que se deben de evaluar a cada modificación del modelo y posición.

3.4.5 Diseño y construcción de modelos.

En general los modelos contruidos con caoba laminada serán adecuadamente fuertes sin la necesidad de la utilización de acero, para velocidades de hasta 100 mi/h (160.9 Km/h). Arriba de esta y hasta de 300 mi/h (482.8 Km/h) modelos de madera con miembros de acero son recomendables, para velocidades mayores el metal es requerido. Un modelo muy delgado puede requerir una construcción de acero sólido, aunque las pruebas se realicen a 100 mi/h (160.9 Km/h). En los rangos de alta velocidad los márgenes de seguridad son normalmente requeridos. Se sugiere proveer el modelo con láminas de metal para tener una mayor exactitud.

Los materiales más utilizados para modelos de túnel de viento que soportan velocidades de hasta 300 mi/h (482.8 Km/h) son contruidos como se indico de caoba. Esta madera es fácil de trabajar, pega bien, puede tomar cualquier tipo determinado, y es poco susceptible a deformarse. Una segunda opción es el nogal, también es una buena madera para trabajar pero como tiene vetas curvas, es un poco más difícil de moldear y tiene poca tolerancia a las deformaciones. El acebo (otra madera) tiene una alta resistencia y es excelente para tomar las formas deseadas. Algunas de las maderas más suaves, plásticos, yeso y metales pueden utilizarse, cada uno tiene sus ventajas y desventajas para construcción y mantenimiento.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Algunos plásticos de resinas epóxicas y fibra de vidrio son muy útiles en la construcción de modelos. Cuando el peso es un problema, la fibra de vidrio puede utilizarse. Tubos de presión y laminas de metal pueden ser incorporadas en el modelo o bien pueden agregarse después de su creación, dependiendo del diseño.

Normalmente los modelos tienen muchas partes y/o componentes elaborados por separado. Esto es bueno y es aconsejable porque permite el acondicionamiento necesario de las señales que se deben de tomar, además de permitir cualquier tensión en el modelo y que tenga la posibilidad de deformarse.

Después de que ha sido terminado el modelo, éste debe ser bañado con al menos una capa de laca transparente, para sellarla y prevenir deformaciones originadas por la humedad en el modelo.

Aunque en muchos modelos las tomas de presión han sido elaborados con tubos de cobre para los manómetros, en la actualidad se utilizan de plástico para evitar torceduras o fugas ya que tienen una buena flexibilidad.

Cuando el modelo es muy grande o pesado, claro dependiendo del tamaño del túnel de viento, estos cuentan con una grúa para colocar el modelo dentro de la sección de pruebas.

3.4.6 Planeación de pruebas.

Un túnel de viento solo debe utilizarse si (a) alguna nueva información es requerida y (b) si las pruebas planeadas tienen la oportunidad de obtener más información con una mayor exactitud. Al observar los costos de los modelos y el tiempo de utilización del túnel de viento, se debe de tener mucha atención que los “nuevos conocimientos” no existen. En muchos casos una buena documentación ahorrara tiempo y dinero.

Es difícil escribir reglas específicas para la creación de pruebas y la toma de datos, esto debido a la gran cantidad de pruebas a tomar. No obstante, los siguientes procedimientos tienen buena

aceptación. Si algunos parecen obvios a los ingenieros experimentados, no se debe de perder tiempo entre las pruebas:

1. Verificar todas las calibraciones de los equipos antes, durante y después de las pruebas.
2. Tomar tantos puntos a probar que estos sean suficientes y no perder ninguno de vista que pueda afectar la claridad de las pruebas y las mediciones requeridas.
3. No dudar en cancelar las pruebas si el modelo no cumple todas las especificaciones requeridas.
4. Planear una gran variedad de pruebas con el modelo para soportar la necesidad de los datos.
5. Siempre es posible investigar como otros hacen este tipo de pruebas para que crezcan los beneficios de su experiencia.
6. Ser siempre claro con todas las instrucciones y presentación de los mismos. Nunca usar únicamente la palabra “presión” cuando “presiones estática” o “presión total” pueden ser confundidas. Siempre usar un subíndice para el cabeceo y el desvío para determinar a acerca de que eje se están realizando las mediciones.

3.4.7 Procedimientos generales de pruebas.

Dependiendo de las innovaciones incorporadas y los términos del desarrollo o del programa, un nuevo modelo requiere de entre uno y seis (o más) modelos y pueden realizarse hasta en 6 túneles de viento diferentes.

Después de que el desarrollo preliminar ha sido construido. El primer modelo usualmente entre un 6 y 16 por ciento del real, es dividido en partes, y cada pieza puede crecer progresivamente, adicionando otra pieza a la pieza base, haciendo la evaluación del efecto de cada componente. Cada modelo o parte adicionada requiere de la toma de mediciones de todas las fuerzas y momentos: Fuerzas de elevación, arrastre, laterales y los momentos de roleo, cabeceo y desvío. La división del modelo ayuda a determinar la configuración del modelo que requiere ser diseñado.

3.4.8 Generadores de humo.

Una aproximación al estudiar el flujo de aire en el túnel de viento es mediante el uso de un instrumento que arroje humo al modelo (figura 3.36). Este tipo de aparato tiene unos inyectores justo enfrente del modelo que emiten humo limpio y que sigue el flujo del aire y hace que los patrones del flujo sean visibles. Este tipo de instrumentos regularmente son utilizados en túneles de baja velocidad.

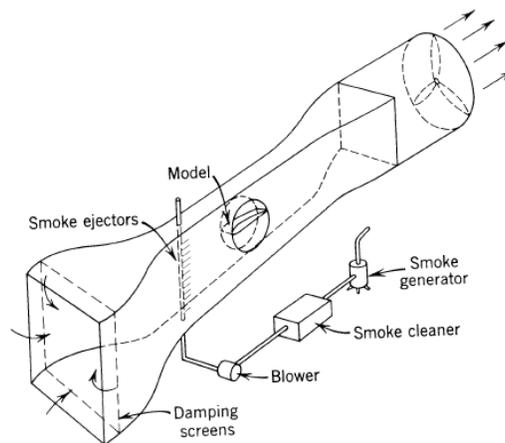


Figura 3.36.

Un simple pero efectivo generador se muestra en la figura 3.37. Aceite de parafina, proporciona un denso y blanco humo. (Figura 3.38 a y b))

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

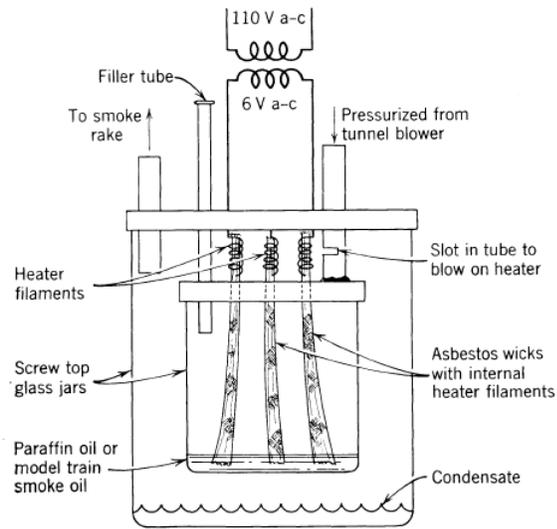


Figura 3.37.

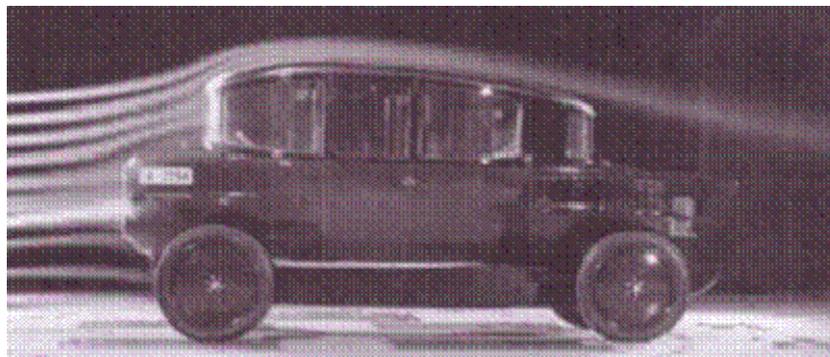


Figura 3.38 .a y b

3.4.9 Sensores de presión.

Para analizar las presiones de determinados lugares del modelo, requerimos sensores de presión colocados donde se requieran tomar las lecturas. Una opción son los sensores de presión diferencial, ya que estos nos permiten colocar menos sensores, midiendo más puntos.

El análisis de cargas en un túnel de viento se hace a través de distintas técnicas de acuerdo a un modelo de valoración adoptado que depende del tipo de carga, tipo de estructura analizada, grado de confiabilidad deseado, disponibilidad de instrumental y medios. Para el análisis de cargas estáticas en un túnel de viento el modelo de valoración que se acerca más a la situación real es el de valoración ideal, que requiere la determinación de los llamados coeficientes de pico. Una técnica utilizada para la determinación de los coeficientes de pico es el análisis de valores extremos, que requiere la determinación de los parámetros de la función de distribución de valores extremos del coeficiente de carga. La aplicación de esta técnica requiere el procesamiento estadístico de un gran volumen de datos que no puede ser efectuado en forma manual. En la figura 3.39 se muestra un diagrama de cómo interactúan los equipos para obtener la información.

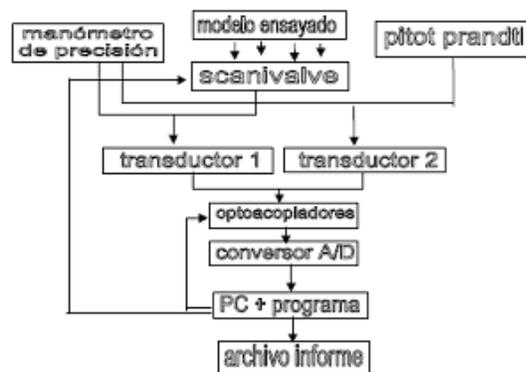


Figura 3.39.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

La figura 3.40 muestra un esquema de la secuencia utilizada para adquirir los datos experimentales en el túnel. Durante los procesos de calibración se utilizan tubos de Pitot conectados a manómetros y medidores manuales de velocidad para verificar las lecturas monitoreadas con transductores de voltaje. Se puede utilizar el programa LABVIEW de National Instruments para procesar los datos hasta lograr una correlación de presión versus voltaje.

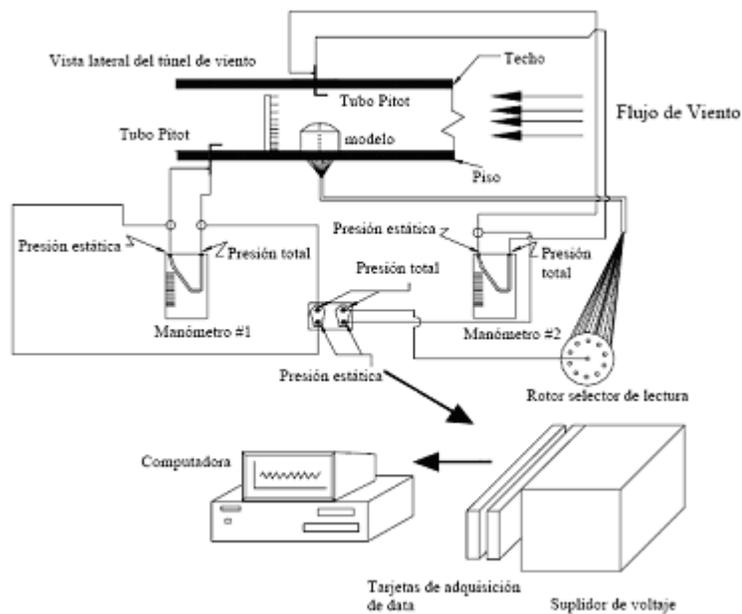


Figura 3.40.

Para hallar las velocidades en cada punto establecido, es necesario conocer la presión total en ese lugar y las presiones estáticas en el túnel. La velocidad de aire se calcula como la diferencia entre la presión total en un punto y la estática a una altura considerada sobre el techo del modelo. La velocidad del viento durante las pruebas se monitorea y verifica usándose medidores de presión, valores que posteriormente serán traducidos a velocidad del aire en m/seg por medio de la siguiente ecuación:

$$V = 5.573 \sqrt{\frac{h_v}{\rho_a}} \dots\dots\dots (3.5)$$

Donde:

h_v = Diferencia de presión total y estática,

ρ_a = densidad del aire

Debido a que la densidad del aire es influenciada por factores termodinámicos, es necesario calcularla tomando en cuenta variaciones de humedad relativa y temperatura del ambiente. Tanto la humedad como la temperatura deben ser estrechamente monitoreadas durante todo el proceso experimental.

3.4.10 Tubo de Pitot simple.

Uno de los dispositivos que actualmente se usa para medir el flujo de aire, es el tubo de Pitot simple (Fig. 3.41). Este tubo contiene dos orificios, los cuales están ubicados diametralmente opuestos. En uno de ellos, el que se encuentra perpendicular y en dirección opuesta al flujo, mide la presión total y en el otro, el que se encuentra perpendicular y en la misma dirección del flujo mide la presión estática. El elemento secundario, el cual puede ser una columna de agua o bien transductores de presión, debe conectarse a dichos orificios, para obtener la diferencia entre la presión total y la estática, es decir, la presión dinámica.

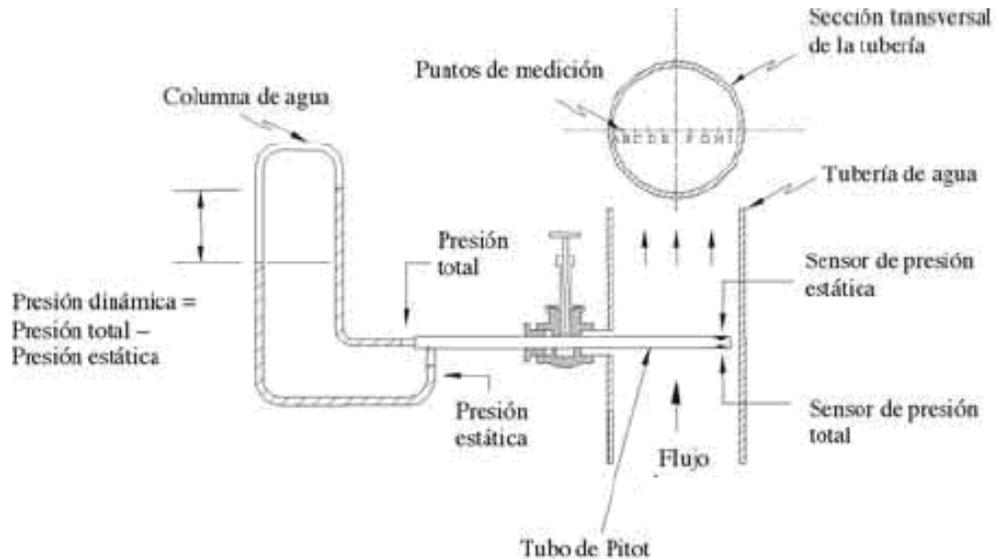


Figura 3.41.

La presión dinámica se utiliza para calcular la velocidad del fluido en cada uno de los puntos que sea requerido y se construye el perfil de velocidades. Sin embargo, el uso de este dispositivo presenta los siguientes inconvenientes:

- a) La lectura de la presión en la columna de agua es complicada, debido a la oscilación del nivel de ésta, dependiendo del grosor de la manguera utilizada. Dicha oscilación puede verse intensificada si ocurre un estado transitorio en la operación del sistema. Además, la lectura tomada depende de la apreciación de la persona que realiza la medición.
- b) Debido a que son varios puntos a lo largo de la sección de pruebas en los que se requiere medir la presión dinámica, el tubo de Pitot tiene que desplazarse a lo largo de todos estos puntos, con el consiguiente incremento en la duración de la medición y la incertidumbre de que las condiciones operativas sean las mismas para todos los puntos de medición.
- c) No se tiene un resultado instantáneo del flujo, debido a que la medición requiere de un tiempo considerable, no solo para la toma de lectura sino también para el procesamiento de los datos. Esto representa una gran desventaja cuando se requiere ajustar el flujo.

3.4.11 Tubo de Pitot multi-puertos.

Las desventajas del tubo de Pitot simple se eliminan, mediante la construcción de un tubo con varios orificios o puertos de medición (tubo de Pitot Multi-Puertos, Fig. 3.42) con los cuales, la presión del fluido se puede medir simultáneamente en todos los puntos requeridos. Las señales de presión son captadas precisamente por transductores de presión y convertidas a señales eléctricas, mismas que se transfieren al sistema de adquisición de datos y posteriormente a una computadora, para su procesamiento mediante un programa que determina el perfil de velocidades y el flujo. Actualmente existen en el mercado muchos dispositivos de medición, uno de ellos son los no intrusivos (tipo Coriolis y magnéticos) que no ocasionan ninguna perturbación al fluido y pueden operar satisfactoriamente con fluidos sucios y abrasivos.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

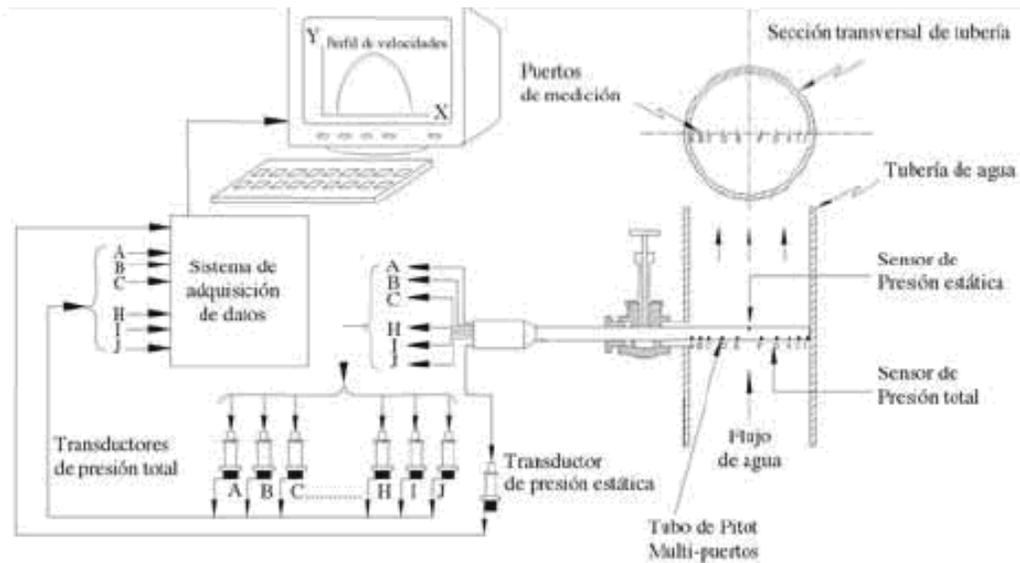


Figura 3.42.

Los orificios del tubo se acoplan a conectores con mangueras para captar la presión del fluido. El haz de mangueras proveniente de los orificios que está acoplado y que completan la conexión con los transductores de presión.

En la Figura 3.43 se muestra una fotografía del tubo, con una vista del interior del mismo (extremo izquierdo), en la cual se observan algunos de los conectores acoplados a los orificios.



Figura 3.43.

3.4.12 Un sistema de procesamiento de señales.

Un sistema para la captura, transmisión y procesamiento de las señales de presión del fluido está compuesto por los transductores de presión y un sistema de adquisición de datos (SAD). El SAD a su vez se integra de una fuente de alimentación, un acondicionador de señales, un convertidor de señales analógico a digital, un módulo inteligente para medición, un canal de comunicación, una computadora, y un programa para el procesamiento de los datos. Todo esto en conjunto realiza las siguientes operaciones:

1. Verificación de las curvas de calibración de todos los transductores de presión.
2. Conversión de la señal eléctrica de los transductores, a unidades físicas de presión del fluido.
3. Despliegue gráfico en tiempo real, de los valores de la presión del fluido (total y estática) para todos los puertos de medición.
4. Cálculo de la presión dinámica.
5. Procesamiento estadístico de los datos de presión dinámica, con el objeto de determinar valores representativos, discriminando aquéllos que pudieran ser incongruentes.
6. Determinación de la velocidad del fluido, con base en los valores de presión dinámica representativos.
7. Construcción del perfil de velocidades representativo o promedio.
8. Cálculo del flujo promedio.
9. Almacenamiento de los datos obtenidos durante la medición, en una base de datos para su procesamiento posterior.

