TÚNEL DE VIENTO: UN VISTAZO A LAS INVISIBLES TURBULENCIAS.

ESCUELA DE PROCEDENCIA:

Centro Universitario México

CLAVE DE REGISTRO:

CIN2012A20237

INTEGRANTES:

Javier Eduardo Pascasio Chávez

César Esteban Rentería Bravo

Luis Enrique Torres Fernández

AREA: Ciencias Fisicomatemáticas y de las Ingenierías.

TIPO DE INVESTIGACION: Experimental.

DISCIPLINA*:* Física.

ASESOR: Fís. Jesús Flores Téllez.

LUGAR Y FECHA:

ESIME Culhuacán, Marzo 2013.

RESUMEN

El túnel de viento es una herramienta de gran utilidad en el sector aeronáutico ya que nos muestra los perfiles de velocidad y los flujos que presenta, demostrando de esta manera en cierta forma la aerodinámica de un objeto. Nuestro proyecto, tratará de demostrar la aerodinámica de distintos objetos con los que se quiera experimentar. Nuestro proyecto conlleva una ventaja al usar un bajo porcentaje de energía eléctrica, ya que los gases son impulsados gracias a la presión que se produce en el interior de la caja en la que se encuentra el hielo seco junto con el agua, lo que deja a un lado la necesidad de una turbina, por o que se tiene una disminución en el costo del túnel a comparación de los otros. Con todo esto, lograremos un apoyo en materia escolar ofreciendo la posibilidad de calcular los perfiles de velocidad que presenta el fluido a través de distintos objetos, además de la capacidad de diseñar y desarrollar este tipo de túneles de viento que se podrán reproducir con facilidad por sus ventajas mencionadas facilitando el acceso a esta información ayudando a la enseñanza de la mecánica de fluidos, se podrá profundizar en el tema en laboratorios de preparatorias y universidades. Por lo anterior el túnel de viento tendrá usos básicamente escolares, los cuales darán una gran aportación a la educación de manera que entendamos de una manera más específica, como es la interacción de los aviones, automóviles y muchos otros objetos con el viento.

ABSTRACT

The wind tunnel is a very useful tool for the aeronautic sector because it shows the profile of velocity and the flows that it presents, so all this demonstrates the aerodynamics of an object. Our project will try to demonstrate the aerodynamics from several objects which would like to experimentation. Furthermore the project take us to an advantage for using a low percentage of electric energy because the gases are impulse by the pressing produced in the interior of the box , where the dry ice and the water are. With this the need of a turbine is not any more necessary so we will have a decrease of the total cost of the tunnel, if we compared to others. With all this we will achieve a support in a scholar subject by offering the possibility to calculate the profile of velocity that the fluid presents through several objects, besides the capacity of design and develop this sort of wind tunnels that can easily reproduce because its advantages, this will enhance the access to this information helping to the teaching of mechanical fluids and the topic can be deeper investigated in high-schools and universities. So we can conclude that the wind tunnel will have scholars uses, which will provide a lot to education to a better understood even more specific as it is the interaction of airplanes, cars and more objects in the air.

Palabras clave: Aeronáutica, aerodinámica, túnel de viento, fluidos, mecánica.

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El túnel de viento o aerodinámico es una herramienta de gran utilidad en la Industria Aeronáutica y en la Física Práctica en general ya que mediante éste se ponen a prueba aviones, automóviles, objetos en general, para conocer más acerca de su comportamiento ante el choque constante que sufre con el aire. Debido a su importancia y a la gran ayuda que puede significar en la comprensión de la mecánica de fluidos pensamos en las ventajas que tendría tener uno para la comprobación de la teoría, ya que normalmente se cuentan con experimentos de hidrostática dejando a un lado los de viento por el difícil acceso a esta herramienta en específico, que es una de las únicas formas de observar alguno de los conceptos que forman la teoría ya mencionada.

Es por esto que decidimos construir un túnel de viento tratando de hacerlo más accesible, económico y con los mismo resultados, para que de esta manera se pueda tener uno en los laboratorios de física de todos los niveles así acercándonos al tema, y pudiendo observar de manera directa los efectos que se producen.

HIPÓTESIS

Si construimos un túnel de viento en donde los perfiles aerodinámicos puedan ser apreciados de manera visual con elementos de contraste y gases a presión, entonces la medición y obtención de las características aerodinámicas de los objetos podrá ser posible.

SÍNTESIS DEL MARCO TEÓRICO

OBJETIVOS.

GENERAL

Construir un Túnel Aeronáutico para observar el comportamiento de un fluido (aire) al entrar en contacto con un objeto. Los perfiles de velocidad que presenta al moverse a través del mismo, así como la relación entre la forma del cuerpo y el tipo de régimen de velocidades que produce.

