

**PROVINCIA DEL CHACO  
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

**PROMOCION Y FOMENTO DEL USO DE  
ENERGIA EOLICA Y SOLAR EN EDIFICIOS  
PUBLICOS  
EN ENTORNOS URBANOS**

**INFORME FINAL  
SEPTIEMBRE - 2018**

**SILVANA CECILIA TOURN CREMONA, PhD.**

## **AUTORIDADES**

### **Concejo Federal de Inversiones – CFI**

**Ing. Juan José Ciácer**  
Secretario General

**Ing. Ramiro Otero**  
Director de Recursos Financieros

**Ing. Marcela Videla**  
Jefe del Área Entorno de la Competitividad

### **Gobierno de la Provincia del Chaco**

**Ing. Domingo Peppo**  
Gobernador

**Ing. María Elina Serrano**  
Secretaria General de Gobierno y Coordinación

**Ing. Gustavo Orlando Cáceres**  
Ministro de Planificación, Ambiente e Innovación Tecnológica

**Ing. Rafael Yurkevich**  
Subsecretario de Innovación Tecnológica

# INDICE

Introducción .....	1
Plan de tareas.....	1
Desarrollo .....	2
A. Permisos y regulaciones.....	2
B. Recurso solar y eólico .....	4
C. Localización.....	9
D. Consumo energético.....	36
E. Tipos de tecnologías.....	37
F. Tamaño de los equipos de generación .....	39
G. Certificaciones .....	41
H. Garantías.....	42
I. Costos .....	42
J. Instalación y administración de energía .....	42
Conclusiones .....	43
Bibliografía.....	44
Anexo .....	1
Planos .....	2
Plano N° 1: Área de Influencia Eólica.....	2
Plano N° 2: Área de Influencia Eólica – Ángulos de Incidencia .....	3
Plano N° 3: Planta Azotea y Planta Techo - Edificio B de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.....	4
Plano N° 4: Detalle y Zonificación – Edificio B de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.....	5
Plano N° 5: Planta Edificio Nuevo Banco del Chaco S.A.....	6
Plano N° 6: Corte Azotea Nuevo Banco del Chaco S.A. ....	7
Plano N° 7: Planta y Detalle Edificio ANSES, UDAI. ....	8
Lista de fabricantes nacionales de aerogeneradores de baja potencia .....	9
Lista de fabricantes internacionales de aerogeneradores de baja potencia que pueden implementarse en la zona bajo estudio (2).....	10
Imágenes 3D Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.....	11

## Figuras

Figura 1: Potencia anual en kWh vs horas del día - año 2012, en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia - Chaco, de una pequeña turbina de viento que comienza a producir energía a partir de velocidades de viento de 2.5 m/s. ....	6
Figura 2: Potencia anual en kWh vs horas del día del año 2016 en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia - Chaco, de una pequeña turbina de viento que comienza a producir energía a partir de velocidades de viento de 2.5 m/s. ....	7
Figura 3: Direcciones de viento y su posición en ángulo geométrico expresados en grados (°) alrededor de un arco de circunferencia. ....	7
Figura 4: Contribución de cada dirección de viento en Resistencia - Chaco a lo largo de todas las horas del año 2016. ....	8
Figura 5: Variación mensual de la velocidad media del viento en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia- Chaco. ....	8
Figura 6: Planta y vista del túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE. ....	12
Figura 7: Túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE.....	12
Figura 8: Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco y el entorno urbano que se encuentra dentro de la circunferencia definida. Punto de origen de la circunferencia, centro de la azotea. ....	13
Figura 9: a. Imagen tomada en esquina de calles Mitre y M.T. de Alvear, Resistencia - Chaco. b. Representación de los modelos a escala de los edificios en Sketchup 3D. ....	15
Figura 10: a. Imagen tomada en esquina de calles Mitre y Santa Fe, Resistencia - Chaco. b. Representación de los modelos a escala de los edificios en Sketchup 3D. ....	16
Figura 11: a. Imagen Calle M. T. de Alvear 375, Resistencia - Chaco. b. Representación de los modelos a escala de los edificios en Sketchup 3D.....	17
Figura 12: Impresoras 3D de la Universidad de Ingeniería de Mecánica de la UNNE. ....	18
Figura 13: Paredes de la fachada de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco....	19
Figura 14: Mesa de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco y su entorno urbano cercano. Prototipo de edificio principal desarrollado en impresora 3D y edificios del entorno próximo. ....	20

Figura 15: Primer plano del prototipo en 3D de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco. ....	20
Figura 16: Vista planta del prototipo 3D de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco con instrumentos de medición. ....	21
Figura 17: Perspectiva de modelo de Casa de Gobierno indicando tomas de presión en el Núcleo 2 del Edificio B. ....	22
Figura 18: Perspectivas del modelo de Casa de Gobierno indicando la distribución de los sensores Irwin en la azotea del Edificio B. ....	23
Figura 19: Fotografía del modelo a escala de la Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco con posicionamiento del tubo de Pitot-Prandtl 2 y el anemómetro de hilo caliente Dantec 56C. ....	24
Figura 20: Perfiles de velocidad media para las direcciones de viento de 60°, 90° y 120°. ....	27
Figura 21: Perfiles de intensidad de turbulencia del viento local. ....	27
Figura 22: Fotografía tomada sobre la azotea del Nuevo Banco del Chaco S.A. Zona noroeste disponible. Hora aproximada 10 de la mañana. ....	30
Figura 23: Azotea Nuevo Banco del Chaco S.A. Zona de equipos de refrigeración no disponible. Hora aproximada 10 de la mañana. ....	30
Figura 24: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 7 de la mañana con entorno cercano. ....	32
Figura 25: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 7 de la mañana. ....	32
Figura 26: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 12 de la mañana. ....	33
Figura 27: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 12 de la mañana. ....	33
Figura 28: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 16 de la tarde. ....	34
Figura 29: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 16 de la tarde. ....	34

Figura 30: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102.  
Vista isométrica, 19 de la tarde..... 35

Figura 31: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102.  
Vista superior, 19 de la tarde. .... 35

## Introducción

El informe final presenta las tareas desarrolladas para completar el plan de trabajo presentado al Consejo Federal de Inversiones (CFI), en el Contrato de Obra Exp. N° 164410001, titulado: “**Promoción y Fomento del Uso de Energía Eólica y Solar para Edificios Públicos en Entornos Urbanos**”.

El documento contiene, el relevamiento de las normativas y reglamentaciones nacionales y regionales, para el uso de tecnologías de generación de energía a partir de fuentes renovables y la acción del viento sobre las construcciones donde serán montadas.

Luego presenta la investigación y procesamiento de la información disponible sobre el recurso solar y eólico en la zona. Los mapas satelitales permitieron identificar algunos valores de potencia y fueron completados con datos históricos solicitados al Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Se describe información detallada de cómo se llevaron a cabo los estudios experimentales y el análisis de los resultados, para definir la localización óptima de las tecnologías renovables (paneles solares fotovoltaicos y térmicos, pequeña turbina de viento) sobre la azotea de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco, la azotea del edificio del Nuevo Banco del Chaco S.A. y la azotea del edificio de ANSES, UDAI.

