

Túnel de Viento



*Laboratorio abierto a la
innovación y al fortalecimiento
de la infraestructura en México*



Antecedentes

Principales postulados de la Alianza FiiDEM

La Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México, A.C. (Alianza FiiDEM) es un esfuerzo promovido por la UNAM para:

- Fortalecer la ingeniería y la infraestructura
- Fomentar la innovación del sector y
- Reactivar el interés por cursar carreras de Ingeniería, particularmente la Civil.

El II-UNAM plantea el proyecto conceptual del LemAT y de la Alianza FiiDEM.

2007

2010
Constitución Alianza FiiDEM
Aprobación de líneas estratégicas
51 Asociados

2011
Plan Estratégico y de Negocio
Catálogo de Productos y Servicios
5 Comisiones
61 Asociados

2012
Autosuficiencia financiera
Modelos de Calidad de Servicios y de Gestión del Conocimiento
Administración Fondos SENER-CONACYT
70 Asociados

2013
Inicio de la construcción CeFi
Procesos para elaboración de estudios de Inteligencia Tecnológica Competitiva
Vinculación IES-IP 1ª etapa
81 Asociados

2014
Primer CeFi: Laboratorio Túnel de Viento
Metodología para el Diseño de Maestrías de IES-IP 2ª etapa
96 Asociados

2015
Operación del Laboratorio Túnel de Viento
Primer Proyecto Terminal del aeropuerto de Acapulco, Gro. (OMA)
Vinculación IES-IP 3ª etapa
106 Asociados

2016
Túnel de Viento: 2 proyectos concluidos y 2 en ejecución y 4 en propuesta.
Tesis de Licenciatura y Doctorado en IV
Ingenio Emprendedor
Estudios de ITC y proyectos de consultoría (AICM, SACMEX)
115 Asociados

Objetivos

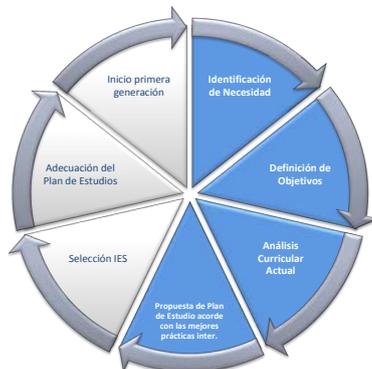
Es una asociación civil de nacionalidad mexicana, sin fines de lucro ni preponderantemente económicos, que busca:

- Vincular, articular y facilitar la colaboración de Gobierno-Instituciones Privadas-IES-Asociaciones Profesionales.
- Fortalecer la formación y actualización de especialistas en infraestructura, fomentando la cooperación internacional.
- Robustecer las **capacidades de I+DT+i** mediante la **creación de Centros de Formación e Innovación (CeFI's)**, enfocados en investigación de punta.
- Inteligencia tecnológica y administración del conocimiento.

Logros alcanzados

Formación Especializada y Multidisciplinaria

- Metodología^{D.R.®} para el diseño de **Currícula de Maestrías** que recojan las mejores prácticas internacionales.



Metodología^{D.R.®} para el diseño de Currícula de Maestrías que recojan las mejores prácticas internacionales.



- **Maestrías diseñadas**
 - Obras Subterráneas y Túneles (UNAM) (3 generaciones).
 - Geología y Geofísica aplicadas a la Ingeniería Civil (2, en IPN) (1 generación).
 - Administración Integral del Agua (UNAM) (impartiéndose).
 - Maestría en Administración de la Construcción (CMIC-ITC) (impartiéndose).
 - Conservación y Mantenimiento de Infraestructura (en fase de implementación).
- **Becas CONACYT-Alianza FiiDEM** para maestría y doctorado en el extranjero (40 becas)
 - 91 becarios apoyados desde 2013.
- **Estudio de Vinculación Empresas-IES** (Apoyo CONACYT).
 - 1ª etapa, 2012; 2ª, 2014, y 3ª, 2015: diseño del modelo de Vinculación IES-Industria.
- **Programas de Aceleración del Conocimiento** (PAC)
 - Project Management Professional (PMP): 6 cursos, 117 profesionales de 22 instituciones); Inteligencia Tecnológica (IT): 3 cursos, 39 profesionales de 16 instituciones; Asociaciones Público-Privadas (APP): 30 profesionales capacitados.
- **Programas a distancia con el IPN**
 - Maestrías en Geología y en Geofísica aplicadas a la Ingeniería Civil (CFE).
 - PAC en Inteligencia Tecnológica.
- **Ingenio Emprendedor: de la idea a la práctica^{MR}** (apoyo FINNOVA)
 - Planeación integral: 2013-2014.
 - Programa piloto: 2015-2016 (67 equipos participantes).