PARTICULARES

Determinar la velocidad del fluido y a su vez la relación entre ésta y el tipo de flujo que presenta, ya sea laminar o turbulento.
Aumentar el potencial experimental de los laboratorios de física en cuanto al tema de la mecánica de fluidos, siendo más específicos en la vertiente de la Aerodinámica, mediante el uso de nuestro Túnel de Viento, con sus características positivas correspondientes.
Minimizar el consumo de Energía Eléctrica.
Reducir el costo de proceso de elaboración, manutención y utilización, a comparación de sus semejantes en el sector industrial.
Fomentar el uso de materiales reciclables. Todo la elaboración del proyecto se fundamentó en usar materiales reutilizables en todo momento.
Experimentar la utilización del anhídrido carbónico al momento de su sublimación con ayuda de la presión que produce en un contenedor sellado como fluido para nuestro proyecto.

MARCO TEÓRICO

Historia del Túnel de Viento

En experimentos, el inglés Osborne Reynolds (1842-1912) de la Universidad de Manchester demostraba que el patrón del flujo de aire sobre un modelo a escala sería el mismo para el vehículo real si cierto parámetro del flujo fuera el mismo en ambos casos. Este factor, ahora conocido como el Número de Reynolds, es un parámetro básico en la descripción de todas las situaciones fluido-flujo, incluyendo las formas de los patrones del flujo, la facilidad de transmisión del calor, y la presencia de la turbulencia. Esto comprende la

justificación científica central para el uso de modelos en los túneles aerodinámicos al simular los fenómenos de la vida real.

Los hermanos Wright usaron un túnel aerodinámico simple en 1901 para estudiar los efectos de la corriente de aire al pasar por varias formas mientras desarrollaban a su Wright Flyer, era en parte, algo revolucionario.

El uso subsiguiente de túneles aerodinámicos fue proliferando como la ciencia aerodinámica y las disciplinas de ingeniería aeronáutica y se desarrollaron los viajes y el poder aéreo. Los túneles aerodinámicos estaban a menudo limitados por el volumen y la velocidad de la corriente de aire que podría entregarse.

Mecánica de Fluidos

Cuando un fluido está en movimiento, su flujo se puede caracterizar de dos maneras. Se dice que el flujo es laminar, si toda partícula que pasa por un punto específico se desplaza exactamente a lo largo de la trayectoria uniforme seguida por las partículas que pasaron antes por ese punto. La trayectoria se conoce como una línea de corriente. Las diferentes líneas de corriente no pueden cruzarse unas con otras en esta condición de flujo estable, y la línea de corriente en cualquier punto coincida con la dirección de la velocidad del fluido en ese punto.

Por otra parte, el flujo de un fluido se hace irregular, o turbulento, cuando su velocidad es superior a cierto límite o en cualquier condición que cause cambios abruptos de velocidad. El flujo turbulento se caracteriza por movimientos irregulares del fluido, llamados corrientes de remolino. El término viscosidad se aplica al grado de fricción interna en el fluido. Ésta fricción interna está asociada con la resistencia entre dos capas adyacentes del fluido que se desplazan con respecto a la otra. En 1738 el físico suizo Daniel Bernoulli dedujo una expresión fundamental que correlaciona la presión con la rapidez del fluido y la elevación.

Principio de Bernoulli

El flujo laminar de un fluido incompresible, sin viscosidad con densidad ρ que fluye por un tubo. Durante un intervalo de tiempo Δt, la masa de un líquido pasa a otra posición del tubo. El resultado sería el mismo que si la masa $\Delta M = A_1 V_1 \Delta t \rho$, que se mueve con velocidad v_1 en la altura h_1 por el tubo de la

sección transversal A_1, la retiráramos y la colocáramos una masa igual (**ley de la conservación de la masa**) $\Delta M=A_2V_2\Delta t\rho$, moviéndose con velocidad υ_2 en la altura h_2 por el tubo de la sección transversal A2.
Como el fluido es incompresible, la densidad es constante y así

□

Cuando se aplica la **ley de la conservación de la energía** a la masa ΔM. El trabajo efectuado sobre esa masa de líquido durante este intervalo de tiempo es

□Δ□

En donde se ha ajustado la definición de trabajo $\Delta W = F\Delta s$, y de la presión $P = F/A$. Este trabajo se efectúa sobre el sistema y debe de ser igual a la energía que gana el líquido.
Hay dos contribuciones al cambio de energía del líquido, un cambio en la EP, □. Por lo tanto la conservación de la energía nos conduce a
□
2 , y eliminando Δt
□

Por lo tanto
□= □□□□□□□□□

Particularmente, como la rapidez de un flujo incompresible es mayor en una región estrecha que en una región con amplia sección transversal, la presión es menor en una sección estrecha que en una sección más amplia. Aunque esto puede engañar la percepción se puede demostrar con el principio de Bernoulli.

