

Proyecto De Nave Para Túnel De Viento En Cuba

Wind Tunnel Warehouse Project In Cuba

Autores

Ginet Ma. Guerrero Porras¹, Alejandro López Llanusa², Vivian Elena Parnás³

¹ Arquitecta, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. E-mail: ginet@arquitectura.cujae.edu.cu

² Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. E-mail: alo@civil.cujae.edu.cu

³ Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. E-mail: vivian@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

Potenciar el aprovechamiento del viento en Cuba con un enfoque multidisciplinario y científico, es de primordial importancia para la sociedad contemporánea. Este constituye un recurso de alto valor, por lo que su manejo eficiente puede contribuir a mejorar la calidad de vida de la población y mitigar daños económicos y sociales.

La ingeniería de viento, en las últimas décadas, ha logrado un buen desarrollo a nivel internacional y dentro de ella, el campo experimental adquiere enorme importancia. Una de las herramientas más poderosas empleadas son los túneles de viento. Estos permiten a través de modelos a escala y la simulación del viento, estudiar la interacción entre ellos. Los modelos pueden ser tanto de espacios construidos por el hombre, como de la naturaleza.

Los fuertes vientos que de manera sistemática azotan el territorio nacional, han impulsado el desarrollo de programas y estrategias que hoy muestran excelentes resultados en cuanto a los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR). Sin embargo, aun la rama experimental no posee un desarrollo adecuado al Cuba no contar con un túnel de viento de capa límite atmosférica (CLA). De construirse uno, sería el primero de su tipo en la región del Caribe.

La Universidad Tecnológica de La Habana, "José Antonio Echeverría", Cujae, ha trabajado la idea de construir un túnel de viento de capa límite atmosférica que permita implementar estudios de tal magnitud en Cuba. Este trabajo fundamenta la necesidad de disponer de esta herramienta y se expone el proyecto más presentado para su construcción.

Palabras claves: Túnel de viento de capa límite atmosférica, túnel de viento, viento.

ABSTRACT

Promoting the use of the wind in Cuba with a multidisciplinary and scientific approach is of paramount importance for contemporary society. This constitutes a high-value resource, so its efficient management can contribute to improving the quality of life of the population and mitigate economic and social damage.

Wind engineering, in recent decades, has achieved a good development at the international level and within it, the experimental field acquires enormous importance. One of the most powerful tools used are wind tunnels. These allow, through scale models and wind simulation, to study the interaction between them. The models can be of both man-made spaces and nature.

The strong winds that systematically hit the national territory have driven the development of programs and strategies that today show excellent results in terms of hazard, vulnerability and risk (PVR) studies. However, even the experimental branch does not have an adequate development since Cuba does not have an atmospheric boundary layer wind tunnel. If one is built, it would be the first of its kind in the Caribbean region.

The Technological University of Havana, "José Antonio Echeverría", Cujae, has worked on the idea of building an atmospheric boundary layer wind tunnel that allows the implementation of studies of such magnitude in Cuba. This work bases the need to have this tool and the most presented project for its construction is exposed

Keywords: Atmospheric boundary layer wind tunnel, wind, wind tunnel.

Nota Editorial: Recibido: Septiembre 2022 Aceptado: Septiembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

Potenciar el aprovechamiento del recurso viento en Cuba con un enfoque multidisciplinario y científico, es de primordial importancia para la sociedad contemporánea. Con ello se contribuiría a mejorar la calidad de vida de la población y se mitigarían daños económicos y sociales en el país donde, por ser un archipiélago ubicado en el trópico, el viento adquiere características especiales de intensidad y frecuencia. Por esto se hace necesaria una gestión eficiente del recurso viento con el apoyo de diferentes tecnologías implementadas en varios sectores del conocimiento.

Los fuertes vientos que de manera sistemática azotan el territorio nacional, han llevado a que Cuba posea un importante resultado en materia de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR) ante los efectos del viento en toda la región. A su vez, demanda un desarrollo tecnológico y científico en el país para implementar medidas que permitan la mitigación de los efectos del cambio climático y el cuidado del medio ambiente construido. En los últimos años la voluntad del país, plasmada en su agenda 2030 y en las acciones para aumentar la matriz energética con energías renovables y sostenibles, ha impactado en la realidad haciéndose más evidente la necesidad de estudios que relacionen, entre otros, el efecto del viento.

La Universidad constituye un factor clave en el desarrollo social a partir de la formación de profesionales tanto científica como técnicamente. En el campo de las investigaciones relacionadas con el viento, la Universidad Tecnológica de La Habana, "José Antonio Echeverría", Cujaje; ha tenido un papel importante con los trabajos de académicos de varias especialidades que abordaron los estudios de este fenómeno en las diferentes esferas de actuación. En este sentido se destacan varios trabajos relacionados al estudio de las presiones de viento en Cuba [1], al efecto del viento en las construcciones y la norma de viento [2]. Se cuenta también con investigaciones sobre el potencial eólico para su aprovechamiento energético con sistemas renovables de energía [3]. Por otra parte, se destacan trabajos relacionados con el confort en la ciudad compacta [4] y estudios a escala arquitectónica y gestión de riesgos de desastre [5].

