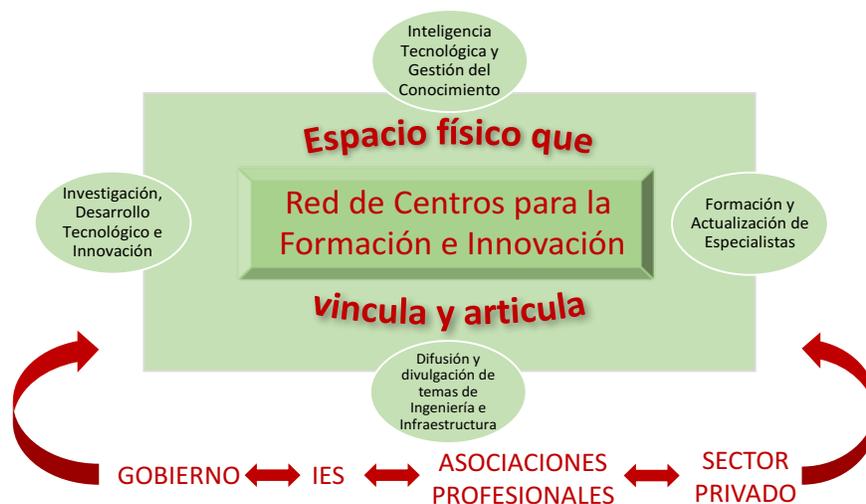


Laboratorio Túnel de Viento



Innovación y Desarrollo Tecnológico

La red de Centros para la Formación e Innovación de la Infraestructura (CeFIs) es una piedra angular de la labor de la Alianza FiiDEM en la reflexión, análisis y generación de ideas que resuelvan problemas de infraestructura, además de que desarrolla y actualiza a los especialistas para crear tecnología propia y adaptar la generada en otros países.



Asimismo, nuestra red beneficia al país en varias aristas:

Para el país

- Contar con el talento necesario para investigación analítica, experimental, modelación e innovación.
- Analizar el comportamiento real de las estructuras que permita complementar el conocimiento para establecer normas, especificaciones y criterios de diseño para la construcción de sistemas estructurales, seguros, eficientes y económicos.

Para la ciencia, tecnología e innovación nacionales

- Desarrollar conocimiento y tecnología de punta para resolver problemas nacionales.
- Contar con capacidades de I+DT+i competitivas a nivel internacional.
- Transferir y compartir conocimiento y tecnología con otros países.
- Mejorar la resiliencia de la infraestructura.
- Contribuir al fortalecimiento de la soberanía nacional en I+DT+i.
- Contribuir a la seguridad energética y a la sustentabilidad.
- Además, aportar un valor agregado al sector infraestructura, en particular al desarrollo del sector energético.

Para el gobierno y las empresas privadas

- Apalancar la ejecución de los programas nacionales de infraestructura y de los programas estatales o regionales.
- Incrementar la competitividad de la infraestructura.

Para la UNAM

- Fortalecer el liderazgo en la investigación y formación de recursos humanos en materiales de construcción y estructuras.
- Apoyar la formación e investigación en el tema de infraestructura al interior de las escuelas de ingeniería relacionadas con infraestructura con que cuenta.
- Culminar un importante e innovador proyecto de inversión en infraestructura de investigación, concebido en el seno del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Para las IES y los estudiantes

- Apoyar la formación, investigación e innovación en infraestructura.
- Formación teórico-práctica en laboratorios de clase mundial.
- Participación activa en proyectos industriales, de investigación e innovación de punta.
- Aprendizaje y capacitación *in situ* con empresas líderes.
- Acceso a diferentes opciones de posgrado de alta calidad y pertinencia.

Centro de Formación e Innovación para la Resiliencia de la Infraestructura (CeFIRI)

Un laboratorio abierto a la innovación y al fortalecimiento de la infraestructura en México

El 7 de mayo de 2013 se realizó la Tercera Asamblea General de Asociados de la Alianza FiiDEM, presidida por el Dr. José Narro Robles, en su carácter de Presidente Honorario. En ésta, ante la presencia y testimonio de los asociados se formalizaron el:

- **Convenio de Colaboración** suscrito entre la Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM y la Alianza FiiDEM, con el objeto de promover la formación e investigación en infraestructura y robustecer las capacidades de I+DT+i, y el
- **Contrato de Comodato** mediante el cual la UNAM otorga a la Alianza FiiDEM, a título gratuito, el uso de una superficie dentro de sus instalaciones en Ciudad Universitaria.