Principio de Bernoulli aplicado a los perfiles de Velocidad de un túnel de viento

$\dot{m}$ = razón de cambio del flujo de la

γ = calor específico

A = area ρ = densidad M = Mach

p = presión V = velocida a = velocidad del sonido

Conservación de la $\dot{m} = \rho V A = \text{constant}$ $\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} = 0$

Conservación del $\rho V \, dV = -dp$

Fluido Isotrópico: $\frac{dp}{p} = \gamma \frac{d\rho}{\rho}$ $dp = a^2 \, d\rho$

Aplicando Momentum: $-M^2 \frac{dV}{V} = \frac{d\rho}{\rho}$

Aplicando Masa: $(1 - M^2)\frac{dV}{V} = -\frac{dA}{A}$

Aumento en $(dA > 0)$:

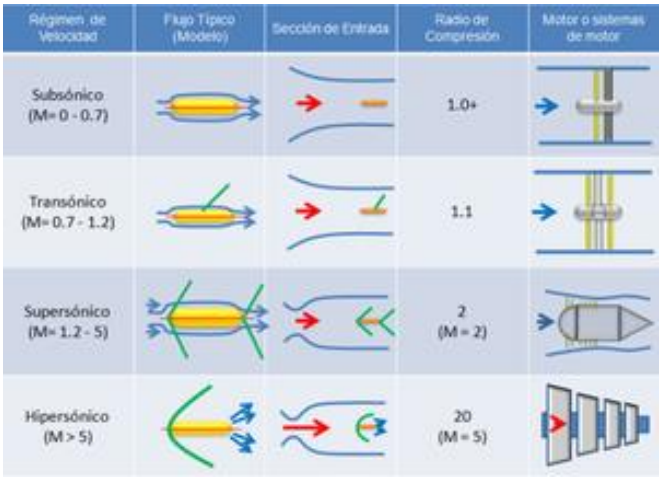
Fluio $(M < 1)$

$dV < 0$ (Velocidad $dp > 0$ (Presión aumenta)

Fluio $(M > 1)$

$dV > 0$ (Velocidad $dp < 0$ (Presión decrece)

En las ecuaciones mostradas anteriormente se utiliza el principio de Bernoulli desglosado en su parte de conservación de la masa y de la energía, definida también con el momentum y marcando como un límite la velocidad del sonido. Los perfiles de velocidad para cuerpos con un movimiento mayor a la velocidad del sonido, cambian de manera considerable, haciendo una diferenciación entre túneles de viento y sus perfiles de velocidad.



Número de Reynolds (Viscosidad y ley de Poiseuille)

Todos los fluidos reales tienen una resistencia interna al flujo, que se describe como viscosidad. Se puede considerar que la viscosidad es una fricción entre las moléculas de un fluido. En los líquidos es ocasionada por las fuerzas cohesivas de corto alcance, y en los gases, por las colisiones entre moléculas. El arrastre viscoso de líquidos y gases depende de la velocidad puede ser directamente proporcional a ella en algunos casos. A pesar de esto, la relación varía dependiendo de las condiciones.

La fricción interna causa que las capas de un fluido se muevan unas con respecto a otras en respuesta a una tención cortante. Este movimiento en capas, llamado flujo laminar, es característico del flujo uniforme a velocidades bajas de los líquidos viscosos. A velocidades mayores, el flujo se convierte en rotacional, o turbulento. La viscosidad se caracteriza por un coeficiente de viscosidad η.

□□

En donde F/A es la tensión cortante necesaria para mantener el flujo laminar entre dos planos paralelos separados por una distancia h a una velocidad relativa de magnitud v. Realmente, η (por lo común llamada viscosidad) es la relación entre la tensión cortante y la velocidad de cambio de la cortante: (Δx/h) Δt=v/h.

(N/m^2) (m/[m/s])=(N/m^2)(s)=Pa-s

Esta unidad combinada se llama Pouseuille (PI).

Cuando un fluido fluye a través de un tubo, hay una fricción entre el líquido y las paredes del tubo, y la velocidad del fluido es mayor hacia el centro del tubo.