El trabajo de investigación fomenta el empleo de la experimentación, la cual está considerada como práctica básica en el desarrollo científico. Si bien actualmente se disponen de modelo matemáticos y computacionales para el estudio de diversos fenómenos, el campo físico experimental continúa siendo en la actualidad fuente de validación de los mismos. Desde el punto de vista educacional, la experimentación permite la interacción multidisciplinaria e integral, priorizando la conformación de equipos de profesores y estudiantes de todas las facultades y centros.

En el campo de la ingeniería de viento una de las tecnologías más utilizadas a nivel internacional, es la experimental en túnel de viento. Esta herramienta tecnológica permite a través de modelos a escala, reproducir el viento en el espacio construido o natural, por lo que su aplicación vincula casi todos los espacios de actuación del hombre con la naturaleza y de ahí su valor como herramienta con beneficios multidisciplinarios. De forma general los estudios a desarrollar en el túnel de viento pueden catalogarse de acuerdo a su finalidad en tres tipos: estudios de carácter didáctico, estudios de investigación y desarrollo y estudios de aplicación y servicio a la comunidad.

En las últimas décadas se han realizado estudios en túnel de viento que tributan a investigaciones con aplicación en la industria y en la construcción nacional. Estas se han llevado a cabo a través de colaboraciones internacionales que tienen como base trabajos de doctorado de profesionales cubanos y que aprovechan las herramientas existentes en otras universidades. Tal es el caso del estudio de coeficientes de arrastre generados por la presencia de antenas en torres de telecomunicaciones [6] (Ver Figura 1), el estudio del efecto del viento sobre paneles fotovoltaicos [7] (Ver Figura 2), y el estudio de coeficientes de presión en secciones de perfiles de acero de la construcción [8] (Ver Figura 3). Estas acciones han permitido la formación de profesionales, en este campo, que hoy asesoran a las empresas constructoras del país.

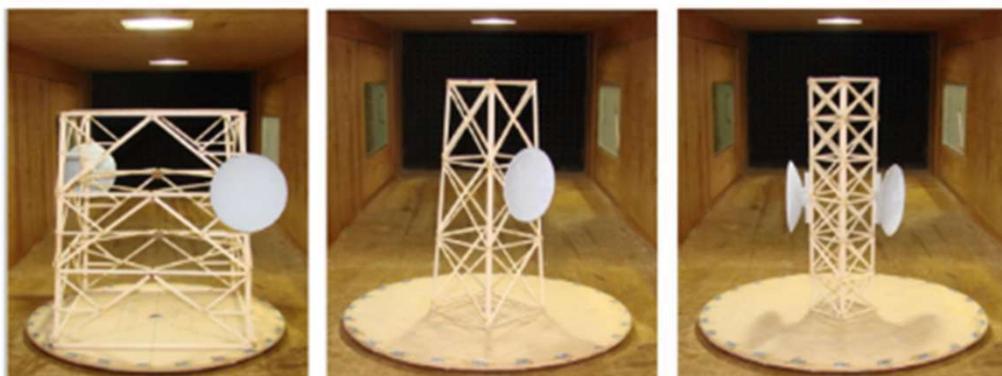


Figura 1: Ensayo de coeficientes arrastre en torres de telecomunicaciones con presencia de antenas.

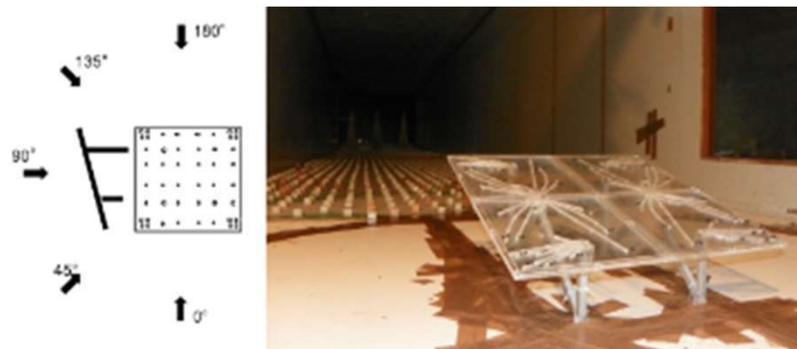


Figura 2: Ensayo de coeficientes de presión sobre paneles solares.



Figura 3: Ensayo de coeficientes de presión sobre secciones de perfiles.

