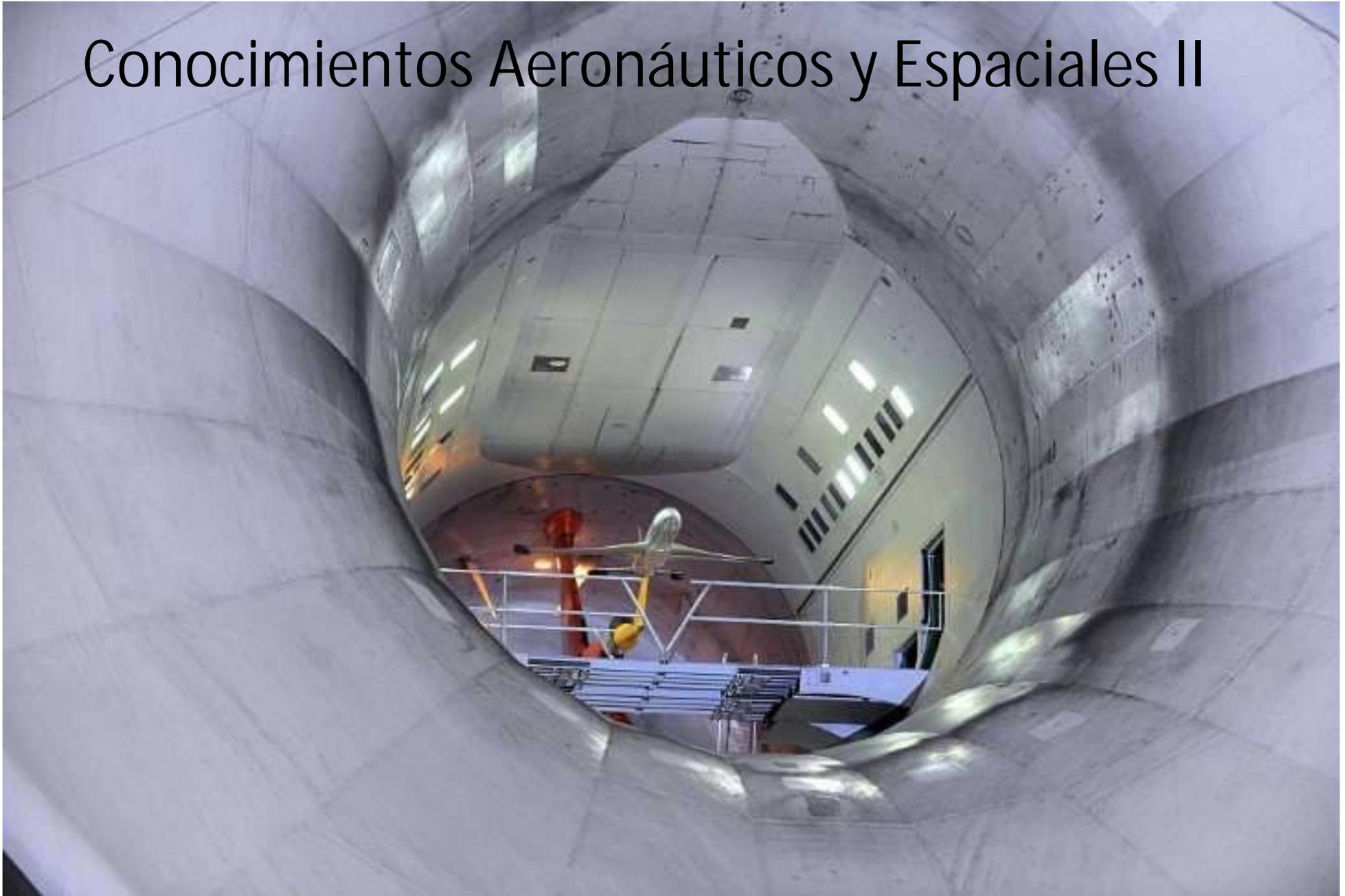
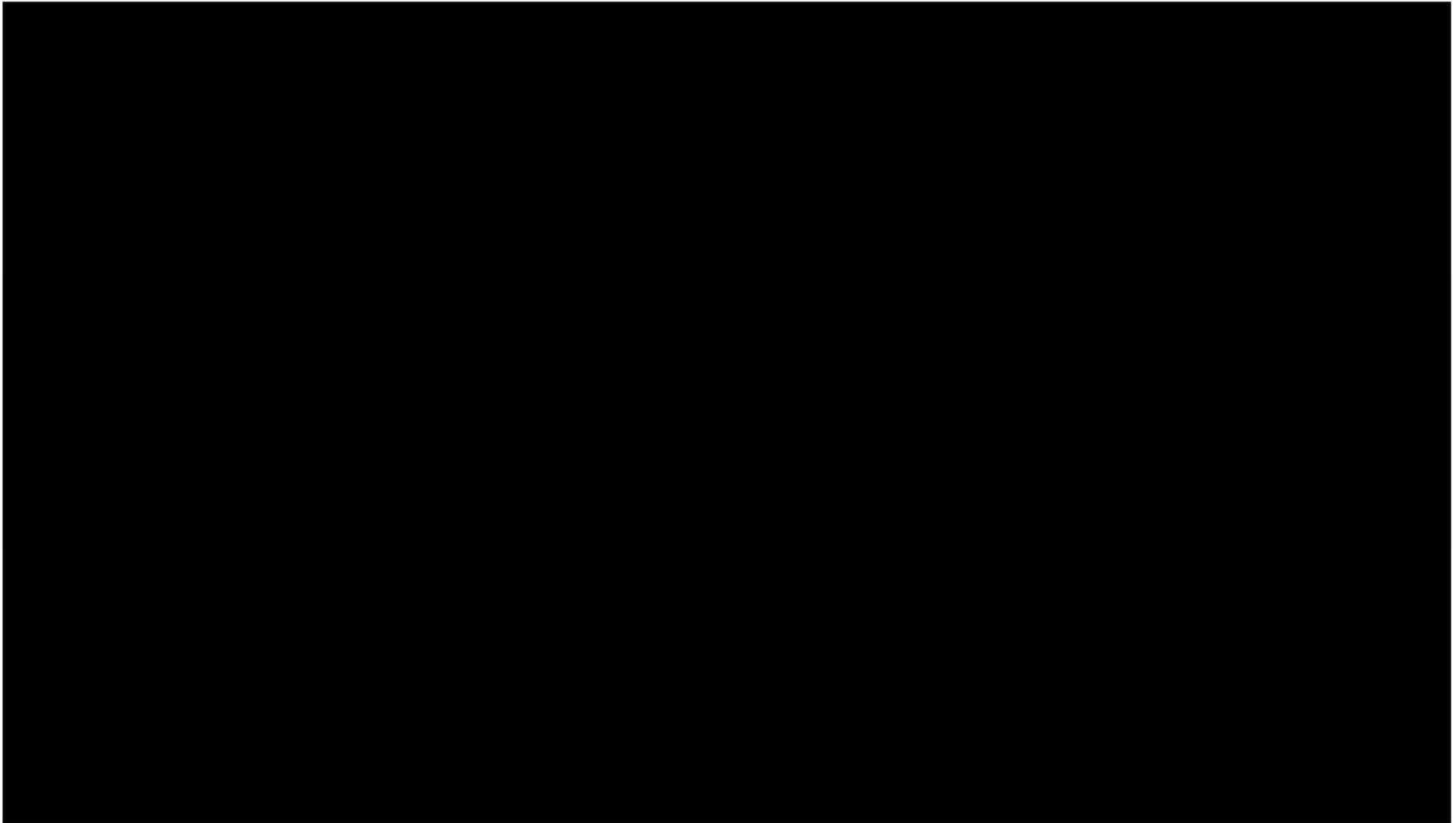


Túnel Aerodinámico

Conocimientos Aeronáuticos y Espaciales II



Ejemplo de utilización de túnel aerodinámico en NASA

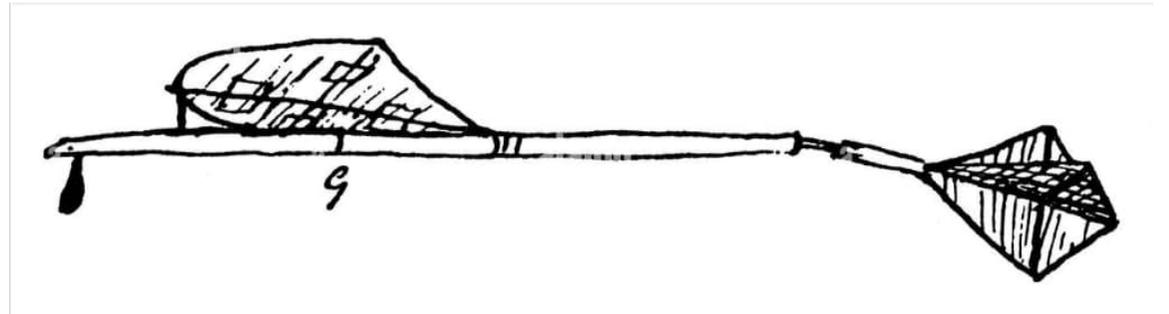
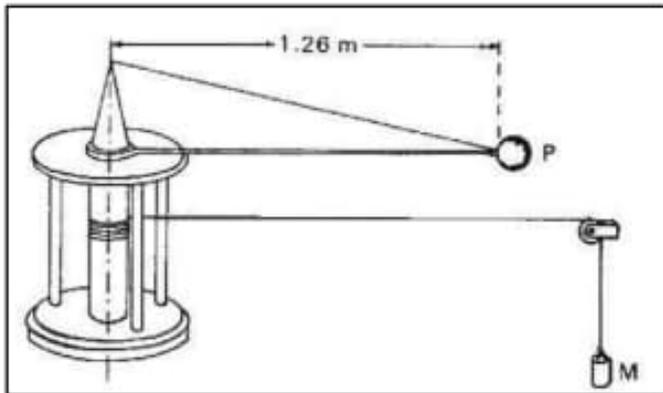


Haciendo un poco de historia...

- Aerodinámica significa 'aire en movimiento'. El término fue documentado por primera vez en 1837.
- Leonardo Da Vinci trajo dos grandes avances en aerodinámica:
 - 1- Se dio cuenta de que el agua en un río se mueve más rápido en lugares donde el río es estrecho (conceptos básicos de El teorema de Bernoulli)
 - 2- Afirmó que los resultados aerodinámicos son lo mismo cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido como cuando un fluido se mueve más allá de un cuerpo estático en el misma velocidad: el principio del túnel aerodinámico

El brazo giratorio

- George Cayley (siglo XIX)((1773-1857) usó un brazo giratorio para medir el arrastre y la sustentación en superficies aerodinámicas.
- También lo usó para diseñar el primer planeador no tripulado exitoso (1804).



El brazo giratorio (cont)

- Otto Lillienthal también usó brazos giratorios para diseñar planeadores tripulados (1866-1889)
- Samuel Langley construyó el más grande y mas rápido brazo giratorio (década de 1890)



El brazo giratorio tiene una gran debilidad:
el objeto pasa dentro de su propia estela.

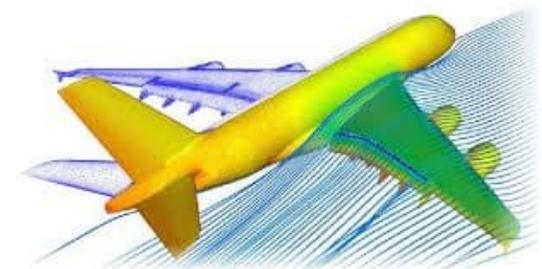
Los primeros túneles aerodinámicos

- Una alternativa fue el túnel de viento, primero diseñado por Frank Wenham (1871)
- Más famoso fue el túnel de viento utilizado por el Hermanos Wright en 1901 con el fin de diseñar su 1902 Glider y 1903 Flyer.
- El túnel de viento de los hermanos Wright dio datos precisos y completos de sustentación y resistencia de secciones de ala.



El túnel Aerodinámico

- El túnel de viento se convirtió rápidamente en la base experimental del estudio de los esfuerzos aerodinámicos.
- Un túnel aerodinámico es una herramienta de investigación, desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos.
- Provee un flujo de fluido controlado, para investigar los fenómenos de los flujos y el testeado de modelos aerodinámicos.
- En un túnel aerodinámico, el objeto o modelo permanece estacionario mientras se propulsa el paso de aire o gas alrededor de él. Se utiliza para estudiar los fenómenos que se manifiestan cuando el aire baña objetos como aeronaves, cohetes, misiles, naves espaciales, automóviles, construcciones civiles (puentes, edificios), etc.
- Hoy en día el túnel aerodinámico es indispensable a pesar del CFD.(Computational Fluid Dynamic).El uso de CFD se ha vuelto más necesario a medida que los modelos de túnel se hicieron más grandes para incorporar características cada vez más realistas, como torsiones, curvaturas, y nacells por ejemplo.
- Se usa para validar soluciones numéricas.
- Se ensayan modelos de componentes, conjunto y su interacción.



Introducción

El estudio de la aerodinámica en forma experimental puede perseguir varios objetivos:

- Medir las fuerzas ejercidas por el aire sobre los cuerpos en movimiento
- Medir las fuerzas ejercidas por el viento sobre los cuerpos estáticos
- Ayudar a desarrollar o validar las teorías aerodinámicas
- Ayudar a diseñar cuerpos móviles o estáticos a fin de optimizar su eficiencia aerodinámica.



Algunos ejemplos de su empleo

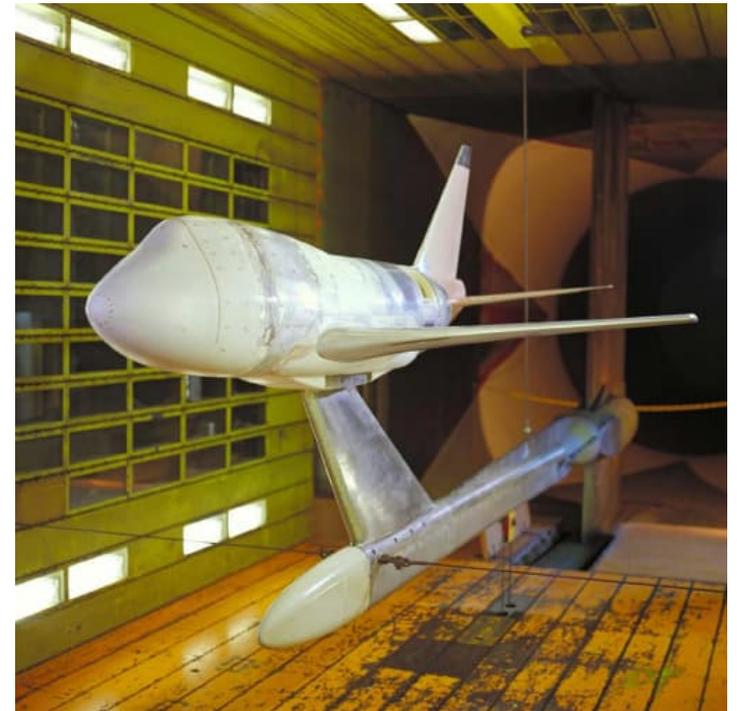


Principios del túnel aerodinámico

- Las cargas ejercidas por el aire estático en un cuerpo en movimiento son iguales a los que ejerce el movimiento de aire en un cuerpo estático, siempre y cuando las velocidades relativas entre el aire y el cuerpo son lo mismo en ambos casos.

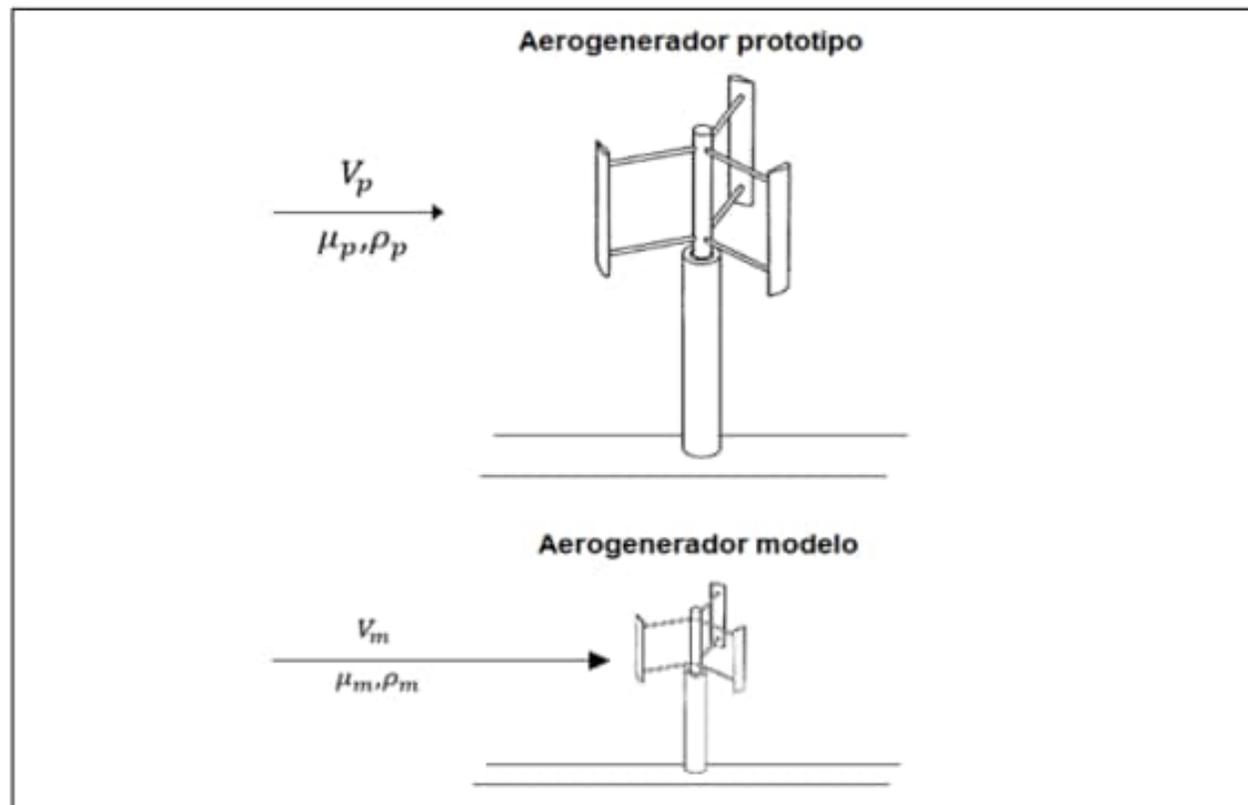
Para un experimento de túnel aerodinámico verdaderamente representativo, el cuerpo debe tener su tamaño real y el viento debe tener la velocidad que el objeto tendría si se estuviera moviendo.

Estas condiciones no son siempre posibles. Por lo tanto para que un modelo sea representativo, se debe cumplir con la semejanzas entre el modelo y el objeto real.



Teoría de las semejanzas

- Semejanzas entre el modelo y el objeto real
- Semejanza geométrica
- Dos fenómenos son geoméricamente semejantes si todas las dimensiones lineales que las caracterizan son proporcionales. Los criterios de semejanza geométrica son relaciones entre cualesquier correspondientes dimensiones lineales.