3.4.13 Plataforma de fuerzas.

Una plataforma dinamométrica (o de fuerzas) es un instrumento para medir las fuerzas de acción-reacción que se ejercen sobre ellas transformándolas en señales eléctricas.

Actualmente las plataformas de fuerza son muy sofisticadas, utilizando una serie de transductores que registran la fuerza en más de una dirección (F_x , F_y , F_z) para almacenar datos de fuerza en el tiempo.

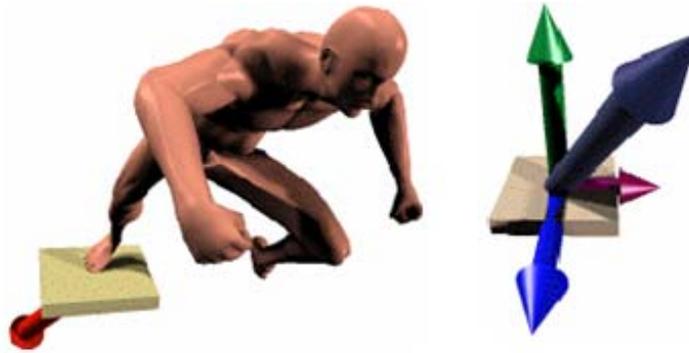


Figura 3.44.

Las fuerzas son vectores y por lo tanto las operaciones que se hagan con sus valores deberán realizarse mediante cálculos vectoriales. Ejemplo: $F_x = 200$ N $F_y = 50$ N $F_z = 750$ N. Existen diferentes tipos de plataformas de fuerzas que están en función de:

El número de transductores:

- Triaxiales: Constan de 4 transductores, detectando cada uno de ellos parte de cada una de las tres componentes de la fuerza resultante. Conociendo las dimensiones de la plataforma o la colocación de los sensores se puede calcular la fuerza resultante aplicada, el ángulo que forma esta fuerza con respecto a la plataforma y su punto de aplicación (x , y , z). Este tipo de plataformas son de gran utilidad en el estudio del centro de presiones y en el análisis del equilibrio estático y dinámico.
- Biaxiales: Estas plataformas tienen un único sensor colocado en el centro de la plataforma. Respecto a las anteriores estas plataformas permiten medir la fuerza sólo

en dos dimensiones (x, y), lo que hace que el punto de aplicación de la misma sólo lo podamos calcular en una dimensión.

Del tipo de transductores:

- Transductores piezoeléctricos: Son elementos de cuarzo pre comprimido que miden las deformaciones que se producen sobre él, transformándolas en señales eléctricas. Estos elementos están conectados a un amplificador de señal. La principal limitación de los sensores piezoeléctricos es que no pueden medir fuerzas estáticas con precisión, ya que no tienen una respuesta continua, por lo que para esta aplicación se requieren sensores basados en galgas extensométricas.
- Transductores extensométricos: En el caso de las plataformas con estos componentes, cada sensor dispone de hasta ocho galgas extensométricas, siendo cuatro de ellas sensibles a cargas verticales (dos de ellos también registran fuerzas longitudinales) y cuatro a cargas horizontales (dos de ellos también registran fuerzas transversales). Su principal limitación es su mayor sensibilidad a la temperatura. Cuando se ejerce una fuerza sobre una plataforma dinamométrica, ésta se reparte entre los cuatro sensores, los cuales generan las correspondientes señales electrónicas en función de la carga asumida por cada uno de ellos. A partir de las ecuaciones de equilibrio estático (en este estudio no se verán) de la placa superior de la plataforma se realiza el cálculo de las tres componentes de la fuerza de reacción, las coordenadas, el punto de aplicación de la fuerza vertical resultante y el momento de torsión en cada instante del tiempo.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

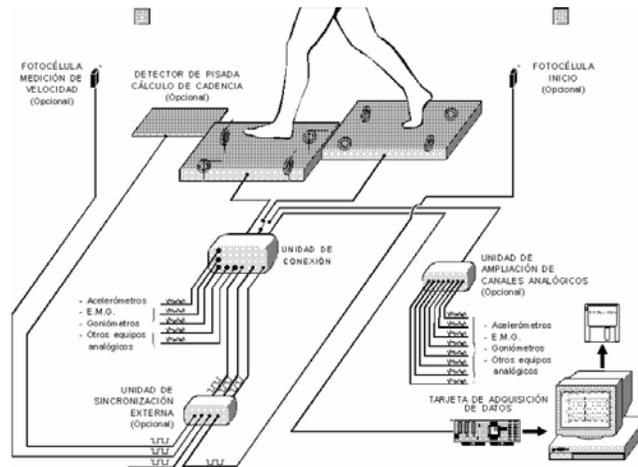


Figura 3.45.

Los métodos más empleados para medir las fuerzas ejercidas por el objeto de ensayo son:

- Balanzas aerodinámicas: pudiendo medir hasta 6 grados de libertad.
- Medida de presiones sobre la superficie del cuerpo: simular a las balanzas, la diferencia es que se colocan perpendicularmente a la superficie del cuerpo (en su interior), conociendo las zonas en las que más presión se registra.
- Cantidad de movimiento: Se mide el tramo de velocidades de una sección transversal de la cámara de ensayos anterior al cuerpo y de otra posterior. Calculando la diferencia de la cantidad de movimiento, podremos estimar las fuerzas aerodinámicas.

3.4.14 Principios de operación, medición e instalación mediante extensometría eléctrica.

Veremos que son los extensómetros eléctricos, sus principios de funcionamiento y medición, así como las características más importantes de su instalación, también que estos son transductores que nos permiten obtener datos de deformación a partir de cambios de resistencia eléctrica y que con ellos es posible obtener, mediante transformaciones adecuadas, no sólo esfuerzos, si no también fuerzas, presiones, temperaturas y pares de torsión entre otros (mediante dispositivos especialmente diseñados para cada fin).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

La extensometría eléctrica es precisamente una técnica que nos permite obtener el estado de deformación con un alto grado exactitud, lo que aunado a su facilidad de instalación y bajo costo, la convierte en una herramienta indispensable en la ingeniería moderna.

Pero no solo podemos obtener esfuerzos con los extensómetros eléctricos, ya que al ser estos unos transductores que transforman los cambios de resistencias eléctrica a deformación unitaria, es posible mediante las ecuaciones y conversiones adecuadas, tener parámetros tales como fuerza, presión, desplazamiento, temperatura, aceleración, par, torsión, dilatación y otros más que ésta técnica nos permite obtener con relativa facilidad y economía, por lo cual es aplicada en todos los desarrollos de la ingeniería moderna.

Así, un extensómetro, también conocido como galga extensométrica o “strain gage”, es un elemento que actúa como transductor, transformando la variación de una magnitud mecánica, como la fuerza o la deformación, en la variación de una magnitud eléctrica, como la resistencia o el voltaje. Estos transductores han sido una de las herramientas más poderosas en el campo experimental de análisis de esfuerzos. Su importancia como técnica para determinar esfuerzos mecánicos se ha incrementado debido a la creciente diversidad de aplicaciones en las distintas áreas de la ingeniería.

3.4.15 El Transductor.

Dispositivo al que se aplica una energía de entrada y devuelve una energía de salida, esta energía de salida suele ser diferente al tipo de energía de entrada. Por ejemplo, en un medidor de temperatura, una espiral metálica convierte la energía térmica aplicada, en el movimiento mecánico de la aguja del marcador. Debido a la facilidad con la que se transmite y amplifica la energía eléctrica, los transductores más utilizados son los que convierten otras formas de energía, como calor, luz o sonido, en energía eléctrica. Algunos ejemplos son los micrófonos, que convierten la energía sonora en energía eléctrica; los materiales fotoeléctricos que convierten la luz en electricidad y los cristales piroeléctricos que convierten calor en energía eléctrica.

3.4.16 ¿Qué es y cómo opera un extensómetro eléctrico?

Su principio de operación se basa en los cambios de resistencia eléctrica que sufre un conductor, cuando es sometido a cambios en su longitud, que si bien fue enunciado en 1856 por lord William Thomson Kelvin, pero no fue sino hasta 1938 en que Simmons y Ruge en USA, emplearon lo que podemos considerar hoy como un extensómetro eléctrico.

Veamos ahora las ecuaciones que rigen la operación de los extensómetros, en primer lugar, es importante recordar que la resistencia eléctrica de cualquier conductor, depende del material de que se trate, de sus dimensiones y viene dada por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots\dots\dots (3.6)$$

Donde:

R = La resistencia eléctrica (ohms)

L = La longitud (m)

A = El área seccional del conductor (m²) y

ρ = La resistividad (ohms * m²/ m)

Por otro lado Kelvin encontró que la resistencia eléctrica de un conductor sometido a esfuerzo, cambia proporcionalmente a la deformación que éste sufre, lo cual podemos expresar de la siguiente forma:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = FE \left(\frac{\Delta L}{L}\right) \dots\dots\dots (3.7)$$

Donde:

R = Es la resistencia eléctrica (ohms)

L = La longitud (m)

FE = Es el factor de proporcionalidad o factor del extensómetro (Gage factor)

De la expresión anterior, $\Delta R/R$ se refiere al cambio unitario en la resistencia, mientras que $\Delta L/L$ indica la deformación unitaria que sufre el conductor, puesto que las sensibilidades de deformación son muy bajas, esto es, los cambios en resistencia son del orden de cientos a miles de partes por millón, para niveles de deformación normalmente encontrados en elementos mecánicos esforzados, no es posible obtener una indicación directa con un medidor de resistencia de tipo normal. La limitante en la medición de la deformación a través del cambio en la resistencia eléctrica, se supera con un proceso intermedio de conversión de resistencia a voltaje, resultando este último más sencillo de medir.

Vemos así que sería posible obtener la deformación unitaria de un elemento estructural ($\Delta L/L=c$). Si de alguna forma logramos instalar un elemento conductor íntimamente adherido al material de estudio y medimos el cambio de resistencia eléctrica de este finísimo conductor (esto es precisamente lo que es un extensómetro eléctrico), con una resistencia, un factor de extensómetro exactamente conocidos y montados sobre una delgada capa de material de soporte que les permita estar pegado fácilmente a cualquier elemento estructural, podremos tener las lecturas deseadas. Además es factible obtenerlos en una variedad casi infinita de tamaños y formas lo que indudablemente hace posible su instalación en prácticamente cualquier punto y medir con muy alta precisión.

Estas sobresalientes cualidades de un extensómetro eléctrico, obedecen al hecho de que en su fabricación, se emplean las técnicas más modernas de los circuitos electrónicos impresos, respaldados por una extensiva y profunda investigación de materiales y técnicas. En la figura 3.46 puede observarse la configuración de un extensómetro.

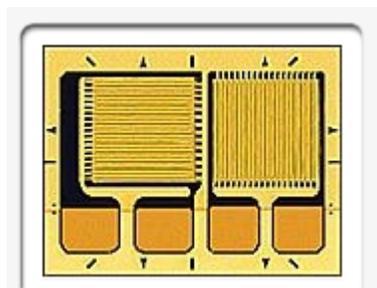


Figura 3.46.

3.4.17 ¿Cómo se mide ΔR o la deformación unitaria ε ?

Acabamos de ver la factibilidad de obtener la ε (deformación unitaria) a partir de ΔR ; entonces nuestro problema es ahora el medir ΔR , para ello utilizaremos el puente de Wheatstone. En la figura 3.47, tenemos un arreglo de 4 resistencias eléctricas R_1 , R_2 , R_3 y R_4 , las cuales son alimentadas por la batería en los puntos A y D, entre los puntos C y B se coloca un galvanómetro que nos permitirá medir la intensidad y dirección de la corriente eléctrica que circule entre los puntos C y B cuando exista una diferencia de potencial entre ellos. Este dispositivo recibe el nombre de puente de Wheatstone.

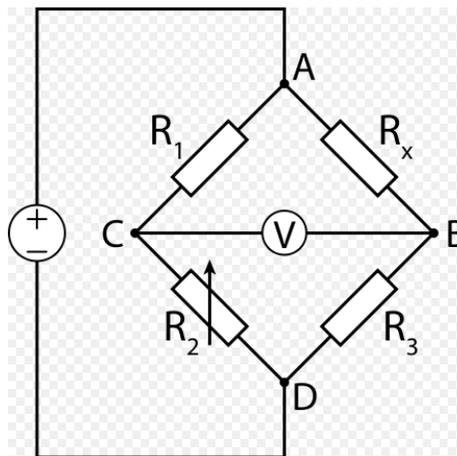


Figura 3.47.

Bueno, si regresamos al puente de Wheatstone tal vez resulte más fácil comprender que si de alguna forma cambiáramos el valor de la resistencia R_2 (lo cual podría ser el caso de un extensómetro colocado sobre un elemento estructural expuesto a esfuerzo), el galvanómetro registraría un movimiento de su aguja en uno u otro sentido según se aumente ó disminuya ésta, lo cual es precisamente lo que necesitamos.

Uno de los circuitos eléctricos comúnmente empleados para obtener un voltaje de salida al haber un cambio de pequeño orden en la resistencia, es el denominado puente de Wheatstone, constituido por cuatro “brazos” que representan cuatro resistencias. Cada una de estas

resistencias puede ser una galga extensométrica, pudiendo utilizarse arreglos de una (1/4 de puente), dos (1/2 puente) o las cuatro (puente “completo”).

3.4.18 Diferentes configuraciones.

Viga en Flexión – Cuarto de puente: Esta configuración longitudinal de la galga responderá a las cargas de flexión pero no será afectada por las cargas torsionales si la galga se monta en la línea central. Debe tomarse cierta precaución en cómo se aplica la carga, porque los transductores que utilizan esta configuración también responderán a cualquier carga axial que pueda estar presente. Puesto que esta configuración produce una cantidad pequeña de no linealidad es sensible a los cambios en temperatura. Figura 3.48. La configuración (medio – puente) es más recomendada que esta de cuarto de puente.

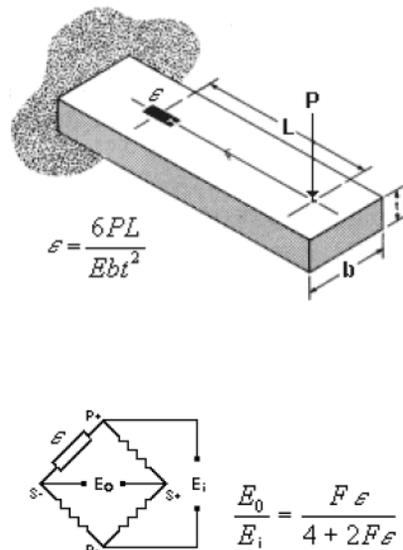


Figura 3.48.

Viga en Flexión – Medio puente: En esta configuración, se utilizan dos galgas axiales. La galga en la superficie inferior se coloca exactamente debajo de la galga en la superficie superior, estas miden los esfuerzos de flexión que son de magnitudes iguales pero signos opuestos. Cualquier cambio de la resistencia en las galgas, que resulta de las tensiones producidas por las cargas axiales, será cancelado porque las dos galgas están en brazos

adyacentes del puente. Así mismo, los cambios de la resistencia originados por temperatura serán bloqueados cuando ambas galgas y el modelo experimentan los mismos cambios en temperatura. Figura 3.49.

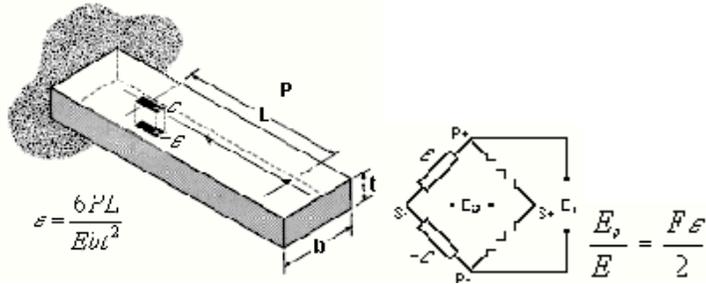


Figura 3.49.

Viga en Flexión – Puente entero: Se muestra un circuito de puente completo, en el que las 4 resistencias se encuentran montadas en el objeto de estudio, lo que puede ayudarnos a obtener mayor precisión en nuestras lecturas (esta configuración es la de mayor precisión). Figura 3.50.

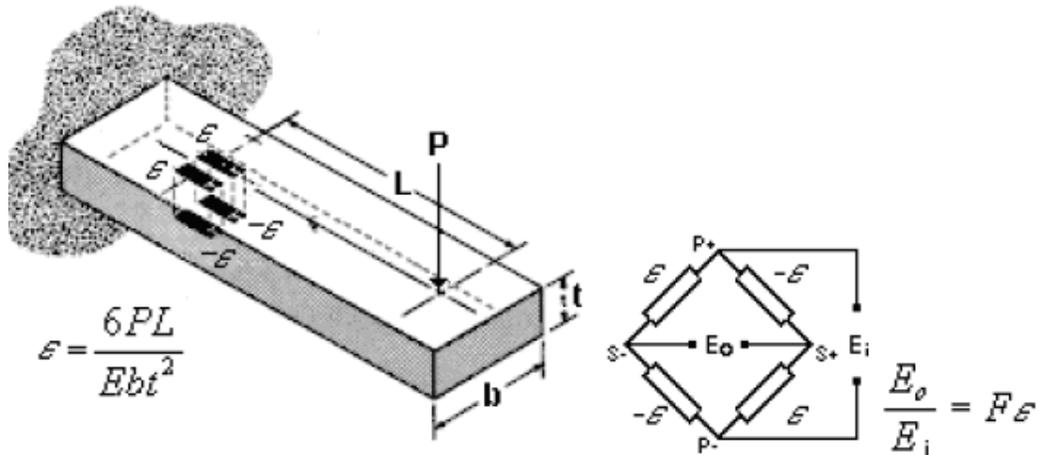


Figura 3.50.

Columna Axial - 2 Galgas en Brazos Opuestos: La configuración física de las galgas es igual que la usada para el medio puente de flexión. Pero como las dos galgas activas ahora están conectadas eléctricamente en los brazos opuestos del puente, la configuración cancela deformaciones por pandeo o flexión con magnitudes iguales y signos opuestos. La magnitud de salida es alta pero es no lineal. Figura 3.51.

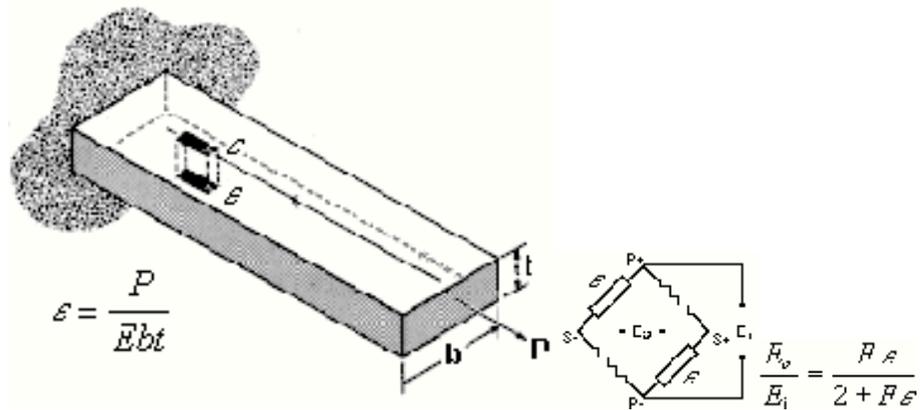


Figura 3.51.