Cuba no cuenta aún con un túnel de viento de capa límite, por lo que de construirse uno, sería el primero de su tipo. Con él se darían respuestas a necesidades de todo el territorio nacional e incluso, pudiera extenderse su servicio a la región del Caribe, que tampoco cuenta con una herramienta como esta. Es por ello que desde hace varias décadas la Universidad Tecnológica de La Habana, "José Antonio Echeverría", Cujae, ha trabajado la idea de la construcción de un túnel de viento de capa límite que permitiera implementar estudios de este tipo en Cuba. El túnel propuesto ha sido elaborado con la asistencia de la Universidad de la República de Uruguay mediante un convenio de cooperación con la Agencia Uruguaya para la Colaboración Internacional (AUCI). En este trabajo se fundamenta la necesidad de disponer de esta herramienta y se expone el anteproyecto presentado para su construcción dentro del campo universitario CUJAE.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La inexistencia de modelos matemáticos apropiados para estudiar y conocer la interacción del viento con las estructuras naturales o construidas por el hombre, y el costo de implementación para estudios a escala real, ha llevado a la realización de estudios experimentales a través de la simulación física del viento y de modelos a escala con la precisión y adecuación propias de un laboratorio. Una de las técnicas más empleadas a nivel mundial para estos casos de estudio son la prueba de modelos en túneles de viento, especialmente en los capaces de reproducir la capa límite atmosférica (CLA). Esto responde a que la mayor parte de las estructuras sometidas a ensayos se encuentran dentro de la capa rugosa, donde incide de manera especial el efecto de la turbulencia generada por el intercambio de la energía entre el viento y el terreno en los coeficientes de presión [9].

Dentro de las temáticas a desarrollar en el túnel de viento de CLA se encuentran: el efecto del viento sobre edificaciones, la determinación de presiones sobre superficies, los efectos dinámicos en estructuras, la ventilación natural a escala arquitectónica, la difusión de contaminantes en la atmósfera, los efectos de la topografía y de la rugosidad de la superficie terrestre sobre el flujo de aire, los estudios de potencial eólico en el terreno, el confort de personas en los espacios urbanos, la aerodinámica aplicada al deporte y el diseño de sistemas destinados a la protección de espacios de usos agrícolas.

El empleo de esta herramienta para la concepción de edificaciones se basa en la necesidad de diseños resistentes y a la vez económicos, donde las soluciones volumétricas potencien una óptima ventilación natural y a su vez mitiguen los efectos dañinos de fuertes vientos. Muchos arquitectos y urbanistas se interesan por estudios en modelos a diferentes escalas para lograr obtener tanto las condiciones de confort peatonal en torno a espacios públicos y emplazamientos de determinadas construcciones en la ciudad, como el comportamiento del flujo de aire en los espacios interiores de las edificaciones logrando una eficiencia en materia energética, con el propósito de alcanzar certificaciones de sostenibilidad (LEED, BREEAM, CASBEE). Por otra parte, los ensayos en túnel de viento permiten estudiar el potencial eólico para la generación de energía, estimar las cargas de viento sobre estructuras, sistemas de parasoles externos, así como en fachadas solares de doble acristalamiento de gran volumen.

2.1 Características del túnel de capa límite atmosférica (CLA)

Atendiendo el tipo de objeto de estudio se utiliza un túnel de viento con una configuración y dimensión determinada. Los equipos a utilizar varían por dichos aspectos, pero el funcionamiento básicamente se reduce a dos tipos de túneles de viento: de circuito abierto y de circuito cerrado.

El túnel de circuito cerrado consiste en un tubo completamente cerrado, con un sistema de propulsión encargado de recircular el aire en su interior hasta lograr las condiciones deseadas para la prueba en la cámara de ensayo. En esta se genera una corriente de aire con velocidad controlada producto de los difusores, cuya función es uniformar la corriente de aire. Por ser un túnel de circuito cerrado, es necesario forzar a la corriente a realizar giros, pero de manera ordenada, sin elevar más allá de lo razonable la pérdida de carga ni introducir perturbaciones en la corriente (Ver Figura 4).

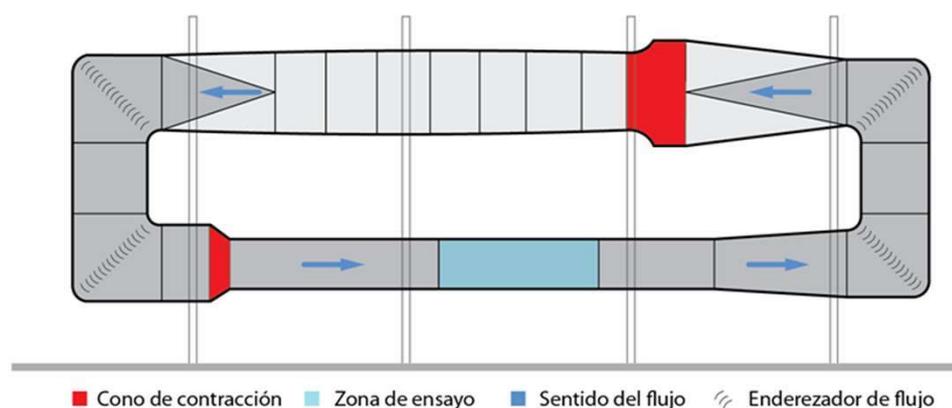


Figura 4: Esquema de un túnel de viento cerrado.

En el caso de un túnel de viento de circuito abierto, (Ver Figura 5) el flujo de aire que circula por su interior describe una trayectoria recta; penetra desde el exterior a través de la sección de entrada que suele albergar la zona de acondicionamiento de flujo, llega al cono de contracción donde pierde presión, gana velocidad y entra posteriormente en la cámara de ensayo. Luego, circula a través del difusor y la sección del propulsor, para regresar finalmente al exterior mediante la sección de salida [10].