Teoría de las semejanzas

Semejanza cinemática

Dos fenómenos son cinemáticamente semejantes si con la semejanza geométrica, tiene lugar al mismo tiempo, proporcionalidad y orientación igual de los vectores de velocidad en todos los puntos adecuados. (líneas de corriente semejantes)

$$Re = \frac{v * \rho * L}{\mu}$$

Re : Número de Reynolds.

v : Velocidad del fluido.

ρ : Densidad del fluido.

L : Longitud característica.

μ : Viscosidad cinemática del fluido.

Semejanza dinámica

Dos fenómenos son dinámicamente semejantes si con la semejanza cinemática tiene lugar la proporcionalidad y orientación igual de los vectores fuerzas en todos los puntos adecuados de dichos fenómenos.

Modelo

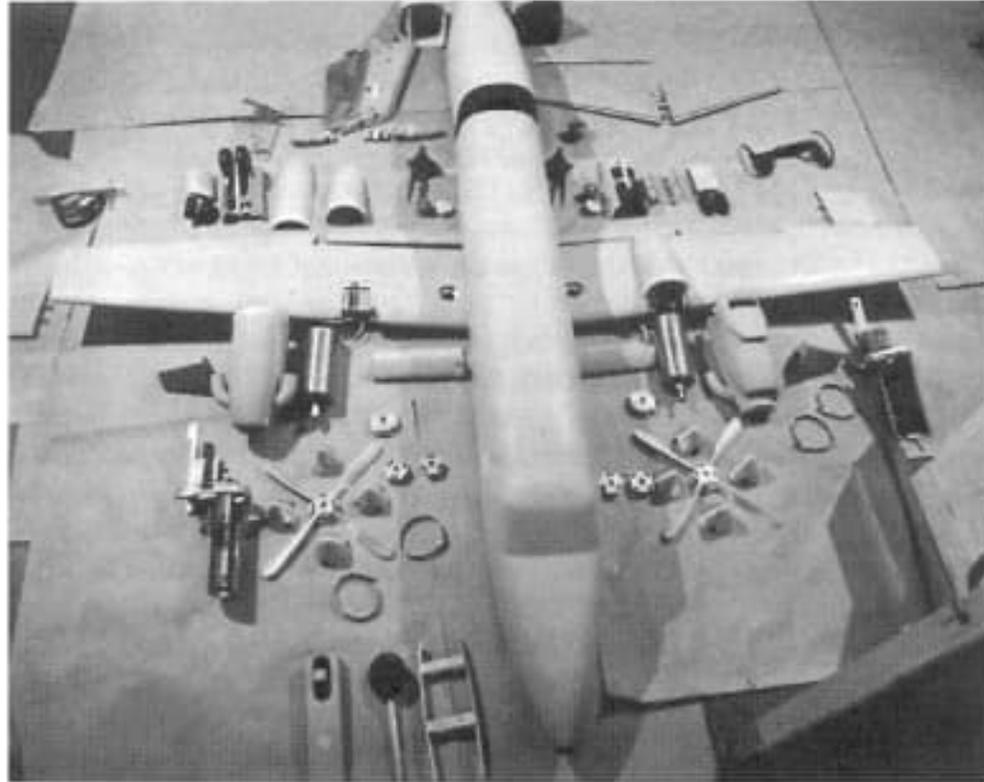
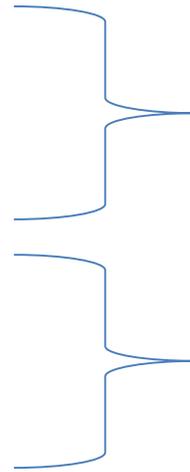


Figura 5.1: Modelo sin ensamblar de un avión para ensayar en un túnel aerodinámico

Tipos de túneles aerodinámicos

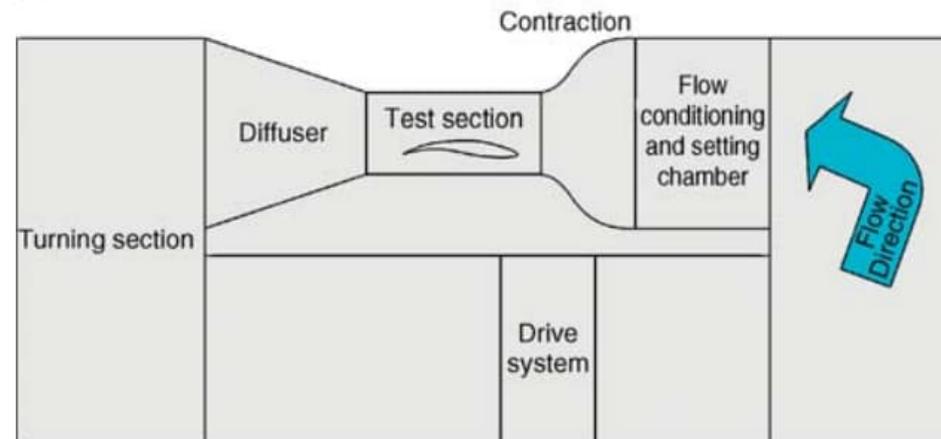
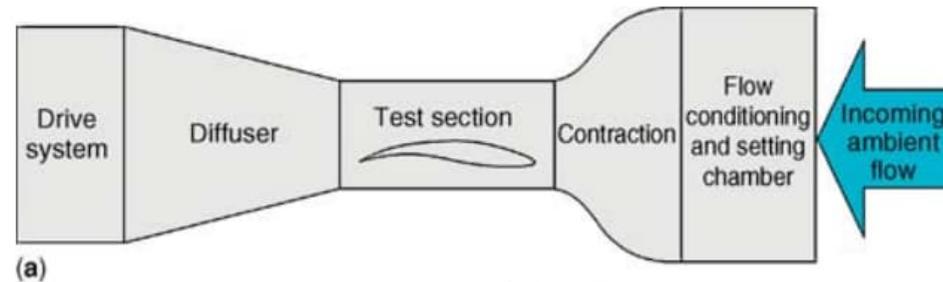
Según su circuito

- Circuito abierto – Vena Abierta
 - Circuito abierto – Vena Cerrada
 - Circuito cerrado – Vena Abierta
 - Circuito cerrado – Vena Cerrada
- Tunnel de densidad variable o Aire Comprimido



Tipo Eiffel

Tipo Prandtl



Clasificación de los túneles por régimen del flujo

- Túnel de Baja Velocidad

$$\text{Mach} < 0,5$$

Debido a las velocidades alcanzadas puede despreciarse el efecto de la compresibilidad.

Predominan los factores de inercia y viscosos.

Criterio de semejanza:

- Por número de Reynolds

$$Re = \frac{\text{Inertial Forces}}{\text{Viscous Forces}} = \frac{\rho V c}{\mu}$$

ρ = Air density

V = Airspeed

c = Characteristic length

μ = Air viscosity

a = Speed of sound in air

Clasificación de los túneles por régimen del flujo

- Túnel de Alta Velocidad

Ensayos donde los efectos de compresibilidad son importantes.

Túnel Subsónico	$0,5 < \text{Mach} < 0,8$
Túnel Transónico	$0,8 < \text{Mach} < 1,2$
Túnel Supersónico	$1,2 < \text{Mach} < 5$
Túnel Hipersónico	$\text{Mach} > 5$

Criterio de semejanza:

- Por número de Mach

$$M = \frac{\text{Inertial Forces}}{\text{Elastic Forces}} = \frac{V}{a}$$

ρ = Air density

V = Airspeed

c = Characteristic length

μ = Air viscosity

a = Speed of sound in air

Régimen de Velocidad	Flujo Típico (Modelo)	Sección de Entrada	Ratio de Compresión	Motor o sistemas de motor
Subsónico (M= 0 - 0.7)			1.0+	
Transónico (M= 0.7 - 1.2)			1.1	
Supersónico (M= 1.2 - 5)			2 (M= 2)	
Hipersónico (M > 5)			20 (M= 5)	



Wind Tunnel Design

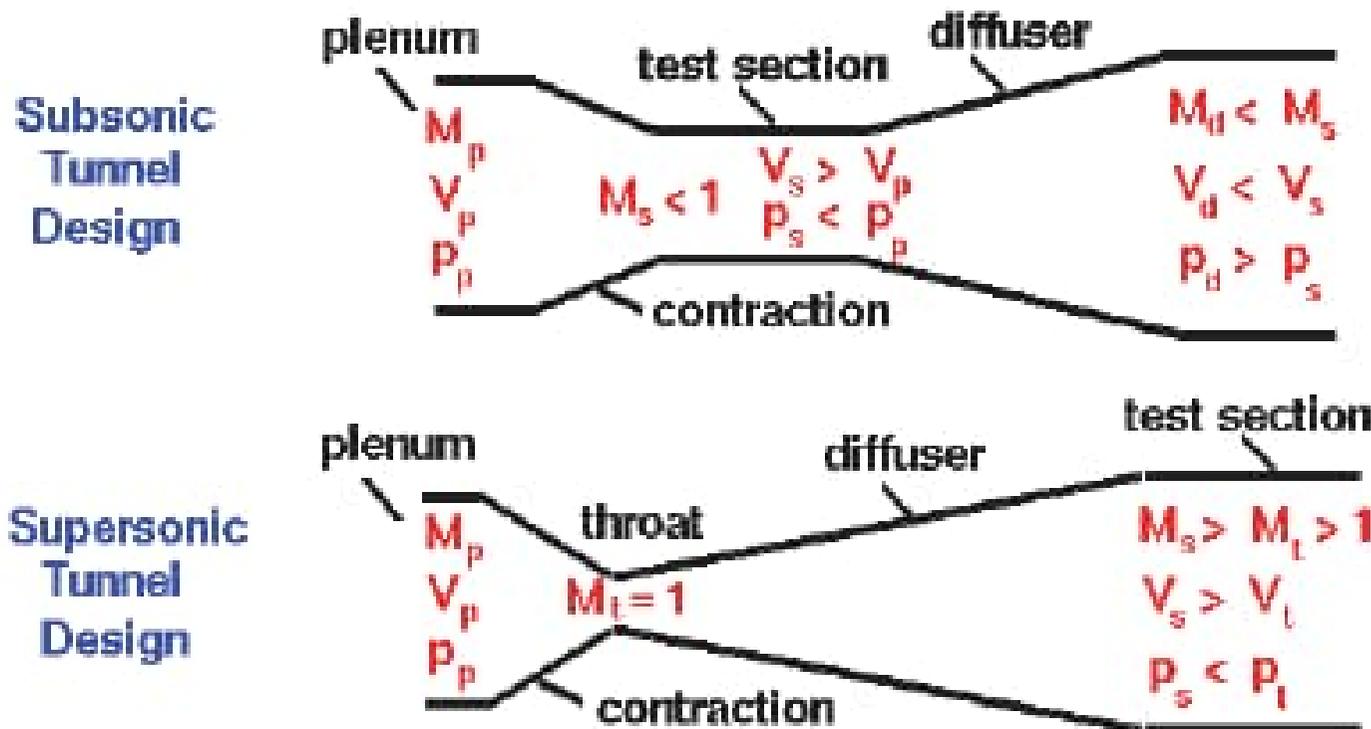
Glenn
Research
Center

Increase in Area :

For subsonic flow ($M < 1$)
velocity decreases & pressure increases

For supersonic flow ($M > 1$)
velocity increases & pressure decreases

M = Mach
V = velocity
p = pressure
A = area



Clasificación de los túneles (cont)

Clasificación por presión del fluido

Presión atmosférica

Densidad variable

Por su tamaño

Normal

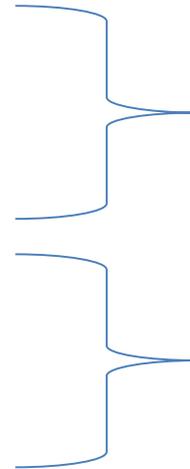
Tamaño full size

Clasificación por fines

- Para modelo de alas y aviones
- Para desarrollo de investigación de capa límite
- Para investigación de hélice y turborreactores
- Para calibración de instrumentos
- Para investigación de mecánica del vuelo

Tipos de túneles aerodinámicos

- Circuito abierto – Vena Abierta
- Circuito abierto – Vena Cerrada
- Circuito cerrado – Vena Abierta
- Circuito cerrado – Vena Cerrada
- Tunnel de densidad variable o Aire Comprimido

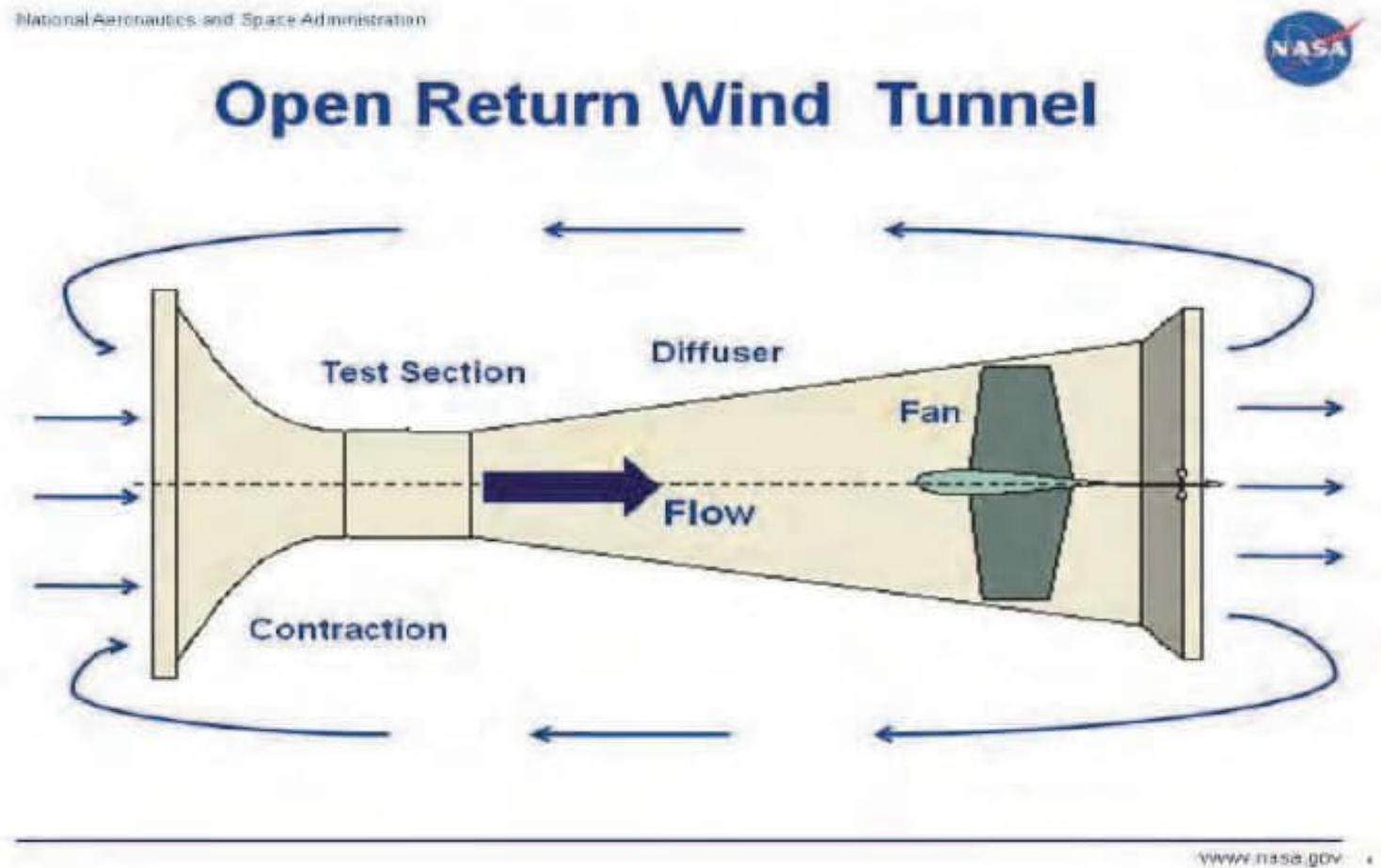


Tipo Eiffel

Tipo Prandtl

Tipo Eiffel

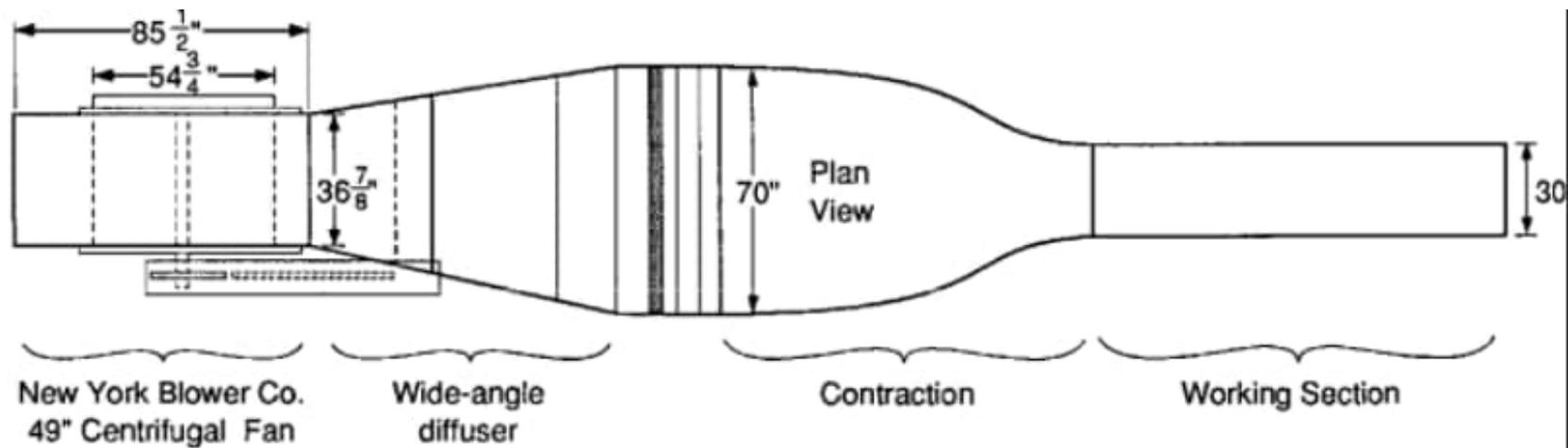
Circuito Abierto Vena cerrada



Circuito Abierto Vena cerrada

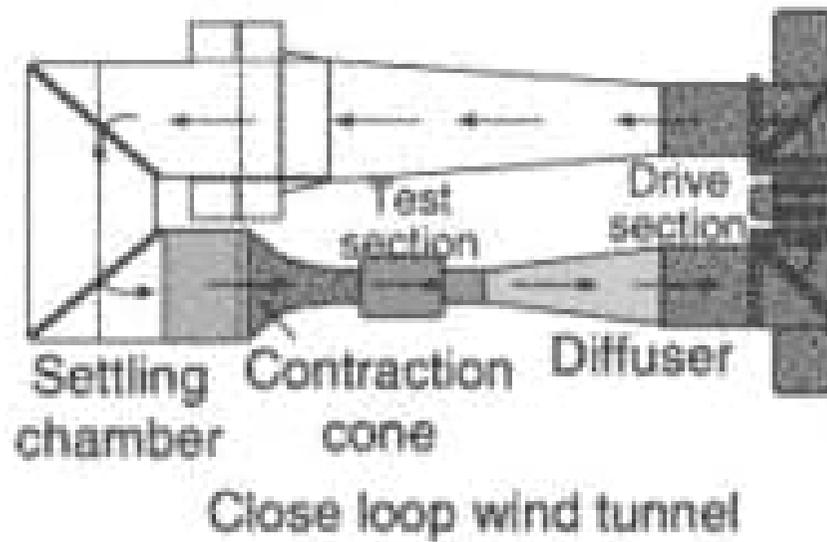
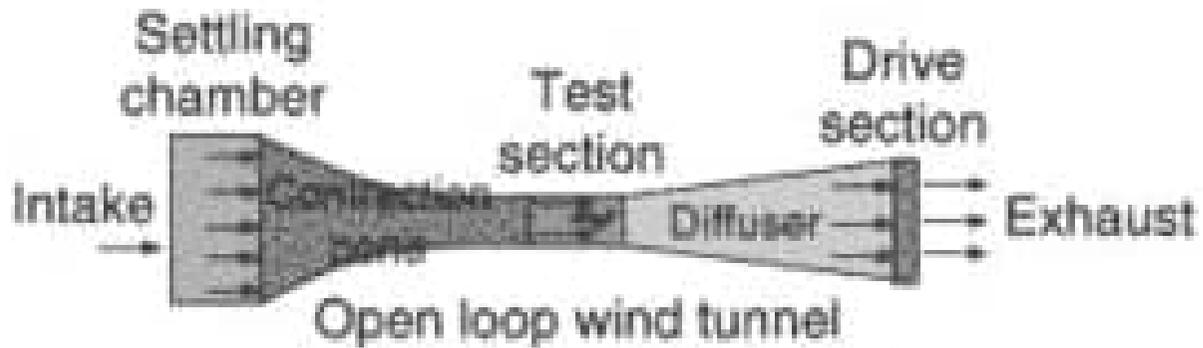
Tipo Eiffel