A continuación se presenta de manera muy sintetizada, el consumo energético a cubrir con los generadores de energía a partir de fuentes renovables, los tipos de generadores, la importancia de las certificaciones, las garantías y los costos de los equipos, y finalmente como se hará la instalación y la administración de energía.

Al final, el Anexo de este documento contiene, los planos de planta y detalles de las propuestas sobre las azoteas de los tres edificios públicos estudiados en la ciudad de Resistencia, Chaco.

## Plan de tareas

El estudio de factibilidad del uso de tecnologías de generación de energía a partir de las fuentes solar y eólica en la Provincia del Chaco, se lleva adelante teniendo en cuenta factores y procedimientos sugeridos por el Nordic Folkecenter for Renewable Energy (1) en colaboración con asociaciones de diferentes países del mundo:

Los factores que se tendrán en cuenta para el desarrollo de este proyecto son:

- A. Permisos y regulaciones a nivel nacional y provincial para la implementación de tecnologías cuidadosas con el medio ambiente en entornos urbanos.
- B. Recurso solar y eólico en la ciudad de Resistencia, Chaco.

- C. Localización óptima de estas tecnologías en la azotea de tres edificios públicos<sup>1</sup> de la ciudad de Resistencia.
- D. Consumo energético que se desea cubrir.
- E. Tipos de tecnologías existentes.
- F. Tamaño de los equipos de generación.
- G. Certificaciones.
- H. Garantías.
- I. Costos.
- J. Instalación y administración de energía.

## **Desarrollo**

### **A. Permisos y regulaciones**

El punto más importante a analizar son los permisos y regulaciones existentes en el país y la región donde se desea implementar tecnologías renovables.

Mediante una búsqueda en bibliografía disponible sobre los permisos y regulaciones nacionales y regionales, se halla que el Ministerio de Energía y Minería de Presidencia de la Nación, a través de la Secretaría de Energía Eléctrica y la Subsecretaría de Energías Renovables, presenta dentro de la legislación vigente a:

La ley 27.191 sobre el “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación”.

Esta ley incluye modificaciones de:

- La ley 26.190 sobre el “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica”.
- La ley 25.019 sobre el “Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar”.

La ley 27.191 consta de IX Capítulos. En este trabajo se hace mención de los siguientes:

- Capítulo I, presenta en el artículo 2º inciso a) Las Fuentes de Energías Renovables; Donde se describen a aquellas que pueden ser aprovechadas en forma sustentable e incluye a la energía eólica, solar térmica y solar fotovoltaica, que son las que se pretenden montar en los 3 edificios públicos de la ciudad. En su artículo 9º establece los beneficios promocionales de los que gozarán los usuarios de energía eléctrica que incorporan el veinte por ciento (20%) del total del consumo propio de energía eléctrica, con energía proveniente de las fuentes renovables, al 31 de diciembre de 2025.

---

<sup>1</sup> Casa Gobierno Prov. Chaco, Edificio Anses, Edificio Nuevo Banco del Chaco S. A.



- Capítulo III, en su artículo 7º describe la creación del Fondo Fiduciario Público.

- Capítulo IX, en su artículo 21 invita a las provincias y a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a adherir a la presente ley y a dictar en sus respectivas jurisdicciones, su propia legislación destinada a promover la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.

La prensa también presenta una noticia muy importante en el año de la Energías Renovables. El 29 de noviembre del 2017, el Senado sancionó la ley de Generación Renovable Distribuida (2).

La ley consta de IX Capítulos. En su Capítulo I - “Disposiciones Generales”, describe en su Artículo 1º el objeto de la ley, que es fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores de servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de la provincia.

En su Artículo 2º, se declara de interés nacional la generación distribuida de energía eléctrica, a partir de fuentes de energías renovables, con destino al autoconsumo y a la inyección de eventuales excedentes de energía a la red de distribución.

En su Artículo 3º, se presentan las denominaciones, y describe a las Fuentes Renovables de la misma manera que la ley 27.191 mencionada más arriba en este informe.

En el Artículo 7º, expone que a partir de la sanción de esta ley, todo proyecto de construcción de edificios públicos nacionales deberá contemplar la utilización de algún sistema de generación distribuida a partir de fuentes renovables.

El Capítulo II – “Autorización de Conexión”, describe en el Artículo 8º como el usuario debe solicitar la inyección de excedentes de equipos certificados.

El Capítulo VI – “Beneficios Promocionales”, presenta los instrumentos, incentivos y beneficios a fin de promocionar esta iniciativa, y que serán implementadas a partir del Fondo Fiduciario para la Generación de Energías Distribuida (FODIS).

Estos y todos los Capítulos, más los Antecedentes de Proyectos de Ley se encuentran disponibles en la web.

En la provincia del Chaco, no se ha establecido el formato técnico de la bidireccionalidad de generación de energía, sin embargo, existen antecedentes en la provincia de Santa Fe que se toman como referencia para llevar adelante este proyecto.

La provincia de Santa Fe, es pionera en la implementación de políticas de estado que fomenta la generación y el uso de energía renovables, ha transitado un

largo proceso y comunica públicamente, los pasos a seguir para aquellos usuarios finales del servicio de energía eléctrica, que dispongan en su domicilio particular de equipamiento de generación de energía a partir de fuentes renovables (prosumidores).

Además de normativas de régimen y fomento de utilización de energías renovables, también es importante mencionar al Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI (CIRSOC).

El Reglamento 102 de CIRSOC – “Acción del Viento sobre las Construcciones”, tiene por objeto determinar los procedimientos y los medios para obtener los valores de las acciones producidas por el viento sobre las construcciones o sus diferentes partes.

El Reglamento 102, se sigue para el desarrollo de las medidas experimentales que se llevan a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).

Las medidas experimentales permitirán predecir las acciones del viento sobre uno de los edificios donde se montarán las tecnologías alternativas. Se ampliará esta información en la descripción de la tarea “**C. Localización**” de este informe.

## **B. Recurso solar y eólico**

Conocer el recurso solar y eólico en la zona es un factor clave que justifica la implementación de las tecnologías propuestas.

El Ministerio de Energía y Minería – Presidencia de la Nación, a través de la Secretaría de Energía Eléctrica y la Subsecretaría de Energías Renovables, facilita mediante la web una sección de mapas.

Para este proyecto fue necesario analizar los mapas de Irradiancia Solar Directa (DNI) e Irradiancia Global Horizontal (GHI), y los mapas de velocidad de viento.

### **B.1. Recurso solar**

Los datos presentados en los mapas de DNI y GHI del National Renewable Energy Laboratory (NREL), representan las estimaciones de modelos de radiación total promedio mensual, utilizando insumos derivados de satélites y observaciones de la cubierta de nubes, aerosoles, vapor de agua, albedo, la presión atmosférica y el ozono, en una resolución de 40 kilómetros sobre la superficie terrestre.