Este tipo de túnel puede ser diseñado por medio de succión, donde el aire es aspirado por un ventilador colocado después de la cámara de prueba; o por inyección de aire, donde este es soplado por un ventilador axial hacia la cámara de pruebas y la campana de salida. En ambos casos se presentan turbulencias que son controladas por la colocación de laminadores de flujo [11].

El túnel de viento que se propone construir es de CLA tipo abierto y por succión (Ver Figura 5). A pesar de que como desventaja necesitan una mayor potencia del motor, siendo un poco más ruidosos, este tipo de túnel requiere un menor costo de inversión comparado con los de tipo cerrado, donde la necesidad de materiales es mayor y demanda la incorporación de un intercambiador de calor. Esto último se debe a que la totalidad de la potencia eléctrica suministrada al motor se convierte en calor, que a su vez es transmitido al aire llegando a incrementar su temperatura. En condiciones de operación con la temperatura media de Cuba esto implicaría la necesidad de un sistema de refrigeración adicional.

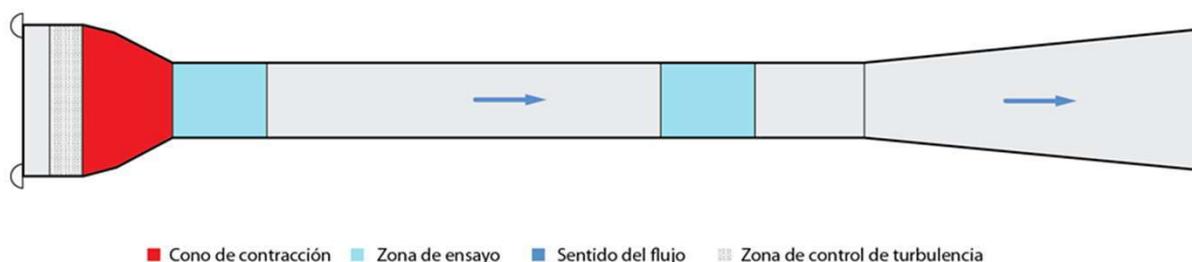


Figura 5: Esquema de la propuesta a construir de túnel de viento abierto.

El diseño del túnel estuvo condicionado por los requerimientos que se debían cumplir para satisfacer los ensayos a realizar. Estos fueron las escalas geométricas de los modelos, la relación de bloqueo, velocidad del flujo en el túnel y, la intensidad de turbulencia, que a su vez determinan las dimensiones generales del túnel, la dimensión de la mesa de trabajo y la capacidad del motor-ventilador.

Como resultante el túnel de viento propuesto consta con requerimientos dimensionales que establecen que la longitud total de este no deberá exceder los 50 m y que la zona de trabajo deberá contar con iluminación cenital. Esta última zona requiere un ancho de 3,2 m, un ancho variable entre 2,1 m y 2,6 m; y una longitud comprendida entre 20 m y 24 m. Por otro lado, las paredes deben permitir la visualización de los ensayos mediante paños de vidrio o acrílico situados convenientemente. En el caso de las mesas de ensayo, serán de 3 metros de diámetro, se ubicarán a la entrada y a la salida del flujo; y deben ser giratorias 360 grados con una estructura independiente a la del túnel.

De igual manera, para el diseño, fue necesario tener en cuenta requerimientos de flujo donde se determina que la velocidad nominal en la zona de ensayo será de 45m/s y que el sistema motor-ventilador contará con una potencia nominal del orden de 620 kW, con una velocidad de giro nominal de 750 rpm. Se contará, además, con un enderezador de flujo de tubos hexagonales, conocido como Honeycomb, de 25 mm de lado; y seguido a esta, tres mallas que permitan alcanzar cierta intensidad de turbulencia en la entrada a la zona de trabajo, de menos de 1% y una no uniformidad inferior al 4,5%.

2.2 Proyecto de nave para túnel de viento.



La Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cujae, es catalogada como el centro rector de las ciencias técnicas en Cuba. En esta se han consolidado alrededor de 14 centros de estudio e investigación que ratifican el prestigio de la Universidad a nivel nacional. Entre ellos se destacan el Centro de Referencia para la Educación Avanzada (CREA), Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER) y Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT). Asociado a este último, desde hace varios años, se ha ideado la posibilidad de construcción de un túnel de viento de CLA. Si bien la ejecución de esta herramienta constituye un avance a nivel nacional, poder desarrollarla en el campus universitario, permite elevar significativamente el potencial de investigación y experimentación en la ingeniería y arquitectura.

Su colocación se concibe en una posición estratégica entre tres centros de investigación de la Cujae: Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Complejo de Investigaciones Tecnológicas Integradas (CITI) y Centro Multipropósito (Ver Figura 6), que a su vez se conectan por un espacio público central donde, con carácter de plaza, los estudiantes puedan realizar ferias científicas o actividades afines a los centros de investigación. Contará además con buena visibilidad, pues es un espacio altamente transitado por su cercanía al comedor de estudiantes y a uno de los accesos a la residencia estudiantil. De este modo se genera una gran área del conocimiento, donde de manera práctica serán desarrolladas diferentes ramas de la ingeniería.