Circuito Abierto Vena Abierta

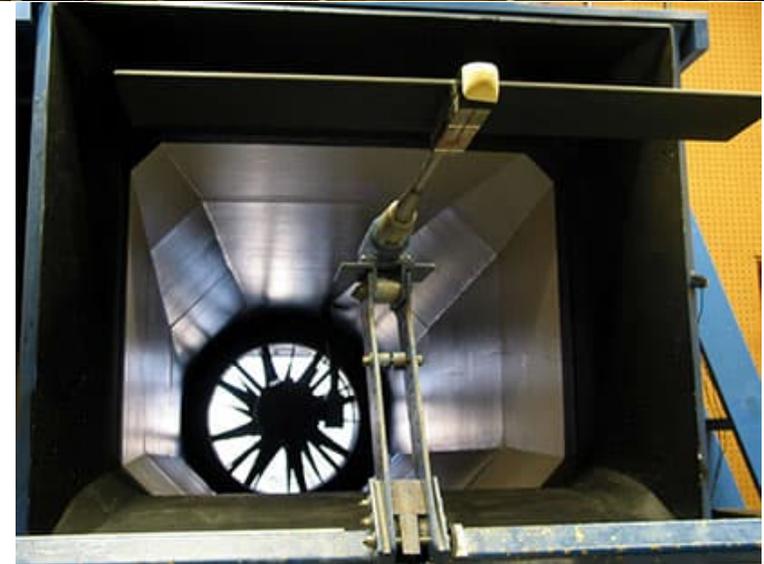
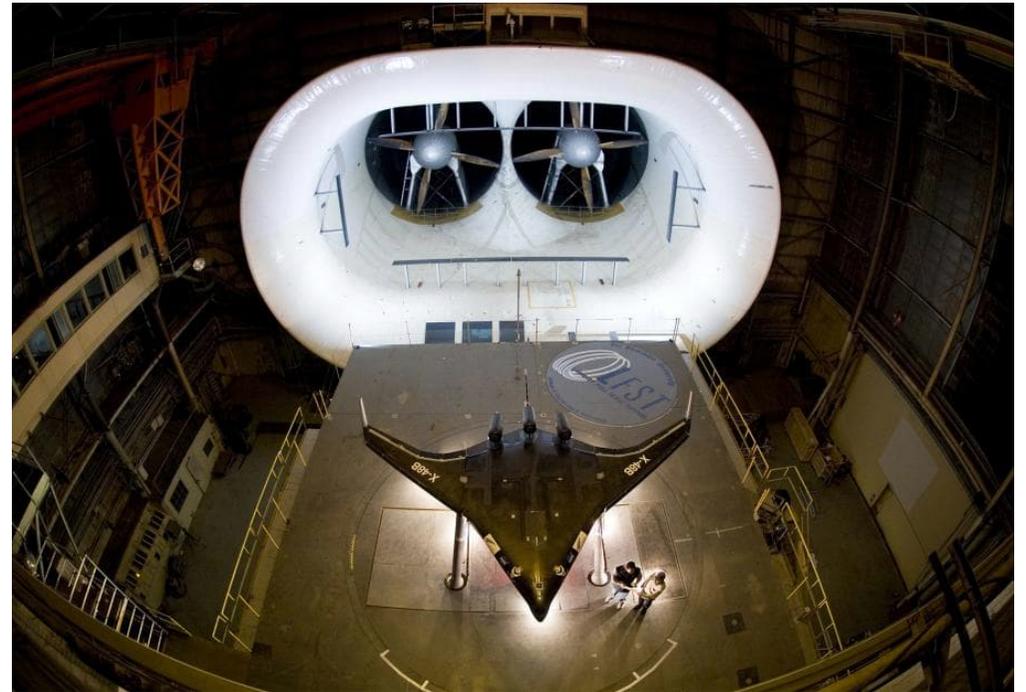


Sección de Prueba

Componentes



Motor/fan Drive Unit



Drive

- El sistema de accionamiento genera un caudal volumétrico y compensa las pérdidas de presión restantes. El conductor puede ser un ventilador, un soplador o una fuente de gas comprimido regulada.
- Los fans se clasifican por el caudal volumétrico y la caída de presión estática que pueden superar (Delta presión).
- Uno de los principales componentes del ruido de fondo es desde el fan o el sistema de accionamiento. La frecuencia del fan y sus armónicos pueden aparecer como tonos discretos en la sección de test, y puede contaminar las mediciones del sensor

Setting Chamber

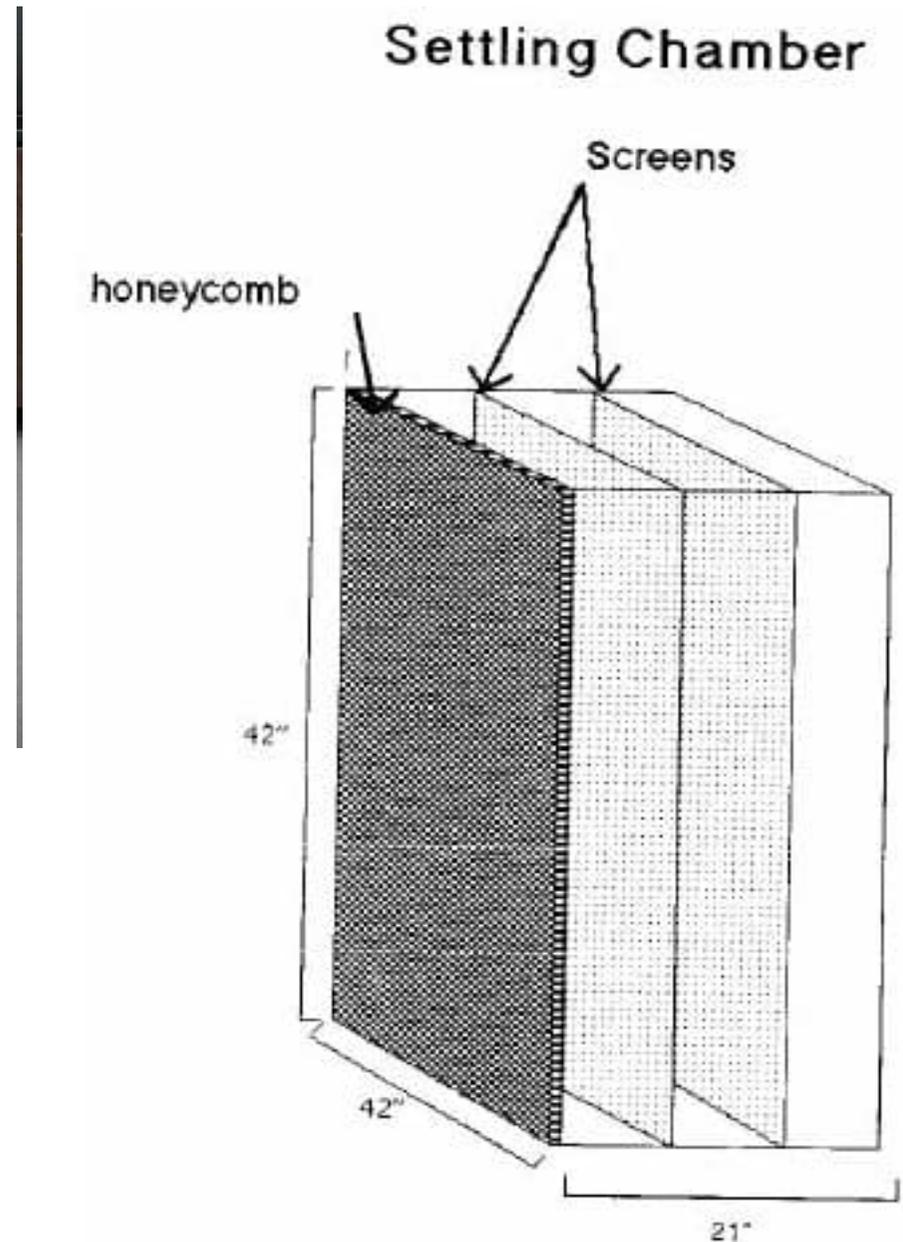
- En la mayoría de los túneles, la sección de acondicionamiento de flujo contiene:
- honeycomb,
- screens,
- and a settling duct.
- El Honeycomb alinea el flujo, con el eje del túnel y rompe la inestabilidad del flujo.

Las screens reduce el grado de fluctuación de las turbulencias.

Estas pantallas presentan varios hilos delgados entrelazados que dan su forma característica, las geometrías de mallas más comunes son la cuadrada y triangular. Entre menos densidad tenga la malla sus poros serán más grandes.

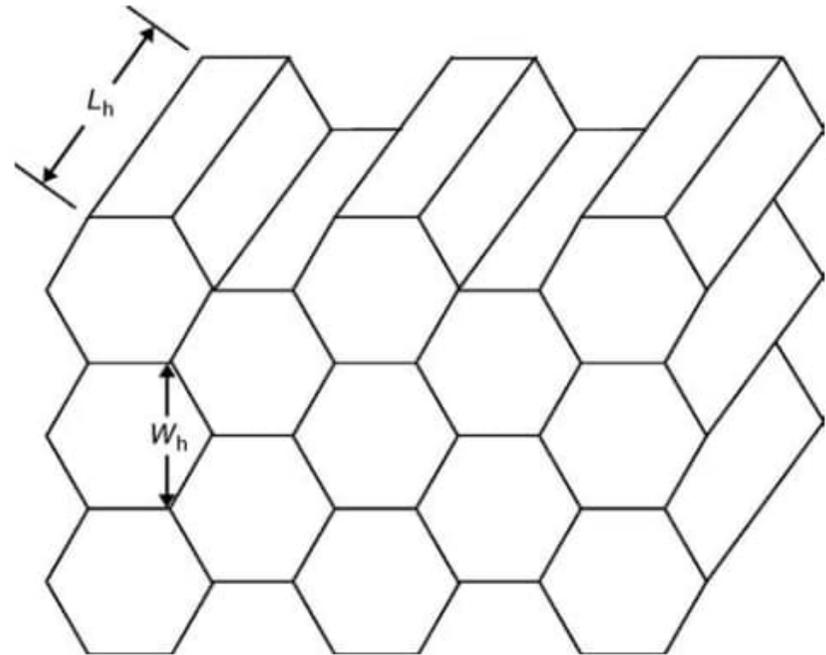
Los "settling ducts", deben ser lo suficientemente largo

como para permitir una reducción de las turbulencias y minimizar el crecimiento de la capa límite.



Setting Chamber

- La setting chamber elimina el remolino del flujo entrante y minimiza las variaciones laterales tanto en la velocidad media como en sus fluctuaciones.
- El ángulo de guiñada del flujo entrante debe ser inferior a 10 grados para evitar stall y estancamiento de aire en las celdas del honeycomb.



Setting Chamber

- El panel viene en diferentes formas, como secciones transversales circulares, cuadradas y hexagonales.
- Entre estos, el hexagonal suele ser el de mayor uso, ya que tiene el coeficiente de caída de presión más bajo.
- Las células de panel han demostrado tener el mejor rendimiento con una relación longitud-diámetro de entre 7 y 10.
- La sección de panel debe tener suficiente rigidez estructural para soportar las fuerzas aplicadas durante el funcionamiento sin deformaciones significativas.

- Forma de panel .

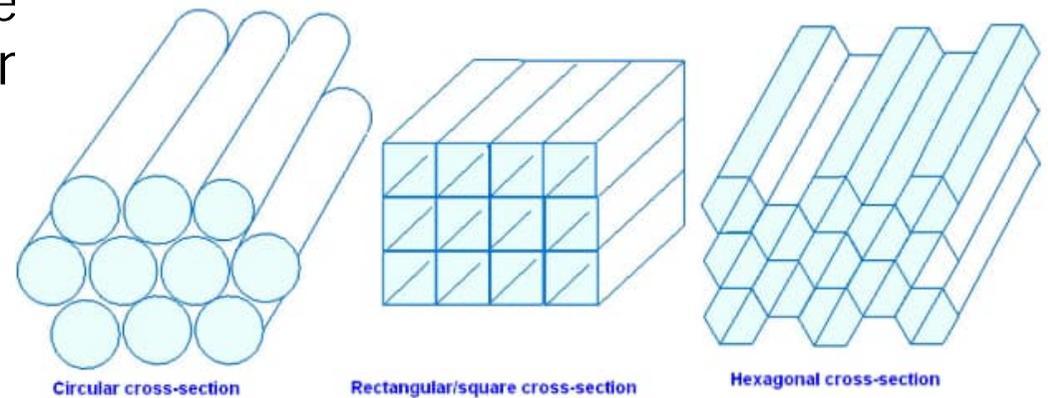


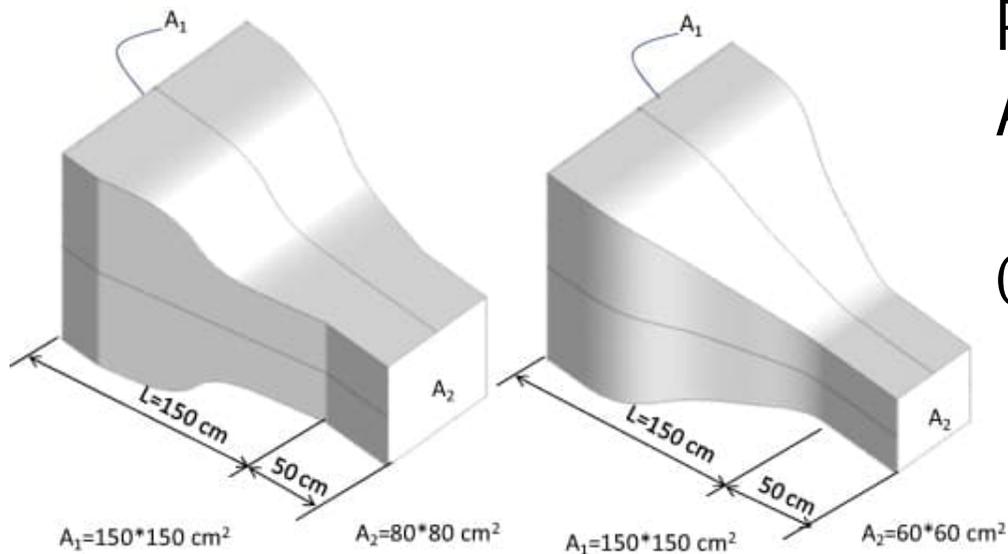
Fig. 8.1.2: Honeycomb structures for low speed wind tunnels.

Setting Chamber

- Función reducir la turbulencia.



Cono de contracción



Propósito:
Acelerar el flujo y administrar el fluido a velocidad deseada en la Cámara de medición.

Cono de contracción

- El cono de contracción de entrada juega un papel fundamental en la determinación de la calidad del flujo en la sección de prueba.
- La contracción acelera y alinea el flujo en la sección de prueba.

El tamaño y la forma de la contracción nos darán los niveles finales de intensidad de turbulencia en la sección de prueba.

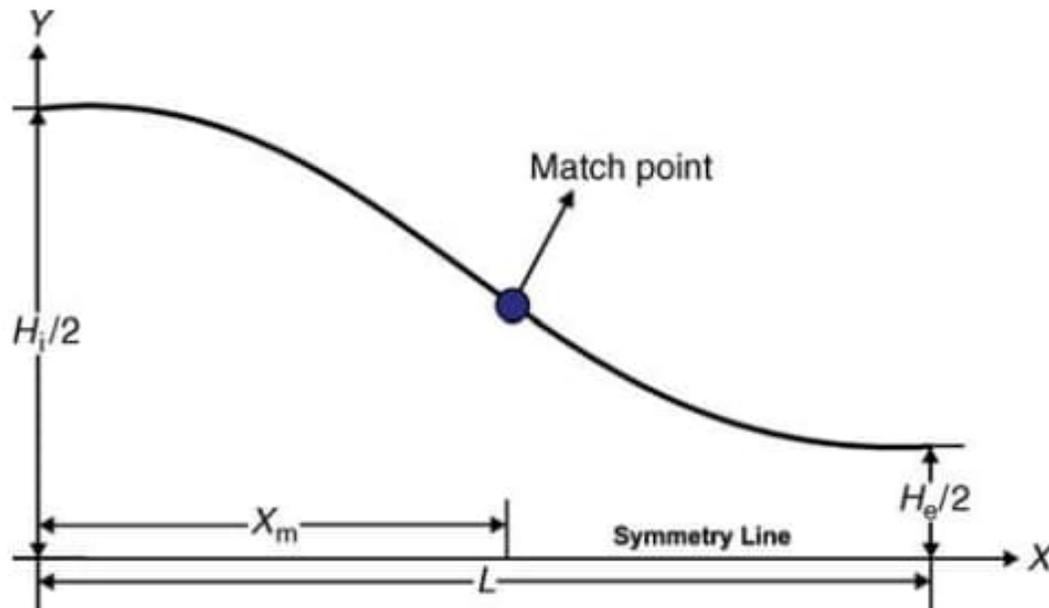
La contracción afecta la generación de vórtices, reduciendo las fluctuaciones axiales pero intensifica las fluctuaciones turbulentas laterales*.

La longitud de la contracción debe ser lo suficientemente pequeña como para minimizar el crecimiento y el costo de la capa límite pero lo suficientemente largo como para evitar grandes gradientes de presión adversos a lo largo de la pared, generado por la curvatura aerodinámica, que puede conducir a la separación del flujo.