□ = □¯□ = □□/□□

En donde ΔV es el volumen que pasa por un punto dado en el tiempo Δt. La velocidad de flujo depende de las propiedades del fluido y de las dimensiones del tubo, así como la diferencia de presiones entre los extremos del tubo. Jean

Pouseuille estudió un flujo en tubos y conductos, suponiendo viscosidad constante y flujo uniforme o laminar. Derivó una relación para la velocidad de flujo, que se conoce como **ley de Pouseuille**.

8□□

En donde r es el radio del tubo y L su longitud.

Como se podría esperar, la velocidad de flujo (m^3/s) es inversamente proporcional a la viscosidad y la longitud del tubo. También como se espera, la velocidad de flujo es directamente proporcional a la diferencia de presión. Es en cierto modo sorprendente, sin embargo, que la velocidad sea proporcional a r^4, lo cual la hace más dependiente del radio del tubo de lo que se pensaría.

Cuando la velocidad del flujo de un fluido excede cierto valor, el flujo deja de ser laminar y se convierte en turbulento. En ese momento ya no tiene aplicación la ley de Poiseuille. El análisis del flujo turbulento es una tarea difícil, pero existe un valor determinado experimentalmente que nos indica un umbral de la turbulencia.
Este valor se expresa en términos de una cifra adimensional que se denomina **número de Reynolds** (R_n):

□

En donde ρ es la densidad del fluido, $\bar{v}$ la rapidez promedio de flujo, d el diámetro de un tubo o conducto cilíndrico y η la viscosidad.

En un tubo con paredes lisas, el flujo es laminar si R_n es de alrededor de 2000 o más. Es posible que haya un flujo laminar si es superior a 2000, pero será un flujo inestable. Cualquier trastorno ligero generará un flujo turbulento. Es interesante que con frecuencia la velocidad de flujo es mayor que si se aplicara la ley de Poiseuille.

Tipos de Flujo

Flujo Viscoso

Un flujo es la sustancia que no puede sostener en equilibrio a un esfuerzo de corte. Generalmente se necesita un esfuerzo de corte para mantener un flujo constante en una capa de fluido con respecto a otra, y la magnitud de ese esfuerzo de corte es una medida de la viscosidad del fluido. La viscosidad se define como

□

□ es el esfuerzo de corte necesario para mantener un flujo laminar tal que dos lugares del fluido separados por una distancia tengan una velocidad relativa de u. La unidad del SI para la viscosidad es el pascal por segundo (Pa·s).

La viscosidad de los líquidos es una función bastante dependiente de la temperatura. Cuando un líquido viscosa fluye por un tubo, la capa mono-molecular de un líquido inmediatamente adyacente a la pared que no se mueve del tubo también está en reposo. La velocidad del flujo es máxima en el centro del tubo, y el perfil general de la velocidad es parabólico. El simple hecho que se deba mantener un exceso de presión para sostener el flujo significa que hay fuerzas de fricción que deben de actuar sobre el líquido, que se oponen al movimiento y que deben superarse. Esto constituye la pérdida por viscosidad o por fricción.

Flujo Laminar o Flujo de Poiseuille

Cada pequeño volumen de líquido se mueve sin girar, siguiendo las llamadas líneas de flujo, por eso también se le conoce como flujo lineal. Las líneas de flujo describen el patrón de flujo en ciertos casos. Este se limita a las velocidades bajas del flujo.

Flujo Turbulento

No es un estado de equilibrio dinámico; esto es, contrastando con el flujo laminar, en el que las líneas de flujo no cambian con el tiempo, la localización y

la fuerza de los remolinos en el flujo turbulento varían con el tiempo, aunque el flujo promedio permanezca constante.

¿Cómo se forma la turbulencia a través de un conducto?

Osborne Reynolds 1883 sumergió un tubo horizontal de vidrio en un tanque de vidrio lleno de agua. El flujo de agua a través del tubo, se podía controlar mediante una válvula, donde la entrada del tubo estaba acampanada y mediante un dispositivo, se introducía un fino filamento de agua coloreada en la corriente de la entrada del tubo. Reynolds encontró que a bajas velocidades de flujo, el flujo de agua coloreada circulaba inalterado a lo largo de la corriente principal sin que se produjera una mezcla lateral. El comportamiento de la vena coloreada mostró claramente que el agua circulaba según líneas rectas paralelas y que el flujo era laminar, al aumentar la velocidad de flujo se alcanzaba una velocidad critica, por lo cual se difuminaba la vena coloreada y el color se distribuye caóticamente a través de toda la sección de la corriente agua, ya no se desplazaba de forma laminar sino el azar dando lugar a corrientes transversales y remolinos.