El mapa que presenta la distribución de Irradiancia Normal Directa (DNI) indica que Resistencia se encuentra en el rango de 3.5 – 4.0 kWh/m<sup>2</sup> por día. Y el mapa que presenta la distribución de irradiancia horizontal global (GHI) indica a Resistencia en el rango 5.5 – 6.0 kWh/m<sup>2</sup> por día.

Los colectores solares de placa plana fotovoltaica, sistemas de calefacción solar de agua caliente, etc. pueden utilizar toda la radiación que llega al colector solar, esta incluye la radiación directa, la difusa y componentes reflejados por superficies reflectantes.

El International Renewable Energy Agency (IRENA) presenta también la distribución de Irradiancia Global Horizontal (GHI) e indica a Resistencia en un rango de 5 a 6 kWh/m<sup>2</sup> por día.

La consulta en diferentes fuentes de datos asegura fiabilidad a los valores mencionados en este informe.

## **B.2. Recurso eólico**

El Atlas Global de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), presenta el mapa de velocidad de viento promedio global con una resolución espacial de 1 km. El Atlas completo contiene datos con una resolución espacial mayor de 250 m, proporcionados por el Departamento de Energía Eólica (DTU Wind Energy) de la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU), que utiliza los modelos más recientes y metodologías científicamente validadas. En este mapa se observa que la velocidad promedio a una distancia de 200 m de altura sobre la superficie terrestre de la ciudad de Resistencia, es de aproximadamente 8 m/s.

Para este proyecto se requieren medidas de velocidad promedio más cercanas a la superficie terrestre. Para ello se llevó a cabo un relevamiento de datos históricos de velocidades de viento, dirección de viento y periodicidad de ráfagas en la ciudad de Resistencia, Chaco, tomadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El SMN realiza medidas en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia (coordenadas: 27°26'59"S 59°03'22"O) a alturas de 10 m de la superficie y un área de despeje suficiente para evitar errores en la lectura por efectos de bloqueo.

El SMN ha proporcionado datos históricos de las velocidades y dirección del viento de la zona, y se cuenta con un dato promedio en forma horaria durante todo el día y de cada día, desde el 1 de enero del 2012 al 31 de diciembre del 2016.

Por otra parte, el Laboratório de Aerodinâmica das Construções, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, lleva a cabo el estudio de los datos históricos sobre vientos en aeropuertos de ciudades de Sudamérica. El grupo de investigación ha facilitado los datos tomados durante los últimos veinte años en el aeropuerto de Resistencia - Chaco y el análisis que se ha hecho de los mismos.

Los análisis se centran en identificar valores significativos y descartar aquellos que fueron mal registrados (ej. debido a fallas en señal de adquisición de datos) haciendo uso de herramientas computacionales.

Las publicaciones llevadas a cabo en esta universidad (3) y los datos facilitados por el SMN, permiten definir las velocidades de viento promedio anuales y las velocidades promedio mínima y máxima. También es posible conocer la dirección

promedio anual predominante, imprescindibles para la selección del modelo de turbina eólica y para definir su localización.

En este informe se presenta parte del tratamiento de datos realizado. A continuación se muestran gráficos que permiten una visualización más reducida de los datos promedios de interés.

La **Figura 1** muestra la potencia anual que podría haber generado durante el 2012, en el aeropuerto de Resistencia - Chaco, una turbina de viento pequeña que comienza a generar energía a partir de velocidades de viento de 2.5 m/s.

La gráfica indica que en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia, se habría producido potencia aproximadamente la mitad del año, con una mínima potencia anual de aproximadamente 109 kWh y una máxima de aproximadamente 5023 kWh.

Es importante resaltar, que en los aeropuertos, la rugosidad de la superficie terrestre es muy baja, esto indica que ejerce poca influencia sobre los vientos de la zona. En entornos construidos, como el centro de la ciudad de Resistencia, la superficie terrestre ejerce mayor influencia sobre las velocidades de viento, esto es, los obstáculos en la ciudad ralentizan los vientos y por tanto, la **Figura 1** presentada, no es representativa de la potencia de esta turbina en la ciudad. Se sugiere realizar mediciones de las características del viento en la zona de interés, ya que deben estar bien cuantificadas para predecir con precisión la viabilidad económica y los rendimientos de potencia de la turbina eólica propuesta.

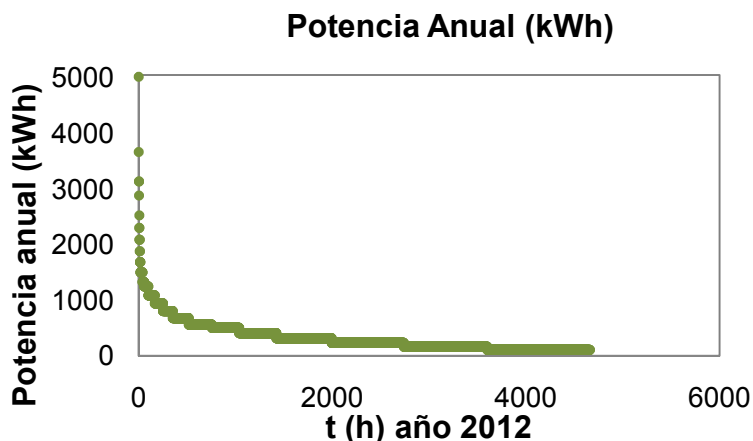


Figura 1: Potencia anual en kWh vs horas del día - año 2012, en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia - Chaco, de una pequeña turbina de viento que comienza a producir energía a partir de velocidades de viento de 2.5 m/s.

La **Figura 2** presenta la potencia anual en kWh versus horas del día a lo largo del año 2016 en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia - Chaco, que generaría la misma turbina de viento pequeña.

La gráfica del año 2016 indica que se produciría energía aproximadamente el 55 % de las horas en el año, con un mínima de aproximadamente 84 kWh y una máxima de aproximadamente 3220 kWh.

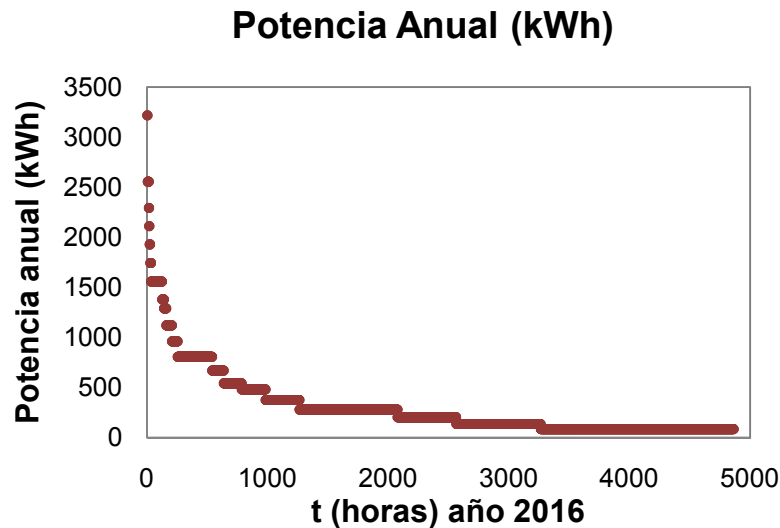


Figura 2: Potencia anual en kWh vs horas del día del año 2016 en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia - Chaco, de una pequeña turbina de viento que comienza a producir energía a partir de velocidades de viento de 2.5 m/s.