* (Ver : Tennekes y Lumley, 1972)

Cono de contracción

- La longitud de la contracción debe ser lo suficientemente pequeña como para minimizar el crecimiento de la capa límite, pero lo suficientemente largo como para evitar grandes gradientes de presión adversos a lo largo de la pared, (generados por la curvatura aerodinámica), que puede conducir a la separación del flujo.
- Si bien los CFD se pueden utilizar, Morel (1975) sugirió un método simple de polinomios emparejados.



Entrada altura de la contracción es H_i
Y Altura de salida es H_e .

La longitud total de la contracción es L , y los dos polinomios coinciden (ubicación, pendiente y curvatura) en una ubicación especificada $x = x_m$.

Cámara de testeo

- La sección de prueba puede ser de pared cerrada o abierto.
- El diseño de la sección de ensayo debe permitir una fácil accesibilidad e instalación de los modelos a ser ensayados.
- Debe permitir la fácil instalación de la instrumentación.
- La performance de los modelos, se logra obtener mas fácilmente en sección/ cámara de testeo cerrada.
- No obstante, una cámara abierta permite mediciones acústicas.

Cámara de testeo

- Elemento básico del túnel aerodinámico.
- Los modelos son montados en esta sección.



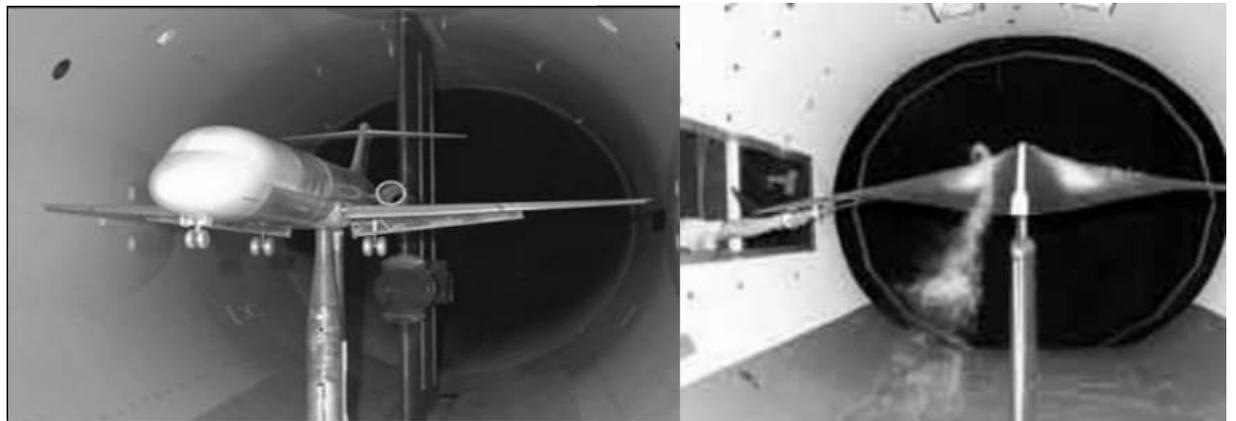
El aire entra a la velocidad deseada.
Los sensores miden las fuerzas como sustentación y resistencia en el modelo.
Se busca vel flujo uniforme, baja turbulencia

Forma de la cámara

Rectangular / Hexagonal(propósito general)

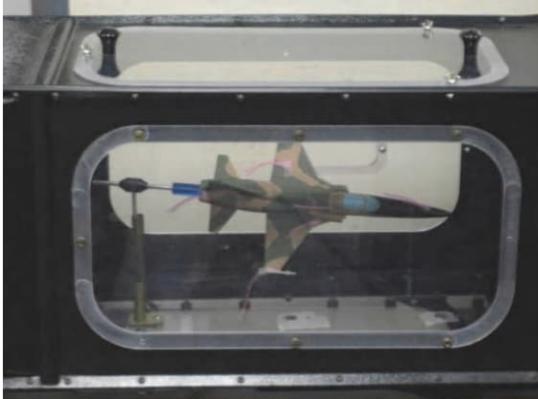
Circular (simetría axial)

Elíptica (modelos de aeronaves)



Cámara de testeo

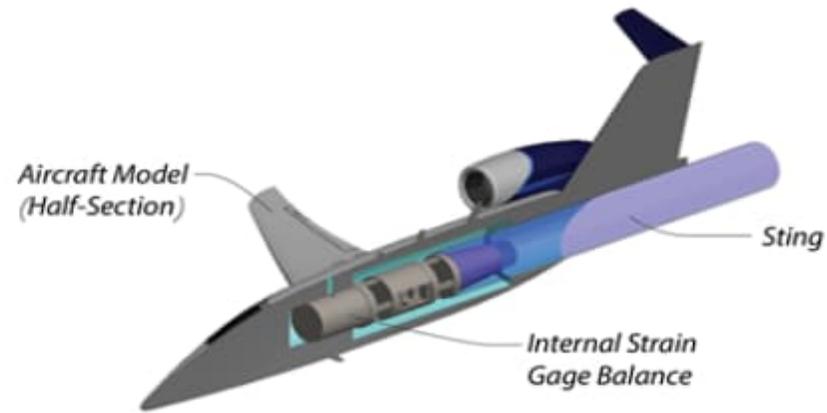
- Para muchas instalaciones, bajos niveles de turbulencia en la sección de prueba/ testeo son fundamentales. Si bien muchas aplicaciones a gran escala pueden tener niveles significativos de turbulencia, las pruebas en el túnel aerodinámico a menudo tratan de aislar los efectos de la turbulencia entrante de la corriente libre.



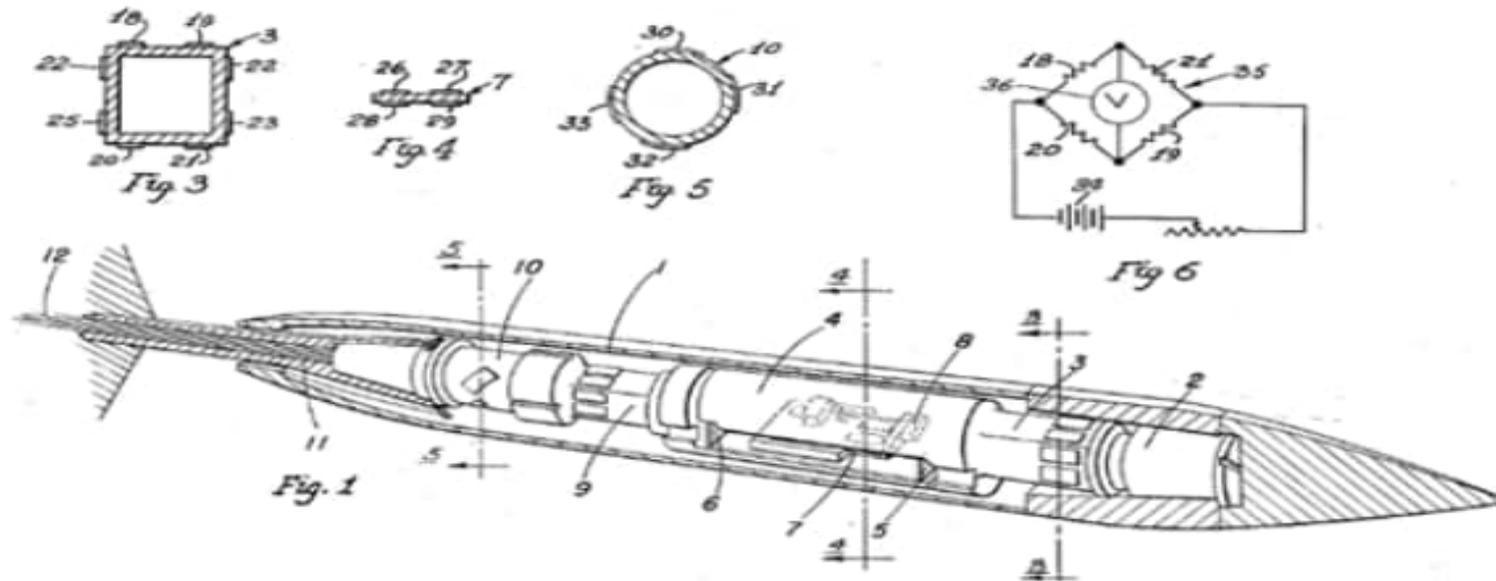
Mediciones



F/A-18 model tested in NASA Ames
Wind Tunnel
Image Credit: NASA Ames Research
Center



Balance in Wind Tunnel Model with Model Support Sting.

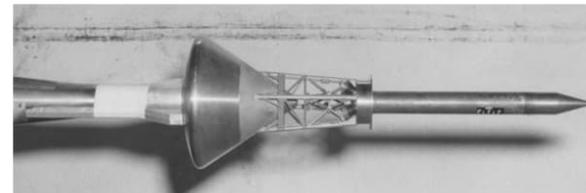
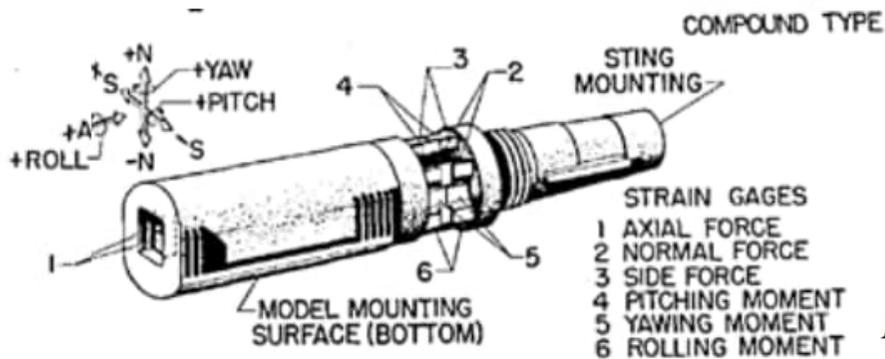


Información adicional: Wind Tunnel Balance Design: A NASA Langley Perspective

Mediciones Strain Gage



Figure 1: Internal and Semi-Span Strain Gage Balance Examples: (a) Small 20 lb. Normal Force Internal Balance used in 31-Inch Mach 10 Wind Tunnel (LaRC) (b) Large 5000 lb Normal Force Internal Balance used in 14 x 22 ft Subsonic Wind Tunnel (LaRC) (c) Large 30000 lb Normal Force Semi-span Balance used at 11 ft Transonic Tunnel (ARC).

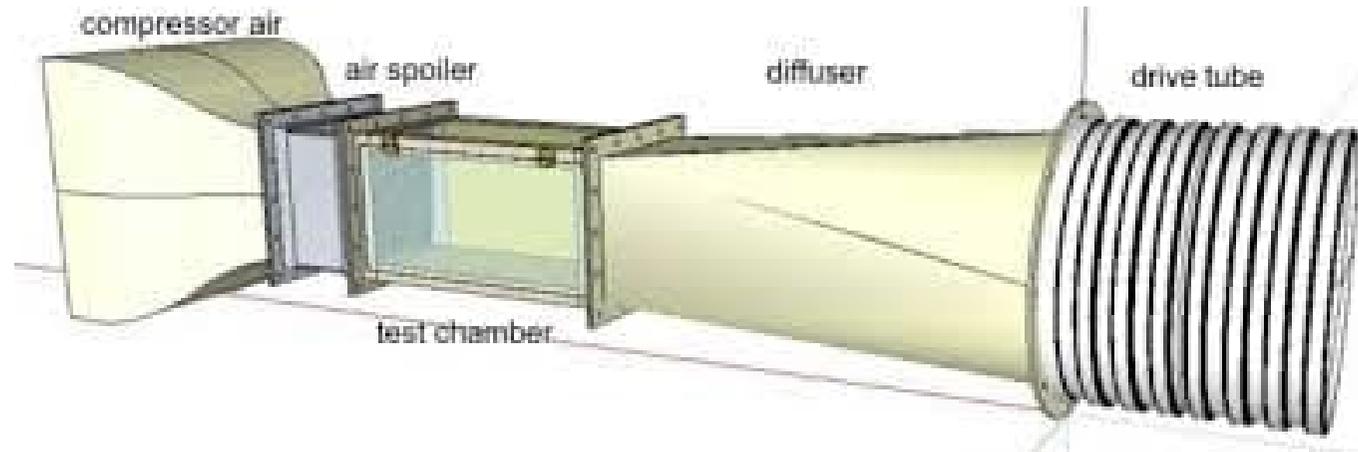


Apollo escape system model sting mounted with internal strain gage balance.

Six-component LaRC balance design, Hansen,

Información adicional: Wind Tunnel Balance Design: A NASA Langley Perspective

Difusor



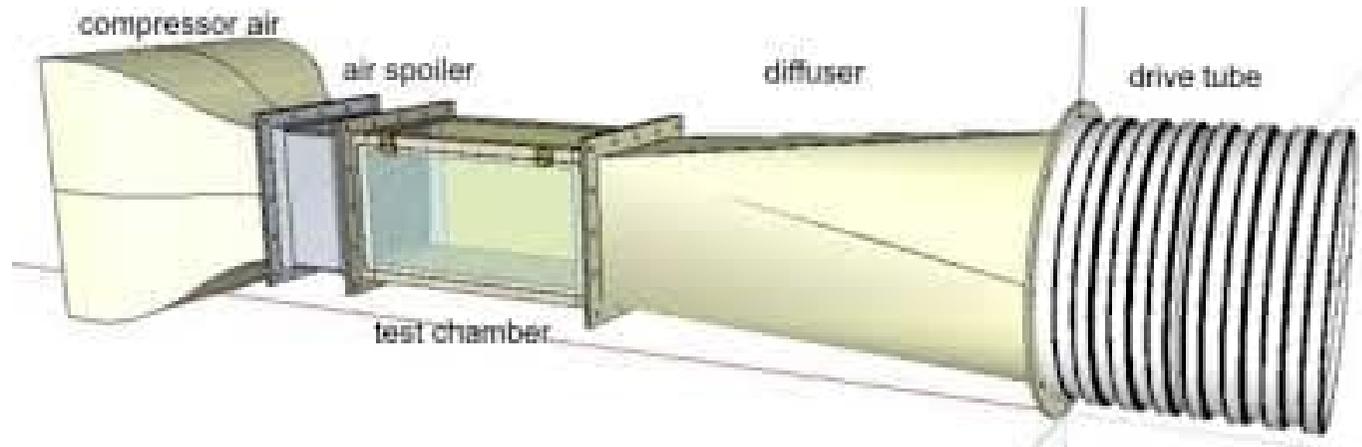
El difusor desacelera el flujo de alta velocidad de la prueba , logrando así la recuperación de la presión estática y reduciendo la carga del drive.

La entrada de aire al difusor esta influenciada por:
La naturaleza del flujo que sale de lala sección de prueba.
La orientación, el tamaño y la estela del modelo a testear.

El área del difusor debe incrementar gradualmente a lo largo de su eje "X", a fin de evitar la separación de flujo. Al igual que con las secciones de contracción, la geometría del difusor se puede optimizar.

Por ejemplo Mehta (1977) afirma que el ángulo incluido en el difusor para un difusor cónico debe ser entre 5° (para una mejor estabilidad del flujo) y 10° (para una mejor recuperación de presión).

Difusor

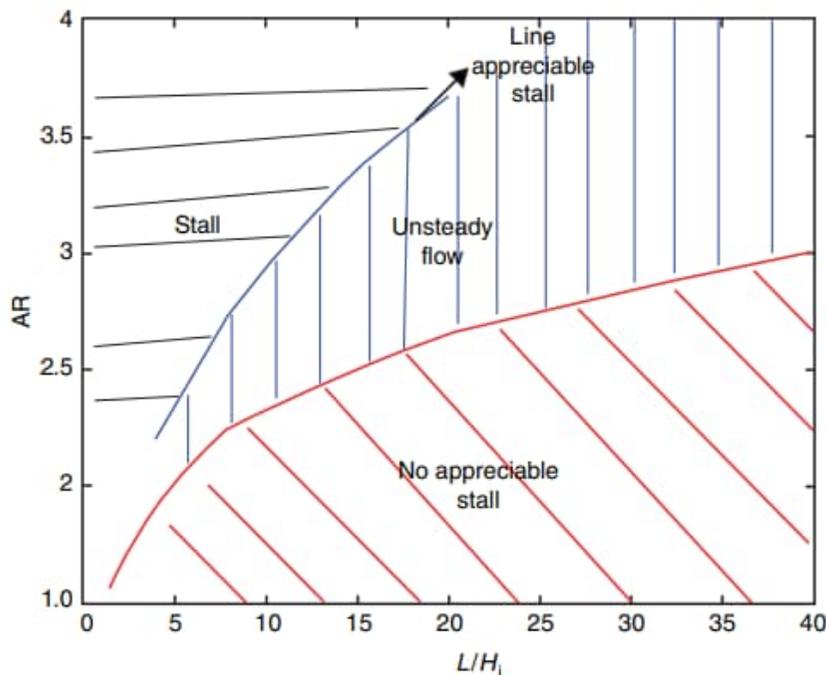


La sección del difusor del túnel aerodinámico es necesaria para reducir cualquier turbulencia de aire que pueda volver a la sección de prueba. Reduce la velocidad del fluido aumentando la presión del mismo.



Difusor

- Las curvas planas del difusor de Klines (Runstadler, Dolan y Dean, 1975) se utilizan generalmente para el diseño de los difusores (sin CFD).
- AR: relación de áreas entre la salida y la entrada del difusor.
- L/H_i : relación entre la longitud del difusor y la altura de entrada del difusor.



Dado L/H_i (donde la altura está definida por el tamaño de la sección de prueba), el valor de AR se selecciona en las regiones sin stall. Aunque se puede lograr una mayor recuperación de presión operando en régimen de "flujo inestable", esto puede contribuir a ruido, baja performance,

Y Si las restricciones de la instalación limitan la longitud del difusor, que podríamos hacer?