Columna Axial – Puente lleno-Poisson: Esta configuración del "puente-lleno" con una galga longitudinal y la galga transversal de "Poisson" en ambas superficies es la más popular para las cargas axiales. La salida es no solamente más alta sino que también es más lineal. Figura 3.52.

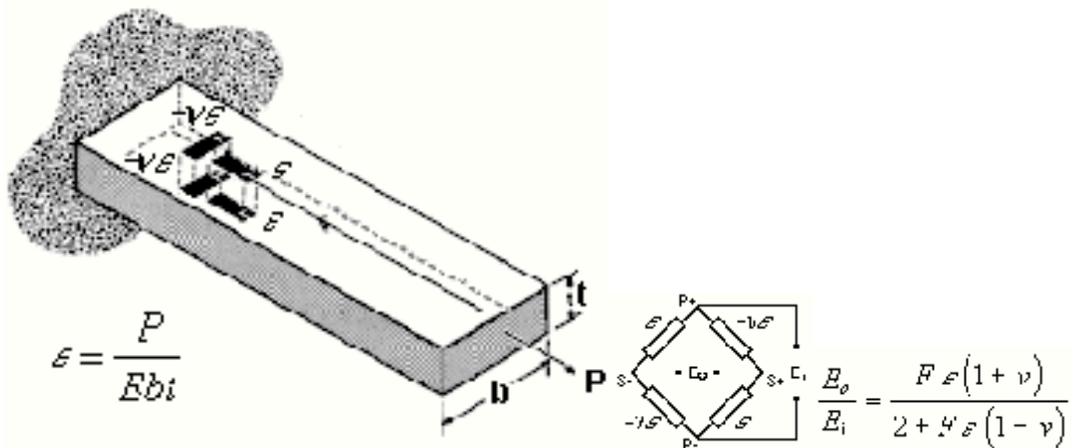


Figura 3.52.

3.4.19 Preparación de superficies.

El propósito de la preparación es desarrollar una superficie químicamente limpia, con una rugosidad superficial adecuada y una alcalinidad de un *ph* neutro, y un trazado visible de líneas de referencia para la orientación del extensómetro. Estos pasos se resumen en 5 operaciones básicas:

- Desengrasado
- Lijado de la superficie
- Trazado de ejes de referencia
- Acondicionador
- Neutralizador

A fin de asegurar la máxima limpieza y óptimos resultados, deberá evitarse siempre:

- Tocar la superficie con los dedos
- Pasar de ida y vuelta o re usar las esponjas o pañuelos de limpieza
- Arrastras contaminantes desde la zona externa a la de preparación.
- Dejar secar por evaporación las soluciones de preparación
- Dejar parcialmente preparadas la superficie y no demorar en el pegado del extensómetro para luego continuar.

3.4.20 Selección de materiales y equipo.

Podría parecer que la selección de un extensómetro es una acción trivial, toda vez que desde el punto de vista de su principio de operación todos ellos son iguales, no obstante, si nos detenemos a pensar en las muy diversas condiciones en las que éstos habrán de trabajar, resulta comprensible que varias compañías dispongan de una gran cantidad de configuraciones.

Veamos algunas de estas condiciones, empecemos por el tamaño del extensómetro, éste exigirá un número considerable de ellos, ya que si por ejemplo pretendemos instrumentar la

raíz de un pequeño diente de un engrane, el espacio disponible podría ser tan pequeño que justifique la existencia de un extensómetro de 0.2 mm de longitud. Ahora bien, si lo que instrumentaremos es un elemento estructural de concreto, en el que para su preparación se utilizan agregados de diferentes tamaños y resistencias, entonces requerimos de un extensómetro lo suficientemente largo para obtener un promedio de las deformaciones que sufra el punto elegido, debido a que si emplea uno de longitud inferior al de los agregados, la lectura obtenida no sería representativa de la deformación promedio, es por ello que se construyen extensómetros de hasta 100 mm de longitud.

Consideremos además que las pruebas pueden ser estáticas ó dinámicas, bajo condiciones de temperaturas tan bajas como $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$, o tan altas como $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, inmersas en agua salada ó bajo las críticas condiciones del desierto, sujeta a grandes fuerzas centrífugas ó presiones extraordinarias y la duración de las pruebas que pueden esperarse sean de unos segundos o varias décadas y además exigir una muy alta y estable precisión. Adicionalmente se agregan a todas estas variables que el elemento debe ser ultra delgado y ser montado sobre un material que facilite su manejo y que junto con el pegamento, soldadura y cables no produzcan reacciones indeseables ó no soporte alguno de ellos las condiciones a las que será sometido. Podemos sintetizar los parámetros más importantes que han de considerarse para la selección de un extensómetro en los siguientes pasos:

- Sensibilidad a la deformación de la aleación utilizada
- Material del respaldo
- Longitud de la medición
- Modelo o tipo
- Número de referencia para auto compensación por temperatura
- Resistencia eléctrica del medidor
- Opciones

Básicamente el proceso de selección consiste en una particular combinación de características disponibles que sean compatibles con las condiciones en que habrá de trabajar el elemento y que satisfagan sus limitaciones, tales como:

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Precisión
- Estabilidad
- Temperatura
- Deformación esperada
- Duración de la prueba
- Número de ciclos esperados
- Facilidades disponibles de instalación
- Condiciones ambientales de operación.

El costo del extensómetro no es un factor a considerar en el proceso de selección, ya que generalmente éste representa sólo una pequeña parte del costo total de los elementos a instrumentar.

Si bien el factor más importante que determina las características de operación de un extensómetro es la aleación metálica de su circuito impreso, ésta no es independiente del material del respaldo que se utiliza para su manejo y pegado, por lo que es muy importante considerar a ambos como una unidad. Otros factores tales como el encapsulado, alambrado ó puntos de soldadura, no intervienen notablemente en el comportamiento del extensómetro.

Entre las distintas aleaciones, la más común es la de “constantán”, aunque también es posible encontrar las siguientes:

- P: Constantán recocido
- D: Aleación Iso-Elástica
- K: Aleación de Níquel – Cromo ó aleación “karma” modificada en su versión de auto compensación por temperatura.

3.4.21 Configuración de los extensómetros.

Para extensómetros de una sola rejilla, su configuración depende principalmente de:

- Terminales para soldar: Compatible en tamaño y orientación con el espacio disponible para la instalación del extensómetro.
- Ancho de la rejilla: Para una mejor disipación del calor para que no afecte la toma de los datos de deformación.
- Resistencia del extensómetro: La única diferencia entre dos extensómetros es la resistencia eléctrica, que comúnmente puede ser de 120Ω ó 350Ω . Donde el de mayor resistencia genera un tercio del calor que el de uno de baja resistencia bajo las mismas condiciones eléctricas.

Para el caso de estados biaxiales de esfuerzos en el que no se conoce la dirección de los esfuerzos principales, el uso de una roseta de 3 elementos es lo más indicado.

3.4.22 Características de las opciones disponibles.

Para algunas de las distintas configuraciones y series, existen variantes u opciones disponibles que facilitan el trabajo del instalador de los extensómetros, sin embargo, éstas representan un costo adicional al del extensómetro regular y su elección deberá hacerse analizado si el costo ó la dificultad de la instalación lo justifican.

Algunas de las ventajas que representa su uso podrán ser:

- Reducción significativa del tiempo y costo de instalación.
- Exigen menos habilidad para su instalación.
- Incrementan la confiabilidad del soldado de cables.
- Facilitan la instalación en condiciones difíciles.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

En la tabla 3.1 se da una idea de las principales características de cada una de las opciones disponibles:

Opción	Series disponibles	Características principales
W	EA, EP, WA, ED, EK, WK	Terminales integradas y encapsulado
E	EA, ED, EK, EP	Encapsulado; Terminales puestas
SE	EA, ED, EK, EP	Puntos de soldadura y encapsulado
L	EA, ED, EK, EP	Con cables de cobre suave soldados
LE	EA, ED, EK, EP	Con cables de cobre suave soldados encapsulado

Tabla 3.1.

3.4.23 Procedimiento para la selección de extensómetros.

A pesar de un gran número de variables que se involucran en el proceso de selección de un extensómetro, podemos reducir este proceso a sólo unos cuantos pasos básicos y que son los seis pasos que se indican a continuación:

1. La longitud, ya que ello depende de las condiciones geométricas del elemento a estudiar. La longitud de la galga es la longitud de sensibilidad de la galga como se muestra en la figura 3.53.

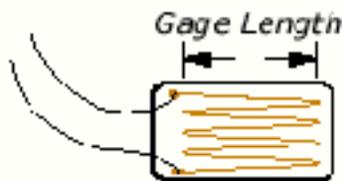


Figura 3.53.

Esta longitud varía de 0.2 mm a 100 mm (0.008 in - 4 in), pero se prefiere una longitud de 3 a 6 mm (0.125 in - 0.25 in) para la mayoría de las aplicaciones.

2. La forma del extensómetro, que al igual que el punto anterior dependen de las condiciones geométricas del elemento a estudiar.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Generalmente se refiere al número de mallas y su distribución o acomodo. Se debe seleccionar una galga uni-axial si:

- Solo se estudiara una dirección de deformación.
- El costo es importante. Son más económicas.



Figura 3.54.

Se debe seleccionar una galga bi-axial si:

- Los principales esfuerzos necesitan ser investigados y se conocen los ejes principales.

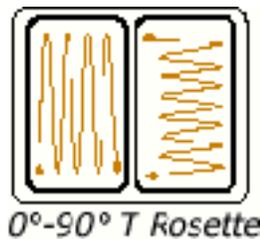


Figura 3.55.

Seleccione un elemento tri-axial si:

- Se necesitan estudiar los principales esfuerzos pero no se conocen ejes.

3. Determinar la serie ó materiales de la rejilla y el respaldo.

4. Determinar que opciones convendrían elegir.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

5. Decidir la resistencia eléctrica del extensómetro, que depende de las pruebas a realizar y de los materiales que se utilicen, aunque en general se recomienda el uso de valores altos, lo que implica una mayor precisión pero mayor costo y con un sacrificio de su vida útil por fatiga.

6. Seleccionar el de coeficiente de dilatación térmica que más se asemeje al material que estamos probando o vamos a estudiar.

3.4.24 Cableado.

Para la instalación del cable es necesario mucha precaución por los tamaños tan pequeños que se utiliza, sin embargo el cable más utilizado es el 134-AWP de Vishay. Este es para propósitos generales y puede operar de - 75 a 150 °C. Tiene un recubrimiento de tipo barniz.

SINGLE-CONDUCTOR TYPES: SOLID WIRE			
M-M TYPE	PACKAGING	DESCRIPTION	
	Foot/Metre		
134-AWP 136-AWP	500 ft/150 m 500 ft/150 m	Solid copper wire, polyurethane enamel: General-purpose intragage hookup wire. Useful from -100° to +300°F (-75° to +150°C). Enamel coating easily removed by applying heat from soldering iron.	
127-AWN 130-AWN	500 ft/150 m 500 ft/150 m	Solid copper wire, nylon/polyurethane enamel: Identical in use to Type AWP above, but with superior abrasion resistance and slightly reduced insulation resistance at elevated temperatures.	
127-AWQ 130-AWQ 134-AWQ	500 ft/150 m 500 ft/150 m 500 ft/150 m	Solid copper wire, polyimide enamel: Intragage hookup wire. Useful from -452° to +600°F (-269° to +325°C). Enamel is extremely tough and abrasion resistant, with excellent electrical properties; generally removed by mechanical scraping or sanding.	
126-GWF 126-GWF	100 ft/ 30 m 1000 ft/300 m	Solid nickel-clad copper wire, fiberglass braid insulation: Useful from -452° to +900°F (-269° to +480°C). Recommended for use with WK-Series gages when silver solder is used for lead attachment.	
137-HWR	200 ft/ 60 m	Solid manganin wire, formvar enamel: Used for bridge balance and span set in transducer circuits. Nominal resistance: 15.2 ohms/ft (50 ohms/m). Temperature range: +10° to +125°F (-10° to +50°C).	
142-IWR	500 ft/150 m	Solid Balco wire, formvar enamel: Used for temperature compensation for zero shift or span. Nominal resistance: 32.7 ohms/ft (65 ohms/m). Temperature coefficient of resistance: +0.35%/°F (+0.45%/°C). Temperature range: +10° to +300°F (-10° to +150°C).	

Figura 3.56 Cable 134-AWP.

También se puede utilizar el cable de tres puertos el 326-DFV de Vishay.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

			THREE-CONDUCTOR CABLE	
	M-M	FACEAGING	DESCRIPTION	
	TYPE	Foot/Metre		
<p>DFV DTV DSV</p>	326-DFV	100 ft/ 30 m	Stranded tinned-copper wire, 3-conductor flat cable, vinyl insulation: Convenient general-purpose cable. For use from -60° to +180°F (-50° to +80°C). Flat construction requires minimum space. Color-coded red/white/black.	
	326-DFV	1000 ft/300 m		
	330-DFV	100 ft/ 30 m		
	330-DFV	1000 ft/300 m		
	326-DTV	100 ft/ 30 m	Stranded tinned-copper wire, 3-conductor twisted cable, vinyl insulation: Convenient general-purpose cable for low electrical noise pickup. For use from -60° to +180°F (-50° to +80°C). Color-coded red/white/black.	
	326-DTV	1000 ft/300 m		
	326-DSV	100 ft/ 30 m	Stranded tinned-copper wire, 3-conductor twisted cable, vinyl insulation, braided shield, vinyl jacket: Special-purpose cable to minimize electrical noise interference. Useful from -60° to +180°F (-50° to +80°C). Color-coded red/white/black.	
	326-DSV	1000 ft/300 m		

Figura 3.57.

Ambos siguen el código de selección mostrado en la figura 3.58 que es la tabla de códigos de los extensómetros.

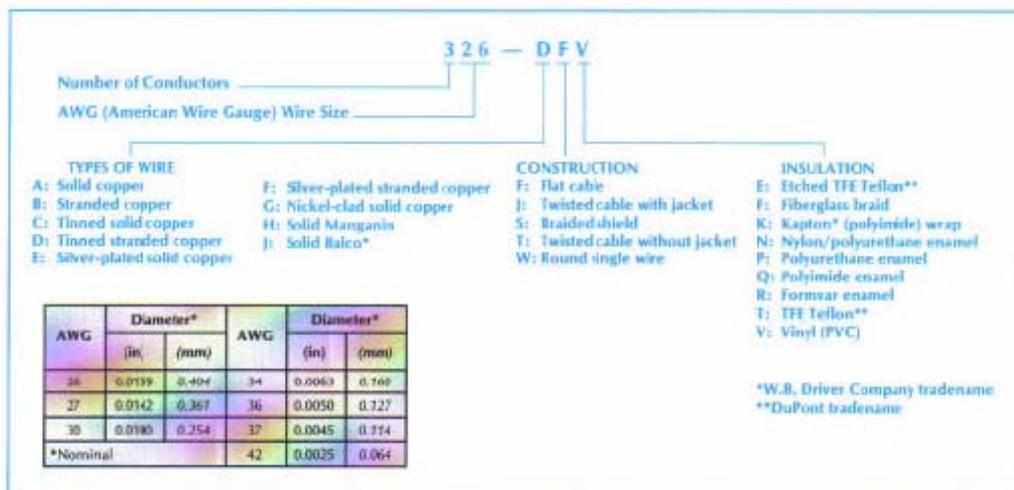


Figura 3.58.

El método consiste en superponer una pequeña capa de barniz sobre la superficie de la construcción. Al secarse esta forma una película fina, fuertemente unida con el metal. Al ser expuesto el modelo o el cuerpo a las fuerzas, en la zona de altas tensiones se forma una red de grietas finas en la película. La experiencia demuestra que la dirección de las grietas es perpendicular a la dirección de las tensiones máximas. Si el material es isótropo, esta dirección

corresponde a la de las tensiones principales de tracción. Este método tiene gran importancia, pues permite establecer de forma simple la dirección de los ejes principales en la zona que interesa y determinar aproximadamente el orden de los valores de las tensiones. A partir de aquí se pueden colocar los extensómetros de una manera más racional para establecer el punto exacto.

3.4.25 Sistemas de adquisición de datos.

Los sistemas de adquisición de datos, como el nombre lo indica, son productos y/o procesos usados para recoger la información para documentar o para analizar un cierto fenómeno. En la forma más simple, un técnico que registra la temperatura de un horno en un trozo de papel es ejecución de adquisición de datos. Mientras que ha progresado la tecnología, este tipo de proceso se ha simplificado y se ha hecho de un equipo electrónico directo más exacto, más versátil, y confiable. El equipo se extiende de los registradores simples a los sistemas informáticos sofisticados. Los productos de adquisición de datos sirven como punto focal en un sistema, atando y juntando una gran variedad de productos, tales como sensores que indiquen temperatura, flujo, el nivel, o la presión. Algunos términos más comunes de adquisición de los datos se indican a continuación:

- Convertidor de digital - analógico (D/A).
- Entrada / salida de Digital (DIO).
- Entrada diferencial.

3.4.26 Formas de adquisición de datos.

Puerto Serial: Los sistemas seriales de adquisición de los datos de comunicaciones son una buena opción cuando la medición necesita hacerse en una localización que esta distante de la computadora. Hay diversos estándares de la comunicación: RS232, RS485.

USB: Es un nuevo estándar para las conexión a los dispositivos periféricos tales como impresoras, monitores, módems y dispositivos de adquisición de los datos. El USB ofrece varias ventajas sobre conexiones seriales y paralelas convencionales, incluyendo un mayor

ancho de banda (hasta 12 megabit/s) y la capacidad de proporcionar energía al dispositivo periférico. El USB es ideal para los usos de adquisición de datos. Puesto que las conexiones del USB suministran energía, sólo un cable se requiere para ligar el dispositivo de adquisición de datos a una PC, que tiene muy probablemente por lo menos un puerto del USB.

Puerto paralelo: El puerto paralelo estándar en una computadora que sea de uso general para una conexión de impresora se puede también utilizar para conectar con un dispositivo de adquisición de los datos. Los sistemas de puerto paralelo soportan altas velocidades, aunque la distancia entre la computadora y el dispositivo es muy corta.

3.4.27 Termopares.

Un termopar es un sensor para la medición de temperatura. Consiste en dos metales disímiles, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría se produce un voltaje. Las aleaciones de los termopares están comúnmente disponibles como alambre.

Un termopar está disponible en diversas combinaciones de metales o de calibraciones. Las cuatro calibraciones más comunes son J, K, T y E. Hay calibraciones de más alta temperatura que son R, S, C y GB. Cada calibración tiene una diversa gama de temperaturas y ambiente, aunque la temperatura máxima varíe con el diámetro del alambre usado en el termopar. Aunque la calibración del termopar dicte la gama de temperaturas, la gama máxima también es limitada por el diámetro del alambre del termopar. Es decir, un termopar muy fino puede no alcanzar la gama de temperaturas completas.

A continuación se muestra una tabla de rangos de temperatura de los termopares.

Common Thermocouple Temperature Ranges			
Calibration	Temp Range	Std. Limits of Error	Spec. Limits of Error
J	0°C to 750°C (32°F to 1382°F)	Greater of 2.2°C or 0.75%	Greater of 1.1°C or 0.4%
K	-200°C to 1250°C (-328°F to 2282°F)	Greater of 2.2°C or 0.75%	Greater of 1.1°C or 0.4%
E	-200°C to 900°C (-328°F to 1652°F)	Greater of 1.7°C or 0.5%	Greater of 1.0°C or 0.4%
T	-250°C to 350°C (-328°F to 662°F)	Greater of 1.0°C or 0.75%	Greater of 0.5°C or 0.4%

Figura 3.59.