2

De esta manera se creó nuestro primer Centro de Formación e Innovación que atiende de manera prioritaria la resiliencia de la infraestructura (CeFIRI) integrando tres laboratorios: Estructuras, Materiales de Alta Tecnología y Túnel de Viento. Este Centro se encuentra abierto a instituciones públicas y privadas, operando con las mejores prácticas internacionales.

LABORATORIO TÚNEL DE VIENTO

El Túnel de Viento es una herramienta científico-tecnológica que permite resolver problemas relacionados con la ingeniería de viento mediante el estudio experimental de los fenómenos y efectos eólicos, además de permitir la experimentación con modelos a escala y bajo condiciones complejas, verificando así el comportamiento de elementos para la calificación y asimilación de tecnología.



Para la materialización del Túnel de Viento fue fundamental la aprobación de recursos por parte de **CONACYT**, que permitió la atracción de recursos concurrentes.

Equipamiento



24.4 mdp

Construcción



10.0 mdp



17.0 mdp



0.5 mdp



0.2 mdp



2.8 mdp

La construcción y equipamiento del Túnel de Viento estuvo a cargo de ICA–Construcción Urbana, con la participación de 41 empresas (seis de ellas extranjeras). La Dirección, Supervisión y Proyecto fue realizada por TLS Ingeniería, empresa 100% mexicana.

- Se generaron 17,490 jornales de septiembre de 2013 a septiembre de 2014.

Contenido:

- Obra civil: 100% nacional.
- Equipo: 81% nacional; 19 % importación: motor y turbina, cono difusor, inversor de frecuencia, sensores.



Las principales razones para realizar una prueba en túnel de viento son mejorar la confiabilidad del desempeño estructural y lograr efectividad en los costos ante este fenómeno natural.

En este laboratorio se realiza investigación de punta sobre los efectos del viento en: estructuras, personas en espacios urbanos, equipos y movimiento de masas de aire, entre otros, mismos que se relacionan estrechamente con sus aplicaciones en ingeniería civil, arquitectura y meteorología.

¿Cuándo hacer una prueba de túnel de viento?

- Optimizar costos de construcción.
- Posibilidad de ocurrencia de problemas por viento.
- Estructuras con geometría poco común.
- Importancia de las estructuras.
- Verificación de criterios de comportamiento estructural.
- Evaluación de criterios de salud o medio ambiente.
- Revisión de criterios de confort en espacios urbanos.