Ventajas Túnel tipo Eiffel

- Pueden ser horizontales o verticales
- Se pueden ensayar motores a combustión
- Se puede eliminar fácilmente el humo
- Se puede controlar fácilmente el fluido
- Espacio reducido
- Menor costo de construcción

Desventajas

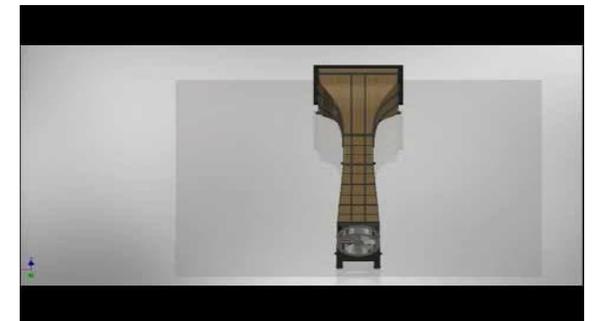
Baja calidad de flujo en cámara de prueba

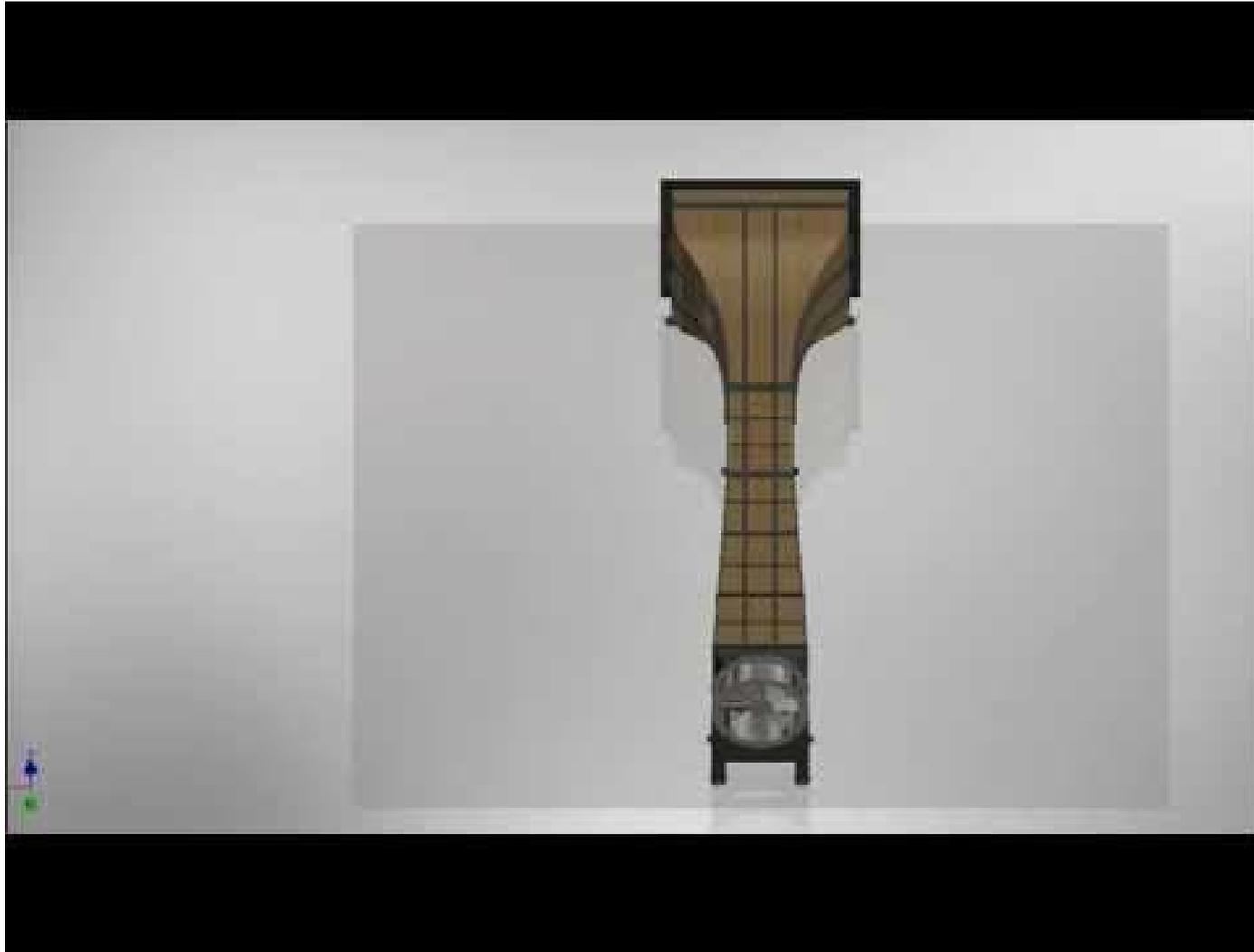
Altos costos de operación

Operación ruidosa

Para un tamaño dado requiere mayor energía

Puede requerir enfriamiento





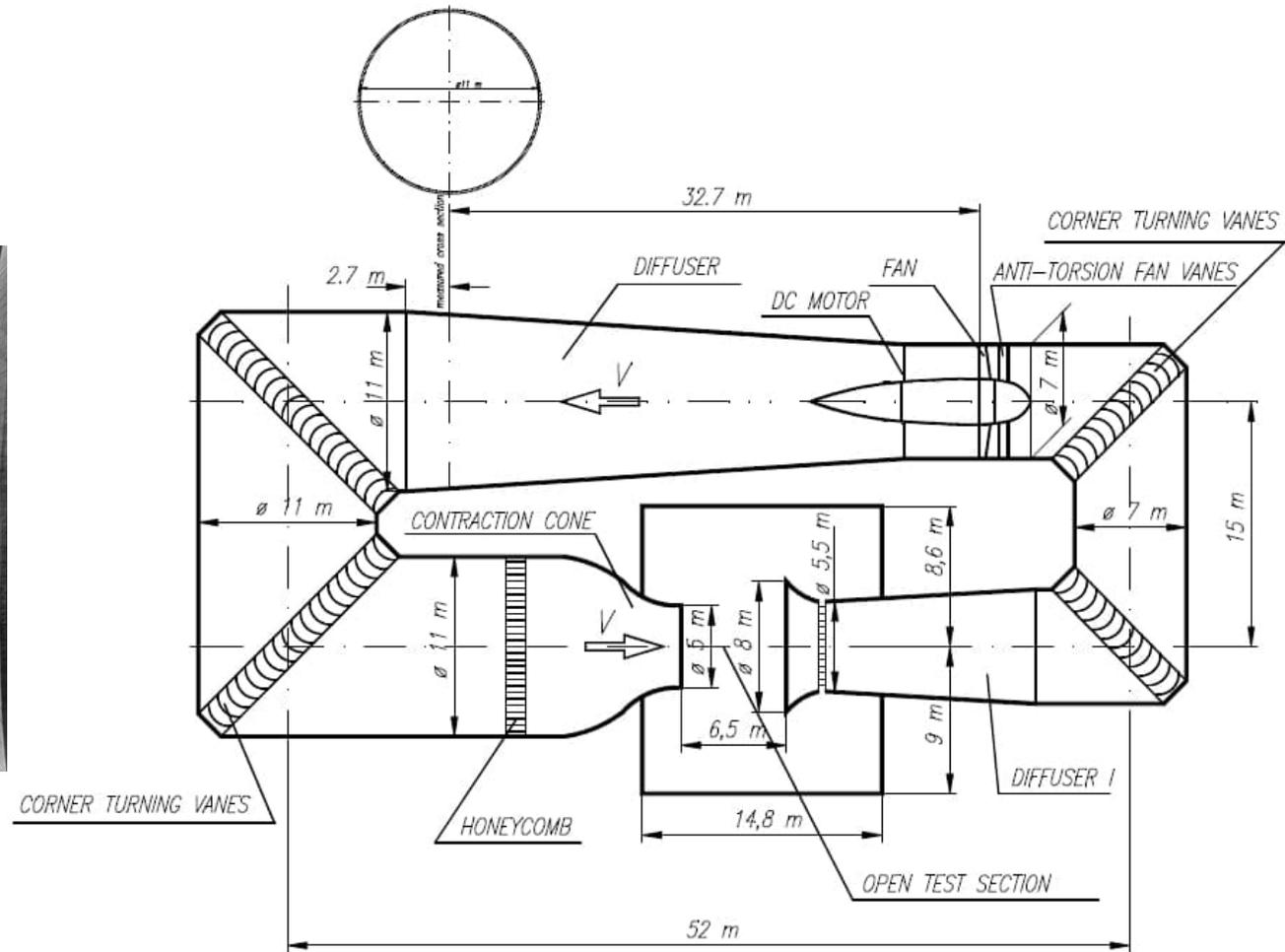
<https://ar.video.search.yahoo.com/search/video?fr=mcafee&ei=UTF-8&p=nasa+langley+wind+tunnel&type=E211AR714G0#id=36&vid=9048aa873cd06d028216bb06e5e87e9c&action=view>

Tipo Prandtl

- Circuito cerrado – Vena Abierta
- Circuito cerrado– Vena Cerrada
 - 1-Simple Retorno
 - 2-Doble Retorno
 - 3-Retorno Anular (densidad variable)

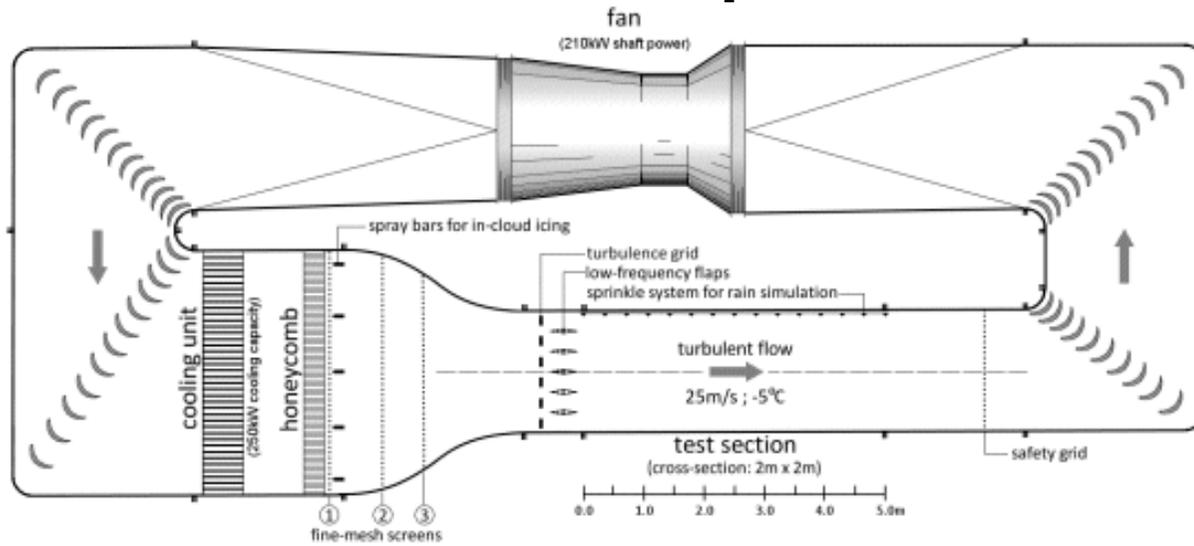
Tipo Prandtl

Circuito cerrado – Vena Abierta



SCHEME OF AERODYNAMIC WIND TUNNEL \varnothing 5 M (T3)

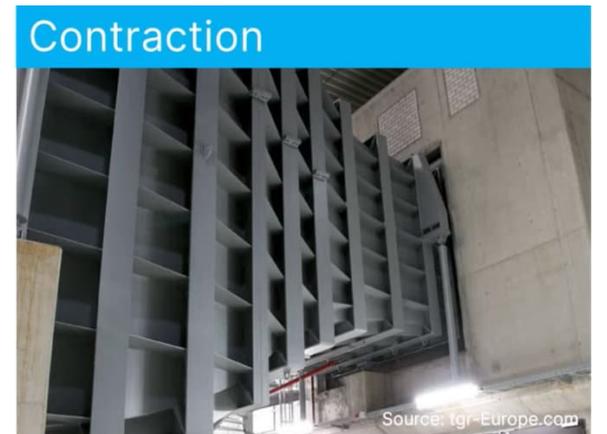
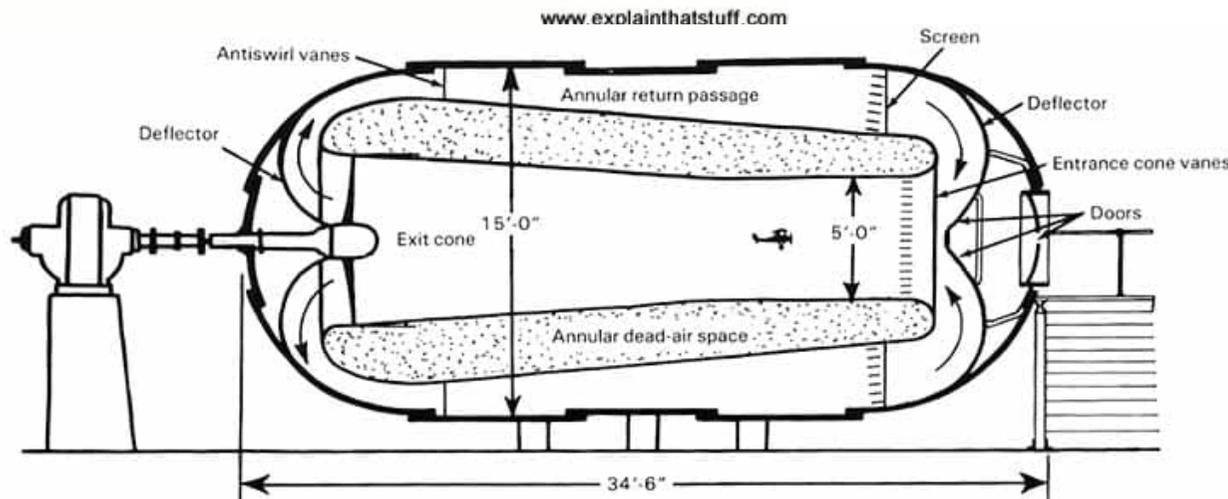
Tipo Prandtl



imple Retorno



Retorno anular



El Túnel de Investigación de Hielo (IRT) fue construido para resolver problemas de formación de hielo en las aeronaves.

Es uno de los túneles de viento más utilizados de NASA, continúa desempeñando un papel importante en el desarrollo, prueba y certificación de métodos para prevenir la acumulación de hielo y desarrollar sistemas de protección anti-ice de próxima generación para aviones militares y comerciales.

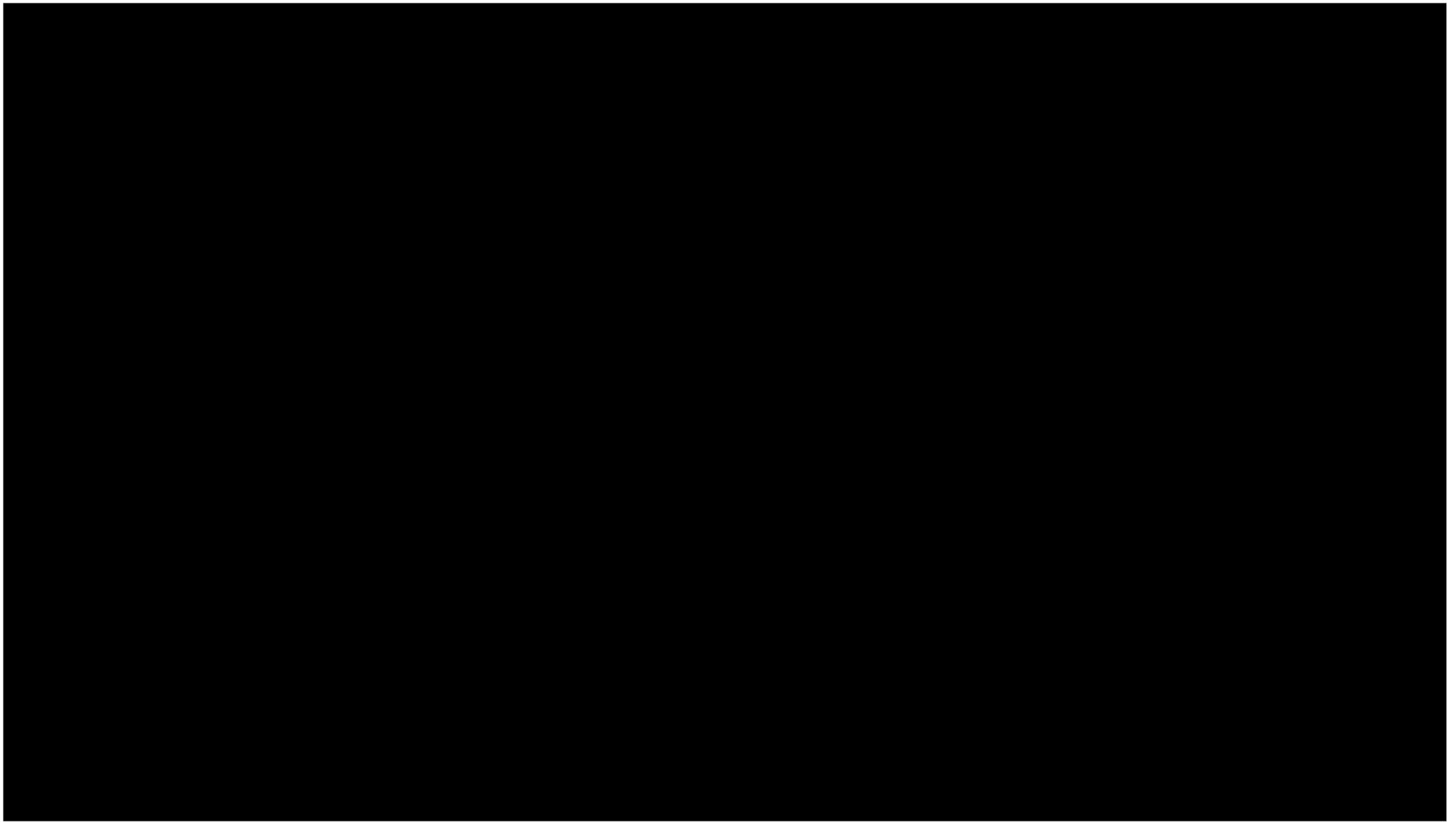
Las pruebas realizadas en el IRT incluyeron

- desarrollo y certificación de sistemas de protección anti-ice;
- validación de predicción de formación de hielo;
- investigación de fluidos anti-ice para su uso en tierra y en aeronaves;

El IRT es un túnel de viento de tipo atmosférico, tipo Prandtl en el que se duplican las condiciones naturales de formación de hielo para estudiar los efectos de la formación de hielo en vuelo en componentes y modelos reales de aeronaves de tamaño completo, incluidos helicópteros.

- El IRT crea una nube de hielo uniforme de sección de prueba que mide aproximadamente 5 pies (1,5 metros) de alto por 6 pies (1,8 metros) de ancho y consiste en gotas de agua sobreenfriadas de entre 14 y 40 micro de diámetro.