3.4.28 Visualización y video cámara digital.

En la mayoría de las pruebas dentro del túnel de viento, es preciso grabar la prueba y verla detenidamente para detectar posibles eventos que no se hayan podido ver o percibir, por lo que se utiliza un equipo de filmación para grabarlo. Este equipo también se utiliza para grabar pruebas específicas, por ejemplo cuando se quieren visualizar las líneas de viento cuando al modelo se le baña con una substancia que puede ser Keroseno y se observa bajo una lámpara oscura. Es un método muy sencillo, pero muy utilizado para ver el comportamiento tanto del modelo como de las corrientes presentes. También cuando se utiliza algún gas, la visualización de la dispersión turbulenta realizada es grabada, pero depende fuertemente del tipo de gas trazador utilizado.

El equipo de filmación puede ser una cámara digital o videocámara de alta velocidad, que gracias a su alta resolución y cuadros por minuto puede grabar y registrara un mejor detalle del comportamiento tanto de los gases o humos trazadores como de la estructura de estudio que lo que nuestros propios ojos podrán registrar.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN PARA ENSAYOS ESTRUCTURALES.

De acuerdo a lo visto en los capítulos anteriores, la instrumentación que se requerirá será para poder medir las deformaciones estructurales sometidas a la acción de un fluido, en este caso el viento, en donde se medirán las siguientes variables: flexión, torsión, compresión, presión, velocidad del viento y temperatura.

Para la lectura de los parámetros descritos anteriormente a estudiar en los modelos a escala dentro del túnel de viento, se propone un sistema de SCXI de National Instruments, que puede tomar de 48 hasta 96 señales simultáneamente. Los transductores se conectarán a una computadora para la adquisición de datos del modelo en estudio. Dicha computadora contará con un programa de adquisición de datos de fácil programación conocido como LabView, también de National Instruments, que al estar conectada al chasis de NI permitirá desplegar, presentar y almacenar los datos durante la prueba y permitir la visualización gráfica en tiempo real para cada una de las variables.

Adicionalmente se incorpora un equipo multimanómetro de la marca EDIBOM que puede leer 20 señales simultáneamente, para comparar las muestras electrónicas con las lecturas manuales, tener puntos de comparación de las señales y además de tener otras mediciones.

Y para aquellas lecturas que se requieran durante la prueba y no se pueda o deba posponer la prueba, se requerirá de un multifuncional portátil para tomar las lecturas faltantes y/o adicionales durante el desarrollo de los estudios.

A continuación se indican cuales son los equipos seleccionados.

4.1 Equipo e instrumentación propuesta para el túnel de viento a escala.

Transductor de temperatura SA1-RTD-B-120

Este componente nos servirá para controlar y determinar la temperatura de las paredes y dentro del túnel de viento cerrado, así como los efectos relacionados con la variación de la temperatura en las estructuras cuando incide el viento y produce alguna deformación.

El SA1-IDT es un sensor de temperatura de superficie que puede aplicarse a la mayoría de las superficies limpias y secas. Tiene una película para adherirse fácilmente, que no afecta al sensor y no requiere de ningún otro material para adherirse.

El diseño delgado del SA1-IDT minimiza los efectos de tener el sensor vinculado a la superficie de interés, contiene un elemento de detección de fina película de platino, la resistencia no está afectada por el montaje a superficies curvas, con este elemento se tiene un tiempo de respuesta rápida, responde rápidamente a los cambios de temperatura y es muy confiable.

Especificaciones:

- Resistencia: $100 \Omega \pm 0.12\%$ a 0°C .
- Rango de temperatura de -73°C a 260°C .
- Número de alambres: 3.
- Longitud de alambres: 2 metros 26 AWG, níquel-cobre.
- Tiempo de respuesta: Menos de 0.9 seg.

Cantidad requerida:

- 6 sensores de temperatura de pared SA1-RTD-B-120.

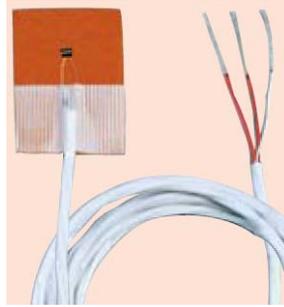


Figura 4.1.

Transductores de Presión LCMKD-10N

El transductor nos ayudara a determinar el valor de las fuerzas ejercidas en la base de la estructura y en la plataforma en la cual se afiance el modelo, determinando las fuerzas de torsión y momento ejercidos de toda la estructura.

Es un transductor de un tamaño muy pequeño para no afectar las dimensiones ni la plataforma a la cual se fije. Estas células de carga de compresión de OMEGA son diseñadas para medir las cargas que oscila de 0 a 10 N. Es un sensor de alto rendimiento y su construcción de acero inoxidable asegurar linealidad y estabilidad en las lecturas. Tiene una compensación automática por temperatura que se logra a través de una placa de circuitos miniatura que se incluye en el cable. Estas unidades están diseñadas para montarse sobre una superficie plana y suave

Especificaciones:

- Voltaje: 5 VCD, 7 VCD máx.
- Salida: 2 mV/V nominal.
- 5 puntos de Calibración: 0%, 50%, 100%, 50%, 0%.
- Rango de Operación: -54 a 107 °C (-65 a 225 °F).
- Resistencia: 350 Ohms.
- Peso: < 14 g (< 0.5 oz).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Sobrecarga segura: 150 % de capacidad.
- Sobrecarga final: 300 % de capacidad.



Figura 4.2.

Cantidad requerida:

- 10 células de carga de 0 a 10 Newtons.

Transductor de Flexión SG-7/350-DY13

Para poder medir las fuerzas que causan las flexiones producidas en las estructuras causadas por el viento, se requiere de galgas para colocarlas en los puntos específicos y son ideales por su tamaño y su nulo impacto en la toma de datos.

Estas galgas duales de rejilla paralela para uso exclusivo de flexiones, son utilizadas tanto para uso estático como dinámicos, son muy flexibles, mecánicamente fuertes, de tamaño pequeño, resisten a una amplia gama de temperaturas y su encapsulado es de gran durabilidad.

Especificaciones:

- Polímero: Grueso de la hoja de 5 μm .
- Substrato: 50 μm .
- Cubierta: 25 μm .
- Temperatura: - 30 a 250°C.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Resistencia: 350 ohms.
- Voltaje: 15 Volts.
- Medidas de la malla: 7 mm x 3.8 mm.
- Medidas de la base: 12 mm x 11 mm.

Cantidad requerida:

- 10 galgas esfuerzos de flexión SG-7/350-DY13.

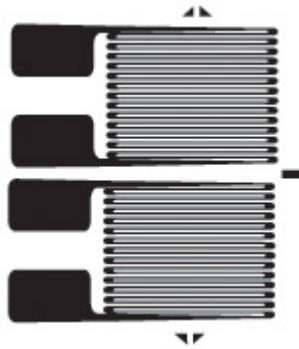


Figura 4.3.

Transductor de torsión y tensión SGK-SS y SGK-SD

Estas galgas son utilizadas para determinación de las fuerzas de tensión y torsión en los elementos seleccionados dentro de una estructura o de la misma estructura, utilizando las técnicas de $1/4$ o $1/2$ puente. Estas no vienen pre soldadas.

Especificaciones para la línea SGK-SS3A y SGK-SS3B

- Resistencia: 350 ohms.
- Medidas de la malla: 3.2 mm x 3.38 mm.
- Medidas de la base: 9.2 mm x 4.7 mm.
- Voltaje máximo: 11 volts y 155 Volts respectivamente.
- Terminales para soldar.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

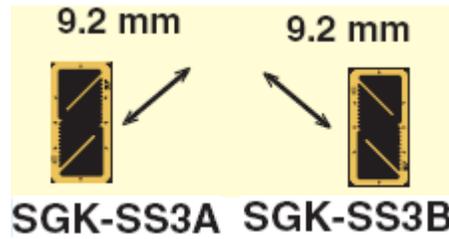


Figura 4.4.

Especificaciones para la línea SGK-SD3A

- Resistencia: 350 ohms.
- Medidas de la malla: 3.2 mm x 3.38 mm.
- Medidas de la base: 9.8 mm x 8.5 mm.
- Voltaje máximo: 11 volts y 155 Volts respectivamente.
- Terminales para soldar.

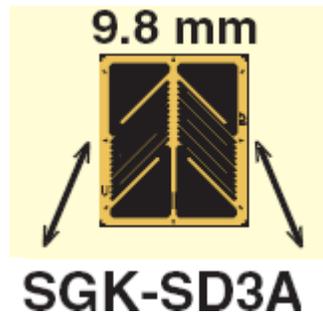


Figura 4.5.

Especificaciones para la línea SGK-SD3B

- Resistencia: 350 ohms.
- Medidas de la malla: 3.2 mm x 3.38 mm.
- Medidas de la base: 10.2 mm x 9.4 mm.
- Voltaje máximo: 11 volts y 155 Volts respectivamente.
- Terminales para soldar.

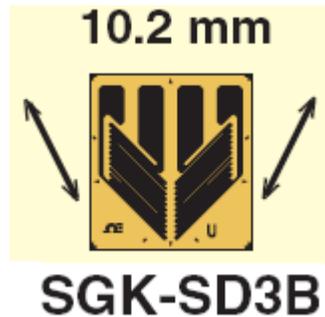


Figura 4.6.

Cantidad requerida:

- 5 galgas SGK-SS3A-K350U-PC11E.
- 5 galgas SGK-SS3A-K350U-PC23E.
- 5 galgas SGK-SS3B-K350U-PC11E.
- 5 galgas SGK-SS3B-K350U-PC23E.
- 5 galgas SGK-SD3A-K350U-PC11E.
- 5 galgas SGK-SD3A-K350U-PC23E.
- 5 galgas SGK-SD3B-K350U-PC11E.
- 5 galgas SGK-SD3B-K350U-PC23E.

Transductor de torsión y tensión KFG

El modelo KFG se utiliza para calcular el estado de la tensión en un punto particular. Los resultados obtenidos al trazarlos formarán el Círculo de Mohr, el cual proporcionara el valor y la orientación de la tensión principal. Este tipo de galga es circular, además de que vienen en una roseta 3 galgas dispuestas en ángulos de 0° , 45° y 90° .

Especificaciones para la línea KFG-1-120-D17-11L1M2S:

- Resistencia: 120 ohms.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Medidas de la malla: 1.0 mm x 1.2 mm.
- Medidas de la base: 5.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 1.5 Volts.
- 2 Terminales soldadas con 1 metro de longitud.

Especificaciones para la línea KFG-2-120-D17-11L1M2S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 2.0 mm x 1.3 mm.
- Medidas de la base: 8.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 2 Volts.
- 2 Terminales soldadas con 1 metro de longitud.

Especificaciones para la línea KFG-3-120-D17-11L1M2S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 3.0 mm x 1.3 mm.
- Medidas de la base: 10.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 4 Volts.
- 2 Terminales soldadas con 1 metro de longitud.

Especificaciones para la línea KFG-5-120-D17-11L1M2S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 5.0 mm x 1.4 mm.
- Medidas de la base: 11.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 8 Volts.
- 2 Terminales soldadas con 1 metro de longitud.

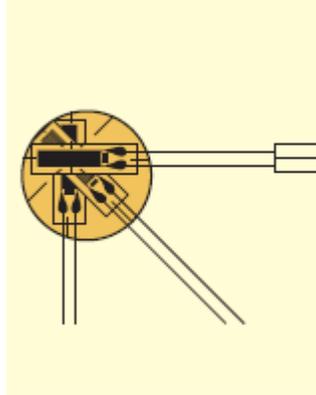


Figura 4.7.

Especificaciones para la línea KFG-1-120-D17-11L3M3S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 1.0 mm x 1.2 mm.
- Medidas de la base: 5.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 1.5 Volts.
- 3 Terminales soldadas con 3 metros de longitud.

Especificaciones para la línea KFG-2-120-D17-11L3M3S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 2.0 mm x 1.3 mm.
- Medidas de la base: 8.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 2 Volts.
- 3 Terminales soldadas con 3 metros de longitud.

Especificaciones para la línea KFG-3-120-D17-11L3M3S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 3.0 mm x 1.3 mm.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Medidas de la base: 10.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 4 Volts.
- 3 Terminales soldadas con 3 metros de longitud.

Especificaciones para la línea KFG-5-120-D17-11L3M3S:

- Resistencia: 120 ohms.
- Medidas de la malla: 5.0 mm x 1.4 mm.
- Medidas de la base: 11.0 mm de diámetro.
- Voltaje máximo: 8 Volts.
- 3 Terminales soldadas con 3 metros de longitud.

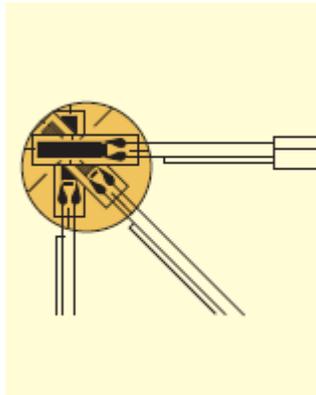


Figura 4.8.

Cantidad requerida:

- 10 galgas KFG-1-120-D16-11L1M2S.
- 10 galgas KFG-2-120-D16-11L1M2S.
- 10 galgas KFG-3-120-D16-11L1M2S
- 10 galgas KFG-5-120-D16-11L1M2S.
- 10 galgas KFG-1-120-D17-11L3M3S.
- 10 galgas KFG-2-120-D17-11L3M3S.
- 10 galgas KFG-3-120-D17-11L3M3S
- 10 galgas KFG-5-120-D17-11L3M3S.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Cableados y accesorios.

Para la conexión de los transductores con los equipos electrónicos de adquisición y medición se requiere de una serie de elementos que nos ayudaran a tener esta interconexión, y que a continuación se describen.

Rollo de un solo hilo TFCP-005-50

Este componente se utilizara para la interconexión desde la galga hasta los equipos electrónicos para la captura de los datos. Es un alambre de cobre de un solo filamento con aislamiento, es excelente para trabajar al vacío y puede trabajar en un rango de temperatura de -267 a 260 ° C (-450 a 500 ° F). Garantiza longitudes continuas de hasta 304.8 metros (1.000 pies).

Especificaciones:

- Ideal para conexiones de hasta 304 metros
- Gran respuesta en el vacío
- Inflamable
- Diámetro del alambre: 0.127 mm
- Longitud del cable 15.2 metros.

Cantidad:

- 4 carretes de TFCP-005-50.



Figura 4.9.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Rollo TX8-100

Al igual que el anterior, este componente se utilizara para la interconexión desde las galgas hasta los equipos electrónicos para la captura de los datos, y en especial cuando se requiera llevar varios datos desde el mismo punto. Este cable blindado proporciona inmunidad al ruido. Es conveniente para las señales de tensión de nivel bajo y alto y que están sujetas a altas señales de radiofrecuencias. Puede trabajar en un rango de temperaturas de -40 a 105 ° C (-40 a 221 ° F).

Especificaciones:

- Cable de categoría 24 awg.
- Revestimiento de PVC.
- Blindaje de aluminio.
- Diámetro del alambre: 5.59 mm.
- Configuración de 8 conductores.
- Longitud del cable 30.5 metros.

Cantidad:

- 2 carretes de TX8-100.



Figura 4.10.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Kit de aplicación de Galgas SG1-KIT

Para poder realizar la fijación y limpieza y pegado de las galgas a los puntos requeridos del modelo, y al soldado de los alambres de las galgas, se requiere de las herramientas para esta actividad, por lo cual se requiere de un kit de aplicación de galgas.

Contenido:

- Cepillo plano.
- Lupa de 6x.
- Regla de 30 cm.
- Regla flexible 30 cm.
- Borrador para fibra de vidrio.
- Tijeras redondeadas.
- Tijeras de punta.
- Punta de prueba dental.
- Espátula dental para el cemento.
- Separador para quitar aislamiento.
- Navaja con 6 cuchillas.
- Carrete del cable de cinta multicolor.
- Lija esmeril 400.
- Pinzas de corte.
- 10 galgas de varios modelos.
- Pegamento para galgas.
- Guía de aplicación y manual.

Cantidad:

- 1 kit SG1-KIT

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.11.

Pegamento SG401 y SG496

Este se utilizara para fijar las galgas a las estructuras y que no afecten las lecturas. El SG401 y SG496 son pegamentos de propósito general de pegado en frío. Son los más comúnmente utilizados, y fijan en 1 minuto, pero requieren de 24 horas para fijado permanente. El SG401 tiene una base de etílico cianoacrilato y el SG496 tiene la base de un metilo cianoacrilato. La vida útil es de 1 año a temperatura ambiental, pero puede extenderse más a temperaturas más bajas. El rango de temperaturas del pegamento es -54 a 82 ° C (-65 a 180 ° F).

Cantidad:

- 3 frascos SG401 de 0.1 onzas.
- 1 frasco SG496 de 1 onza.



Figura 4.12.

Multimanómetro inclinado de 20 tubos HMM-11000

Este multimanómetro ha sido diseñado para trabajar con tubo de Pitot y obtener los datos de la presión visualmente entre dos puntos o más puntos, conectados a través de mangueras.

Características:

- Estructura de aluminio anodizado. Principales elementos metálicos en acero inoxidable.
- Inclinación aproximada de 30°.
- 20 tubos manométricos de 250mm. de longitud.
- Diámetro interior de los tubos: 8mm, para evitar la formación de burbujas.
- Depósito de agua para llenado.
- 20 tomas para medida de presión diferencial, con llave.
- Colector común.
- Válvula de drenaje.
- Reglas milimetradas de 250mm. de longitud.
- Mangueras

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Cantidad:

- 1 Multimanómetro inclinado de 20 tubos HMM-I1000



Figura 4.13.

Tubos de Pitot tipo L TPL-03-100 y el TPL-03-100-T

Con estos tubos se podrá obtener la presión estática y dinámica en cualquier punto dentro del túnel de viento.

Características:

- Tubo de Pitot en L TPL-03-100, según norma ISO 3966, de cabeza elipsoidal. Rango de trabajo de 0 a 600 °C. Permite medidas de presiones estáticas, dinámicas y totales.
- Tubo de Pitot en L TPL-03-100-T, según norma ISO 3966, de cabeza elipsoidal. Rango de trabajo de 0 a 600 °C. Integra una sonda de temperatura por termopar y se entrega con cable de conexión longitud 1,5 m. Permite medidas de presiones estáticas, dinámicas, totales y temperatura.

Cantidad:

- 2 Tubo de Pitot en L TPL-03-100.
- 2 Tubo de Pitot en L TPL-03-100-T.

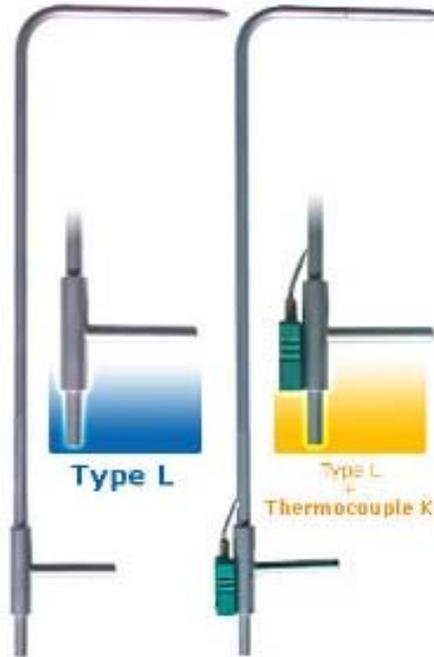


Figura 4.14. TPL-03-100 y TPL-03-100-T.

Multifuncional portátil AMI 301 PRO

Con este dispositivo portátil, se puede medir en cualquier punto valores de presión, temperatura, velocidad del aire, humedad, si en algún momento dentro de la prueba en el túnel de viento se requiere una lectura adicional, y para evitar el paro de los ventiladores, la habilitación de otros transductores, el tendido del cableado y nuevamente el encendido del túnel, con este equipo se evitará este tipo de eventualidades. Además que puede ser utilizado para validar datos que en ese preciso momento este registrando el sistema.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Características:

- Velocidad 3 a 100 m/s.
- Presión -500 a 500 Pascales.
- Temperatura -100 a 250 °C.
- Humedad de 3 a 98 %.
- Almacenamiento de datos.
- Calibración automática.
- Incluye una serie de componentes para realizar las pruebas requeridas según el componente.