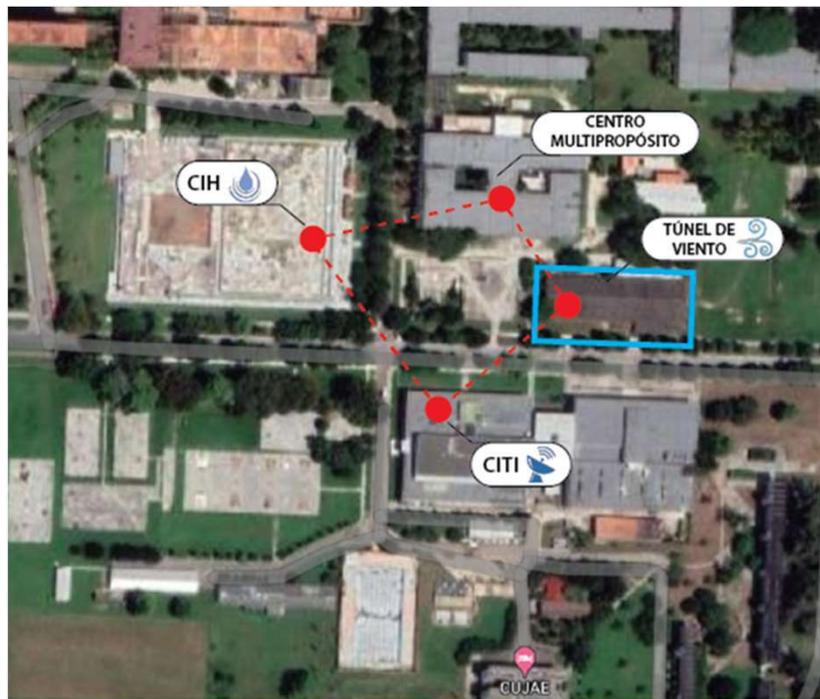


Figura 6: Propuesta de emplazamiento del proyecto de Túnel de viento.

El diseño de la edificación responde a la refuncionalización de una nave destinada al almacenamiento de recursos. Su estructura se compone por 12 pórticos de acero espaciados a 6 m, con alturas mínimas y máximas de 4 m y 7,80 m respectivamente, generando una cubierta a dos aguas. (Ver Figura 7 a y b). Sus dimensiones generales, de 24 m x 72 m, permiten el mayor aprovechamiento de la nave existente para el desarrollo de los espacios donde se realizarán las actividades fundamentales de gestión de proyecto, confección de maquetas, ensayo en túnel de viento y análisis de resultados.



a

b

Figura 7: Vista de la nave del Túnel de Viento. **a)** Nave actual. **b)** Proyecto.

La nave contará, por cada fachada, con un punto de acceso para un total de cuatro: principal (A), de trabajadores (B) y de abastecimiento (C) y de servicio (D). La entrada principal a la edificación se asocia con la vía de acceso vehicular a la universidad. Como resultado de la topografía existente, esta cuenta con una escalinata que en su diseño se integra a una rampa (Ver Figura 9 a), que evita barreras arquitectónicas. En el caso del acceso a trabajadores tendría lugar por la fachada Norte, debido a que es la más cercana a las instalaciones docentes y del CECAT, donde gran parte de los trabajadores e investigadores desarrollan actividades. Esta se vincula a un pequeño parqueo de ciclos y autos, diseñado con pavimento de juntas verdes (Ver Figura 9 b). Respetando y aprovechando la preexistencia de grandes vanos por las fachadas más cortas, pero de mayor puntal, se llevaría a cabo la entrada del túnel de viento (fachada Este) y el abastecimiento de materiales para la confección de maquetas (fachada Oeste), tributando directamente al área de almacén.

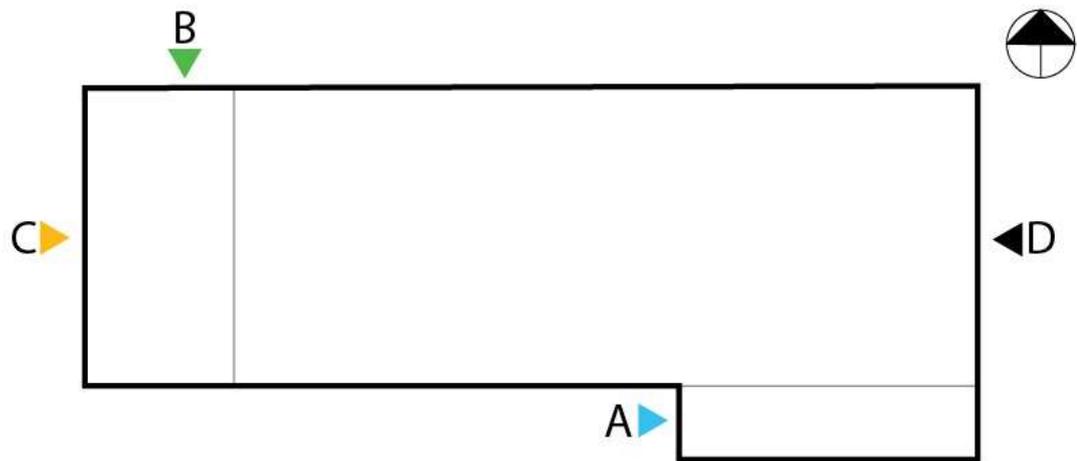


Figura 8: Accesos a la Nave. A) Principal. B) De trabajadores. C) De abastecimiento. D) De servicio



Figura 9: Elementos significativos de los accesos. a) Escalera integrada a una rampa. b) Parqueo de ciclos y autos.