Todo lo antes mencionado depende de 4 variables; diámetro de tubo axial, la viscosidad, la densidad y la velocidad lineal del líquido.

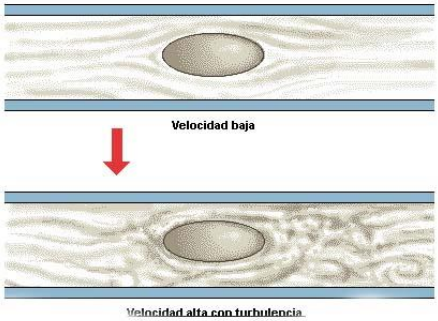
Los factores que determinan el punto en el que aparece la turbulencia en una capa límite laminar están relacionados con el número adimensional de Reynolds definido por la ecuación:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Cuando este número rebasa unos 2000, el patrón de flujo cambia de un laminar a turbulento. Al momento en que se hace inestable un perfil laminar parabólico, se comienzan a formar ráfagas turbulentas de gran intensidad. Una ráfaga tiene una parte delantera que se mueve con mayor velocidad y una parte posterior más lenta.

A moderados números Reynolds se produce un cambio profundo y complicado en el comportamiento de los flujos. El movimiento deja de ser laminar y pasa a ser turbulento. A esto se le denomina transición hacia la turbulencia. Observamos que un cilindro o esfera ocurre a números de Reynolds en torno a $3.x\ 10^5$ en que aparece una caída brusca en la resistencia. Influyen varios

efectos en la transición como rugosidad de la pared, o fluctuaciones de la corriente libre, aun cuando se nos presente el flujo laminar pueden aparecer fluctuaciones naturales del movimiento.



A Re suficientemente altos, el flujo fluctúa permanente y se denomina totalmente turbulento.
Las fluctuaciones con valores típicos entre el 1 y el 20 % de la velocidad media no son periódicas sino aleatorias y distribuidas en un rango continuo.
Viscosidad alta- bajo número de Reynolds flujo laminar
Viscosidad baja-número de Reynolds elevado flujo turbulento

El perfil laminar parabólico, que es similar al de la ecuación (4.146), se hace inestable, y a Red = 2300, se comienzan a formar rachas o ráfagas turbulentas de gran intensidad.

0<Re>1 movimiento laminar lento altamente viscoso
1<Re>100 laminar fuerte dependencia del número de Reynolds
100<Re>10^3 laminar es útil la teoría de capa limite
10^3 <Re>10^4 transición a la turbulencia
10^4 <Re>10^6 turbulento, moderado dependencia del número de Reynolds
10^6 <Re>∞ turbulento débil dependencia del número de Reynolds

Estos son rangos indicativos que pueden varían con la geometría del flujo, la rugosidad de la superficie y los niveles de fluctuación de la corriente al entrar. La mayoría de nuestros análisis versaran sobre flujos laminares o turbulentos, pues normalmente no se deberían diseñar flujos que operen en la región de transición.

Tomando en cuenta que el movimiento turbulento es más común que el laminar, los científicos durante siglos han observado con instrumentos muy poco sensibles que no recogían las fluctuaciones rápidas, sino que solo median fuerza, velocidad y presión.

Un cuerpo que tiene un perfil aerodinámico, es aquel que tiene un diseño determinado que aprovecha al máximo las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando este perfil se sitúa en una corriente de un fluido. Un ala es un ejemplo de diseño avanzado de perfil aerodinámico. El ala produce un flujo de aire en proporción a su ángulo de ataque (a mayor ángulo de ataque, mayor es el estrechamiento en la parte superior del ala) y a la velocidad con que el ala se mueve respecto a la masa de aire que la rodea; de este flujo de aire, el que discurre por la parte superior del perfil tendrá una velocidad mayor (efecto Venturi) que el que discurre por la parte inferior. Esta mayor velocidad implica menor presión (teorema de Bernoulli) , lo cual genera una fuerza de sustentación que permite levantar un peso, como el de un avión, en el aire.

Si las partículas de aire aumentan su velocidad será a costa de disminuir su presión y a la inversa, o lo que es lo mismo: para cualquier parcela de aire, alta velocidad implica baja presión y baja velocidad supone alta presión.

Los diseñadores de aviones y barcos se siguen esforzando en mejorar continuamente las capacidades y características de estos, tales como su autonomía, velocidad, capacidad de carga, facilidad de maniobra o la seguridad, entre otros detalles. Las aeronaves han pasado a ser construidas de materiales cada vez menos densos y más resistentes. Nuestro problema es ver como los cuerpos con diferentes formas pueden llegar a cambiar la movilidad de cuerpos dentro de un fluido viscoso.