Cantidad:

- 1 AMI 300 PRO



Figura 4.15.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Equipo para visualizar el comportamiento del fluido Vicount 5000

Este generador de humo, está diseñado especialmente para túneles de viento, el cual produce líneas de humo de una adecuada densidad que permite la demostración de los patrones del fluido en el objeto de estudio. Al generador de humo se le agrega un gas inerte tal como CO₂ o nitrógeno. El humo producido es resistente a las temperaturas hasta de 180° C (355° F), haciéndolo ideal.

Especificaciones:

- Peso del generador 17 kg.
- Tamaño: 54 x 18 x 41 cm.
- Salida de humo: 150 m³ /min.
- Tamaño de las partículas: 02. A 0.3 micrones.
- Capacidad del tanque: 4800 ml.
- Tiempo máximo de operación continua: 2h 25 min
- Consumo de aceite: 1900 ml.

Cantidad:

1 generador de humo Vicount 5000

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.16.

Cantidad:

- 1 Generador de Vicount 5000

Equipo de adquisición

Para registrar y visualizar tanto el comportamiento de las variables, el prototipo y el túnel de viento, se requiere de un sistema de adquisición de datos de alta capacidad, por lo cual se recurre a la serie SCXI de National Instruments, con el cual se podrán manejar todas las variables requeridas (presión, temperatura, par, torsión, etc.), además de manejar diferentes tipos del puente de Wheatstone ($1/4$, $1/2$ y puente completo).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Chasis SCXI-1001 de 12 Slots

El SCXI-1001 es un chasis robusto de poco ruido que puede recibir hasta 12 módulos SCXI. Este chasis alimenta módulos SCXI así como soporta toda la temporización, disparo y enrutado de señal entre su digitalizador y los módulos SCXI. Para sistemas más grandes o expansiones futuras, se pueden conectar hasta ocho chasis SCXI-1001.

Características:

- Montaje en rack, en panel y opciones portátiles con enfriamiento con aire forzado.
- Ambiente de acondicionamiento de señales de bajo ruido.
- Circuito de temporización para multiplexado de alta velocidad.
- Robusto, chasis compacto de 12 ranuras para alojar a cualquier módulo SCXI.
- 3 buses analógicos internos.

Cantidad:

- 1 chasis modelo SCXI-1001 de 12 Slots

SCXI-1001

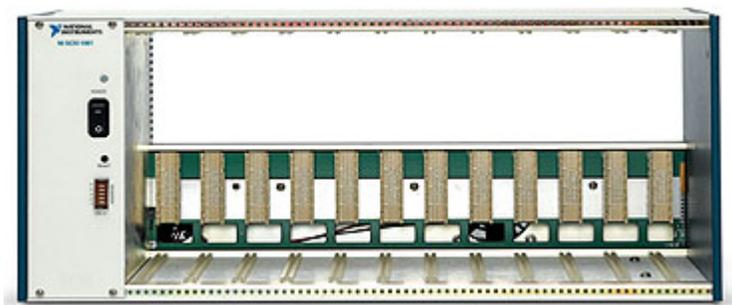


Figura 4.17.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Tarjetas de adquisición NI SCXI-1520 de 8 canales Universales

El módulo SCXI-1520 está diseñado específicamente para medir señales de galgas extensométricas universales y ofrece todas las características que se necesitan para todas las medidas de tensión simple o avanzada. Con solo este módulo, se pueden leer señales desde sensores de tensión, fuerza, par de torsión y presión. Incluye una referencia interna para calibración automática en ambientes cambiantes. Es un módulo de entrada de 8 canales.

Características:

- Ganancia programable (0 a 1000 V) por canal.
- Filtro programable de 4 polos (10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz) por canal.
- Excitación programable (0 a 10 V) por canal.
- 8 canales de salida analógica muestreadas simultáneamente; Terminación de cuarto, de medio y puente completo.
- Software NI-DAQmx de Servicios de Medida para simplificar configuración y medidas.

Cantidad:

- 8 Tarjetas NI SCXI-1520 de 8 canales.

NI SCXI-1520



Figura 4.18.

Terminales frontales SCXI-1314

El SCXI-1314 es un bloque terminal de montaje frontal para el modulo SCXI-1520 de entrada de galgas extensométricas de 350 Ohm de cuarto de puente. Este bloque terminal incluye un resistor de terminación de cuarto de puente instalado de fábrica y de 350 Ohm por cada canal. Ocho resistores de 120 Ohm están incluidos, pero no instalados para usarse con galgas extensométricas de cuarto de puente de 120 Ohm. Además, el bloque terminal incluye dos resistores de calibración de derivación de 100 Ohm instalados de fábrica. Este bloque conector de 8 canales tiene 11 terminales por cada canal de galga extensométrica, consta de señal +, señal -, potencia +, potencia -, cuarto de puente para cada canal, dos calibraciones de derivación A y calibración de derivación B.

Cantidad:

- 8 Bloques terminales frontales SCXI-1314.



Figura 4.19.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Tarjeta PCI-6251

La PCI-6251 de National Instruments es una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) multifunción de alta velocidad para una precisión superior a velocidades de muestreo más altas.

Características:

- Dos salidas analógicas de 16 bits (2.8 MS/s), 24 E/S digitales, dos contadores de 32 bits.
- Certificado trazable de calibración expedido por el NIST y más de 70 opciones de acondicionamiento de señal.

Cantidad:

- Una tarjeta PCI-6251.

NI PCI-6251

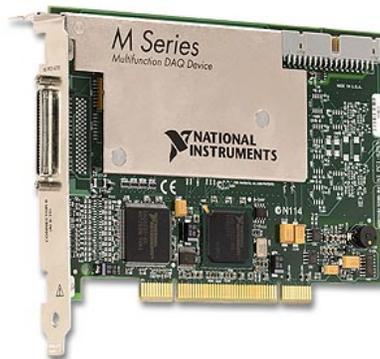


Figura 4.20.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Software LabView Full Development

Es un programa intuitivo de programación gráfica diseñado para la modelación y el muestreo en tiempo real de las señales que se requieren. Ofrece conectividad con miles de dispositivos de medida y control, incluyendo cientos de funciones de análisis y tiene la habilidad para almacenar datos en reportes y bases de datos. Por lo que el software analiza unidades físicas, E/S, análisis y procesamientos de señales, toma de decisiones complejas, registro de datos y genera reportes.

Características:

- Desarrollo con Interfaz de Usuario.
- Funciones y Asistentes para Adquisición de Datos.
- Funciones y Asistentes para Control de Instrumentos.
- Generación de Reportes y Almacenamiento de Datos.
- Llamadas a Código Externo.
- Desarrollo Modular y Orientado a Objetos.
- Matemáticas, Análisis y Procesamiento de Señales.
- Programación Guiada por Evento.
- Entorno de desarrollo gráfico fácil de usar.
- Estrecha integración con una amplia gama de hardware de medición.
- Rápido desarrollo de interfaz de usuario para visualizar datos en vivo.
- Extensa funcionalidad para procesamiento de señales, análisis y cálculos matemáticos.
- Integración de control de código fuente y métricas de complejidad de código.
- Soporte para Windows Vista/XP/2000.

Cantidad:

- Un Software LabView Full Development.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.21.

Equipo de cómputo

Para la interconexión entre el software y el equipo de adquisición de datos de NI se requiere una estación de trabajo en donde se instalara el software y además se conectara al chasis de adquisición de datos.

Características:

- Procesador Intel Core2 Quad Q9550 (2.83GHz, 12MB L2Cache, 1333MHz FSB).
- Sistema Operativo Windows Vista Business SP1 Original, en español.
- Microsoft Office Small Business - Español.
- Memoria 4GB Dual Channel DDR2 SDRAM 800MHz - 4DIMMs.
- Pantalla de 22".
- Tarjeta de video 256MB ATI Radeon HD 3450.
- Disco Duro Serial ATA de 2.5 TB (7200RPM) con DataBurst Cache.
- Quemador 16X (DVD+/-RW).
- Lector de Memorias 19-en-1.
- Tarjeta de sonido Sound Blaster Audigy Integrada con Programa de edición de Alta definición.
- Modem Tarjeta Inalámbrica.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.22.

Artículos varios

- 12 Paneles Traseros Cubre-Espacio para SCXI SCXI-1361
Se utilizarán para cubrir la parte trasera del Chasis.

- 4 Paneles Frontales Cubre-Espacio para SCXI SCXI-1360
Se utilizarán para cubrir los slot frontales que no se ocupen.

- 8 Adaptadores SCXI-1349 Bracket/Adapter Assembly
Los adaptadores se usan en conjunto con un cable blindado de adquisición de datos (SH6868) para conectar el conector de E/S de un dispositivo DAQ a un sistema SCXI frontal de acondicionamiento de señales.

- 8 Cables SHC68-68-EPM de 5 metros
Cables especialmente diseñados para funcionar con dispositivos de la Serie M. Este cable ofrece secciones digitales y analógicas separadas, pares cruzados blindados individualmente para entradas analógicas, salidas analógicas blindadas individualmente y pares cruzados para E/S digitales críticas.

4.2 Ejemplo de otro tipo de instrumentación.

A continuación se describen brevemente otros componentes que pudieran ser utilizados para el túnel de viento y que su uso dependerá de lo que se quiera obtener y/o medir.

HMM-W500. Doble Manómetro en “U”

- Este multimanómetro ha sido diseñado para trabajar con un tubo de Pitot. Permite determinar la presión entre dos puntos o dos fluidos.
- 2 Manómetros de vidrio en forma de “U” de 500mm de longitud.
- Reglas milimetradas de 500mm de longitud.
- 3 tomas para medidas de presión.
- Dimensiones: 250x 500 x 870 mm aprox.
- Peso: 3 Kg aprox.



Figura 4.23.

HMM-U1000. Manómetro en “U”

- Diseñado para montar sobre pared.
- Manómetro en forma de “U” de 1000 mm de longitud.
- Reglas milimetradas de 1000mm de longitud.
- Válvula de drenaje.
- Dimensiones: 170 x 40 x 1400 mm aprox.
- Peso: 2 Kg aprox.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.24

HMM-V500-12. Multimanómetro, en posición vertical, de 12 tubos manométricos de 500 mm, de longitud.

- Disposición vertical.
- 12 tubos manométricos de 500mm de longitud.
- Diámetro interior de los tubos: 8mm, para evitar la formación de burbujas.
- 12 tomas para medida de presión diferencial, con llave.
- Válvula de vaciado.
- Dimensiones: 400 x 500 x 870 mm aprox.
- Peso: 5Kg aprox.



Figura 4.25.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Sensor de Velocidad y Temperatura OMEGA TVS-1108

Equipo que mide la velocidad del fluido y la temperatura en sus 8 terminales con anemómetros de hilo caliente y es escalable hasta 32 terminales. Utiliza sensores omnidireccionales que miden la velocidad y la temperatura. Este sistema requiere de un software y una PC para la adquisición de datos.

- Alimentación: 115 a 40 VCA, 1 a 5A, 60-50 Hz.
- Número de canales: 8 canales expandibles a 32.
- Rango de Temperatura: -30 a 150 °C ± 1 °C (-22 a 302 °F) ± 34 °F.
- Rango de Velocidad: 0 a 50 m/s (10,000 ft/min) $\pm 2\%$ a velocidad.



Figura 4.26.

Monitor de 10 canales para galgas

- Excitación: 2, 5 o 10 VCD.
- Tipo de puente: 1/4, 120 y 350 Ω ; 1/2 y completo, >120 Ω .
- Temperatura de Operación: 5 a 35°C (41 a 95°F).
- Alimentación: 115 a 230 VCA a 50/60 Hz.
- Dimensiones: 419 ancho x 152 alto x 356 largo (mm).
- Peso: 7 kg (15.5 lb).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.27.

Acondicionador de señal SC-2345

Ideal para los sistemas de medida portátiles, gran variedad de opciones directas de la conectividad de la señal y del sensor. Amplia gama de opciones analógicas y digitales de acondicionamiento. Acondicionamiento de señal anticipado para la serie de M, la serie de E, y algunos dispositivos de múltiples funciones de la serie DAQ de NI.



Figura 4.28.

Entrada de Termo acoplador SCC-TC02

- Número de canales: 1.
- Señales de entrada tipo: J, K, T, B, E, N, R, and S, ± 100 mV.
- Ganancia de Señal: 100.
- Voltaje de entrada: ± 12 V.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Figura 4.29.

Entradas para Sensor de presión Serie SCC-SG

Consiste en dispositivos de doble canal para la entrada y acondicionamiento de los sensores de presión para las configuraciones de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y puente completo. Cada módulo se diseña para un tipo específico de configuración del puente.

- Número de canales: 2
- Rango de entrada de señal: ± 100 mV.
- Ganancia de Señal: 100.
- Rango de señal de salida: ± 10 V.

NI SCC-SG Series Strain Gage Input/Excitation



Figura 4.30.

Módulos de adquisición de señales

NI 9217

El módulo de entrada analógica NI 9217 de National Instruments tiene 4 canales y 24 bits de resolución para medidas de 100 Ω . Se pueden configurar el NI 9217 para dos diferentes modos de velocidad de muestreo.

- Entradas analógicas de 100 Ω .
- Velocidad de muestreo de hasta 400 S/s.

NI 9217

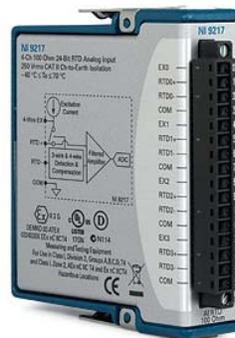


Figura 4.31.

NI 9219

El NI9219 de National Instruments es un módulo universal de la Serie C de 4 canales diseñado para pruebas de usos múltiples en cualquier chasis NI CompactDAQ o CompactRIO. Con el NI9219 se pueden medir varias señales desde sensores como galgas extensométricas, termopares, celdas de carga y otros sensores. Los canales son seleccionados individualmente, así se puede realizar un tipo de medida diferente en cada uno de los cuatro canales. Los rangos de medida difieren para cada tipo de señal e incluyen hasta ± 60 V para voltaje y ± 25 mA para corriente.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

- Aislamiento entre canales de 250 V_{rms}.
- Terminación integrada de cuarto, de medio y puente completo.
- Excitación de voltaje y corriente integrados.
- Medidas de termopares, resistencia, voltaje y corriente.

NI 9219



Figura 4.32.

NI 9234

El NI9234 de National Instruments es un módulo de cuatro canales de la serie C para adquisición de señal dinámica para realizar medidas de frecuencia de audio de alta precisión desde sensores piezoeléctricos electrónicos.

NI 9234



Figura 4.33.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Generador de Humo TA50 /250 – SG

Este generador de humo, está diseñado especialmente para túneles de viento, el cual produce líneas de humo de una adecuada densidad que permite la demostración de los patrones del fluido en el objeto en estudio.

- Tanque de aceite, capacidad (nominal): 200 mil.
- Tubo vaporizador.
- Diafragma de salida de humo.
- Tanque de humo.
- Válvula de control de generación de humo.

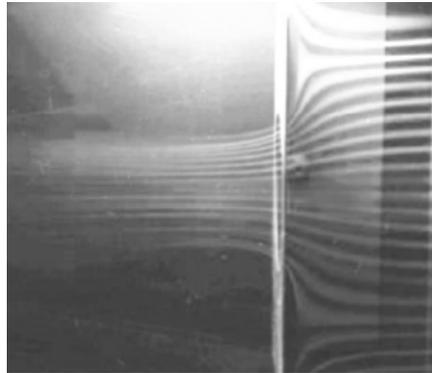


Figura 4.34.

4.3 Esquema para la obtención de señales dentro de un túnel de viento.

De acuerdo a lo visto anteriormente se explicara el funcionamiento para la toma de datos sin importar que tipo de variable se requiera medir u obtener utilizando galgas o cualquier otro dispositivo.

Al aplicar una fuerza mecánica (1) como se muestra en la figura 4.35 en un punto específico (que puede ser la fuerza del viento sobre el modelo a escala dentro del túnel de viento), donde se encuentra el transductor (2) adherido a al material de estudio (este transductor está conectado a un circuito estable y alimentado por un voltaje constante), y debido a los cambios sufridos en la extensión de la galga por una fuerza, esta cambia su resistencia, por lo que se presenta un diferencial de potencial muy pequeño, por lo tanto se tienen que utilizar circuitos adicionales para amplificar los cambios sufridos. La configuración del circuito más común como se indico se llama puente de Wheatstone. Como la variación del voltaje en el puente es relativamente pequeña se acondiciona (3) la señal de la galga a un amplificador para así incrementar el nivel de resolución de la medida y mejorar la relación señal-ruido. Ahora que se ha conectado la galga al dispositivo de adquisición, se utiliza el software de programación gráfica (4) para realizar su adecuada conversión al sistema gráfico del producto y transferir los valores al ordenador (5) para su futuro análisis.

Diagrama a bloques de cómo se mide una variable

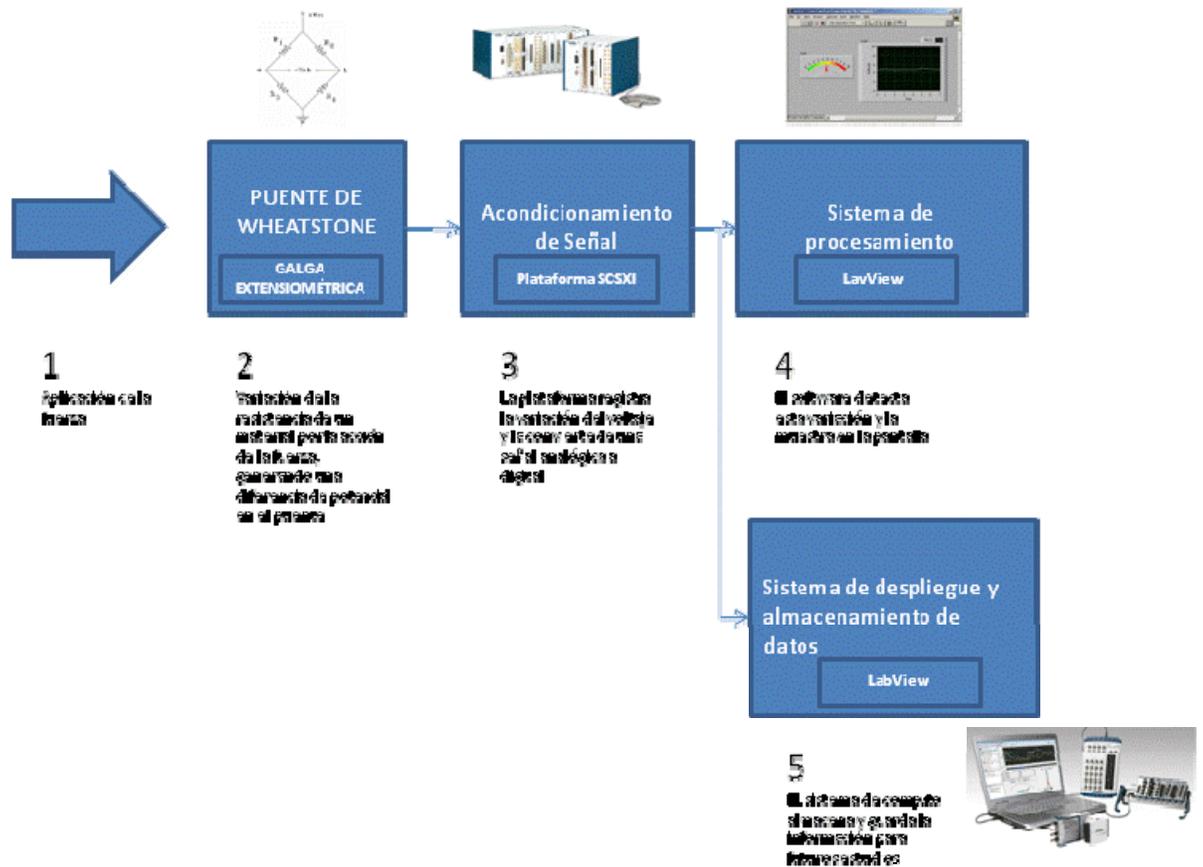


Figura 4.35.