A partir de los datos del SMN también fue posible conocer la velocidad promedio anual de la zona y las velocidades promedio máximas.

Empleando teoría de probabilidad, es posible decir con bastante aproximación, que la velocidad de viento promedio anual en la zona es de 2.5 m/s y que las velocidades promedio máximas alcanzadas durante un día son de 4 m/s.

Se presentan, por otra parte, las direcciones de viento en ángulos geométricos y expresados en grados (°).

Se considera: 0° a los vientos provenientes del Norte (N); 0° a 90° a los vientos del Noreste (NE); 90° a los vientos del Este (E); 90° a 180° a los vientos del Sureste (SE); 180° a los vientos del Sur (S); 180° a 270° a los vientos del Suroeste (SO); de 270° a 360° a los vientos del Noroeste (NO).

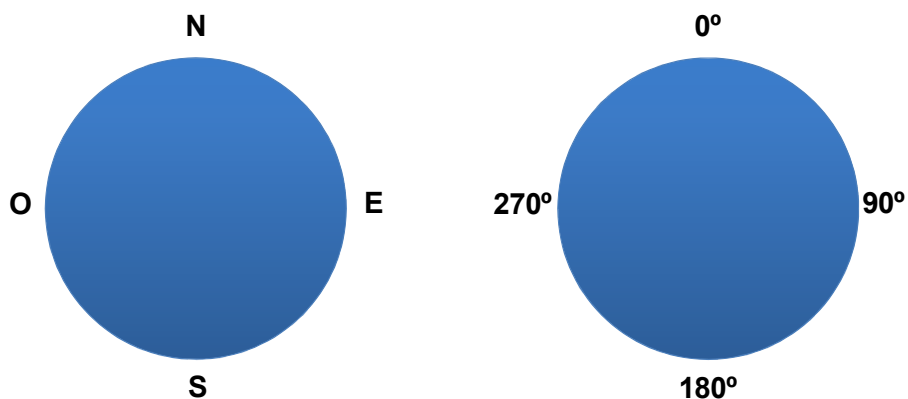


Figura 3: Direcciones de viento y su posición en ángulo geométrico expresados en grados (°) alrededor de un arco de circunferencia.

La **Figura 4** presenta las contribuciones en porcentaje de cada dirección de viento en Resistencia – Chaco, a lo largo de cada hora del día durante el 2016.

Con un porcentaje de 25 % se puede decir que los vientos que provienen del SE fueron los predominantes en la zona durante el 2016. Los vientos del NE han predominado en un 19 %.

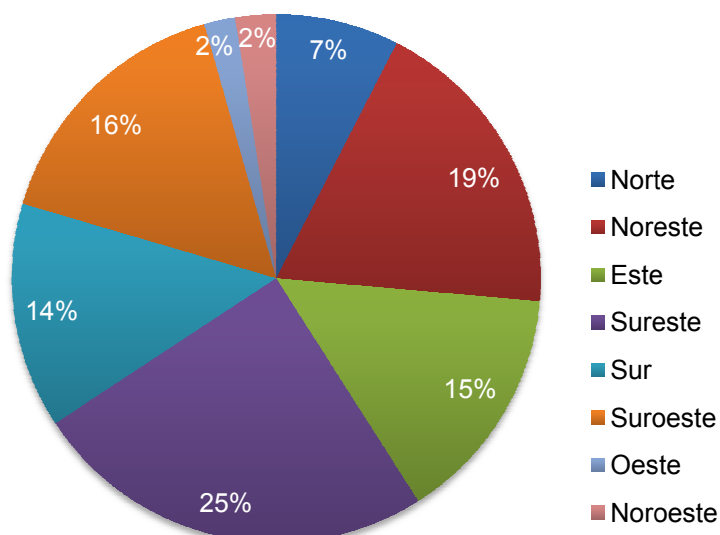


Figura 4: Contribución de cada dirección de viento en Resistencia - Chaco a lo largo de todas las horas del año 2016.

Por otra parte, se muestra como ha variado la velocidad de viento en (m/s) en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia – Chaco, a lo largo de cada mes de los 5 años analizados (datos proporcionados por el SMN).

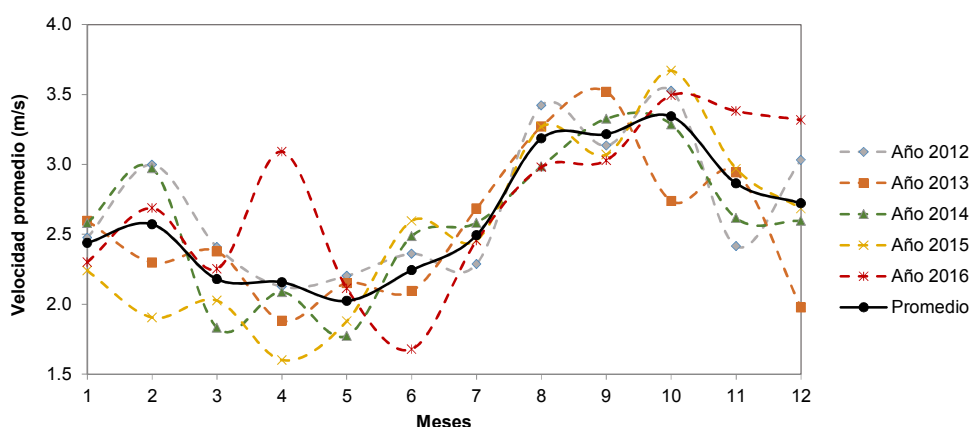


Figura 5: Variación mensual de la velocidad media del viento en el aeropuerto de la ciudad de Resistencia- Chaco.

Aunque la variación de la velocidad media mensual del viento puede variar ligeramente de un año a otro, se puede observar claramente que la velocidad media

del viento asciende de 2.5 m/s, en los 7 primeros meses del año, a 3.20 m/s los meses del 8 al 10, esto es de septiembre a octubre, y desciende nuevamente los meses de noviembre y diciembre.

El análisis de la gráfica, no permite representar los valores de velocidad de viento alcanzada por las ráfagas. En la zona, se presentan ráfagas de viento de velocidades de hasta 40 m/s. La mayoría es de corta duración, aunque hay otras que pueden sostenerse en el tiempo. La contribución que hacen estas ráfagas a la potencia anual que pueda generar la turbina es muy significativa. Por tanto, cuantificar estas velocidades, mediante medidas con instrumental de medida específico y de alta precisión en donde se pretende localizar la turbina, es de gran importancia.