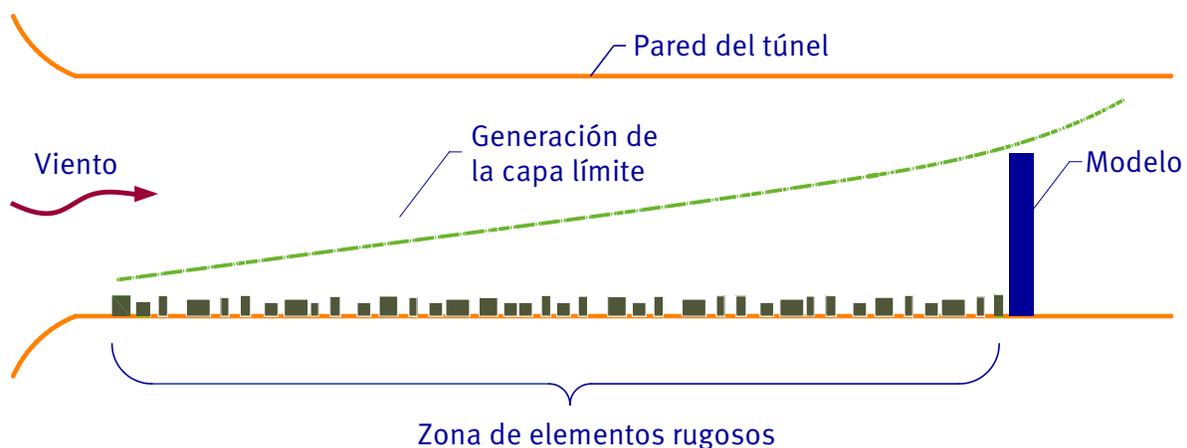
Áreas prioritarias de investigación

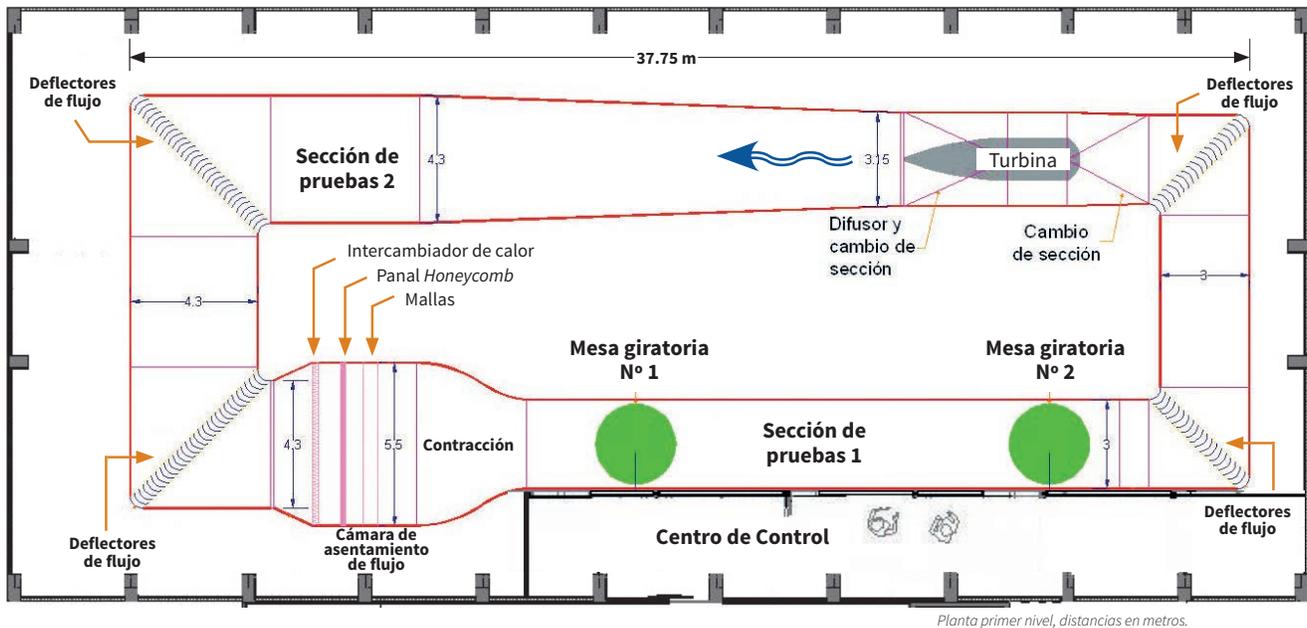
- Estructuras sometidas a acciones producidas por el viento.
- Materiales de construcción.
- Fenómenos aerodinámicos y aerostáticos.
- Efectos del viento sobre estructuras.
- Efectos del viento sobre personas.

4

Características

El Túnel de Viento es del tipo de **capa límite atmosférica, de circuito cerrado**, lo que permite tener un control adecuado del flujo (velocidad, presión y temperatura); tiene 37.75 m de largo por 13.9 m de ancho, y cuenta con dos secciones de pruebas: la primera incluye dos áreas de pruebas de 3 m de ancho por 2 m de alto cada una —separadas por una distancia de 14 m—, y la segunda es de 4.3 m de ancho por 4 m de altura y una longitud de 5 m. El área de pruebas principal está entre las 14 más grandes del mundo.