Un diagrama más simple sería el siguiente, la adquisición de datos es el proceso de recopilar o la de generar la información de una manera automatizada de fuentes análogas y digitales de sensores y dispositivos. Utilizando una combinación de soporte físico y de software en una PC proporciona un sistema de medida flexible. A menudo, se deben acondicionar los sensores y las señales antes de que un dispositivo de adquisición de datos las adquiera y se pueden analizar y visualizar los datos en el tiempo real (en línea) mientras que se están almacenando.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

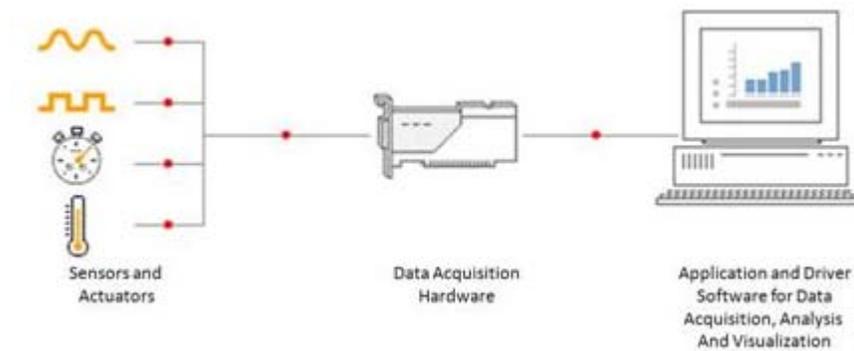


Figura 4.36.

Por lo que en forma más grafica se puede ver a continuación en la figura 4.37 como es el proceso para la toma de señales y su representación.

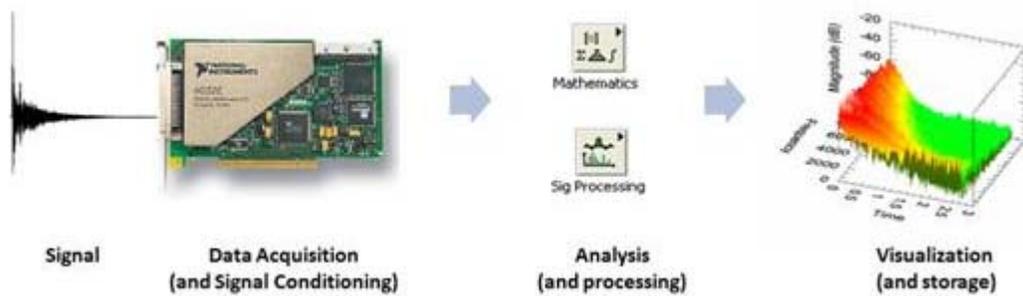


Figura 4.37.

Esto es lo que se aplicará en el túnel de viento. Se utilizarán una serie de transductores (en su mayoría galgas), para la toma de señales que se entregarán a un sistema de adquisición y de acondicionamiento, que serán procesadas por el sistema de computo y el software, para almacenarlas y tener gráficamente una representación de lo que sucede con estas variables y en específico con el comportamiento de la estructura en cuestión o en estudio.

4.4 Consideraciones económicas respecto a la propuesta de instrumentación.

De acuerdo a los equipos propuestos, se obtuvo la estimación de cuanto es el monto a invertir.

Cabe indicar que estos costos son en base a los precios de lista de los proveedores, además de que se le debe de adicionar el IVA. Estos equipos tienen un año de garantía y soporte por el mismo tiempo. El costo incluye la instalación de los equipos de adquisición de datos y su puesta en funcionamiento.

Los equipos de adquisición y el software tienen un tiempo de vida útil de 5 años. Si se paga el mantenimiento de estos componentes, se tendrá acceso a las actualizaciones del producto (firmware y problemas del programa producto) y atención por parte del área de soporte de los proveedores. En el caso de no contar con el pago de los mantenimientos a partir del segundo año, el producto perdería garantía y no se contaría con ningún tipo de soporte.

Esta propuesta contempla la instrumentación necesaria para cualquier tamaño de túnel de viento cerrado y/o abierto, en el cual se realicen no solo pruebas de laboratorio, escolares o demostración, sino que se puedan realizar pruebas a estructuras para desarrollos tecnológicos en cualquier campo de ingeniería que se requiera. Esta instrumentación nos proporcionaría la siguiente información:

-Máximo una combinación simultánea de 84 señales de una estructura a estudiar y las posibles variables a estudiar son:

- Temperatura
- Torsión
- Tensión
- Presión
- Velocidad del viento

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

-De las cuales, 64 señales son registradas en tiempo real, que son obtenidas por el equipos de adquisición y que se muestran gráficamente por el software de monitoreo, esta información es almacenada en un sistema de computo, que puede ser utilizada para su estudio futuro y exportada a formatos convencionales de computo.

-Posibilidad de que con el equipo de mano se pueda medir otra señal (temperatura, presión y velocidad del viento), o verificar las que se están tomando sin necesidad de detener las pruebas en proceso y acondicionar nuevamente los sensores, lo que implicaría un gasto innecesario.

-Verificación de 20 señales, o en su caso serían 20 señales adicionales para la toma de muestras, mediante observación y cálculos matemáticos.

-Exactitud en la toma de lecturas con las galgas de propósito específico.

Es decir se contaría con un sistema capaz de medir una gran cantidad de variables de cualquier estructura y se tendría un análisis profundo de los efectos que el viento ejerce, y así tener mejores desarrollos, más seguros y sustentables, lo cual ayudaría enormemente a los ramos de ingeniería, arquitectura, etc.

Cabe indicar que la investigación realizada en este documento, así como las cotizaciones, solo son de una opción de equipamiento para adquisición de datos en prototipos estructurales de túneles de viento cerrado a escala.

Esta investigación no contiene:

-El diseño mecánico y estructural: No se establecen y determinan, las variables y parámetros de la corriente de aire que permitan diseñar el prototipo estructural, ni los materiales utilizados para la construcción del túnel (estructura, aspas de los ventiladores, paneles, cimentación, etc.).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

-El equipo de alimentación eléctrica: No se determina el equipamiento eléctrico y de potencia para el funcionamiento de la infraestructura (ventiladores, compresores, planta de energía eléctrica, etc.).

-El equipo de control. Los controles necesarios para establecer la corriente de aire de acuerdo con las especificaciones correspondientes para las pruebas (variadores, controles de velocidad de viento, controles de humedad, controles de temperatura, etc.).

-Análisis económico. No se realiza un análisis, evaluación o estudio de factibilidad económica a detalle de toda la instalación o de la instrumentación para la construcción de un túnel de viento.

Esto se debe a que no es objeto de estudio de este documento, debido a que la investigación de estos temas es de gran profundidad y no puede tomarse superficialmente, de tal forma que si se requiere más información de los temas se tendrían que realizar las investigaciones necesarias en cada uno de los temas descritos anteriormente y que no es objeto de este estudio.

Por lo que a continuación (Tabla 4.1.) se presenta solo lo relacionado a la instrumentación que es el tema de esta investigación y los costos de los mismos.

Equipo	Marca	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Moneda
SA1-RTD-B-120	OMEGA	6	\$ 47.33	\$ 284.00	USD
LCMKD-10N	OMEGA	10	\$ 117.00	\$ 1,170.00	USD
SG-7/350-DY13	OMEGA	10	\$ 9.80	\$ 98.00	USD
SGK-SS3A-K350U-PC11-E	OMEGA	5	\$ 9.60	\$ 48.00	USD

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

SGK-SS3A-K350U-PC23-E	OMEGA	5	\$ 9.60	\$ 48.00	USD
SGK-SS3B-K350U-PC11-E	OMEGA	5	\$ 10.40	\$ 52.00	USD
SGK-SS3B-K350U-PC23-E	OMEGA	5	\$ 10.40	\$ 52.00	USD
SGK-SD3A-K350U-PC11E	OMEGA	5	\$ 9.60	\$ 48.00	USD
SGK-SD3A-K350U-PC23E	OMEGA	5	\$ 9.60	\$ 48.00	USD
SGK-SD3B-K350U-PC11E	OMEGA	5	\$ 10.40	\$ 52.00	USD
SGK-SD3B-K350U-PC23E	OMEGA	5	\$ 10.40	\$ 52.00	USD
KFG-1-120-D17-11L1M2S.	OMEGA	10	\$ 27.40	\$ 274.00	USD
KFG-2-120-D17-11L1M2S.	OMEGA	10	\$ 19.40	\$ 194.00	USD
KFG-3-120-D17-11L1M2S	OMEGA	10	\$ 19.40	\$ 194.00	USD
KFG-5-120-D17-11L1M2S.	OMEGA	10	\$ 19.40	\$ 194.00	USD
KFG-1-120-D17-11L3M3S.	OMEGA	10	\$ 52.30	\$ 523.00	USD
KFG-2-120-D17-11L3M3S.	OMEGA	10	\$ 41.90	\$ 419.00	USD
KFG-3-120-D17-11L3M3S	OMEGA	10	\$ 54.90	\$ 549.00	USD
KFG-5-120-D17-11L3M3S	OMEGA	10	\$ 41.90	\$ 419.00	USD
TFCP-005-50	OMEGA	4	\$ 16.00	\$ 64.00	USD
TX8-100	OMEGA	2	\$ 95.00	\$ 190.00	USD

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

SG1-KIT	OMEGA	1	\$ 549.00	\$ 549.00	USD
SG401	OMEGA	3	\$ 10.00	\$ 30.00	USD
SG496	OMEGA	1	\$ 28.00	\$ 28.00	USD
HMM-I1000	EDIBON	1	\$ 9,280.00	\$ 9,280.00	USD
TPL-03-100	KIMO	2	\$ 125.00	\$ 250.00	USD
TPL-03-100-T	KIMO	2	\$ 260.00	\$ 520.00	USD
AMI300	KIMO	1	\$ 3,672.00	\$ 3,672.00	USD
Vicount 5000	CORONA	1	\$ 395.00	\$ 395.00	USD
SCXI-1001	National Instruments	1	\$ 2,035.00	\$ 2,035.00	USD
SCXI-1520	National Instruments	8	\$ 2,970.00	\$ 23,760.00	USD
SCXI-1314	National Instruments	8	\$ 305.00	\$ 2,440.00	USD
PCI-6251	National Instruments	1	\$ 1,115.00	\$ 1,115.00	USD
LabView	National Instruments	1	\$ 4,730.00	\$ 4,730.00	USD
SCXI-1361	National Instruments	12	\$ 20.00	\$ 240.00	USD
SHC68-68-EPM	National Instruments	5	\$ 185.00	\$ 925.00	USD
SCXI-1360	National Instruments	4	\$ 20.00	\$ 80.00	USD
SCXI-1349	National Instruments	8	\$ 110.00	\$ 880.00	USD
PC	Dell	1	\$ 2,143.77	\$ 2,143.77	USD

Total \$ 58,044.77 USD

Tabla 4.1.

Tomando en cuenta que la Universidad cuenta con recursos limitados, y se quisiera poner en marcha el desarrollo del túnel de viento, se propone una configuración mínima de la instrumentación para pruebas estructurales didácticas, y que a futuro esta infraestructura sea susceptible de crecer sin problemas, por lo que se mostrara la tabla de los equipos propuestos y el monto que se requiere invertir.

Esta propuesta tecnológica con fines didácticos, nos proporcionaría la siguiente información:

-Máximo una combinación simultánea de 16 señales enviadas por las galgas en una misma prueba y almacenamiento de información en un equipo de cómputo.

- Temperatura
- Torsión
- Tensión
- Presión
- Velocidad del viento

-Posibilidad de que con el equipo de mano se puedan obtener otra señal o verificar las que se están tomando de temperatura, presión y velocidad del viento.

A continuación se muestra la Tabla 4.2 con la configuración y la cotización con precios de lista de los equipos para un túnel de viento cerrado para pruebas didácticas, y que se encuentra bajo las mismas condiciones de mantenimiento, técnicas y de soporte por los proveedores de los equipos. Cabe indicar que el chasis SCXI-1001 de 12 ranuras se cambio por uno más pequeño de solo 4 ranuras que es el SCXI-1000 y que tiene las mismas funciones que el descrito en su momento. Por lo que a continuación se muestra la cotización.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Equipo	Marca	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Moneda
SA1-RTD-B-120	OMEGA	3	\$47.33	\$141.99	USD
LCMKD-10N	OMEGA	4	\$117.00	\$468.00	USD
SG-7/350-DY13	OMEGA	5	\$9.80	\$49.00	USD
SGK-SS3A-K350U-PC11-E	OMEGA	5	\$9.60	\$48.00	USD
SGK-SS3B-K350U-PC11-E	OMEGA	5	\$10.40	\$52.00	USD
SGK-SD3A-K350U-PC11E	OMEGA	5	\$9.60	\$48.00	USD
SGK-SD3B-K350U-PC11E	OMEGA	5	\$10.40	\$52.00	USD
TFCP-005-50	OMEGA	4	\$16.00	\$64.00	USD
TX8-100	OMEGA	2	\$95.00	\$190.00	USD
SG1-KIT	OMEGA	1	\$549.00	\$549.00	USD
SG401	OMEGA	3	\$10.00	\$30.00	USD
SG496	OMEGA	1	\$28.00	\$28.00	USD
AMI300	KIMO	1	\$3,672.00	\$3,672.00	USD
Vicount 5000	CORONA	1	\$395.00	\$395.00	USD
SCXI-1000	National Instruments	1	\$910.00	\$910.00	USD
SCXI-1520	National Instruments	2	\$2,970.00	\$5,940.00	USD
SCXI-1314	National Instruments	2	\$305.00	\$610.00	USD
PCI-6251	National Instruments	1	\$1,115.00	\$1,115.00	USD
LabView	National Instruments	1	\$4,730.00	\$4,730.00	USD
SCXI-1361	National Instruments	4	\$20.00	\$80.00	USD
SHC68-68-EPM	National Instruments	3	\$185.00	\$555.00	USD

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

SCXI-1349	National Instruments	3	\$110.00	\$330.00	USD
PC	Dell	1	\$2,143.77	\$2,143.77	USD

Total \$22,200.76 USD

Tabla 4.2.

CONCLUSIONES.

La presente investigación consistió en la documentación y puesta en práctica de los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera y el diplomado, para determinar la mejor opción en cuanto a características, factibilidad, viabilidad y la implementación de la instrumentación necesarios para poner en funcionamiento un túnel de viento cerrado a escala en un futuro próximo en la Universidad y en particular la FES Aragón, y que esto resulte en un beneficio no solo para la universidad sino en una fuente generadora de mayor conocimiento para las futuras generaciones.

Este estudio demuestra que es factible técnicamente la implementación del equipamiento para la adquisición de datos en las pruebas a prototipos estructurales de un túnel de viento cerrado a escala porque:

-De acuerdo a las investigaciones y a la documentación relacionada al tema, la adquisición de datos y/o variables, se basan en los principios básicos de presión, tensión, flujos, temperatura, velocidad, elasticidad, para las variables a medir las cuales en base a una velocidad del viento determinada se pueden obtener las restantes variables.

-Los dispositivos eléctricos y electrónicos no son más que circuitos básicos como el puente de Wheatstone y amplificadores que nos ayudan a determinar la variación de una corriente o un voltaje debido a una variación del elemento en cuestión y que teniendo la escala adecuada nos proporciona el valor de esa variable que queremos obtener en la lectura.

-Los dispositivos que nos ayudan a convertir una señal física a una señal eléctrica son los transductores, termopares, etc., los cuales en la mayoría son elementos pasivos y que sus características físicas cambian al aplicarles estas señales físicas. Cuando a través de ellos pasa una corriente y un voltaje se puede determinar el valor de la variable a determinar.

Todos estos elementos han sido estudiados ampliamente durante nuestro trayecto en este plantel durante el estudio de la carrera de ingeniería por lo cual se cuenta con el conocimiento técnico suficiente para poder determinar que se quiere y como se requiere la implementación de la instrumentación.

Estos equipos propuestos en base a los conocimientos previos y por su versatilidad, pueden no solo ser utilizados en un túnel de viento a escala, sino también para túneles para modelos a tamaño real, debido a que fueron elegidos para adaptarse a varios entornos facilitando y diversificando su utilidad.

El desarrollo de los equipos no es tema de esta investigación, pero sienta las bases para que en lo futuro se puedan desarrollar equipos en el país y en particular en la Universidad para adquisición con los conocimientos que tenemos y que puedan competir con cualquier otro en el mundo.

Los equipos propuestos fueron determinados como ya se indico en base a sus funciones, pero también en base a su costo para darle una dimensión y una aproximación real y estar en posibilidades de adquirirlos en un futuro próximo. No son los únicos ni tampoco los mejores, pero si son productos de proveedores que trabajan en el país, y que podemos contar con un soporte y asesoría rápida.

Como en la mayoría de los desarrollos e implementaciones de proyectos, siempre lo referente a los equipos electrónicos, medición, etc., son la parte más costosa en cualquier desarrollo interdisciplinario, no por eso los desarrollos de las restantes áreas dejan de ser menos importantes, sino que todos van de la mano, pero como no es tema de este estudio en el presente trabajo, la factibilidad económica, no se demostrara.

Esta investigación aporta a la ingeniería las bases para que en nuestro país y en la Universidad se avance en este campo de la tecnología y no importarla, porque debido a nuestra ubicación geográfica dentro del planeta y a la gran variedad de zonas climáticas se debe de enfrentar un gran reto en las áreas de diseño de edificaciones y estructuras, por tal motivo, podría ayudar a

muchas áreas a incrementar nuestro acervo cultural y tecnológico, como por ejemplo: a la Ingeniería Civil que le permitiría determinar y dimensionar las edificaciones y estructuras correctamente, ya que las cargas que se deducen de las normas pueden no ser válidas, y con este desarrollo se pueden comprobar su seguridad, viabilidad y diseño. En la Industria Automotriz, ayudaría a mejorar las cargas del viento sobre vehículos terrestres, mejorando su eficiencia y teniendo un ahorro de energía, etc. En la Industria Naval, Aérea y Petrolera para un mejor estudio del efecto del viento dentro de muelles, aeropuertos, pozos y plataformas petroleras, etc., dónde pueden llegar a producirse ráfagas que pueden dañar inversiones millonarias y nos ayudaría a salvaguardar vidas. En la Ingeniería ambiental, para el estudio de la dispersión de contaminantes sólidos o gaseosos en las ciudades, su impacto ambiental, y para disminuir los costos por posibles afectaciones sufridas por ciclones u algún otro fenómeno asociado al viento. En la Arquitectura, encaminado al cálculo de las cargas ejercidas por el viento en toda construcción como edificios, casas, espectaculares, estadios deportivos, etc. En la generación de Energías Renovables como el desarrollo de componentes de aerogeneradores, o elementos para la generación de energía eléctrica utilizando el viento, creando y desarrollando tecnología propia. En el entrenamiento deportivo, para la disminución de tiempos, minimizar la resistencia aerodinámica tanto de los atletas como de sus elementos deportivos. En la agricultura, para determinar qué tipos de cultivos son los más adecuados para determinados terrenos y como afecta el viento la producción, y el suministro de agua a estas zonas. Con lo cual se seguiría posicionando la Universidad como la máxima casa de estudios del país y que sea un mayor semillero de investigadores capaces y de una amplia visión, que sean reconocidos a nivel mundial.

Este trabajo cumplió su objetivo fundamental, que es el de mostrar que con una visión y un sentido de innovación, se puede desarrollar tecnología de gran nivel con los conocimientos que se aprenden en la Universidad. Se espera que con este trabajo, en un corto plazo se pueda realizar la inversión necesaria para la construcción de este túnel de viento cerrado y darle toda la promoción suficiente para que se trabaje en el desarrollo de nuevas tecnologías en todos los ámbitos y que en vez de importar tecnología, nosotros la exportemos y se ponga el nombre del país y de la universidad muy en alto.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

ANEXO A.