Se mencionan también en este informe, las observaciones que se llevaron a cabo en el Laboratório de Aerodinâmica das Construções, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a través de un trabajo de investigación que está realizándose sobre las direcciones de viento predominantes en el Aeropuerto de la ciudad de Resistencia durante aproximadamente 20 años. Este análisis permite validar las observaciones ya señaladas.

Las conclusiones que se obtienen del análisis realizado por el Laboratório de Aerodinâmica das Construções, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, son:

- Los vientos de bajas velocidades ( $\geq 0$  m/s) provienen principalmente del Noreste (NE) y Sureste (SE).
- Los vientos de velocidades medias bajas ( $\geq 5$  m/s) provienen principalmente del Sureste (SE).
- Los vientos de velocidades medias altas ( $\geq 10$  m/s) provienen principalmente del Suroeste (SO).
- Los vientos de altas velocidades ( $\geq 15$  m/s) provienen principalmente del Sur (S) y del Suroeste (SO).

### **C. Localización**

El posicionamiento de la turbina y de los paneles solares es muy importante, porque determinará el buen desempeño y rendimiento de los equipos.

Para definir la localización óptima es necesario conocer los recursos eólicos y solares. También es importante considerar los obstáculos, tales como las edificaciones y árboles que se encuentran en el entorno próximo donde se posicionarán las tecnologías y planificar sobre las obstrucciones futuras, tales como nuevos edificios o árboles que no han alcanzado su altura máxima. Por otro lado, es preciso disponer de suficiente espacio para circular, subir, bajar y realizar mantenimiento de los equipos.

El estudio de localización debe realizarse en las azoteas de tres edificios públicos de la ciudad de Resistencia – Chaco.

## C.1. Proyecto Azotea de Casa de Gobierno

Se ha iniciado el trabajo de determinación de localización óptima, tanto de la pequeña turbina eólica, como los paneles solares fotovoltaicos y térmicos, en la azotea de la Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.

La tarea principal ha sido el diseño y construcción de un modelo a escala de la Casa de Gobierno y su entorno próximo para estudiar en el túnel de viento de capa límite de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).

Un túnel de viento, es una herramienta experimental en ingeniería, desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos. Con esta herramienta se simulan las condiciones que experimentará el objeto en la atmósfera real.

El análisis en este equipo experimental, permite predecir el comportamiento del aire alrededor de la Casa de Gobierno y definir de manera aproximada el posicionamiento óptimo de una pequeña turbina de viento para entornos urbanos, y la influencia de los vientos sobre la zona de la azotea donde se ha establecido montar una galería de paneles solares fotovoltaicos. Ambas tecnologías generarán energía para abastecer parte del consumo de energía eléctrica de la Casa de Gobierno de la Provincia.

A continuación se describe de manera más detallada, como se está completando el punto 1. Proyecto Azotea Casa de Gobierno perteneciente al PLAN DE TAREAS del ANEXO I – PLAN DE TRABAJOS del Contrato de Obra Exp N° 164410001 Hoja N° 8.

Para llevar adelante esta tarea fue necesaria:

1. Reconocer las áreas disponibles para el montaje de las tecnologías renovables.
2. Solicitar y adquirir los planos detallados de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco a través de la Subsecretaría de Energía, perteneciente al Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia.
3. Analizar los planos en forma conjunta con el equipo de trabajo del túnel de viento de la Facultad de Ingeniería de la UNNE y la Arquitecta Evelyn G. Tourn, colaboradora en este Contrato de Obra.

Una vez realizado el reconocimiento de las áreas y el análisis de los planos históricos adquiridos, se presenta la necesidad de un relevamiento de medidas.

El *Plano N° 3: Planta Azotea y Planta Techo - Edificio B de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco*, y el *Plano N°4: Detalle y Zonificación – Edificio B de la Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco*, adjuntos en el Anexo de este documento, fueron desarrollados con las medidas del relevamiento.

En *Planta Azotea y Planta Techo - Edificio B de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco*, se analiza y se muestra un sistema estructural resuelto por medio de entramados de elementos resistentes lineales (verticales y horizontales -



vigas y columnas), vinculados entre sí por nudos rígidos (continuidad estructural), los cuales a su vez se combinan para dar mayor rigidez al edificio con 2 núcleos rígidos, ubicados en ambos extremos del edificio, y que contienen las cajas de ascensores y escaleras.

Esta combinación estructural actúa en acción conjunta transmitiendo la redistribución de las cargas horizontales entre los pórticos y los núcleos rígidos verticales, lo que permite reducir el corrimiento horizontal.

En la *Planta Techo* (Plano N° 3) se indica como “Núcleo 1”, al ubicado en el extremo suroeste del edificio, y “Núcleo 2”, en el extremo noreste del edificio.

Basándonos en los vientos predominantes, escogemos el núcleo rígido indicado como “Núcleo 1”, como el más apropiado para el posicionamiento de la turbina de viento.

Se realizó una zonificación del “Núcleo 1”, para poder apreciar la ubicación de la estructura resistente, donde se indica con un sobrado la zona de sala de máquinas y con otro sombreado la correspondiente al tanque de reserva, detallando el peso de carga que resiste en cada sector la estructura.

A través de este análisis de cargas y de resistencias, teniendo en cuenta la estructura existente indicada en la planta de techo (circulo), se define el posicionamiento de la turbina de viento en la torre estructural detallada en vista (detalle 1).

Luego de realizar las tareas mencionadas se define el diseño del modelo a escala de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco y su entorno cercano circundante para ser simulado en el túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE.

El túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE (**Figura 6 y Figura 7**), es un túnel de capa límite de circuito abierto, también denominado tipo Eiffel. La longitud total del túnel es de 39.65 m. La cámara de ensayos tiene 2.4 m de ancho × 1.8 m de alto × 22.8 m de largo. Posee dos mesas de ensayos giratorias de 1.2 m de diámetro; una a 3.8 m del inicio de la cámara (mesa I), y la otra a 19.4 m (mesa II). Un ventilador axial de 2.25 m de diámetro accionado por un motor trifásico inductivo de 92 kW produce una velocidad máxima en vacío de 25 m/s en la mesa II. La regulación de la velocidad se hace a través de un regulador de caudal mecánico.