El proyecto se divide en tres áreas: protocolo, investigación y ensayos. La primera se ubica en un volumen existente, de geometría rectangular con 144 m², adosado a la estructura principal de la nave. Consta de un vestíbulo con visuales al área de ensayos y posibilidades de funcionar como galería donde se expongan maquetas o resultados de investigación. Como espacio principal de esta área se encuentra el salón de reuniones con capacidad mínima de 12 personas, y como secundarios el pantry y servicio sanitario, orientados hacia el Sur (Ver Figura 10).

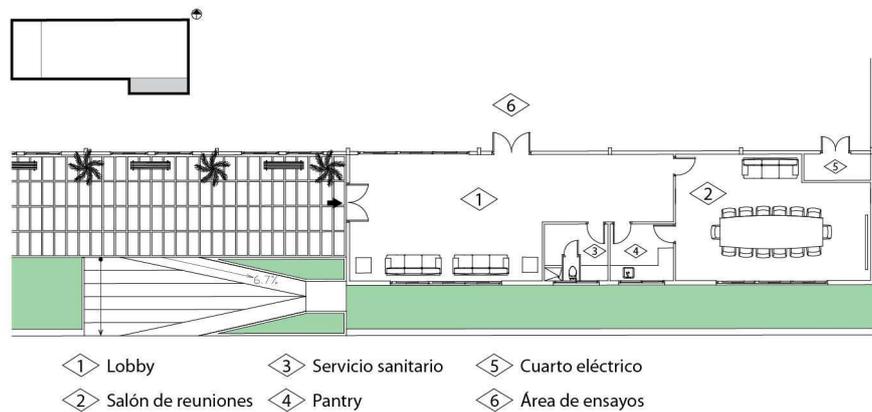


Figura 10: Distribución en planta del proyecto de nave para el túnel de viento. Área de protocolo.

El área de investigación, de 460 m² aproximadamente, cuenta con locales distribuidos en dos niveles para aprovechar el puntal de 7,80m en la zona central de la nave. En planta baja se encuentra un lobby de doble puntal, con acceso al área de ensayos, un servicio sanitario de dos cabinas y un taller para la confección de maquetas que serán sometidas a ensayos en el túnel de viento (Ver Figura 10). Este taller se comunica con el almacén y el área de ensayos, lo cual garantiza un flujo adecuado en el proceso productivo. En un segundo nivel, accediendo por una escalera desde el vestíbulo, se hallan los servicios sanitarios como continuidad vertical de las instalaciones y dos oficinas con visuales hacia el túnel de viento. Estas están catalogadas, una como dirección y otra como laboratorio, que tiene capacidad para mínimo ocho puestos de trabajo, un pequeño salón de reuniones y un pantry para los trabajadores. Además, se decide ahuecar la volumetría aprovechando el espacio resultante de la pendiente de la cubierta, para la realización de una terraza colindante con el laboratorio. Esta permite, además de brindar un espacio de calidad a los investigadores, facilitar el acceso a la cubierta para la ejecución de inspecciones y acciones de mantenimiento (Ver Figura 11).