Ventajas Tunel tipo Prandtl

- Consumo reducido
- Se modelizan números de Reynolds altos
- Operación silenciosa
- Menor consumo de energía (pérdidas por rozamiento)
- Alta calidad del fluido

Desventajas

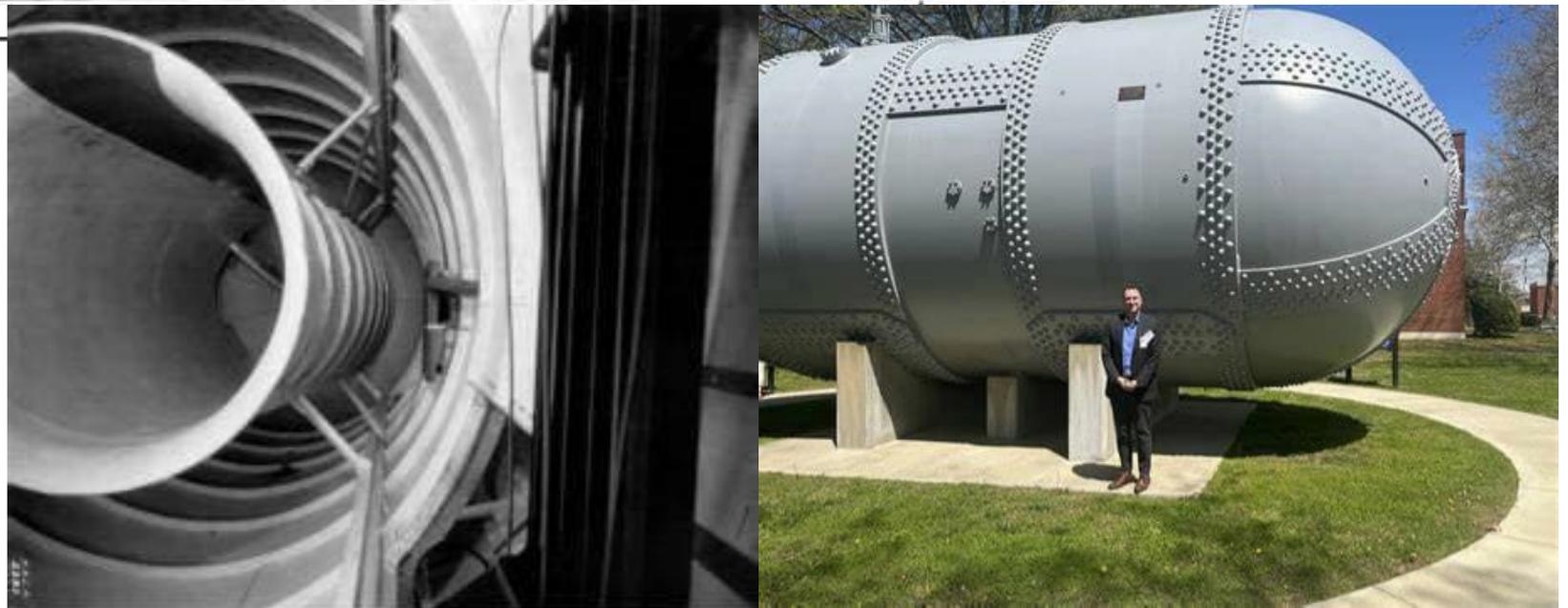
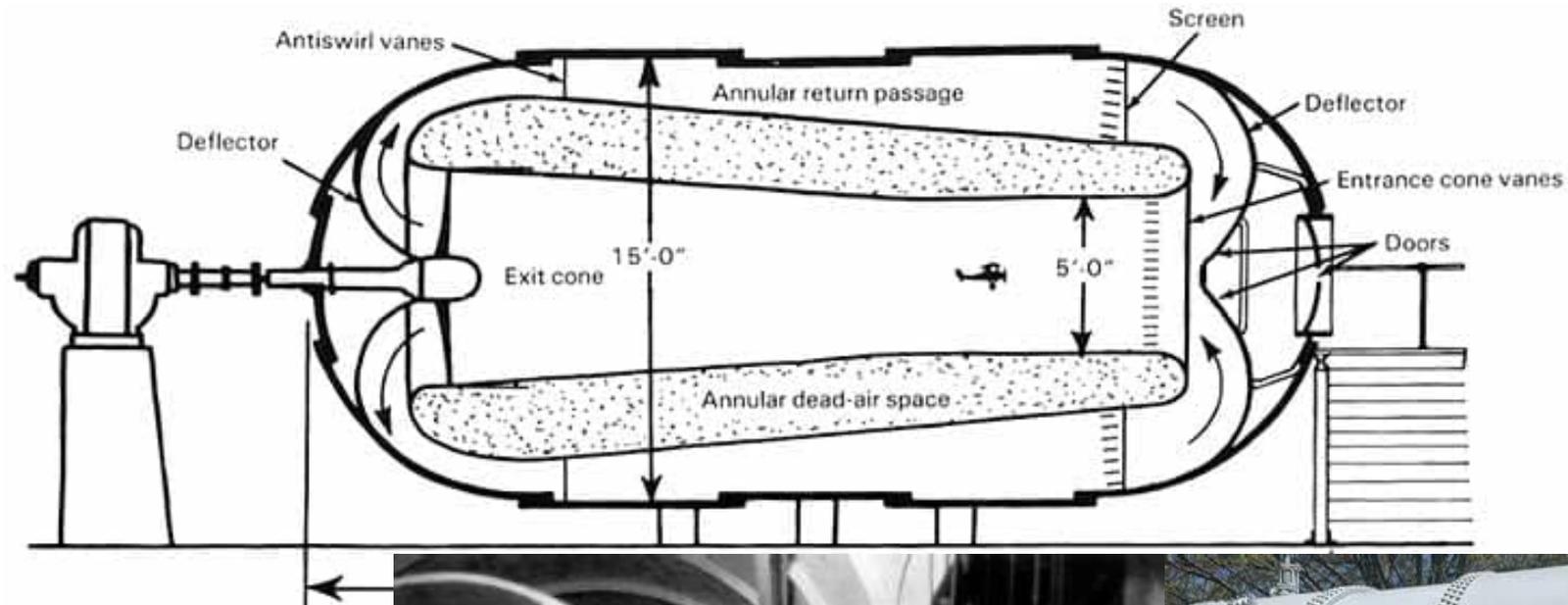
- Alto costo de construcción
- Requiere mayor espacio
- Puede requerir enfriamiento

<https://www.youtube.com/watch?v=gkVjRk0hsgw>

Tunel de densidad variable

The NACA variable-density wind tunnel

NACA-TR-416



Variable Density Turbulence Tunnel Facility

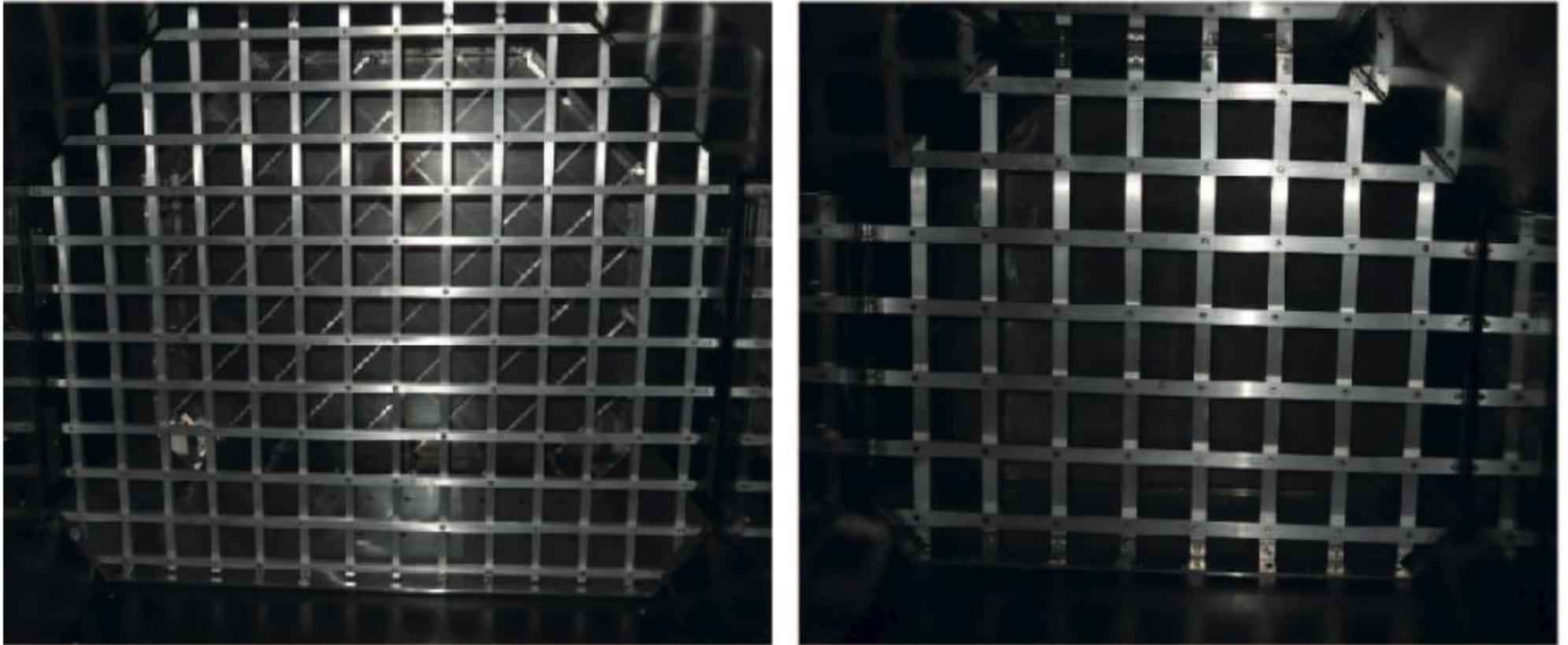
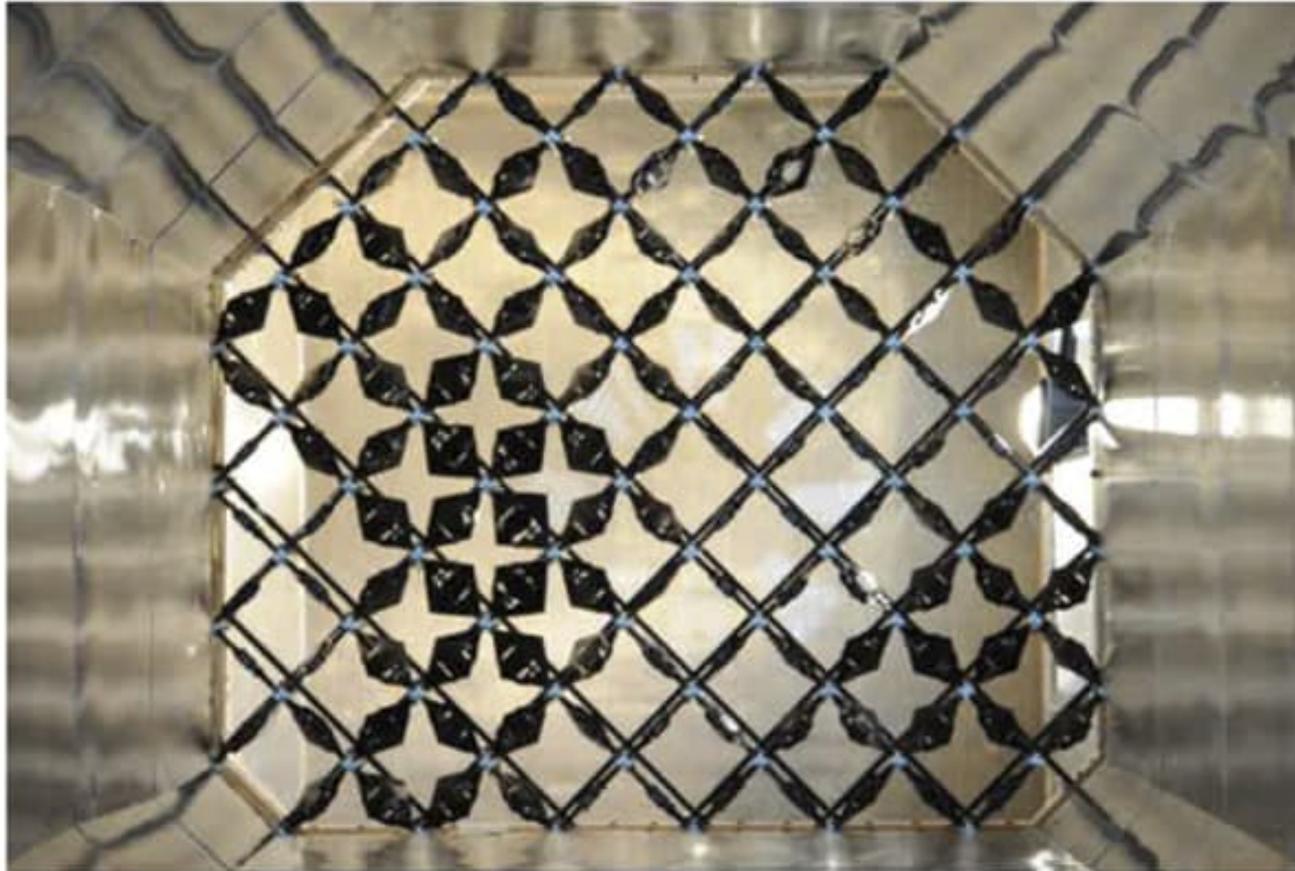


FIG. 23. Two of the classical grids we used to excite turbulence at the upstream end of the upper measurement section. |

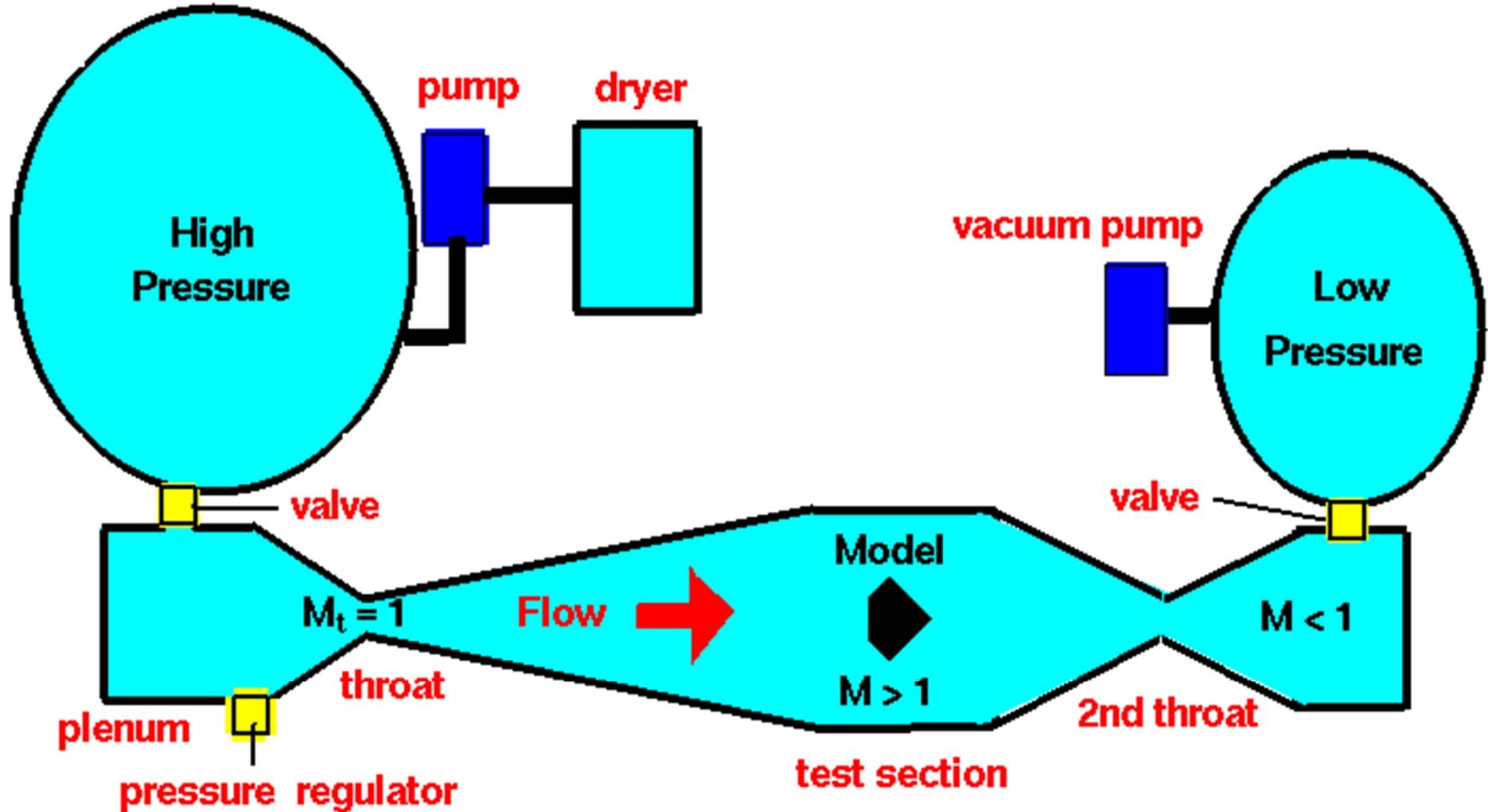
Variable Density Turbulence Tunnel Facility