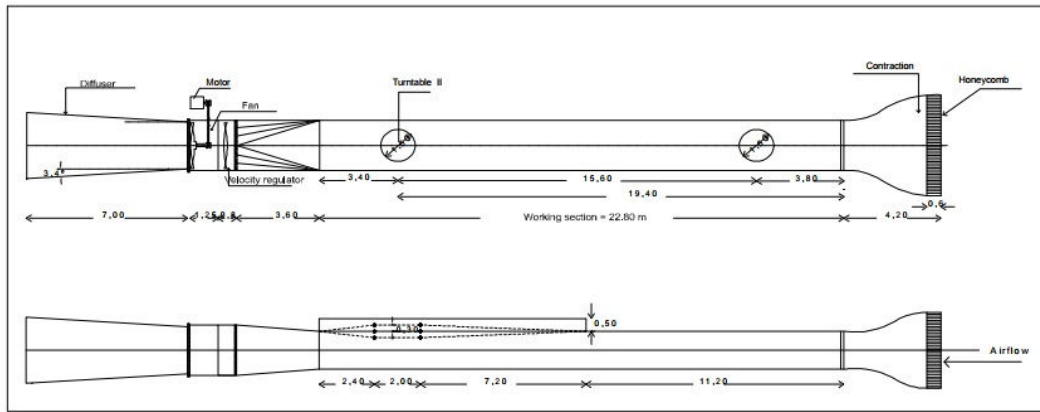


Figura 6: Planta y vista del túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE.



Figura 7: Túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE.

De acuerdo al “Catalogue of Small Wind Turbines” (1) la turbina debe ubicarse 10 m por encima de todos los obstáculos dentro de un radio horizontal de 100 m.

Con base en esta bibliografía se ha definido la construcción de un modelo a escala reducida de la Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco, con su entorno urbano de hasta un radio horizontal de aproximadamente 300 m con punto de origen en el centro de la azotea del “Edificio B” (ver **Figura 8** y *Plano n° 1* del Anexo).



Figura 8: Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco y el entorno urbano que se encuentra dentro de la circunferencia definida. Punto de origen de la circunferencia, centro de la azotea.

En la **Figura 8** se encuentran numerados los edificios del entorno próximo que se han construido para el modelado. A continuación se los lista e indica su localización y altura estimada.

1. Hotel Niyat. Hipólito Yrigoyen 83. Altura aproximada: 28 m.
2. Edif. Hipólito Yrigoyen 99. Altura aproximada: 24 m.
3. Correo Argentino. Av. Sarmiento 100. Altura aproximada: 12 m.
4. Edif. Av. Sarmiento 135. Altura aproximada: 33 m.
5. Casa de las Culturas. Mitre 119. Altura aproximada: 12 m.
6. Edif. Altos Mitre. Mitre 166. Altura aproximada: 45 m.
7. Edif. Mitre 234. Altura aproximada: 42 m.
8. Edif. Mitre y Santa Fe. Altura aproximada: 54 m.
9. Edif. Quain. Julio A. Roca 145. Altura aproximada: 24 m.
10. Edif. Julio A. Roca 195. Altura aproximada: 15 m.
11. Edif. Vedia 69. Altura aproximada: 18 m.
12. Edif. OSDE. Pueyrredón 152. Altura aproximada: 24 m.
13. Edif. ANSES. M. T. de Alvear 240. Altura aproximada: 42 m.
14. Edif. San Martín. Remedios de Escalada 87. Altura aproximada: 42 m.
15. Edif. Vedia 69. Altura aproximada: 18 m.
16. Edif. OSDE. Pueyrredón 152. Altura aproximada: 24 m.
17. Edif. ANSES. M. T. de Alvear 240. Altura aproximada: 42 m.
18. Edif. San Martín. Remedios de Escalada 87. Altura aproximada: 42 m.
19. Edif. San Martín. M. T. de Alvear 335. Altura aproximada: 75 m.

De manera simultánea, interesa conocer las acciones del viento que se pueden desarrollar sobre los paneles solares que se desean instalar. El Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones, CIRSOC 102 (4), especifica coeficientes de carga aplicables a estructuras de formas regulares y de pequeño porte.

Con base en este reglamento, se definieron los puntos de medidas de presión en el modelo a escala. Estos puntos de muestreo permiten definir velocidades a nivel de superficie y calcular los coeficientes aerodinámicos de carga y prever las acciones del viento que se pueden desarrollar sobre los paneles solares.

El túnel de viento de la UNNE simula la capa límite atmosférica, esto es, reproduce el perfil de velocidades medias y las características turbulentas del flujo atmosférico y hace posible la comparación de resultados de las mediciones sobre el edificio en escala natural y el modelo del edificio en escala experimental. Más detalle sobre la técnica de simulación de la capa límite se encuentra en el informe previo presentado por el laboratorio de aerodinámica de la UNNE titulado: "Estudio aerodinámico del edificio y entorno urbano próximo mediante ensayos en túnel de viento Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco".

Para el diseño y construcción del modelo a escala se tomaron medidas adicionales y se verificaron las alturas y cercanías de los edificios circundantes.

Todos los edificios se han visitado y fotografiado para verificar su altura aproximada y el avance de obra actual.

Se adjunta una galería de imágenes de parte de los edificios que se han diseñado para el modelo experimental, y que se han construido a escala.

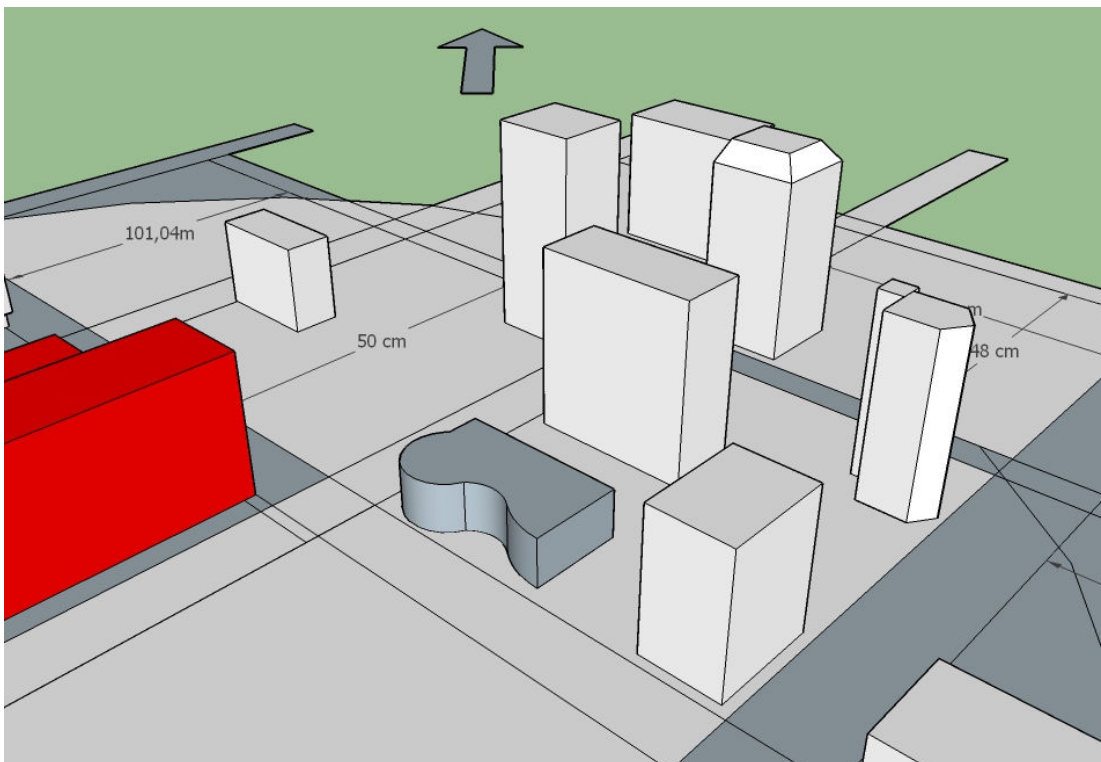
Las imágenes son propias y los diseños se han realizado en Sketchup, un programa (software) de modelado en 3D. Las figuras obtenidas en el software, contienen las geometrías de los edificios del entorno urbano bajo estudio.