Se incluyen cotizaciones de algunos proveedores como referencia. Los valores indicados son precios de lista.

National Instruments www.ni.com

Request Instant Quote - National Instruments

NATIONAL INSTRUMENTS NIWeek 09 Carro | Ayuda

Hola Juan Espinosa (Usuario equivocado)

MyNI | Comuníquese con NI | **Productos y Servicios** | Soluciones | Soporte | NI Developer Zone | Académico | Eventos | Empleo

Cotización Preliminar

Producto	Cantidad	Precio Estimado
Bracket/Adapter Assembly, SCXI-1349 182671-01	<input type="text" value="8"/>	\$ 880.00 <input type="button" value="x"/>
SHC68-68-EPM Shielded Cable, 68 D-Type to 68 VHDCI Offset, 5m 192061-05	<input type="text" value="5"/>	\$ 925.00 <input type="button" value="x"/>
SCXI-1361 Rear Filler Panel 776576-61	<input type="text" value="12"/>	\$ 240.00 <input type="button" value="x"/>
SCXI-1360 Front Filler Panel 776576-60	<input type="text" value="4"/>	\$ 80.00 <input type="button" value="x"/>
LabVIEW Professional Dev System, Windows, Includes 1 Year SSP 776678-09	<input type="text" value="1"/>	\$ 4,730.00 <input type="button" value="x"/>
NI PCI-6251 (16 AI, 24 DIO, 2 AO) 779070-01	<input type="text" value="1"/>	\$ 1,155.00 <input type="button" value="x"/>

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

SCXI-1314 Front-Mounting Terminal Block (Screw Terminals) 777687-14	8	\$ 2,440.00
SCXI-1520 8 ch Universal Strain/Bridge Module 777966-20	8	\$ 23,760.00
SCXI-1001 12-Slot Chassis, U.S. 120 VAC 776571-01	1	\$ 2,035.00

◆Estos precios no incluyen IVA, importación y envío. Para recibir cotización de estos productos puestos en México contacte su oficina local
 Usted ha seleccionado **México** como el país donde se usarán los productos([cambiar](#))
Nota: Todos los precios en la cotización son precios de lista



Opciones de Compra

En línea: <http://www.ni.com/orderbypn>
 Fax: (512)683-9020 (Por favor llene abajo, la información de su orden)
 Teléfono: 01 800 010 0793

Para Uso Interno: WEB Assisted - FaxMail Order

Mi Carro de Compras (US Dollars)

Número de Parte Descripción	Envío estimado	◆Precio Unitario	Cant.	Total de Línea
182671-01 (Bracket/Adapter Assembly, SCXI-1349)	14 - 19	\$ 110.00	8	\$ 880.00
192061-05 (SHC68-68-EPM Shielded Cable, 68 D-Type to 68 VHDCI Offset, 5m)	9 - 14	\$ 185.00	5	\$ 925.00
776576-61 (SCXI-1361 Rear Filler Panel)	14 - 19	\$ 20.00	12	\$ 240.00
776576-60 (SCXI-1360 Front Filler Panel)	14 - 19	\$ 20.00	4	\$ 80.00
776678-09 (LabVIEW Professional Dev System, Windows, Includes 1 Year SSP)	5 - 6	\$ 4,730.00	1	\$ 4,730.00
779070-01 (NI PCI-6251 (16 AI, 24 DIO, 2 AO))	5 - 7	\$ 1,155.00	1	\$ 1,155.00
777687-14 (SCXI-1314 Front-Mounting Terminal Block (Screw Terminals))	14 - 19	\$ 305.00	8	\$ 2,440.00
776571-01 (SCXI-1001 12-Slot Chassis, U.S. 120 VAC)	9 - 14	\$ 2,035.00	1	\$ 2,035.00
777966-20 (SCXI-1520 8 ch Universal Strain/Bridge Module)	9 - 14	\$ 2,970.00	8	\$ 23,760.00
Subtotal:				\$ 36,245.00
*Tax : --				
Total de la Orden:				\$ 36,245.00

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Omega www.omegation.com

Omega Shopping Cart

omega.com Your One-Stop Source for Process Measurement and Control (888) TC-OMEGA

HOME QUICK ORDER PRODUCTS FREE LITERATURE MY OMEGA OMEGA INFO

search by: Part Number All Omega Search

Order by Part Number Order Status My Account Shipping Rates Live Online Help Online Product Finder

Related Products Below

Your Shopping Cart

Free Gift for 1st timers! Click here for details!  Not ready to order? Click here to get an e-quote! FREE \$25 off Calibrations with each Extended Warranty. Click here!

QTY	Model Number	Price	Item Total	Deliver	Ext. Warranty	
2	SA1-RTD-B-120 SURFACE RTD, 3/PK, CLASS B	\$142.00	\$284.00	In Stock		 delete
2	LCMKD-10N SUBMINI INDUSTRIAL LOAD CELL	\$585.00	\$1,170.00	14 Weeks		 delete
2	SG-7/350-DY13 STRAIN GAGES (PK OF 5)	\$49.00	\$98.00	Consult Sales		 delete
1	SGK-SS3A-K350U-PC11-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$48.00	\$48.00	In Stock		 delete
1	SGK-SS3A-K350U-PC23-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$48.00	\$48.00	In Stock		 delete
1	SGK-SS3B-K350U-PC11-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$52.00	\$52.00	In Stock		 delete
1	SGK-SS3B-K350U-PC23-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$52.00	\$52.00	In Stock		 delete
1	SGK-SD3A-K350U-PC11-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$48.00	\$48.00	In Stock		 delete
1	SGK-SD3A-K350U-PC23-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$48.00	\$48.00	In Stock		 delete
1	SGK-SD3B-K350U-PC11-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$52.00	\$52.00	In Stock		 delete
1	SGK-SD3B-K350U-PC23-E STRAIN GAGE PACK OF 5	\$52.00	\$52.00	In Stock		 delete
1	KFG-1-120-D17-11L3M3S STRAIN GAGE (PK OF 10)	\$523.00	\$523.00	In Stock		 delete
1	KFG-2-120-D17-11L3M3S STRAIN GAGE PACK OF 10	\$419.00	\$419.00	In Stock		 delete
1	KFG-3-350-D17-11L3M3S STRAIN GAGES PACK OF 10	\$549.00	\$549.00	1 Week		 delete
1	KFG-5-120-D17-11L3M3S STRAIN GAGE PACK OF 10	\$419.00	\$419.00	3 Weeks		 delete
1	KFG-1-120-D16-11L1M2S STRAIN GAGE-PACKAGE OF 10	\$274.00	\$274.00	In Stock		 delete
1	KFG-2-120-D16-11L1M2S STRAIN GAGE-PACKAGE OF 10	\$194.00	\$194.00	In Stock		 delete

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

1	KFG-3-120-D16-11L1M2S STRAIN GAGE-PACKAGE OF 10	\$194.00	\$194.00	In Stock	 delete
1	KFG-5-120-D16-11L1M2S STRAIN GAGE-PACKAGE OF 10	\$194.00	\$194.00	In Stock	 delete
3	SG401 S.G. INSTANT ADHESIVE, 3 GM	\$10.00	\$30.00	In Stock	 delete
1	SG496 SG INSTANT ADHESIVE HAZ	\$28.00	\$28.00	In Stock	 delete
4	TFCP-005-50 PFA COVERED FINE GAGE 50'SP	\$16.00	\$64.00	In Stock	 delete
2	TX8-100 MULTI-CONDUCTOR WIRE	\$95.00	\$190.00	In Stock	 delete
1	SG1-KIT STRAIN GAGE KIT	\$595.00	\$595.00	In Stock	 delete

[Update](#)
[Shop More](#)
[Empty Cart](#)
[Check Out](#)

Sales tax will be applied to orders shipping to addresses in CA, CT & NJ, unless tax exempt certificate is on file or your organization is tax exempt.
 † All dollar amounts on this site are shown in US currency.
 †† OMEGA Care extended warranty reflects cost per unit. e.g. One unit at \$75 = \$75, two units at \$75 = \$150

Related Products



“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

Edibon. www.edibon.com

EDIBON International, S.A.

C/ del Agua,14. P.I. San José de Valderas
28918 LÉGANES (Madrid) Spain
TEL.: +34 916198683 FAX: +34 916198647
E-mail: edibon@edibon.com Web: www.edibon.com

FECHA: 09/06/2009

NºREF.: UNAM0608.09

A: DPTO. INSTRUMENTACIÓN.

ATTN:

PAÍS: MEXICO POBL. : 03920 MEXICO DF

TFNO.:

FAX:

E-MAIL:

DE: ANA SAN SEGUNDO

ASUNTO: COTIZACION REQUERIDA POR USTEDES

Adjuntamos oferta económica según su solicitud, con nuestras mejores condiciones

Atentamente,

ANA SAN SEGUNDO
EDIBON International, S.A.

Esta cotización está realizada con las siguientes condiciones:

CONDICIONES:

Los precios indicados son EURO

- Plazo de entrega: 3 meses aprox. (a confirmar con el pedido)
- Validez de la oferta: 90 días
- Forma de pago habitual.
- Fabricante: EDIBON S.A.
- Origen: España.
- Garantía: 2 años.

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

COTIZACIÓN: UNAM0608.09					
ITEM	EQUIPO	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT. (EUR)	PRECIO TOTAL. (EUR)
1	HMM-I1000	1	Multimanómetro inclinado de 20 tubos manométricos de 1000 mm de longitud	5.800,00	5.800,00
Otros multimanómetros:					
	HMM-W500	1	Doble Manómetro en "U"	2.100,00	2.100,00
	HMM-U1000	1	Manómetro en "U"	1.500,00	1.500,00
	HMM-V500	1	Multimanómetro, en posición vertical, de 8 tubos manométricos de 500 mm de longitud	4.300,00	4.300,00
	HMM-4B	1	Equipo de 4 Manómetros tipo Bourdon	2.800,00	2.800,00

Los catálogos pueden ser encontrados en los siguientes enlaces:

- 1 HMM-I1000 <http://www.edfren.com/products/catalogos/analisis/medicionesaerodinamicas/medicionesgenerales/HMM.pdf>
- HMM-W500 <http://www.edfren.com/products/catalogos/analisis/medicionesaerodinamicas/medicionesgenerales/HMM.pdf>
- HMM-U1000 <http://www.edfren.com/products/catalogos/analisis/medicionesaerodinamicas/medicionesgenerales/HMM.pdf>
- HMM-V500 <http://www.edfren.com/products/catalogos/analisis/medicionesaerodinamicas/medicionesgenerales/HMM.pdf>
- HMM-4B <http://www.edfren.com/products/catalogos/analisis/medicionesaerodinamicas/medicionesgenerales/HMM.pdf>

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

ANEXO B.

Proveedores considerados:

Proveedores de Equipos Electrónico y de medición, localización USA

- Kimo Instruments www.kimo.com.
- A. A. Lab Systems. www.lab-systems.com
- FORCE Technology www.forcetechnology.com
- Vaisala www.vaisala.com

Proveedores de Equipos Electrónico y de medición, localización Alemania

- Electro-Mation www.electro-mation.de

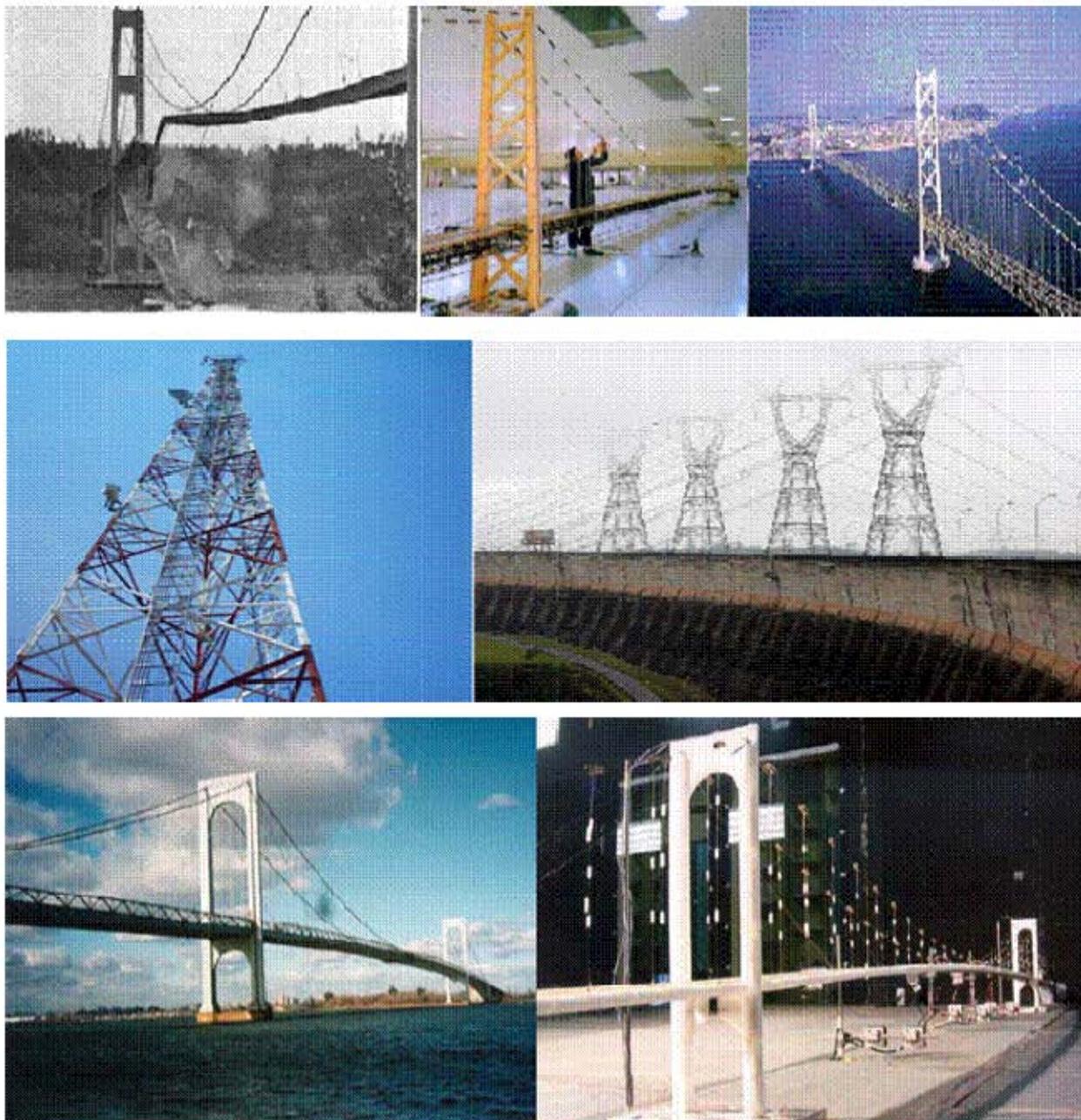
Proveedores de Equipos para la generación de humo, localización USA

- Corona www.smokemachines.com

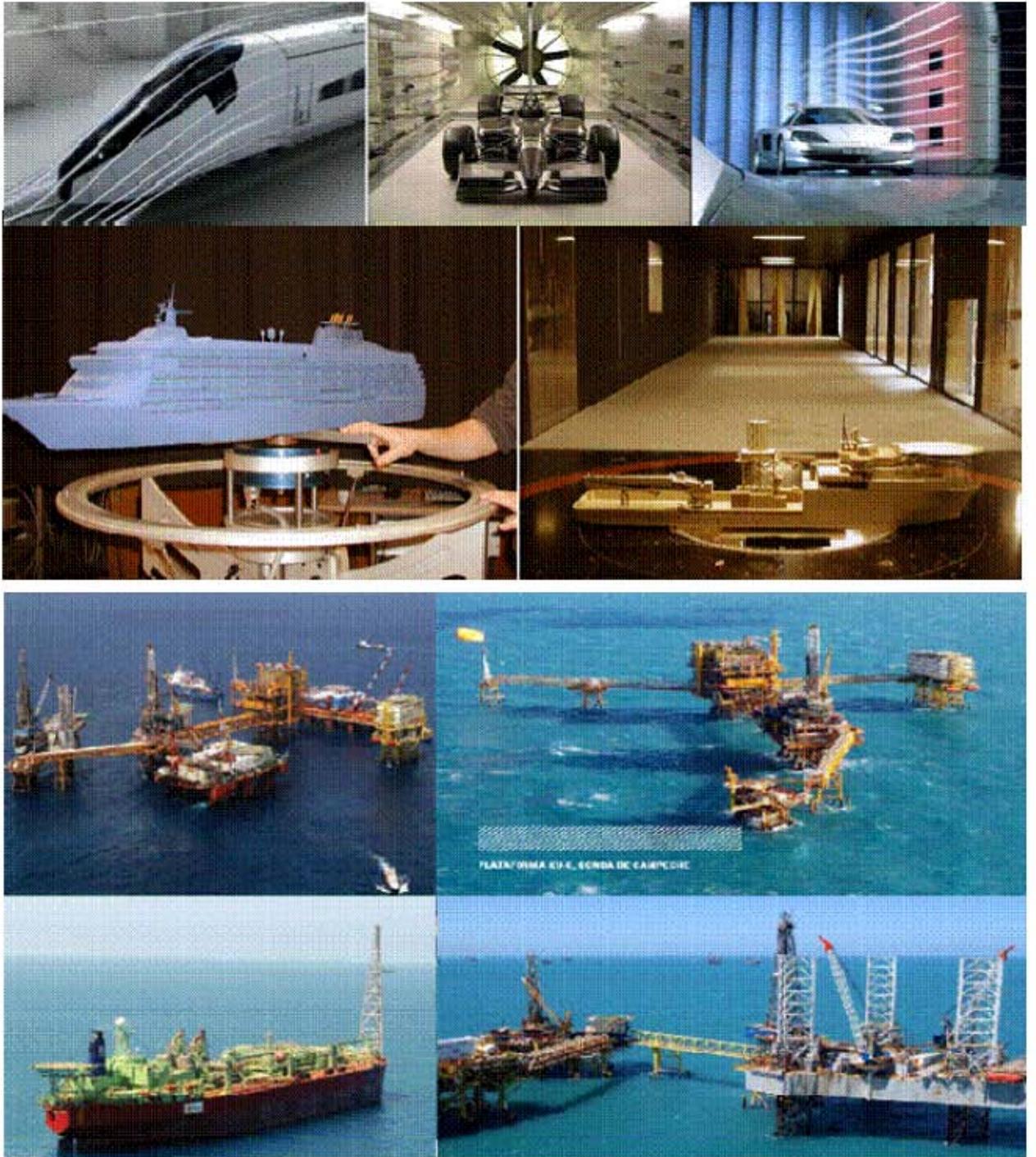
“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

ANEXO C.

Fotos de ejemplos donde se aplica el túnel de viento.