Por lo tanto los perfiles de velocidades son diferentes en cada situación. Por ejemplo a mayor presión vemos que aumenta la velocidad, y a mayor viscosidad disminuye la velocidad, pero en cualquier situación se mantiene una parábola que no se deforma pues los perfiles del centro siempre llevan mayor velocidad que los perfiles de los extremos.

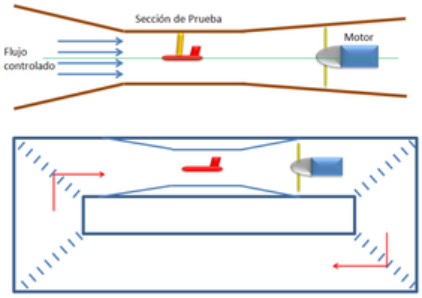
Clasificaciones de los túneles de viento

Los túneles aerodinámicos se clasifican en función de varios aspectos los cuales son:

Por la circulación del aire en su interior

Abierto: se toma el aire directamente de la atmósfera y después de hacerlo pasar por la cámara de ensayo se devuelve nuevamente a ella.

Cerrado: el aire circula varias veces por la cámara, recuperando por medio de un difusor su energía fluida, antes de llegar de nuevo a la zona donde se encuentra instalado el difusor.



Por la velocidad del flujo en su interior

Subsónico.
Transónico.
Supersónico.
Hipersónico.

Composición general presente en los túneles de viento

Ventilador

Produce la corriente de aire del circuito en el que se desarrolla la circulación de aire.

Cámara de ensayos

En la que se sitúa el modelo experimental a probar. El tamaño de la cámara de ensayo es una de las características más importante de un túnel, ya que una de grandes dimensiones permite probar modelos sin gran reducción de escala

con respecto al original, lo que permite mantener el índice de semejanza del número de Reynolds.

Difusor

Con el objetivo de reducir la velocidad expandiendo el fluido y recuperando la presión estática, el difusor está dividido en dos partes por el ventilador. Los difusores son muy sensibles a errores de diseño, pueden crear separación de la capa límite de manera intermitente o estable que es difícil de detectar y pueden crear vibraciones en el túnel, oscilación en el ventilador y variación en la velocidad de la sección de prueba. Hay que tener en cuenta que el aire que llega al difusor no es laminar, el aire que sale de la sección de prueba no es uniforme lo que hace cada vez más difícil el trabajo del difusor.

Cono de contracción

Tiene la función de aumentar la velocidad del flujo. Los túneles aerodinámicos se pueden construir de diferentes materiales como por ejemplo: de chapas de acero, aluminio, fibrocemento, tejido metálico con mampostería, plástico reforzado etc. Sin embargo la construcción mixta de madera y acero se impuso finalmente, pues el mismo es fácil de trabajar y mantener.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

PROCEDIMIENTO

Construcción.
Material:
Acrílico.
Sellador.
Mangueras.
Conexiones.
Objeto a observar.
Contenedor.
Anhídrido Carbónico (Hielo Seco).
Soportes de madera.

Lámpara.
Cartulina negra.

Construimos nuestro túnel aerodinámico con tres de las cinco secciones generalmente usadas, conectadas de forma hermética:

Sistema Generador: Ocupando la función del ventilador y el cono de contracción, sustituirá lo anterior por un sistema de 16 mangueras que van conectadas de un recipiente de aluminio, con sus respectivas 16 perforaciones y con una tapa removible, a las perforaciones simétricas hechas sobre una pared lateral de nuestra Sección de Prueba.

Sección de Prueba o Cámara de Ensayo: No manejamos una separación entre ésta y el difusor, sin embargo esto es un factor conveniente ya que el tamaño del objeto a observar puede ser variable. Consiste en un prisma rectangular de acrílico, de 30x30x51.5 sin una de las bases y con la otra perforada de forma simétrica en cuyos orificios se introducen las mangueras que vienen conectadas desde la caja del sistema generador.

Difusor: A pesar no tener una expansión del área para disminuir la velocidad que llevan las líneas del gas, se cuenta con espacio para que las líneas se mantengan hasta llegar a la parte final que en el caso de nuestro túnel de viento será abierta. Pero se puede poner de manera opcional un extractor para ayudar a mantener las líneas.

Funcionamiento.