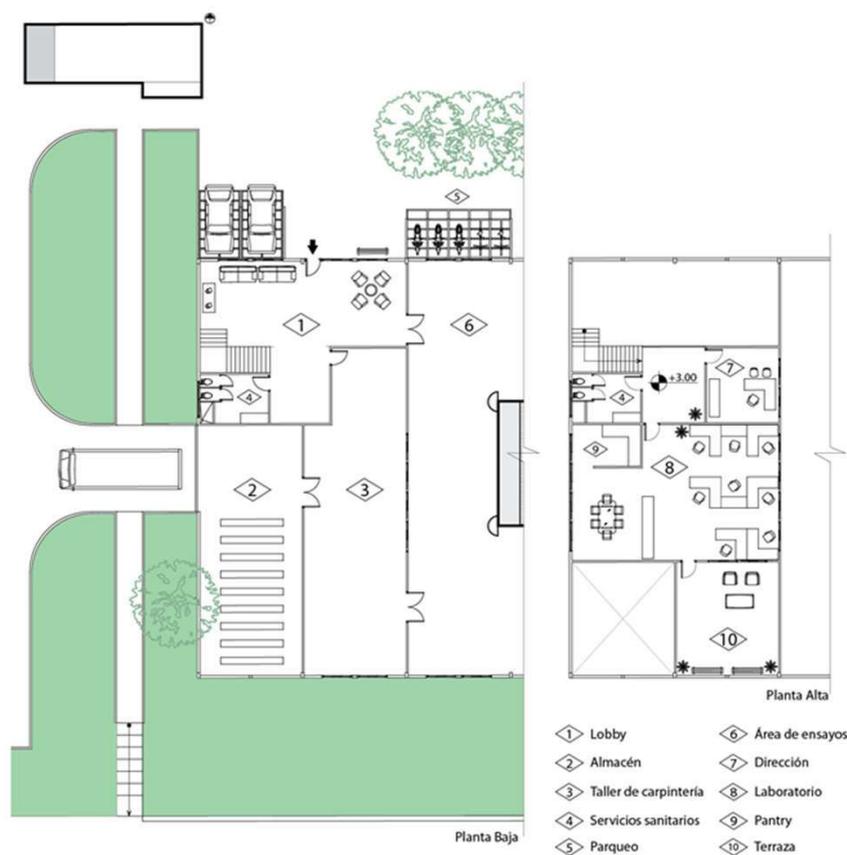


Figura 11: Distribución en planta del proyecto de nave para el túnel de viento. Área de investigación.

El espacio destinado a la colocación del túnel de viento o área de ensayos es la mayor, ocupando 1 440 m² lo cual responde a las dimensiones y requerimientos del equipamiento (Ver Figura 12). Está conformado por un único local de geometría rectangular (60m x 24m) donde el túnel se centra, pues debe existir simetría en el espacio para no alterar el flujo de aire.

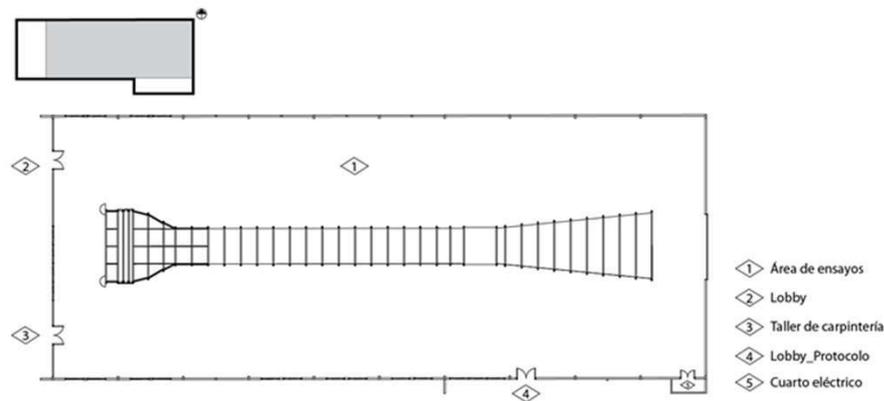


Figura 12: Distribución en planta del proyecto de nave para el túnel de viento. Área de ensayos.

Por la disposición de la nave, una de las cubiertas se encuentra totalmente orientada hacia el Sur. Esto constituye una oportunidad, de conjunto con la pendiente existente, para la colocación de paneles fotovoltaicos en toda su extensión (Ver Figura 13), alternados con tejas traslúcidas que potencian la iluminación natural del área de ensayos de manera cenital, atendiendo a los requerimientos dimensionales planteados con anterioridad (Ver Figura 14). Se concibe, además, dentro del diseño de la instalación, un cuarto técnico donde se podrán colocar baterías que almacenen la energía captada. Con ella se pretende satisfacer parte del consumo energético del inmueble. Así, el proyecto de nave para la colocación del túnel de viento cumplirá con requisitos de sustentabilidad a tono con la voluntad del país, en cuanto a la realización de acciones para aumentar la matriz energética con energías renovables y sostenibles.

De igual manera el proyecto tiene cabida para la implementación a mediano plazo de la domótica, automatizando procesos para lograr una mayor eficiencia energética; y la recolección de aguas pluviales, gracias a su propia estructura con cubiertas a dos aguas, para la reutilización en la descarga de los servicios sanitarios y el riego de las áreas verdes exteriores.



Figura 13: Colocación de paneles solares en la cubierta Sur de la nave.



Figura 14: Empleo de tejas traslúcidas en el área de ensayo.

2.3 Principales beneficios

Teniendo en cuenta las capacidades que pueden generarse a partir de la existencia del túnel de viento en Cuba, específicamente en la Universidad, se valora un gran impacto y beneficio para muchos sectores del país y no solo para el Ministerio de Educación Superior (MES). En el caso de este, se elevarían las capacidades didácticas e investigativas tanto de estudiantes como profesionales de la materia y se ampliarían los servicios científico-técnicos, esta vez en la rama de la ingeniería de viento, a los diferentes sectores beneficiarios a nivel nacional e incluso en la región del Caribe.

Uno de los principales beneficiarios sería el sector de la construcción, en particular el Ministerio de la Construcción (MICONS) y sus empresas de proyecto, las cuales podrían perfeccionar los diseños de edificaciones y del entorno urbano; así como a partir de los estudios, establecer regulaciones en el sector.