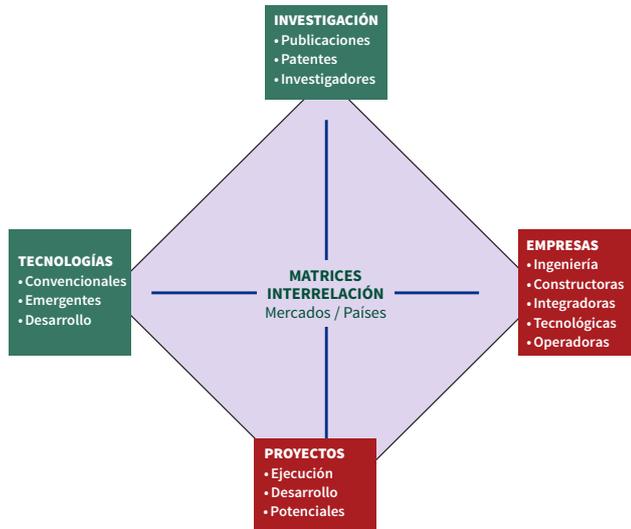
Consultoría en Proyectos de Alta especialidad

- FiiDEM cuenta con una **Metodología^{D.R.®}** y **Modelo de Gestión Tecnológica y Calidad de Servicios** para desarrollar proyectos de alta especialidad.
- Actualización del **Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico** del Fondo Sectorial CONACYT-SENER Sustentabilidad Energética.
- Administración de Oficinas de Asistencia Especializada (PMO), para coordinar proyectos de I+DT+i apoyados por los **Fondos SENER-CONACYT** de Sustentabilidad Energética (OAE) e Hidrocarburos (ATE).
- **Evaluación** de los **Servicios Educativos** del Instituto Tecnológico de la Construcción (CMIC-ITC).
- Estudio de **Impacto Económico** en la Utilización de un Aditivo F221 (Carral y Asociados).
- Estudio de **Acompañamiento Tecnológico** para CONiISA (confidencial).
- Estudio de **vinculación y acompañamiento tecnológico** para el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).
- Análisis de “Mejores prácticas internacionales sobre terrenos que eran aeropuertos y Términos de referencia de estudios técnicos del AICM” para la Secretaría de Desarrollo Económico de la Ciudad de México.

Gestión del Conocimiento e Inteligencia Tecnológica

- 31 Estudios de **Inteligencia Tecnológica Competitiva**^{D.R.®} (confidenciales).
— Grupo ICA, CFE, SCT, PUMAGUA, BANOBRAS, Freyssinet e INCIDE.

Metodología orientada a identificar las prioridades de negocio, las tendencias tecnológicas y los jugadores líderes (competidores y socios potenciales)



1. Proyectos en operación y desarrollo

- Perfil tecnológico de la empresa contratante
- Panorama tecnológico a nivel internacional
- Evaluación tecnológica comparativa de proyectos

2. Tendencias tecnológicas e innovación

- A nivel internacional: Ingeniería, construcción, integradoras, tecnológicas y operadoras, desarrollo e investigación
- Mapa de tecnologías con mayor potencial
- Centros de investigación, empresas y/o personas

3. Oportunidades de negocio

- Análisis de oportunidades y competidores
- Potenciales alianzas estratégicas y socios tecnológicos
- Disponibilidad y acceso a la tecnología

- Información nacional de **infraestructura científica y tecnológica** (Apoyo CONACYT).
- **Simposios Internacionales:** “Decisiones Estratégicas y la Inteligencia Tecnológica”, “El Túnel de Viento: Una herramienta para la confiabilidad del diseño estructural” e “Infraestructura Crítica”.
- Talleres de **Actualización Profesional** con ASTM International, en temas de agua y efectos de sismos en contenidos y elementos no estructurales de edificios.
- **Difusión:** 84 boletines *Avances e Innovación en Infraestructura*; seis de *Inteligencia Tecnológica*, 128 *Comunicados Especiales*. 7,722 suscriptores.
- **Conferencias de Vinculación:** 41 conferencias “La Práctica Profesional de la Ingeniería”.
- **Propiedad Intelectual:** cinco certificados de Derechos de Autor.