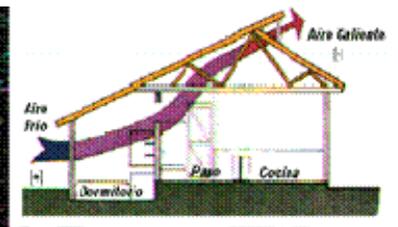
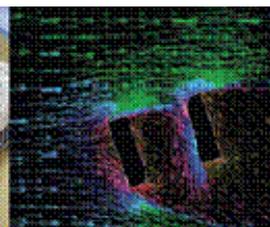
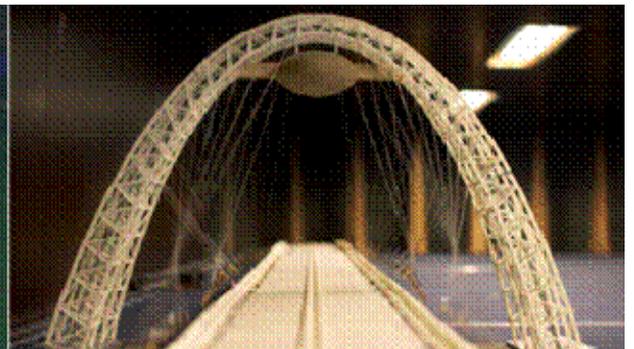
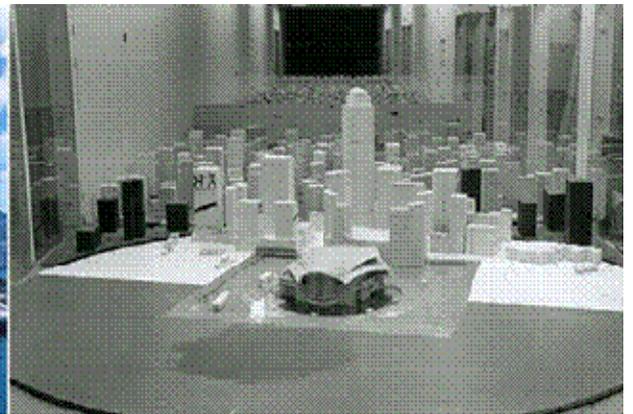
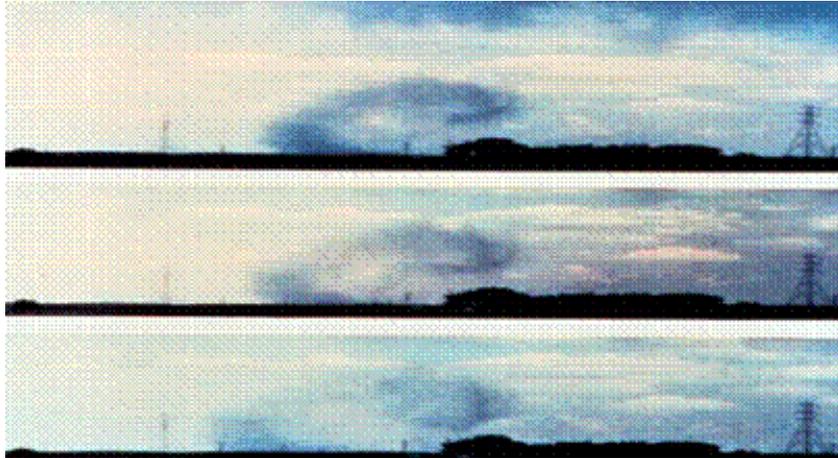
“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



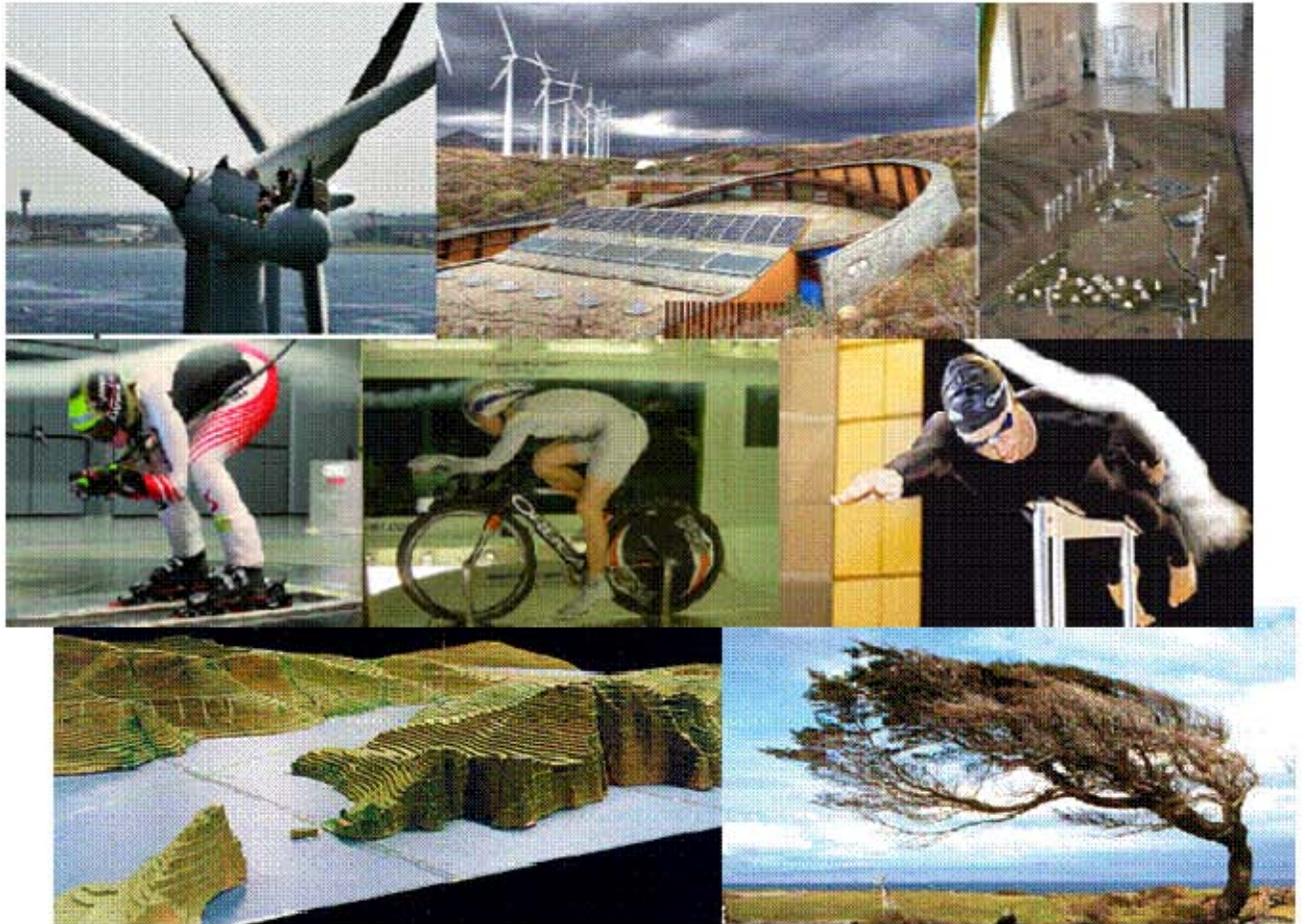
“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



ANEXO D.

Glosario:

Aire.

Se denomina aire a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la Tierra por la acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta y está compuesto en proporciones ligeramente variables por sustancias tales como el nitrógeno, oxígeno, vapor de agua, ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y otras sustancias.

Capa Límite.

En la evolución del aire alrededor de un cuerpo cualquiera, dicho aire se pega sobre el cuerpo, creando una capa muy fina de moléculas en principio. Al discurrir sobre esta fina capa, más moléculas del mismo aire, y debido a la viscosidad principalmente, éstas últimas ralentizan su velocidad, debido a que discurren sobre otras moléculas; así capa tras capa, se forma una capa de moléculas de aire, cuya última, posee ya casi la misma velocidad del aire que circunda al cuerpo; esta capa se denomina capa límite. En cuerpos relativamente pequeños como lo es un coche de competición, suele tener como máximo unos pocos milímetros. Podemos concluir diciendo, que la velocidad del aire, justo en la superficie de todo cuerpo en movimiento, es cero. En aerodinámica, la capa límite se entiende como aquella en la que la velocidad del fluido respecto al cuerpo varía desde cero hasta el 99% de la velocidad de la corriente no perturbada. La capa límite se estudia para analizar la variación de velocidades en la zona de contacto entre un fluido y un obstáculo que se encuentra en su seno o por el que se desplaza. La presencia de esta capa es debida principalmente a la existencia de la viscosidad, propiedad inherente de cualquier fluido.

Densidad.

Todos los fluidos, incluido el aire, están formados por un número extremadamente grande de moléculas; todas ellas están ligadas entre sí, y separadas a ciertas distancias (no todas iguales); cuanto más unidas están todas las moléculas, decimos que el fluido posee más densidad que otro; lógicamente, un fluido con más densidad que otro, pesa más, por cuanto tiene mayor masa, al tener más moléculas; por otra parte, estas consideraciones, no tiene valor, si no se

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

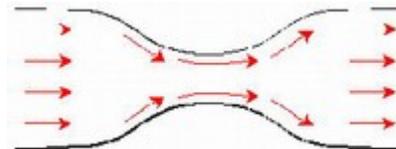
hace referencia respecto a un volumen; por tanto, definimos densidad, como la cantidad de moléculas por unidad de volumen. Sea “V” el volumen y “m” la masa; la densidad se define como:

$$D = \frac{m}{V}$$

La densidad es un parámetro muy importante, por cuanto caracteriza de forma esencial, cualquier fluido, y más aún, lo caracteriza desde el punto de vista termodinámico. A mayor densidad, la cantidad de aire es mayor (muchas moléculas) y por tanto afecta las pruebas en los túneles de viento.

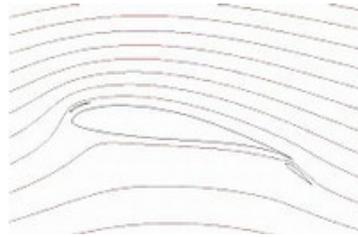
Efectos Venturi / Bernouilli.

Se sabe que existen 3 tipos de energía; la potencial (por cota o altura), la cinética (por velocidad) y la de presión, al tener que conservarse, en todo proceso, la cantidad total de energía es la suma de las 3 energías ha de permanecer constante. Esa es la ecuación o principio de Bernouilli, de esta forma, si la presión aumenta, la velocidad ha de disminuir y viceversa; esto es algo, que todos hemos oído en alguna ocasión: que la presión es inversa a la velocidad.

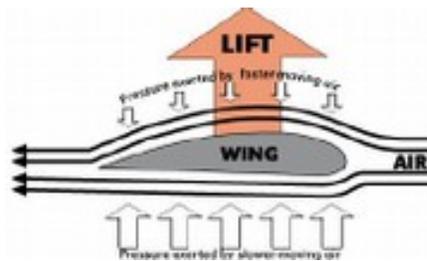


El efecto Venturi también es una consecuencia directa, si en cierto fenómeno por donde pasa el aire, hay un cambio de sección, por ejemplo de mayor a menor, la cantidad de aire que entra ha de ser la misma que la que sale, con lo que por la sección mayor, la velocidad del aire será menor que la velocidad del mismo aire al pasar por la sección menor. Esto es el efecto Venturi, al aumentar la velocidad, la presión disminuye y viceversa. Bajo este principio, podemos entender y comprender la sustentación de un ala cualquiera (o perfil aerodinámico en general).

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Un ejemplo es el ala de un avión, en la zona “A” la velocidad es mayor, pues ha de recorrer una distancia mayor, con lo que la presión disminuye, esta depresión chupa el ala hacia arriba en este caso, produciéndose sustentación, por lo tanto el avión vuela.



Fluido.

Un fluido es todo aquel material, que se deforma de manera contigua ante una fuerza, no importa de qué valor sea ésta. Un trozo de hierro, posee una fuerza mínima ante la cual empieza a deformarse, cosa que no pasa con el aire.

Histéresis.

Es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado. Podemos encontrar diferentes manifestaciones de este fenómeno.

Leyes de la Aerodinámica.

Cabe decir que existe sólo una ley universal que rige toda dinámica, de hecho con tan sólo una ley, principio o como se quiera llamar, está definida toda la Aerodinámica, sea de coches de competencias, aeronaves, motos, barcos, etc., la ley dice: “Todas las partículas tienden a situarse en aquel estado de mínima energía”. El aire siempre circula desde una zona de alta presión hacia otra de baja presión. Parece simple, pero no lo es. Por si fuera poco, existe otra

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

ley de termodinámica que dice que la energía ni se crea ni se destruye sólo se transforma, pues ya lo tenemos todo, hemos definido los 3 tipos de energía existentes y encima hemos encontrado la relación entre ellas. La ecuación matemática o modelo matemático que recopila todo lo dicho, se denomina Ecuaciones de Navier-Stokes, resolviendo dichas ecuaciones o modelo, seríamos capaces de averiguar cualquier aerodinámica o dinámica en cualquier contexto, incluso podríamos saber si dentro de 3 años, 2 días y 45 segundos, lloverá o no lloverá, pero existe un problema, son unas ecuaciones que no se pueden resolver analíticamente; hay que resolverlas bajo sistemas computacionales. Esta dinámica y su modelación, conlleva una serie de efectos, sin los cuales, no podríamos diseñar coches de competencia, aviones, etc.

Número Mach.

Es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto.

Número Froude.

Es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

Presión.

Esta característica, está muy unida a la densidad. Existen, podríamos decir, 2 tipos de presiones: la atmosférica y la no atmosférica.

Presión atmosférica.

Es la fuerza (o peso) que hay sobre cierto punto o cuerpo, debida a la cantidad de moléculas de aire que hay sobre dicho punto o cuerpo. Esta columna de aire, se sitúa desde dicho cuerpo, hasta el fin de la atmósfera. Otro de los factores importantes relacionados en cierta forma con la presión, es la altura con respecto al nivel del mar; cuanto más altura tengamos, el aire es menos denso, por tanto la presión atmosférica es menor, y debido a todo ello, un cuerpo pesa menos a cuanta más altura midamos ese peso; recordemos que el peso es una fuerza, que equivale a la masa multiplicada por la aceleración de la gravedad, y se mide en Newtons (no

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

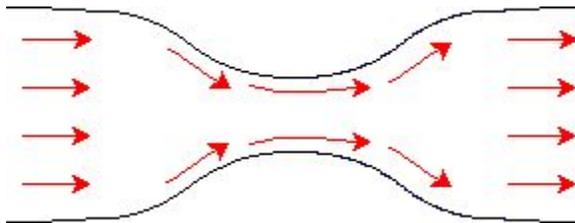
hay que confundir peso y masa). Por todo lo dicho, a mayor presión, las moléculas de aire están más unidas y la densidad es mayor.

Presión no atmosférica.

Es la presión relativa; es aquella presión que no tiene en cuenta la presión atmosférica; la suma de ambas, se denomina presión absoluta; la presión relativa, por ejemplo, es la causada por la propia dinámica del aire, y es básica, para poder diseñar un coche de competición, entre otras cosas, porque la presión atmosférica, hagamos lo que hagamos, siempre va estar presente y no podemos prescindir de ella. Ambas presiones, son las que se encargan de mantener más o menos unidas a las moléculas de aire; de esta forma, al aumentar la presión, aumenta la densidad y viceversa.

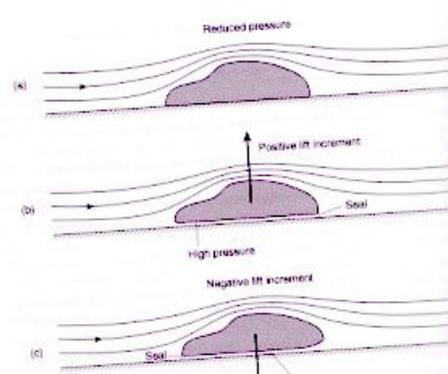
Principio físico de Bernouilli

Todo se basa en el principio de Bernouilli, el aire, al pasar por una zona de menor sección, aumenta de velocidad, disminuyendo la presión en esa zona; ello provoca que la superficie en cuestión sea “succionada”.



Supongamos un coche cuyo suelo está sellado totalmente; dicho coche no tendrá fuerza significativa en sentido vertical (hacia arriba o hacia abajo) solo aquella debida a la forma del propio vehículo; si sellamos la popa del suelo únicamente, se generará una alta presión en la parte inferior, haciendo que el coche tenga mucha fuerza de sustentación, levantándose hacia arriba; si por el contrario, sellamos únicamente la proa, obtenemos el efecto contrario (deseado) que es el de generar down-force:

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Relaciones.

Tanto la presión, densidad y viscosidad, como otras propiedades quizás menos importantes, están ligadas entre sí; ello significa que el hecho de variar una de ellas, conlleva la variación de las otras; las ecuaciones o expresiones matemáticas que relacionan todas estas variables, se denominan ecuaciones de estado; existen diversos tipos, atendiendo al contexto de trabajo, pero en definitiva, son relaciones entre ellas. Una de las propiedades o mejor dicho, parámetro no intrínseco al propio fluido, es la temperatura; estas ecuaciones de estado, también dependen de la temperatura.

Viento.

El viento es el movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente, en la troposfera, producido por causas naturales. Se trata de un fenómeno meteorológico.

Viscosidad.

Cuántas veces hemos confundido densidad y viscosidad; un aceite es menos denso que el agua (por eso flota en ella), pero es más viscoso. La viscosidad es la resistencia que posee todo fluido a deformarse por la acción de una fuerza cualquiera. No tiene nada que ver con la densidad, que es la que cuantifica la cantidad de moléculas por unidad de volumen; la viscosidad es una propiedad digamos dinámica; mientras no existe movimiento, no se hace patente y no se puede cuantificar. La viscosidad es la propiedad del aire más importante; sin su existencia, no existiría ningún fenómeno dinámico, tal como la sustentación por ejemplo. Es la responsable directa de la existencia de la llamada capa límite y sin ella, no existirían las fuerzas aerodinámicas.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

1. POPE, Alan y Harper, John J. Low-Speed Wind Tunnel Testing, New York: John Wiley & Sons, Inc. New York, 1966.
2. GOETHERT, Bernhard H. Transonic Wind Tunnel Testing, Mineola, New York: Dover Publications Inc, 2007.
3. TAVOULARIS, Stavros. Measurement in Fluid Mechanics, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
4. CROWE, Clayton. ELGER, Donal. ROBERSON, John. Mecánica de Fluidos, México: Compañía Editorial Continental, 2006.
5. CAMACHI Morales, Rafael. Introducción al análisis experimental de esfuerzos mediante extensometría eléctrica, México: Instituto tecnológico de la Paz, 1992.
6. DORBELIN, Ernest. Sistemas de medición e instrumentación, México: Mc Graw Hill, 2005.

Multimedia:

1. HOMSY, G.M. Multimedia Fluid Mechanics, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
2. 21st Century Complete Guide to Wind Tunnels, USA: The U.S. Air Force's Arnold Engineering Development Center, 2003

Páginas de Internet:

1. GRACE, William. National Advisory Committee for aeronautics. Technical Note 2331. Langley Aeronautical Laboratory.
2. <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov>
3. KIEL, G. National Advisory Committee for aeronautics. Technical Note 775. <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1935/naca-tm-775.pdf>
4. Wikipedia. Flight dynamics. http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_dynamics
5. NATALINI, Bruno. Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Programa para cálculo de coeficientes de pico mediante análisis de valores extremos. <http://arandu.org.ar/pub/programapicos.pdf>
6. FIGUEROA Ibarra, Luis. RODRIGUEZ Martínez, José Hugo y SANTABÁRBARA Botello, Marcelino. Tubo de Pitot multi puertos para la medición de flujo de agua en sistemas de enfriamiento. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, México. <http://www.iiie.org.mx/boletin012007/art.pdf>
7. Laboratorio de Capa Límite y Fluido dinámica Ambiental. Departamento de Aeronáutica Facultad de Ingeniería. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.
8. FARO Technologies. www.faro.com
9. Mitsubishi Heavy Industries. www.mhimex.com
10. Facultad de Ingeniería (Universidad de Costa Rica). <http://windtunnel.mogap.net/index.htm>

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.

11. The Langley Full-Scale Tunnel (LFST) www.lfst.com

12. Aeronautical Testing Service. www.aerotestsvc.com

13. Wind Engineering Group www.blwtl.ucwo.ca

14. Oran W. Nicks Low Speed Wind Tunnel. wind.tamu.edu

15. San Diego air & Space <http://wind.tamu.edu>

16. Instituto Tecnológico y de Energías Renovables S.A. www.iter.es

17. UNAM, Facultad de ingeniería. www.unam.edu

“Análisis de las Opciones de Equipamiento para Adquisición de Datos en las Pruebas a Prototipos Estructurales de un Túnel de Viento Cerrado a Escala”.



Fotografía. Efecto de los vientos sobre la naturaleza