Se verterá agua en el contenedor de aluminio de la sección generadora, cuidando que el agua no desbordé por los orificios de ésta, así evitando que el agua obstaculice el paso del gas por las mangueras.
Se calentará la caja de tal modo que el agua en su interior alcancé una temperatura mayor a la del ambiente, de esta forma logrando que el dioxido de carbono en estado sólido se sublime.
Se colocará el objeto a prueba en la cámara de ensayo apoyándose de los

soportes de madera previamente colocados o con ayuda de cualquier soporte exterior.
Una vez que el agua alcance una temperatura suficientemente mayor a la temperatura ambiente, se pasará a introducir trozos de hielo seco.
Se tapará el contenedor y se podrá observar como el gas sale por los orificios de la sección de prueba, si es necesario se moverá el objeto a prueba como sea conveniente.
Es importante mencionar que la calefacción de la caja sea controlada frecuentemente ya que se debe evitar que el agua se evapore.
Cuando la intensidad de salida del gas se vea disminuida se procederá a introducir más hielo seco en la caja, repitiendo los pasos anteriores.

RESULTADOS

Para determinar si el flujo que describe el dióxido de carbono en nuestro túnel de viento, contiene características de un flujo laminar o de un flujo turbulento es necesario obtener ciertos datos esenciales para la obtención del número de Reynolds, número que determina el tipo de flujo.

□

ρ: En este caso la densidad corresponde a la densidad del dióxido de carbono, equivalente a 1.870 kg/m^3

¯Para determinar si el flujo que describe el dióxido de carbono en nuestro túnel de viento, contiene características de un flujo laminar o de un flujo turbulento es necesario obtener ciertos datos esenciales para la obtención del número de Reynolds, número que determina el tipo de flujo.

□

ρ: En este caso la densidad corresponde a la densidad del dióxido de carbono, equivalente a 1.870 kg/m^3

¯v: En este caso la rapidez promedio de flujo se determinó utilizando fórmulas correspondientes a tiro parabólico. Mediante observación de la trayectoria descrita por el flujo del gas, se distingue que corresponde a un movimiento parabólico donde las fuerzas que interactúan corresponden a las descritas en las fórmulas presentadas a continuación.

Segunda ley de Newton

F = □□

En el caso del movimiento del dióxido de carbono:

□= □ − □

Donde la fuerza neta se obtiene restándole al peso del dióxido de carbono, el empuje que recibe mediante la interacción de este fluido con el aire.

□□

Para obtener el empuje se utiliza la ecuación anterior donde ρ_H es la densidad del hielo seco en su estado gaseoso (dióxido de carbono), mientras que ρ_A equivale a la densidad del aire, aproximadamente equivalente a 1 kg/m^3.

Utilizando la segunda ley de Newton, se obtiene la siguiente ecuación de movimiento.

□

□)

Sustituyendo los valores conocidos:

1)

Se obtiene una aceleración igual a 4.9 m/s^2.

Conociendo la aceleración y conociendo que el movimiento del fluido corresponde a un tiro parabólico, se determina la siguiente ecuación.

2

Debido a que el movimiento inicial es completamente horizontal, la velocidad inicial en y equivale a 0. Otros valores conocidos y determinados mediante medidas sencillas son la distancia en el eje y que recorre el fluido, distancia con el valor de .2 m.

Por tanto:

2

Sabiendo que:

□□

Conocemos que Δx equivale a 0.10 m y sustituyendo en la ecuación anterior obtenemos la siguiente ecuación.

2

2= 0.01 □

Por ende la velocidad inicial equivale aproximadamente a:

0.80

Entonces conocemos que el valor de la velocidad inicial equivale a 0.24 m/s, velocidad que corresponde a la que tiene el fluido al salir del conducto al túnel de viento.

Utilizando una vez más las fórmulas referentes a tiro parabólico, para la velocidad final nos basamos en la siguiente fórmula.

2+2□*Δ*□

Sustituyendo los valores, sabiendo que la velocidad inicial en y es equivalente a 0.

2(*4.9*)(*0.2*)

Se obtiene el resultado de 1.4 m/s para la velocidad final del fluido, velocidad que corresponde al momento en que llega al suelo del túnel de viento.

Sabiendo que la velocidad media corresponde a la siguiente ecuación.

2

2

Conocemos ahora la velocidad media que equivale a 0.58 m/s y que puede sustituirse en el número de Reynolds por la variable ¯v.

Finalmente conocemos que el diámetro de los orificios equivale a 0.003 m y que el coeficiente de viscosidad del dióxido de carbono es de 0.07 cP, teniendo así todos los valores necesarios para determinar el número de Reynolds correspondiente el flujo del dióxido de carbono en nuestro túnel de viento.