Blowdown Wind Tunnel

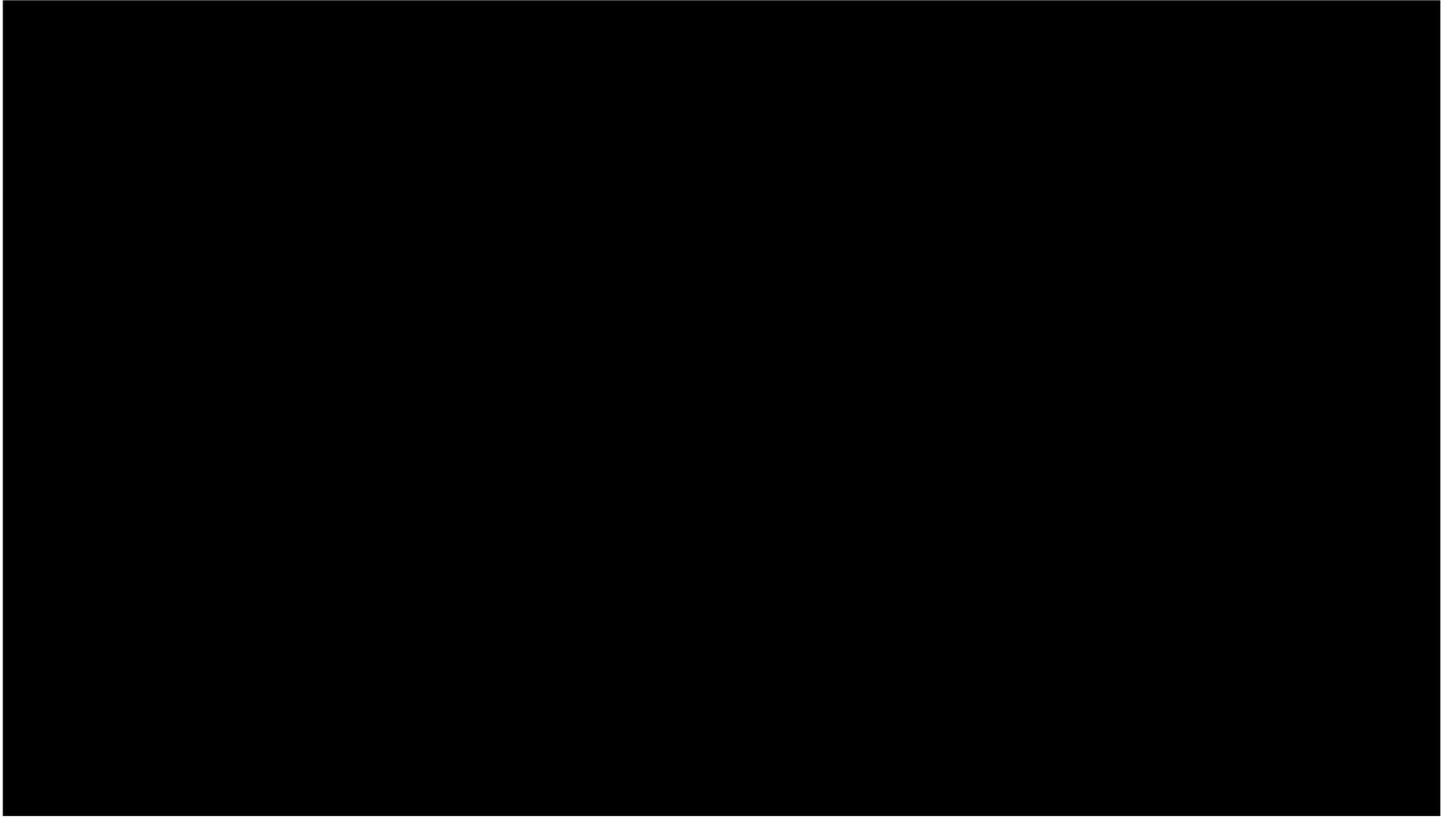
Glenn
Research
Center



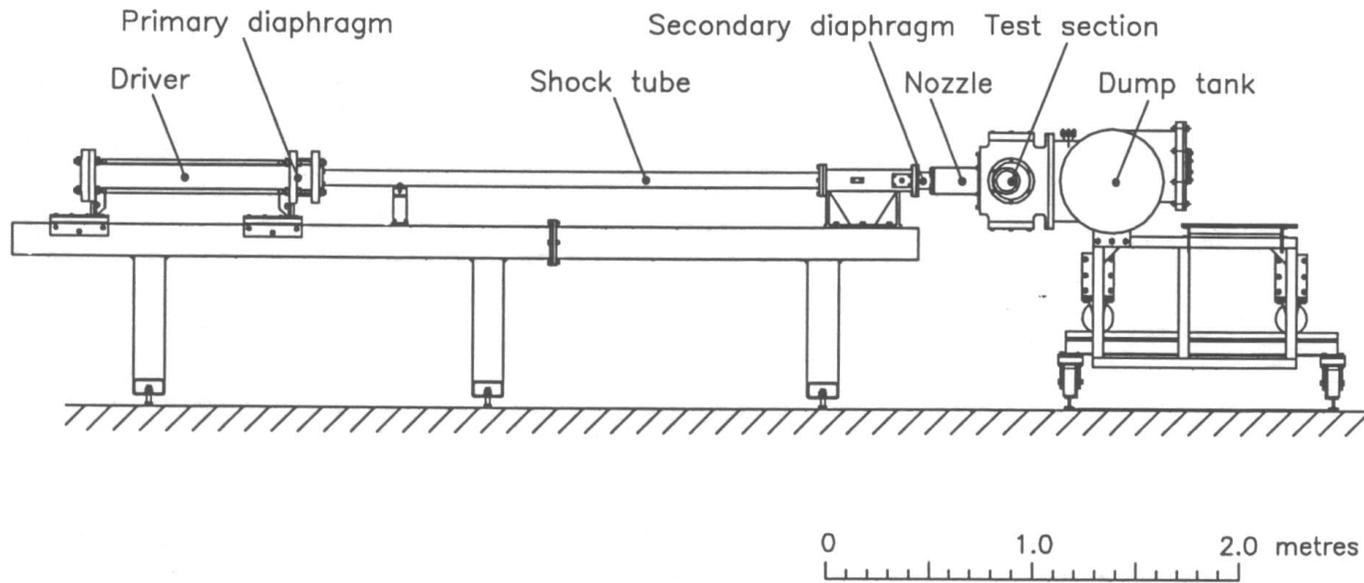
Closed Configuration

Usado en High Supersonic

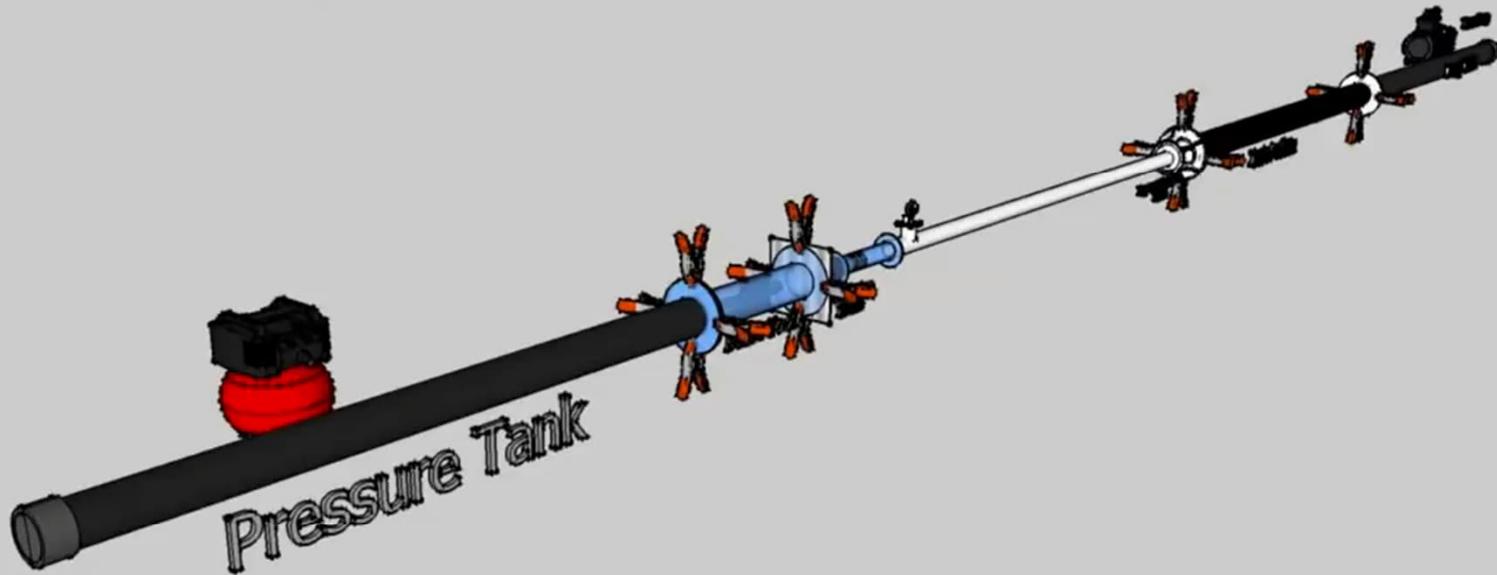




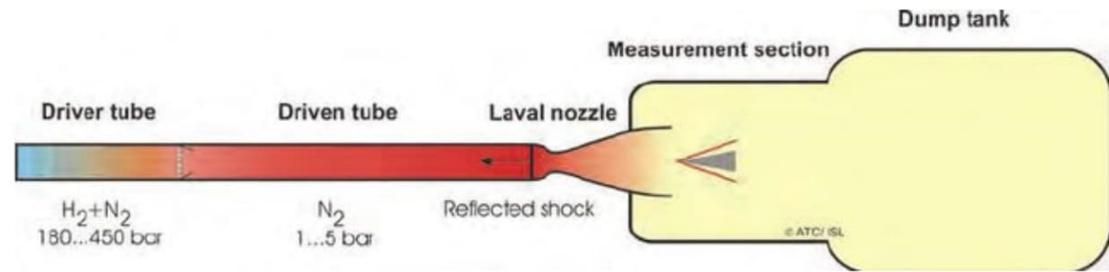
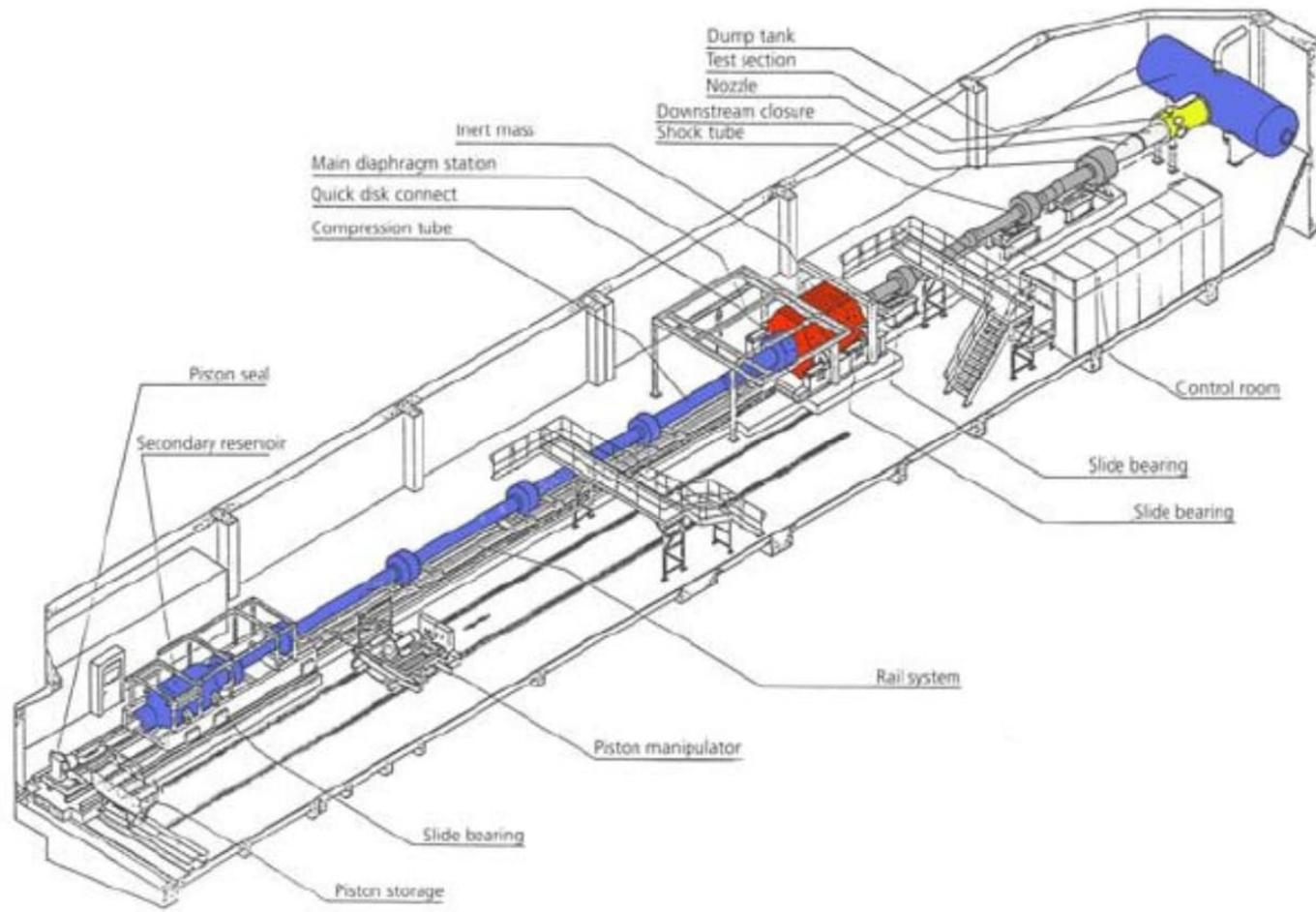
Shock tube

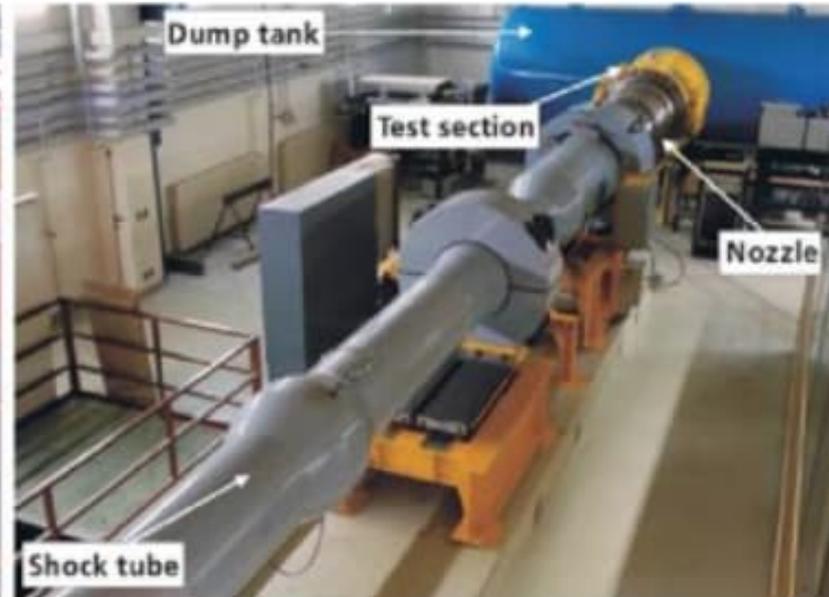
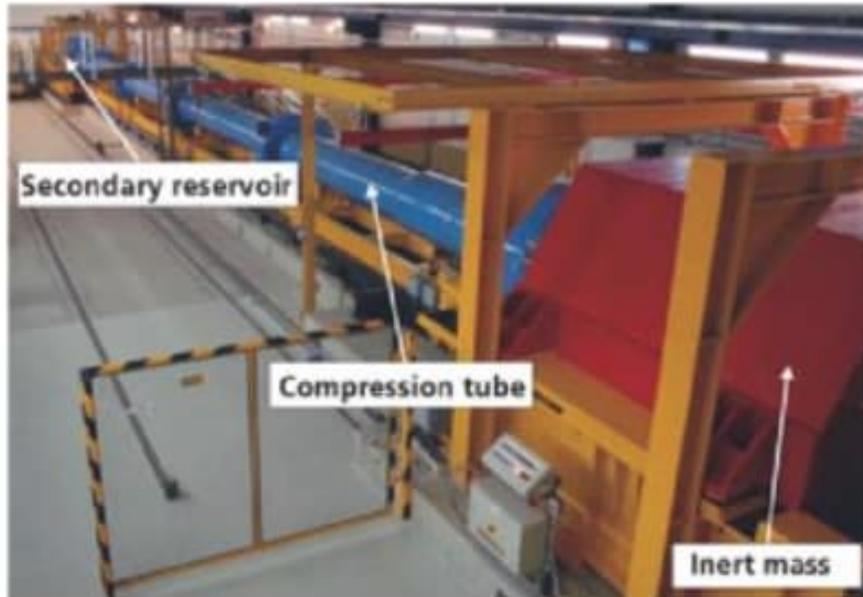


JPA Hypersonic Shocktube

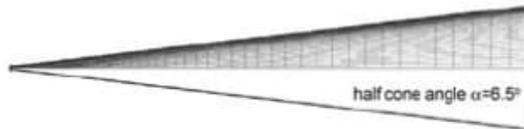


High speed wind tunnel used for
Airship to Orbit research.

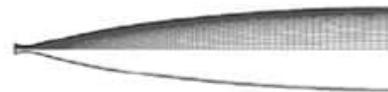




Nozzle 2 (condition I-IV)



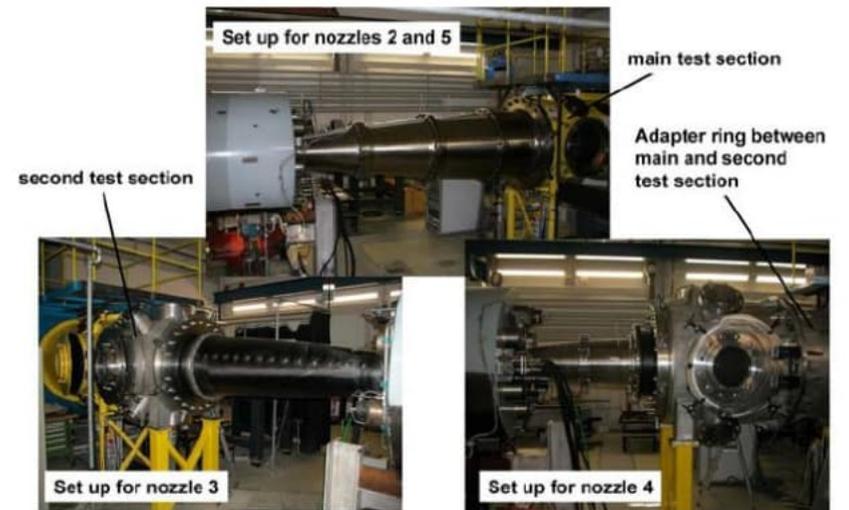
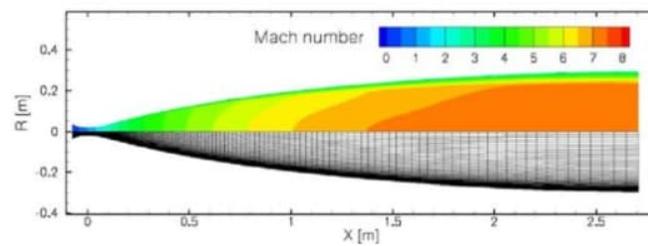
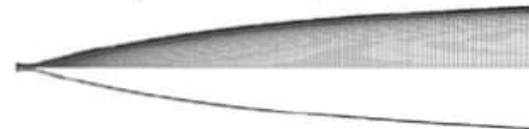
Nozzle 3 (condition XIII, XIV)



Nozzle 4 (condition XXI, XXII)

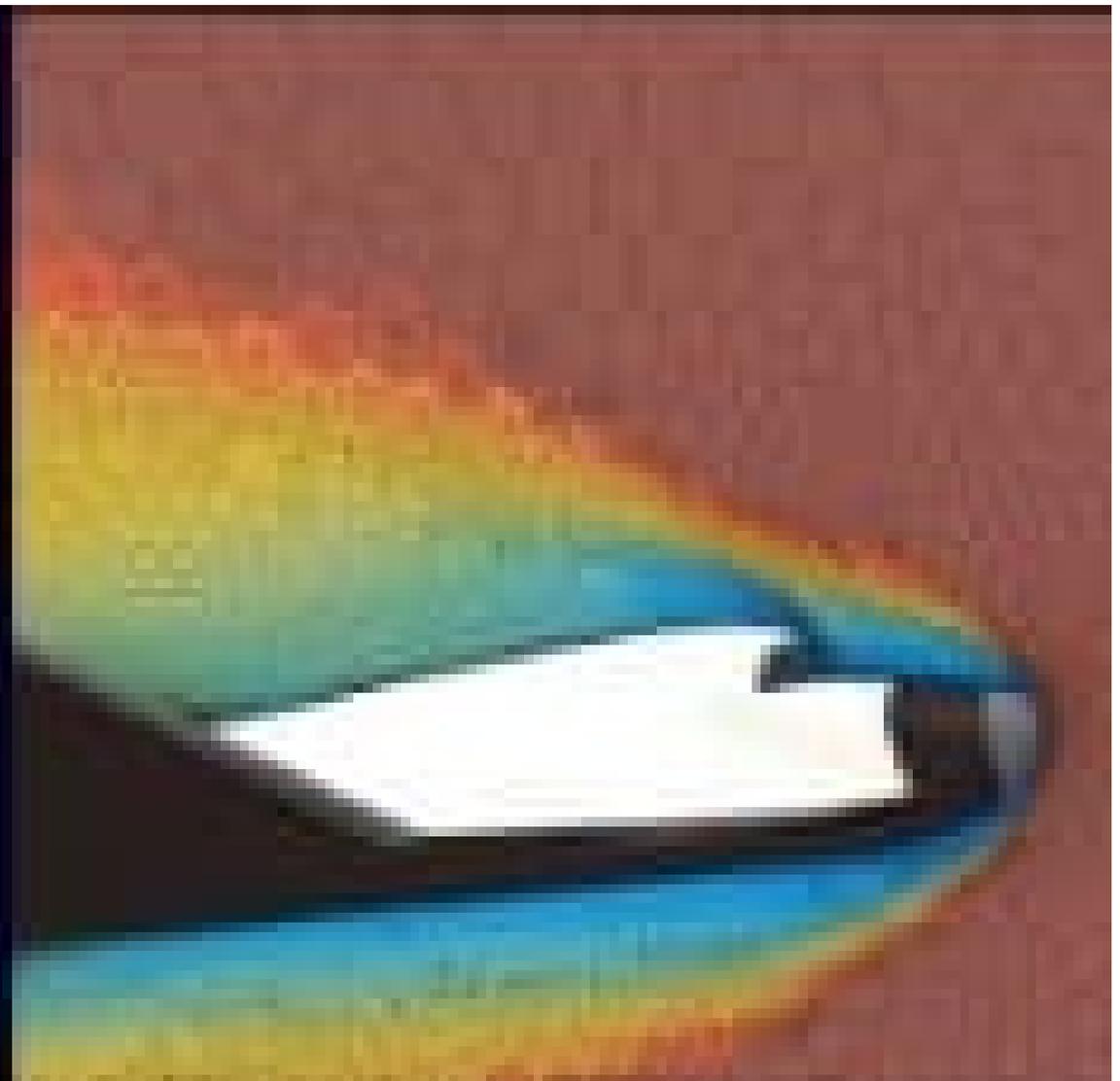


Nozzle 5 (condition XXXI)