Esta herramienta tiene como parte de sus mayores empleos, como complemento a los análisis de PVR, los estudios de las construcciones frente a la acción del viento que incluyen obras industriales, turísticas, puentes y torres de transmisión eléctrica o de telecomunicaciones, tributando directamente a la Defensa Civil y a los Ministerios del Transporte (MITRANS), del Turismo (MINTUR) y de las Comunicaciones (MINCOM). De igual manera, el túnel de viento impactaría positivamente en el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) a través de los estudios para la valoración del potencial eólico.

A escala urbana permitiría realizar estudios de confort peatonal y efectos de vecindad por nuevas inserciones edilicias en ambientes construidos de interés para el Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (OTU).

Para entidades como el Instituto de Meteorología (INSMET), Agencia del Medio Ambiente (AMA) y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA), encargados de dirigir la política ambiental, el túnel de viento facilitaría estudios sobre la calidad del aire y el PVR ante la acción de fuertes vientos. Con estos se posibilita el establecimiento de nuevas políticas con basamento científico para disminuir la dispersión de contaminantes vía aérea en el territorio nacional. Esto también es aplicable al Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) pero desde el punto de vista de los daños que pueden provocar a los cultivos la incidencia de fuertes viento y el comportamiento de la dispersión de plagas vía aérea.

Por último, contar con este equipo ofrece al Ministerio de Industrias (MINDUS) y al Instituto Nacional de Deporte y Recreación (INDER), la posibilidad de perfeccionar los diseños mecánicos y rendimiento de atletas mediante la determinación de presiones, sobre equipos de ciclismo, atletismo y patinaje, respectivamente.

3. CONCLUSIONES



El túnel de viento de capa límite atmosférica es una herramienta con una amplia gama de aplicaciones en la actualidad. La no existencia de modelos matemáticos apropiados para estudiar y conocer la interacción del viento con las estructuras naturales o construidas por el hombre, y el costo de implementación para estudios a escala real, ha llevado a la realización de estudios experimentales a través de la simulación física del viento y de modelos a escala con la precisión y adecuación propias de un laboratorio.

Cuba no cuenta con un túnel de viento de CLA, por lo que este sería el primer túnel de su tipo y daría respuesta a las necesidades de todo el territorio nacional con un carácter científico experimental. Con la existencia de la herramienta se elevaría significativamente el potencial de investigación y experimentación de la Universidad, por lo que se propone la ejecución de este proyecto dentro del campus universitario.

El diseño del proyecto del túnel de viento tiene como premisa el aprovechamiento de estructuras existentes mediante su refuncionalización. La ubicación estratégica en la nave destinada actualmente al almacenamiento de recursos, además de mejorar la calidad del entorno en el que se emplaza, genera un gran área del conocimiento. Sus dimensiones satisfacen las necesidades de un equipo de esta envergadura y permiten un mayor aprovechamiento de la nave existente para el desarrollo de espacios donde se realizarán actividades como la gestión, confección, ensayo y análisis de resultados.

La construcción de un túnel de viento de capa límite atmosférica constituye la aplicación de la innovación en el campo de la ingeniería de viento a nivel nacional, en correspondencia con los ejes estratégicos plasmados en el Plan Nacional de desarrollo económico y social hasta 2030.

1. P. Hernández, "Presiones de viento para el cálculo de estructuras en Cuba", Revista de Ingeniería Civil, vol. 16, 1965
2. R. Blanco y C. Llanes, "Es la Norma Cubana NC 285:2003, pertinente para las Cargas de Viento que se desarrollan en la actualidad", Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 5(1), pp 1-7, 2011.
3. C. Moreno y J.A. Medrano, "Análisis sobre la influencia de la turbulencia en la producción energética de las turbinas eólicas", Revista Ingeniería Energética, vol. 40, pp. 53-62, 2019.
4. A. Alfonso, G. Díaz y A.M. de la Peña, La ciudad compacta: arquitectura y microclima. 3ra Edición, 2009.
5. O. Coca, "Protección ante el viento de techos de asbesto cemento en viviendas", Revista Arquitectura y Urbanismo, vol. XLII, pp. 96-104, 2021.
6. P. Martín, V. Elena, A. Loredo-Souza and E. Camaño, "Experimental study of the effects of dish antennas on the wind loading of telecommunication towers". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 149, p 40-47, 2016.
7. A. López, V. Elena y J. Cataldo, "Experimentos en túnel de viento sobre paneles fotovoltaicos montados en el suelo", Revista Ingeniería de Construcción, vol. 34, pp. 15-24, 2019.
8. N. Fundora, E. Camaño, A. Loredo and V. Elena, "Coeficientes de forma en sección compuesta con ensayos en túnel de viento", Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 41, pp. 85-99, 2020.
9. A. López, V. Elena y J. Cataldo, "Modelación de capa límite atmosférica para estudios de paneles solares en túnel de viento", Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 38, pp. 52-64, 2017.
10. A.M. Mejías, "Diseño y análisis computacional para túnel de viento de baja velocidad". Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, 2012.
11. M.B.O García, "Diseño y construcción de un túnel de viento para la calibración de anemómetros en el Inamhi". Universidad Tecnológica Equinoccial, 2012.