Circuito

Una vez que el motor genera el flujo, éste es repartido en toda la sección transversal variable en la zona del difusor con el fin de tener un flujo uniforme a su llegada a la sección de pruebas 2. Los codos a 90° de las esquinas permiten el cambio de dirección e impiden la separación del flujo. En la sección de pruebas 1 se puede desarrollar la capa límite.

Turbina

Se puede generar una velocidad máxima de 100 km/h, suficiente para simular los efectos turbulentos del viento bajo diferentes condiciones de flujo. Durante una simulación o estudio se pueden analizar, en modelos a escala, los efectos de vientos equivalentes a un huracán de categoría 4.

Secciones de pruebas

Sobre las mesas giratorias de la sección de pruebas 1 se instalan los modelos, lo que permite rotarlos para simular diferentes direcciones de incidencia del viento. Se pueden realizar pruebas de modelos de sección, aeroelásticas y balanza de fuerza. Además, se puede evaluar el efecto de la trayectoria del viento alrededor de los edificios o en zonas urbanas. En las secciones de prueba, cuando se requiere, se colocan dispositivos para aumentar la capa límite y generar turbulencia. Los modelos a escala fabricados por *outsourcing* pueden ser ajustados en el mismo laboratorio.

Equipo de registro

Permite medir las deformaciones, velocidades, aceleraciones, temperatura y presiones que se producen en los modelos por efecto del viento. El análisis y post-proceso de la información registrada permite evaluar el comportamiento de los modelos a escala o de la simulación o estudio que se esté realizando.

Cámara de asentamiento

En esta zona de difusión/contracción —tipo Venturi— se acondiciona el flujo de viento para que llegue con la calidad, presión, temperatura y velocidad deseadas a la sección de pruebas 1. Esto se logra gracias a que en su interior se tiene un intercambiador de calor, un panel de abeja (*honeycomb*) y dos mallas metálicas.

Modelo de operación

La operación técnica del laboratorio está a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con el apoyo de un Comité Técnico Consultivo integrado por diversas instituciones de educación superior. La administración integral es realizada por la Alianza FiiDEM.



6

Los servicios brindados por el laboratorio Túnel de Viento son ofrecidos a otras instituciones educativas (universidades e institutos de investigación) que deseen desarrollar proyectos relacionados con la ingeniería de viento.

El Túnel de Viento tiene la capacidad de prestar servicios a países de Centro y Sudamérica. Entre ellos destaca el ambicioso programa de desarrollo de infraestructura que realiza Chile y el acelerado programa de construcción de edificios altos en Panamá. Es importante mencionar que no existen instalaciones con especificaciones similares en nuestro país.

Principales servicios que puede proveer el Túnel de Viento

Las aplicaciones y pruebas que se desarrollarán en el CeFIRI serán fundamentales para el desarrollo de la infraestructura en México, como son: puentes, edificios, túneles, vivienda, plantas industriales, presas, vialidades, carreteras y estructuras marinas, entre otras. Entre las aplicaciones del Túnel de Viento se pueden mencionar:

- Mejorar la confiabilidad del diseño estructural.
- Diseño de dispositivos para mitigar los efectos del viento.
- Determinación de cargas estáticas y dinámicas del viento sobre puentes, edificios, chimeneas y otras estructuras civiles singulares.
- Efectos del viento en diversos elementos arquitectónicos.
- Análisis somero de problemas derivados del transporte de masas gaseosas contaminantes.
- Determinación de las condiciones de viento (en flujos) sobre terrenos complejos.
- Elaboración de normas.

El Dr. Jewel B. Barlow, director del Túnel de Viento Glenn Martin de la Universidad de Maryland, realizó una evaluación en sitio de las instalaciones y equipamiento de nuestro laboratorio.



Principales hallazgos

Es un túnel con muchas aplicaciones para realizar ingeniería de viento y para realizar otro tipo de pruebas en túneles de viento.