0.07

□= 0.464

De acuerdo con el número de Reynolds obtenido, nuestro flujo se encuentra dentro del rango de un flujo con movimiento laminar lento altamente viscoso. Este movimiento cambia continuamente a partir a lo largo del cuerpo que requiere perfil de aerodinámica a razón de un cambio continuo de velocidad del fluido. Cambiando sus características al punto de convertirse en un flujo con movimiento turbulento, esto es si el cuerpo no es aerodinámico.

A continuación se muestra un flujo turbulento a lo largo de un cuerpo no aerodinámico ocasionado por una diferencia de presiones a lo largo del cuerpo, lo que según la ecuación de Bernoulli, se crea a partir de una disminución la presión ejercida, creando un aumento en la velocidad suficiente para ocasionar un número de Reynolds equivalente a 1000 o más.

De acuerdo con los datos referentes al dióxido de carbono y su movimiento la velocidad añadiendo ajuste de unidades tendría que alcanzar el valor mínimo de **1247.7 cm/s** para generar un movimiento turbulento.

Por otra parte los cuerpos aerodinámicos no generan turbulencias por lo que la velocidad del dióxido de carbono se mantiene dentro del rango de 0 a 124.77 m/s.

CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de resultados observamos que la velocidad necesaria para crear un flujo turbulento es bastante razonable ya que para que un cuerpo aerodinámico comience a crear turbulencias debe de alcanzar una velocidad considerablemente alta como la que muestran los resultados.

Además al observar el flujo laminar que salía del tubo debido a una diferencia de presiones se calculó utilizando fórmulas de tiro parabólico lo que al utilizar velocidad media daba un número de Reynolds considerado dentro de un flujo laminar sin embargo al sustituir los mismos datos en la ecuación de Bernoulli y en la ley de Poiseuille se observa que se tiene una velocidad perteneciente a un flujo turbulento al principio esto parecería incongruente sin embargo al

analizarlo observamos que la diferencia de presiones es tanta que la velocidad inicial es perteneciente a un flujo turbulento y a través de la fricción generada por el aire combinada con la viscosidad el flujo se va convirtiendo laminar la diferencia entre la velocidad de la ecuación de Bernoulli y la de Poiseuille es razonable ya que uno considera un fluido ideal y el otro uno laminar combinándolo con el de tiro parabólico obtenemos una buena idea de la interacción entre el flujo y el aire describiendo su movimiento.

BIBLIOGRAFÍA

White, F. Mecánica de fluidos, McGraw-Hill/interamericana de España, s.a.u., Madrid, España, 2008.

Resnick, R. Y Halliday, d. Física parte 1, cia. Editorial continental, s.a. de c.v., ciudad de México, México, 1982.

Douglas, C. Física para universitarios, Pearson educación, México, 2002

Serway, R. Y Faughn. Física, Pearson educación, México, 2001

Wilson, J. Física Segunda Edición. Prentice Hall. Lander University, Estados Unidos, 1994.

Hitt, D. "What are wind tunnels?". NASA Educational Technology Services. United States. Abril 2010. http://nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/what-are-wind-tunnels-k4.htm

Benson, T. "Wind Tunnels Theory". NASA Research Center. United States, Abril 2009. http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/tunnozt.html

Kotwani, K. "Wind Tunnel Performance Analysis". Department of Aerospace Engineering Indian Institute of Technology. Bombay, India. Agosto 2003.http://www.casde.iitb.ac.in/store/training/2003/kailash-wt-perf-analysis.pdf

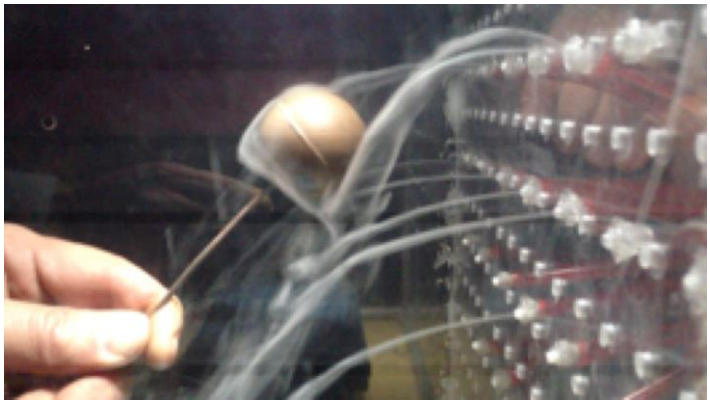
Marín, V. "Túnel de Viento". Escuela de Ingeniería de Antioquía. Colombia. Diciembre 2009.

http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articuloses/flujodegases/tuneldeviento/tuneldeviento.html

ANEXOS

Túnel de Viento Completo.

Cuerpo Aerodinámico. Se muestra flujo laminar y finaliza turbulento.



Flujo Laminar