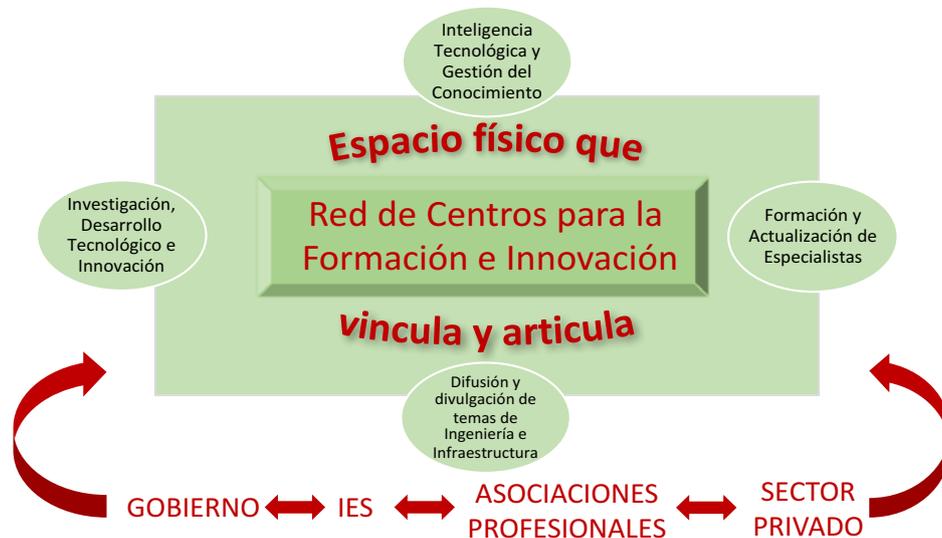


Red de Centros de Formación e Innovación

Los Centros para la Formación e Innovación (CeFI) serán el espacio físico de **vinculación** y **articulación** de las actividades y los socios de la Alianza FiiDEM. Allí, gobierno, empresas, instituciones de educación superior y asociaciones profesionales contarán con un espacio para:

- La reflexión, el análisis y la generación de ideas.
- Desarrollar procesos recurrentes de planeación y análisis de prospectiva de mediano y largo plazos.
- Formar y actualizar especialistas en el estado del arte, en temas estratégicos de infraestructura.
- Proponer una visión integral de la infraestructura y su interrelación con otros temas fundamentales para el desarrollo sustentable de México, y
- Analizar, discutir y diseñar normas en materia de infraestructura.

Estará integrada por un complejo de laboratorios para investigación aplicada, innovación y formación de recursos humanos especializados en temas relacionados con infraestructura.



El primero de esta red es el **Centro de Formación e Innovación para la Resiliencia de la Infraestructura Energética** (LemAT), que será un **espacio abierto** a instituciones públicas y privadas, cuya operación se realizará con las mejores prácticas internacionales. Comprende tres laboratorios:

- Estructuras
- Materiales de Alta Tecnología
- **Túnel de Viento**

Fue conceptualizado en 2007 por investigadores del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM). En febrero de 2015 entró en operación su primera fase, el Túnel de Viento.



Beneficios del LemAT

Para el país

- Contar con el talento necesario para investigación experimental, modelación e innovación.
- Analizar el comportamiento real de las estructuras que permitan 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 competitivos a nivel internacional.
- Transferir y compartir conocimiento y tecnología con otros países del mundo.
- 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.

Para el gobierno y las empresas privadas

- Apalancar la ejecución del Programa Nacional de Infraestructura y 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.



LemAT – Túnel de Viento

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, su Presidente Honorario. Sus 95 asistentes aprobaron:

- **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.
- **Contrato de Comodato** mediante el cual la UNAM otorga a la Alianza FiiDEM, a título gratuito, el uso de una superficie de 23,847.62 m².

Financiamiento (\$54.9 mdp)

En atención a las instrucciones de su Presidente Honorario, la Alianza FiiDEM gestionó los recursos financieros que garantizaron la construcción y equipamiento del Túnel de Viento. De fundamental importancia resultó la aprobación de recursos por parte de **CONACYT**, que detonaron la atracción de **recursos concurrentes**.