- Tiene un excelente diseño y acabados. De hecho, los acabados de las superficies son mucho mejores que los de otros túneles de viento en el mundo.
- Tiene características térmicas y acústicas mejores que las de la mayoría de los túneles de viento en el mundo.
- La instrumentación, el sistema de sensores y de adquisición de datos Scanivalve son tecnología de punta.
- Las dos mesas giratorias están bien diseñadas y son muy adecuadas para colocar los modelos.
- La sección transversal del Túnel de Viento de FiiDEM está entre las más grandes del mundo para ingeniería de viento.
- Los deflectores en este túnel de viento están diseñados aerodinámicamente en lugar de simplemente ser placas planas.
- La turbina y ventilador son de alta calidad.
- El intercambiador de calor de este túnel de viento permitirá un control más preciso de la temperatura e incrementará la capacidad de realizar mediciones precisas.
- El diseño del cono de contracción también es tecnología de punta. Los detalles de construcción y materiales son muy adecuados.
- En resumen, el Túnel de Viento de la Alianza FiiDEM tiene las características necesarias para llevar a cabo trabajo de ingeniería de viento de alta calidad.

7

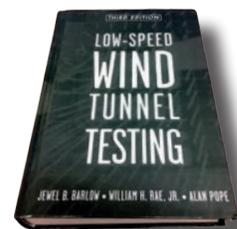


Alianza FiiDEM WT Assessment, Status and Capabilities

By Dr. Jewel B. Barlow,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jewel B. Barlow".

barlow@aerolab.com



**Ceremonia de inauguración del Túnel de Viento
3 de febrero de 2015**

Es un proyecto que se pensó bien, que tuvo una buena supervisión, que logramos terminar en el tiempo previsto y, particularmente, en el precio que se había calculado.

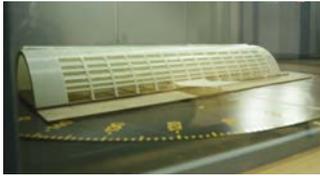
Dr. José Narro Robles

Rector de la UNAM y Presidente Honorario de la Alianza FiiDEM (2015)

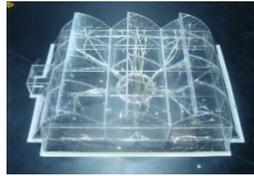


En el Túnel de Viento ya se concluyeron varios estudios:

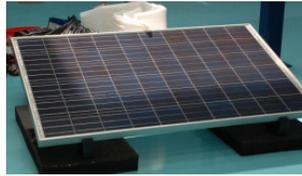
TERMINADOS



Aeropuerto de Acapulco (OMA-ICA)



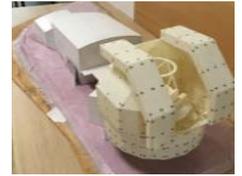
Invernadero, Zacatecas (HAS-IT)



Paneles solares (INEEL)



Prototipo turbina eólica (IER-UNAM)



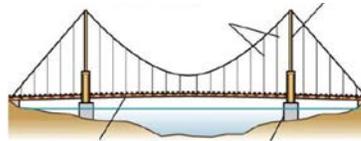
Telescopio de San Pedro Mártir, BC (UNAM)



Dos torres, Espacio Condesa (Grupo Némesis)



Torre Terret (Deka)



Puente atirantado "Rubén Darío", Nicaragua (209 m) (EuroEstudios)



Cruz Memorial, MTY (Pesa)



Puente Atirantado, Pachuca, Hgo. (530 m) (EuroEstudios)



Aeropuerto de Puerto Vallarta, Jal.



API Salina Cruz, Oaxaca



Cubierta de la estación Cancún, Tren Maya (Ten Arquitectos)



Aeropuerto de Puerto Escondido, Oax. (Mota Engil)



Nuevo Espacio Condesa II (Grupo Némesis)



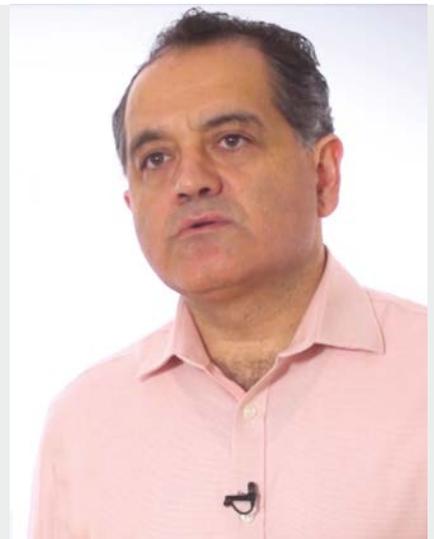
En proyectos de grandes dimensiones y gran altura el estudio de viento nos ayuda a diseñar toda la envolvente del edificio y a poder dimensionar adecuadamente las fuerzas que van actuar en la fachada para evitar que tengamos desprendimientos o que se sobredimensione la estructura.