Aerospace & aerodynamics CFD simulation

10/10/2019 10:00:00 AM
1/1/2019

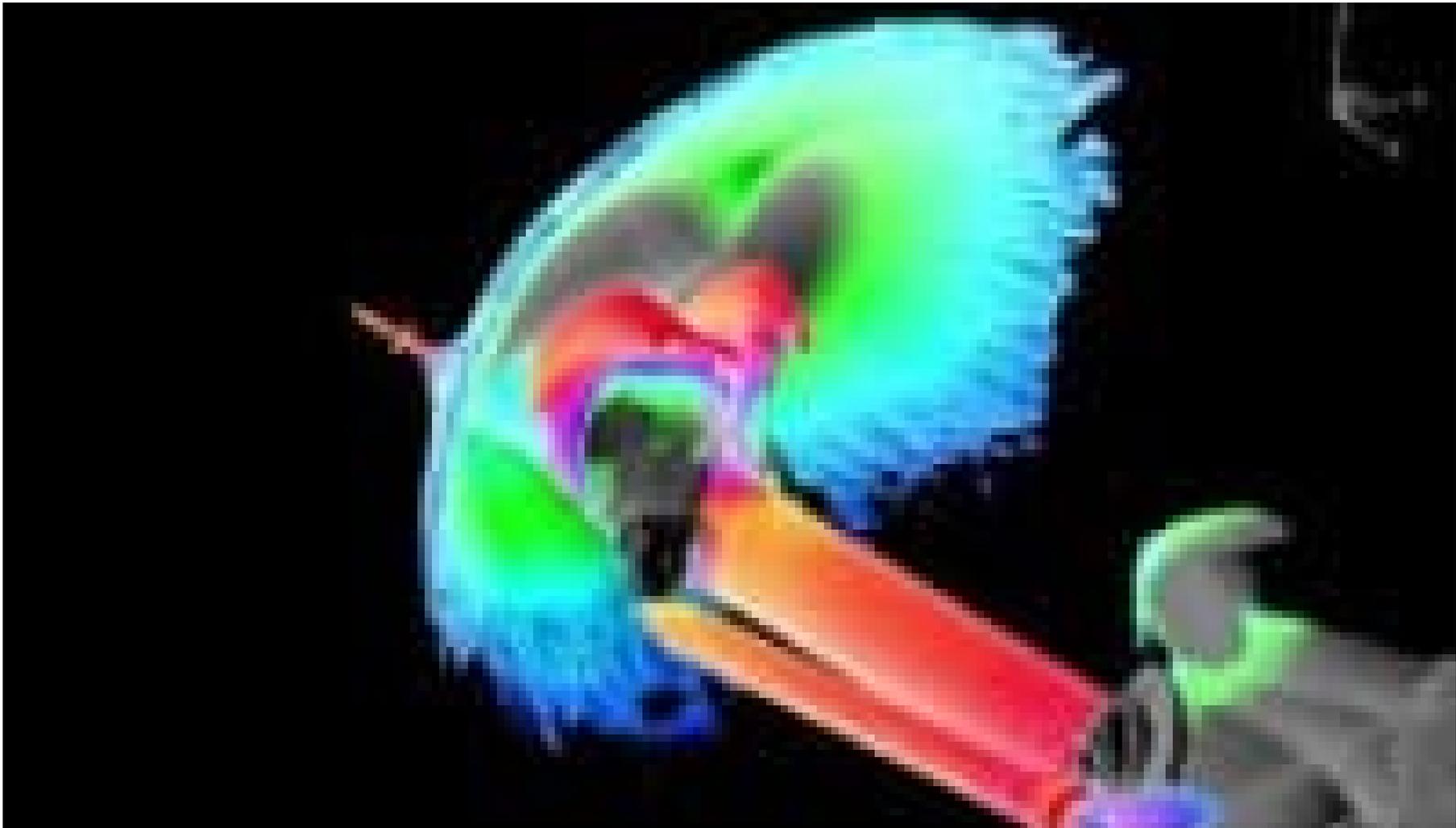


<https://youtu.be/Yo0AdaBOa70>

<https://www.youtube.com/watch?v=aBERfB5P12Q>



Wind tunnel + CFD

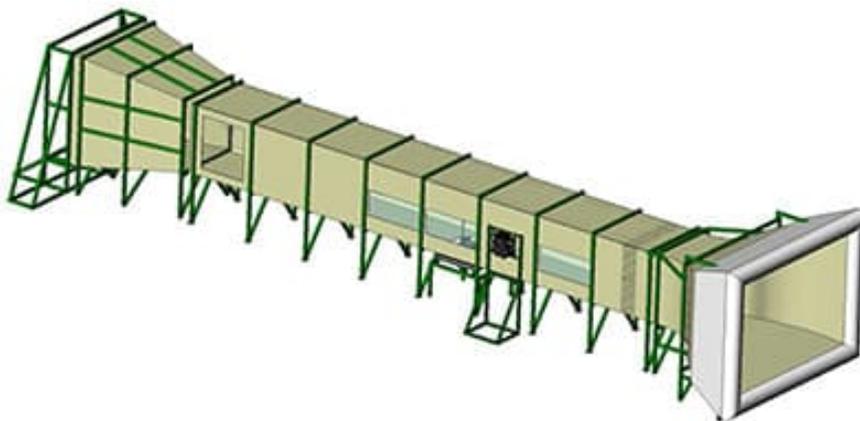


Túneles Aerodinámicos FRH

TUNEL DE VIENTO MAYOR

Es el túnel de viento utilizado para ensayos aeronáuticos (aviones, alas, etc.), ensayos de vehículos terrestres (autos, trenes, etc.), ensayos de energía eólica (aerogeneradores de eje vertical y horizontal) y ensayos civiles en general (Edificios, estructuras, etc.), entre otras aplicaciones. Sus características son:

- Túnel de viento tipo Eiffel
- Velocidad máxima = 80 Km/h (≈ 22 m/Seg)
- Dimensiones de cámara de ensayos: Ancho=1.28m, alto=1.28m, largo=10m
- Relación de contracción de la toma de aire: 4.6 a 1.
- Planta de poder: 4 ventiladores axiales con motores trifásicos de 5.5HP cada uno



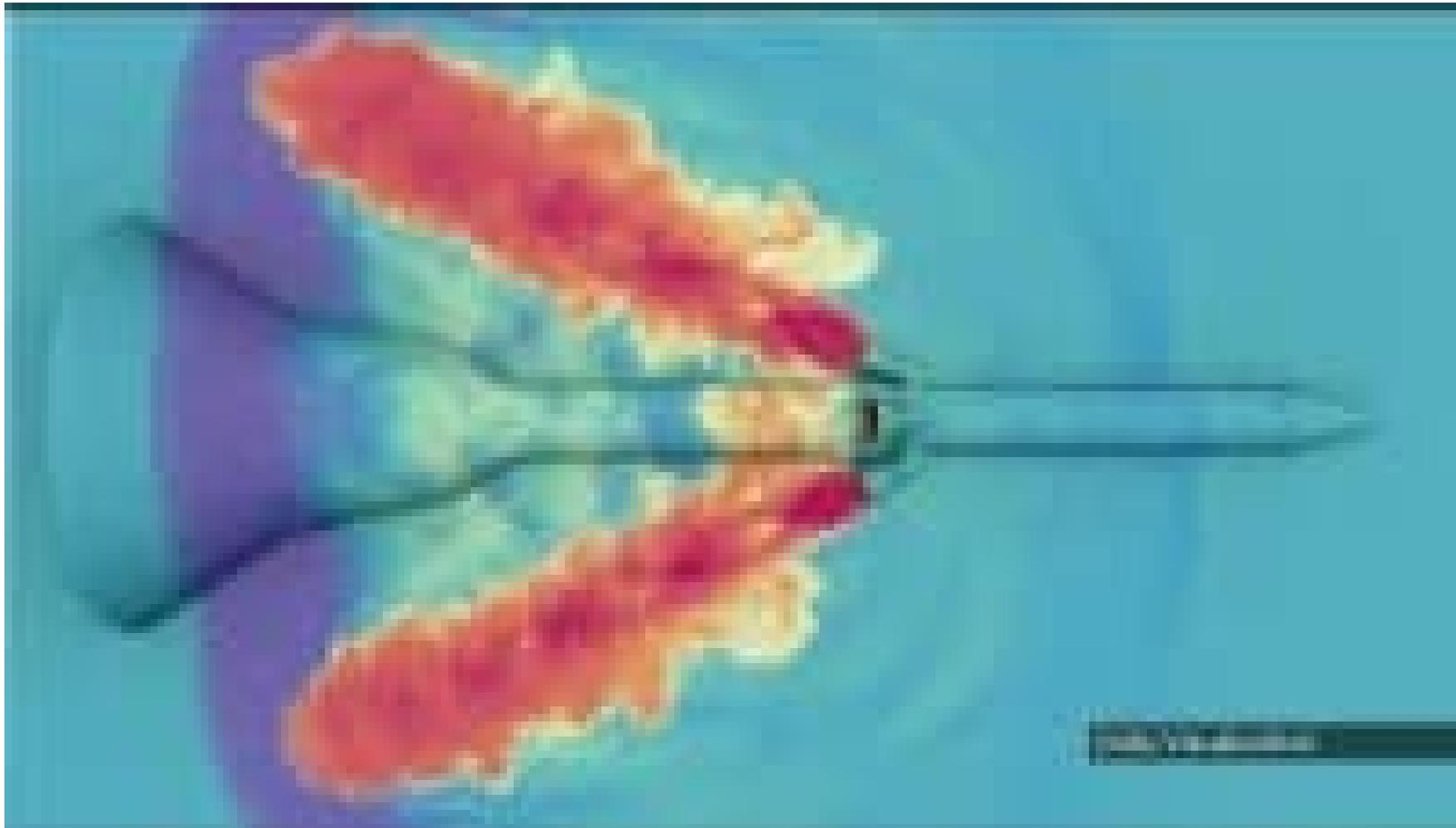
- TUNEL DE VIENTO DE INVESTIGACION
- Es el túnel de viento utilizado para calibrar sondas direccionales. En las siguientes figuras se puede observar su configuración. Sus características se resumen a continuación:
 - • Túnel de viento tipo Eiffel
 - • Velocidad máxima = 165 Km/h (≈ 46 m/Seg)
 - • Dimensiones de cámara de ensayos: Ancho=0.3m, alto=0.3m, l=0.56m
 - • Relación de contracción de la toma de aire: 11 a 1.
 - • Planta de poder: 1 ventilador centrífugo con motor trifásico de 10HP





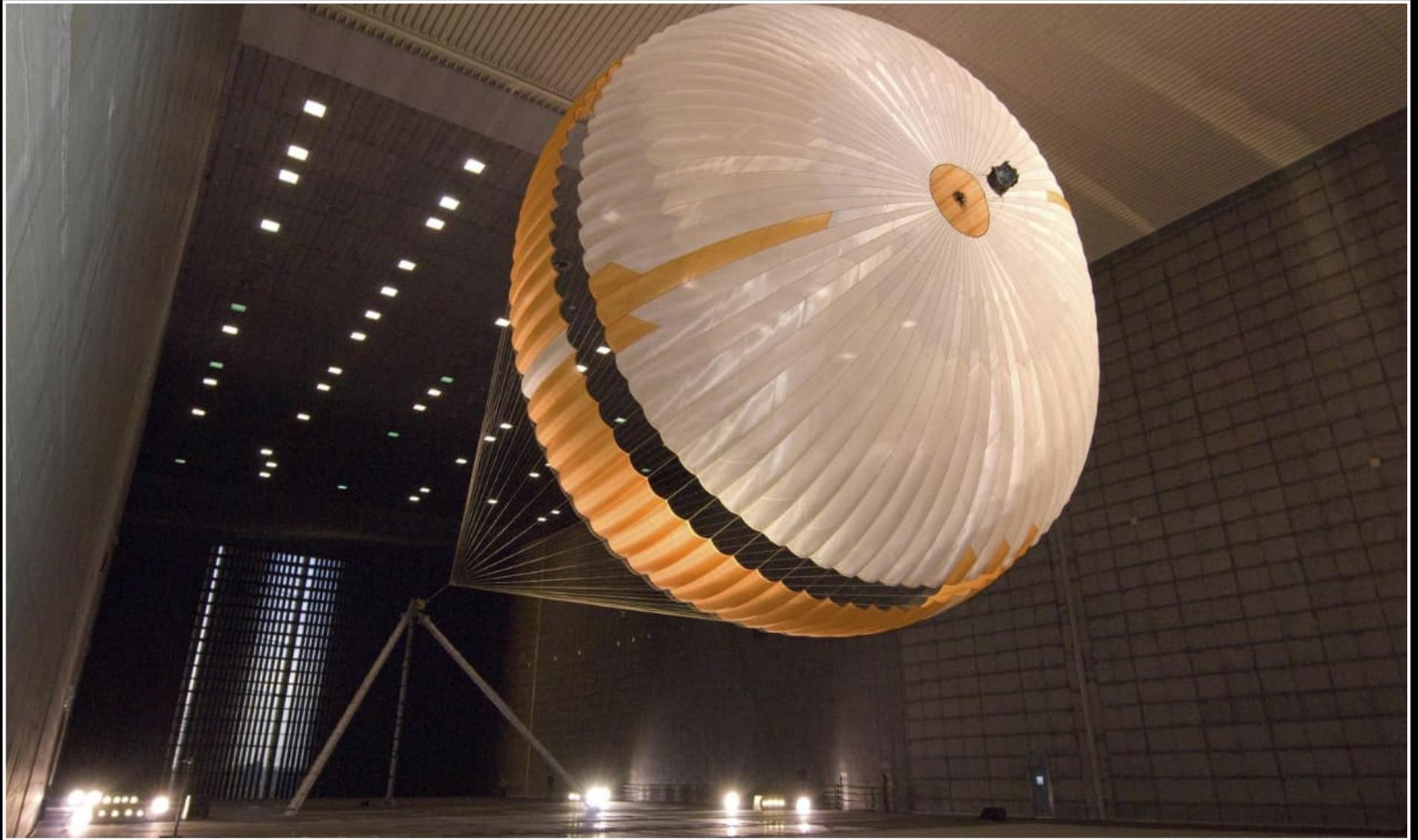
Qué es lo mas reciente:

[The Unsteady Pressure-Sensitive Paint System - YouTube](#)

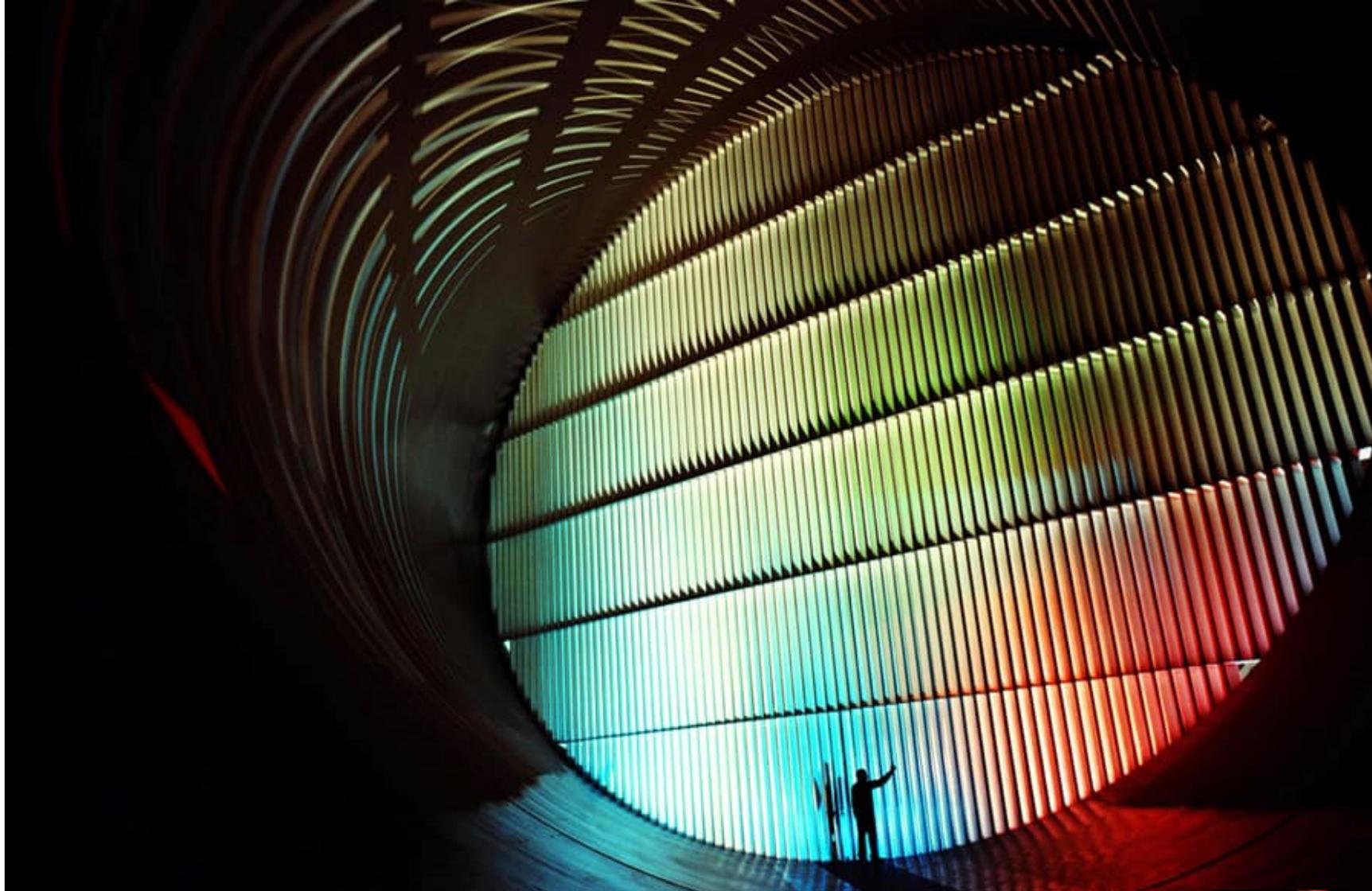


Trivia: que es?





Y este imagen?



Consultas?