- Apoyo de **CONACYT**: \$24.4 millones para el equipamiento.
- **Recursos concurrentes**:
 - **Grupo ICA**: \$10.0 millones, para la construcción
 - **II-UNAM**: \$17.0 millones, para la construcción
 - **CEMEX**: \$0.5 millones, en suministro de concreto para la construcción
 - **CONiISA**: \$0.2 millones, adecuación del proyecto ejecutivo
 - **FiiDEM**: \$2.8 millones, para dirección y supervisión, canalización fibra óptica, etc.
- La construcción y equipamiento del Túnel de Viento estuvo a cargo de ICA–Construcción Urbana, con la participación de 41 empresas (sólo seis de ellas extranjeras).
- La Dirección, Supervisión y Proyecto fue realizada por TLS Ingeniería.
 - 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, *Honeycomb*, computadora, tarjeta de enlace (voz y datos).



Ceremonia de inauguración del Túnel de Viento, 3 de febrero de 2015. De izquierda a derecha: Ing. Alfonso Ramírez Lavín, Director General de la Alianza FiiDEM; Dr. José Narro Robles, Rector de la UNAM y Presidente Honorario de la Alianza FiiDEM; Dr. José Antonio Meade Kuribreña, Secretario de Relaciones Exteriores; Ing. Bernardo Quintana Isaac, Presidente de Grupo ICA, y Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro, representante del Presidente Honorario de la Alianza FiiDEM y Subsecretario para América del Norte de la SRE.

Túnel de Viento

¿Qué es un túnel de viento?

Un túnel de viento es una herramienta científico-tecnológica que sirve para resolver problemas relacionados con la ingeniería de viento mediante el estudio experimental de los fenómenos y efectos eólicos. Las principales razones para realizar una prueba en túnel de viento son mejorar la confiabilidad del desempeño estructural y lograr efectividad en los costos.

En el Túnel de Viento del LemAT 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?

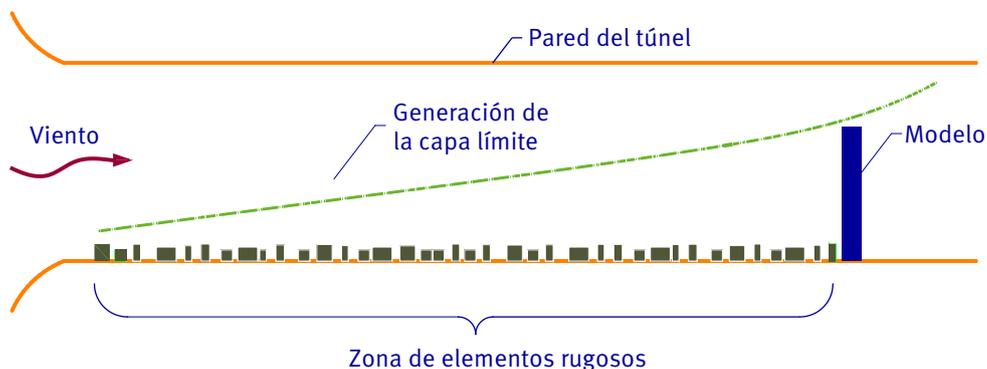
- Optimizar costos de construcción.
- Posibilidad de ocurrencia de problemas por viento.
- Estructuras con geometría poco común.
- Importancia de las estructuras.
- Verificación de criterios de comportamiento estructural.
- Evaluación de criterios de salud o medio ambiente.
- Revisión de criterios de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