Arq. Santiago Hernández Ramos

*Director de Proyectos
Fibra Plus*

Espacio Condesa
Fibra Plus / Grupo Némesis

- 38 pisos
- 177.5 m de altura
- Tiempo de ejecución: 2.5 meses



Proyectos de investigación y tesis

Se realizó la evaluación en el Túnel de Viento de una turbina eólica diseñada para prototipos de baja potencia y de una estructura con módulos fotovoltaicos, IER-UNAM. En total se han desarrollado seis proyectos de investigación y se becó a un estudiante para doctorado en Ingeniería de Viento. Por parte del II-UNAM se tiene la dirección de 17 tesis: 12 de licenciatura, una de maestría y cuatro de doctorado.



La creación del Túnel de Viento que se hizo con la Alianza FiiDEM es un ejemplo de una novedosa forma de trabajo que abre grandes posibilidades a la transferencia de nueva tecnología.

Dr. Enrique Graue Wiechers

*Rector de la UNAM y
Presidente Honorario de la Alianza FiiDEM
(Junio de 2016)*

Seguridad estructural

Es muy importante estudiar el efecto de las fuerzas generadas por las presiones producidas por el viento cuando éste impacta las superficies de las estructuras de edificios, monumentos, anuncios espectaculares, muros y puentes, ya que estas fuerzas se transmiten al sistema estructural. Uno de los elementos primordiales para cuantificar estos efectos y revisar la seguridad de las estructuras y las fachadas es el resultado de los estudios en túnel de viento.

Con la finalidad de contribuir en la seguridad de las estructuras, en coordinación con el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE) se desarrollaron dos Normas Mexicanas asociadas a la Industria de la Construcción, para lo cual se constituyó un Grupo de Trabajo integrado con 16 instituciones entre académicas, gubernamentales y privadas, con los siguientes resultados:

- **NMX-C-567-1-ONNCCE-2020** “Industria de la Construcción – Diseño por Viento de Edificaciones y Otras Construcciones – parte 1 – Requisitos” (publicada por la Secretaría de Economía en el *DOF* del 28 de abril de 2021, entró en vigor el 29 junio de 2021).
- **NMX-C-567-2-ONNCCE-2020** “Industria de la Construcción – Diseño por Viento de Edificaciones y otras Construcciones – parte 2 – Métodos de ensayo en túnel de viento” (publicada por la Secretaría de Economía en el *DOF* del 17 de septiembre de 2021, entró en vigor el 18 noviembre de 2021).

Instituciones académicas (3)



Instituciones gubernamentales (4)



Iniciativa privada (4)



Sociedades técnicas (5)



CONTACTO TÚNEL DE VIENTO ▶

Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México, A.C.

Delfín Madrigal 668
Col. Pedregal de Santo Domingo
04360 Coyoacán, Ciudad de México
(Ubicación en Google Maps: <http://bit.ly/2as7RzX>)

Dr. Enrique Graue Wiechers

Presidente Honorario de la Alianza FiiDEM

Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria

Representante del Presidente Honorario de la Alianza FiiDEM

DIRECCIÓN GENERAL

Ing. Alfonso Ramírez Lavín

Director general
arlavin46@gmail.com

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO E INTELIGENCIA TECNOLÓGICA

M.I. Eugenio Enríquez Castillo

Director de Inteligencia Tecnológica y Vinculación
eugenio.enriquez@alianzafiidem.org

CENTROS DE FORMACIÓN E INNOVACIÓN

Ing. Víctor Valadez Hernández

Coordinador de Laboratorios
victor.valadez@alianzafiidem.org

DIFUSIÓN

Q. Arturo Villegas Rodríguez

Coordinador de Difusión y Divulgación
info@alianzafiidem.org