El programa de modelado permite llevar a cabo la construcción del edificio principal, Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco, y los edificios que se encuentran en distintos puntos dentro del entorno cercano o de influencia eólica.

### C.1.1. Imágenes



a.



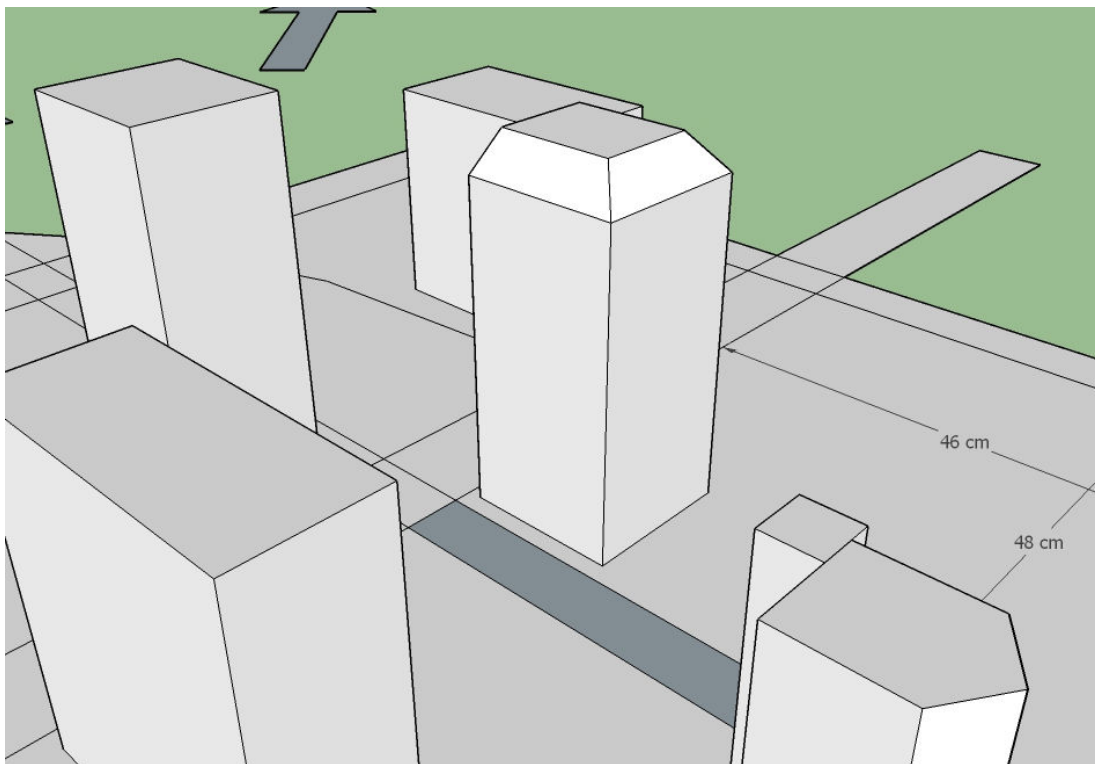
b.

Figura 9: a. Imagen tomada en esquina de calles Mitre y M.T. de Alvear, Resistencia - Chaco.  
b. Representación de los modelos a escala de los edificios en Sketchup 3D.





**a.**

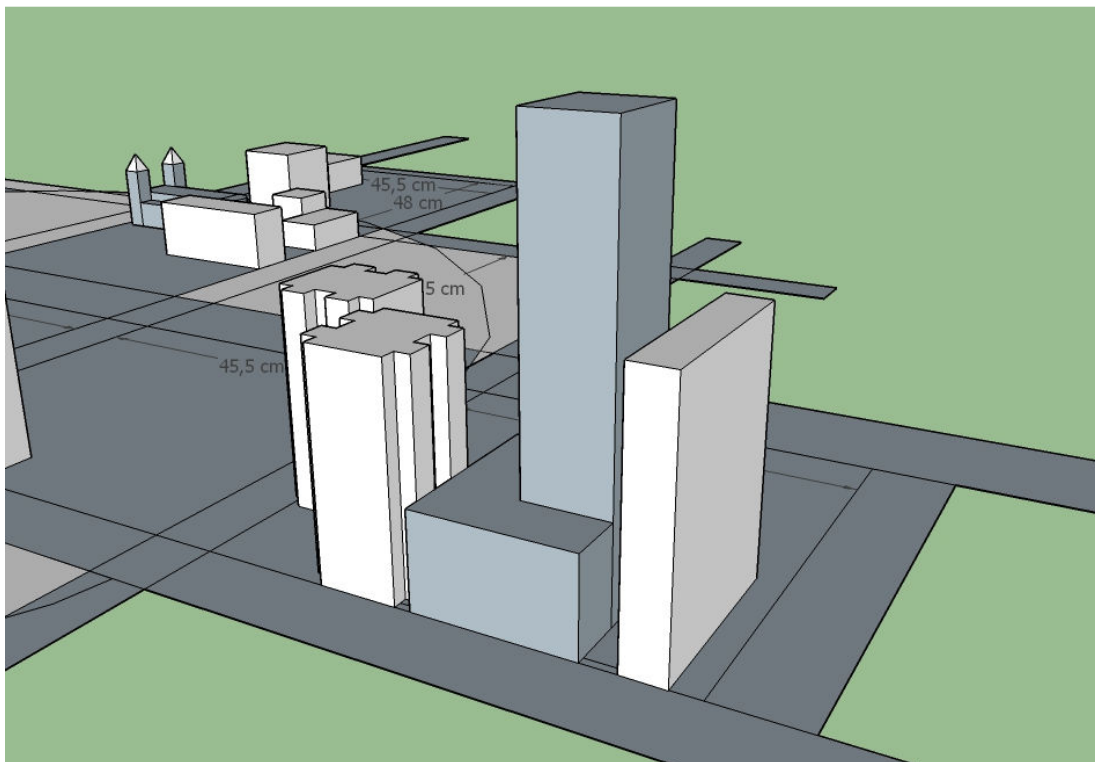


**b.**

Figura 10: **a.** Imagen tomada en esquina de calles Mitre y Santa Fe, Resistencia - Chaco.  
**b.** Representación de los modelos a escala de los edificios en Sketchup 3D.