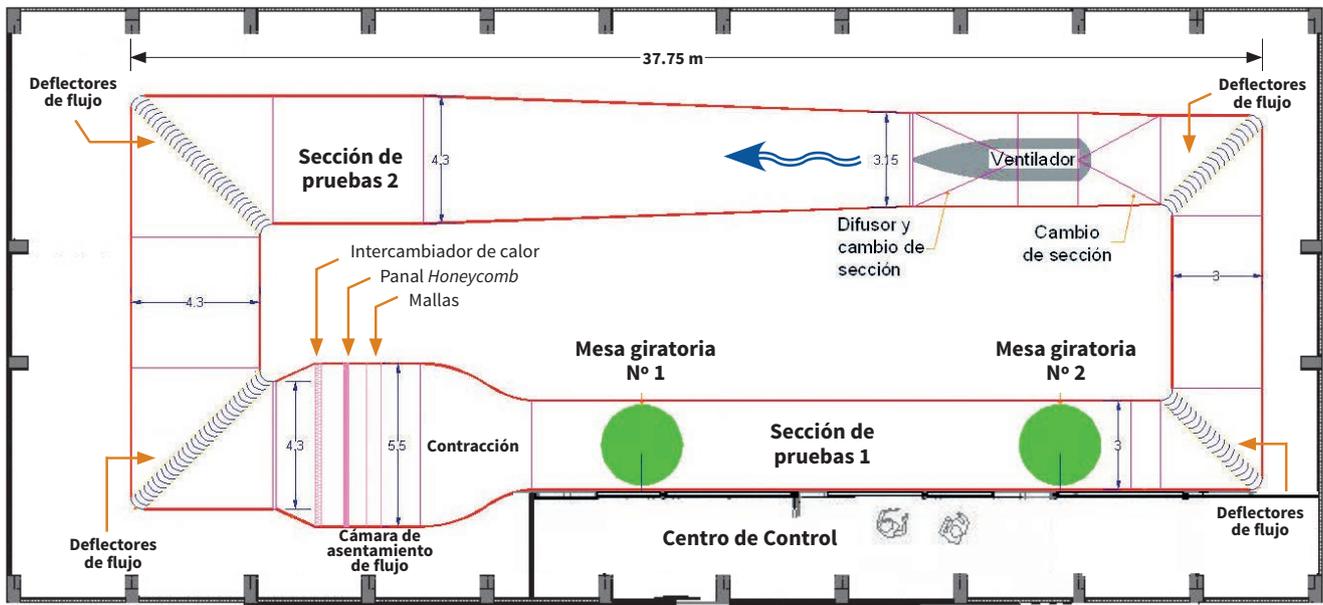
Áreas prioritarias de investigación

- 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.

Características

El Túnel de Viento del LemAT 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 con respecto a la distancia entre las dos mesas giratorias.





Planta primer nivel, distancias en metros.

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.

Ventilador

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, balanza de fuerza y aeroelásticas. 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 *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.



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 del LemAT

Las aplicaciones y pruebas que se desarrollarán en el LemAT 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.

Evaluación en sitio

Se solicitó a la compañía Aerolab, empresa líder en el diseño y construcción de túneles de viento, hacer una evaluación en sitio de las instalaciones y equipamiento del túnel de viento.

Esta evaluación fue realizada por el Dr. Jewel B. Barlow, quien desde hace casi cuatro décadas es director del Túnel de Viento Glen L. Martin de la Universidad de Maryland.



El Dr. Barlow, autor principal del libro *Low Speed Wind Tunnel Testing*, referencia estándar en esta área, destacó:

- “Encontré una excelente ingeniería del Túnel de Viento.”
- “En general, el diseño, los materiales y la ejecución de la construcción son de alta calidad.”
- “Es ideal para pruebas de viento de capa límite atmosférica para edificios, puentes, plataformas petroleras y estructuras.”

Principales hallazgos del Dr. Barlow

- **Circuito del Túnel:** Paredes, pisos, techos, aislamiento térmico y acústico construidos con alta calidad. Muy superior a la mayoría de túneles de viento de su clase.
- **Sensores:** Dispositivos de última generación.
- **Mesas giratorias:** Diseño muy adecuado.
- **Área de pruebas remota:** Adecuada para otro tipo de pruebas (vehículos, drones, cometas para generación de electricidad, etc.).
- **Deflectores:** Diseño robusto de los elementos, hechos de aluminio y más aerodinámicos que muchos de los deflectores de otros túneles de viento.
- **Ventilador y motor:** Fabricación, suministro e instalación excelente.
- **Intercambiador de calor:** Característica excelente del Túnel, permite mediciones más precisas.
- **Honeycomb o Panal de abeja:** Dimensiones adecuadas para garantizar las velocidades de diseño y uniformizar el flujo de aire.
- **Mallas:** Geometría de las mallas adecuada para el tamaño del Túnel. Las mallas están soldadas apropiadamente alambre por alambre.
- **Malla de seguridad:** Característica esencial de un túnel de viento, sin ningún apoyo de marcos.
- **Cono de contracción:** Alta confianza en el diseño; detalles de la construcción y selección del material muy buenos.