**a.**



**b.**

Figura 11: **a.** Imagen Calle M. T. de Alvear 375, Resistencia - Chaco. **b.** Representación de los modelos a escala de los edificios en Sketchup 3D.

### C.1.2. Descripción del modelo a escala

El modelo del edificio principal, Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco, se ha diseñado y construido en dos etapas:

La primera etapa se desarrolla en el taller de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNNE, donde se cuenta con impresoras 3D, ver **Figura 12**.

La impresión 3D ha permitido materializar el modelo de diseño computacional (CAD) a través de una pieza impresa con material plástico como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) (el más utilizado en impresión 3D), el cual se aporta como filamento a través de un pico extrusor que a alta temperatura y moviéndose con ayuda de un sistema de control numérico (CNC), deposita capas de material de manera gradual (aditiva).

El taller es dirigido por un grupo de trabajo que, recibe los diseños en CAD y los convierte al formato requerido, para luego disponerlos en la impresora. Seguidamente se calibran las impresoras y se programan para llevar a cabo un trabajo continuo.



Figura 12: Impresoras 3D de la Universidad de Ingeniería de Mecánica de la UNNE.

La **Figura 13** muestra las paredes que conforman el modelo a escala de la fachada de Casa de Gobierno. Mediante el proceso de fabricación de piezas por impresión 3D, se logra un diseño del edificio principal mas representativo, ya que se obtiene un modelo con geometrías complejas, más detallado y más preciso.



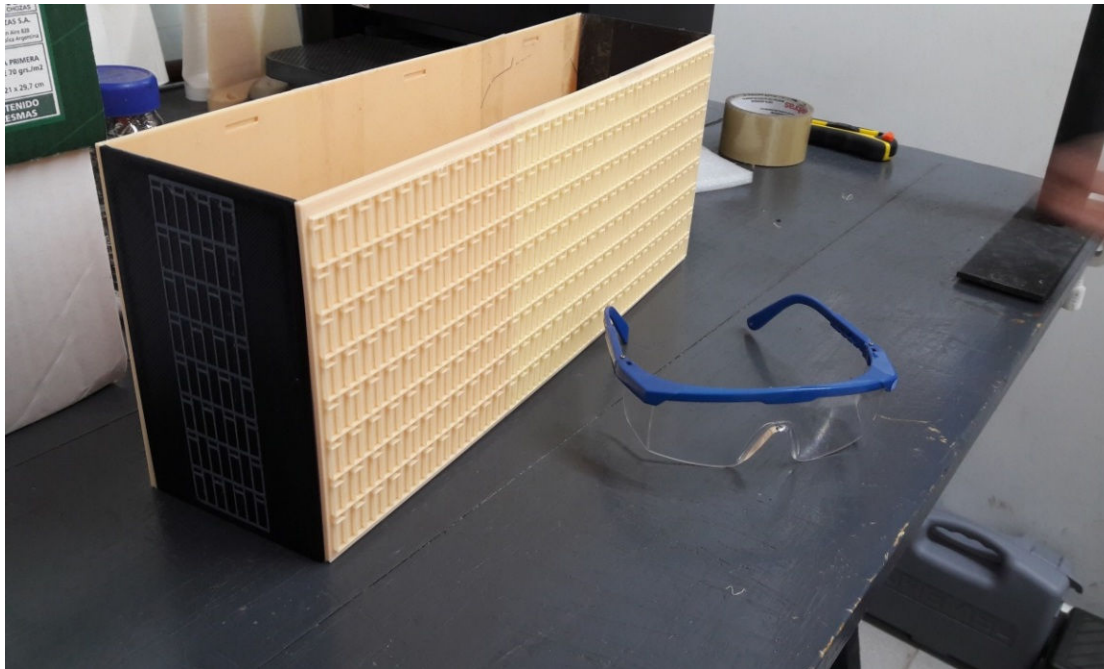


Figura 13: Paredes de la fachada de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.

La segunda etapa se lleva adelante en el taller del túnel de viento de capa límite de la Facultad de Ingeniería de la UNNE. Allí se construyeron las piezas de madera internas del edificio principal. Las piezas se fabricaron con dimensiones muy precisas que permiten soportar las paredes diseñadas en 3D y garantizar que el modelo completo pueda montarse sobre la mesa de ensayo del túnel, es decir, que sea capaz de resistir las velocidades de viento y turbulencias a las que es sometido durante el desarrollo de medidas experimentales.

Los modelos de edificios del entorno cercano, se fabrican también en el taller de la UNNE. Algunos de los modelos son de volumen completo en madera, y otros se construyen por piezas en contrachapado fenólico de alta densidad.

La **Figura 14** presenta la mesada de madera montada en el túnel de viento el día miércoles 27 de diciembre del 2017. En la imagen puede verse el modelo del edificio principal logrado con impresora 3D, y los edificios que se encuentran en el entorno próximo e influyen en la circulación del viento en la zona urbana.

El entorno próximo incluye los edificios altos dentro del radio definido para el estudio, con punto de origen en el centro de la azotea de la Casa de Gobierno.

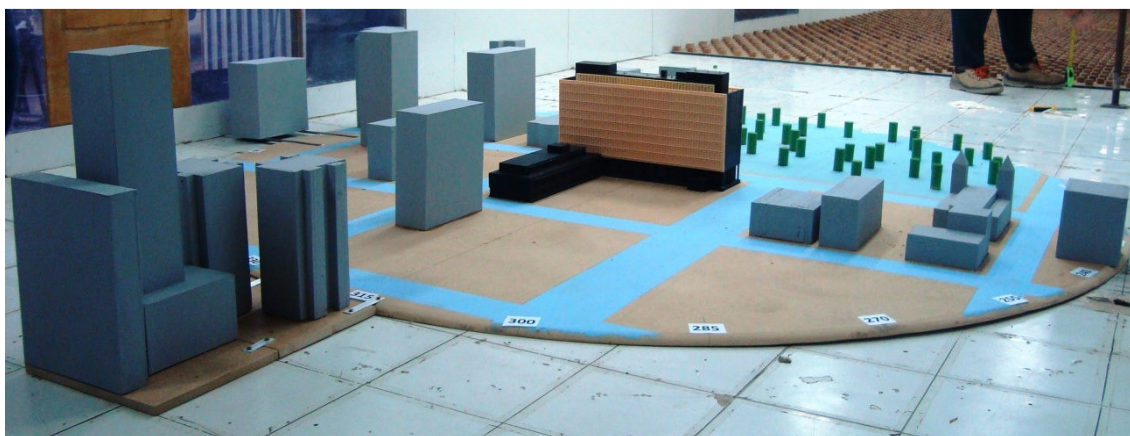


Figura 14: Mesa de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco y su entorno urbano cercano. Prototipo de edificio principal desarrollado en impresora 3D y edificios del entorno próximo.

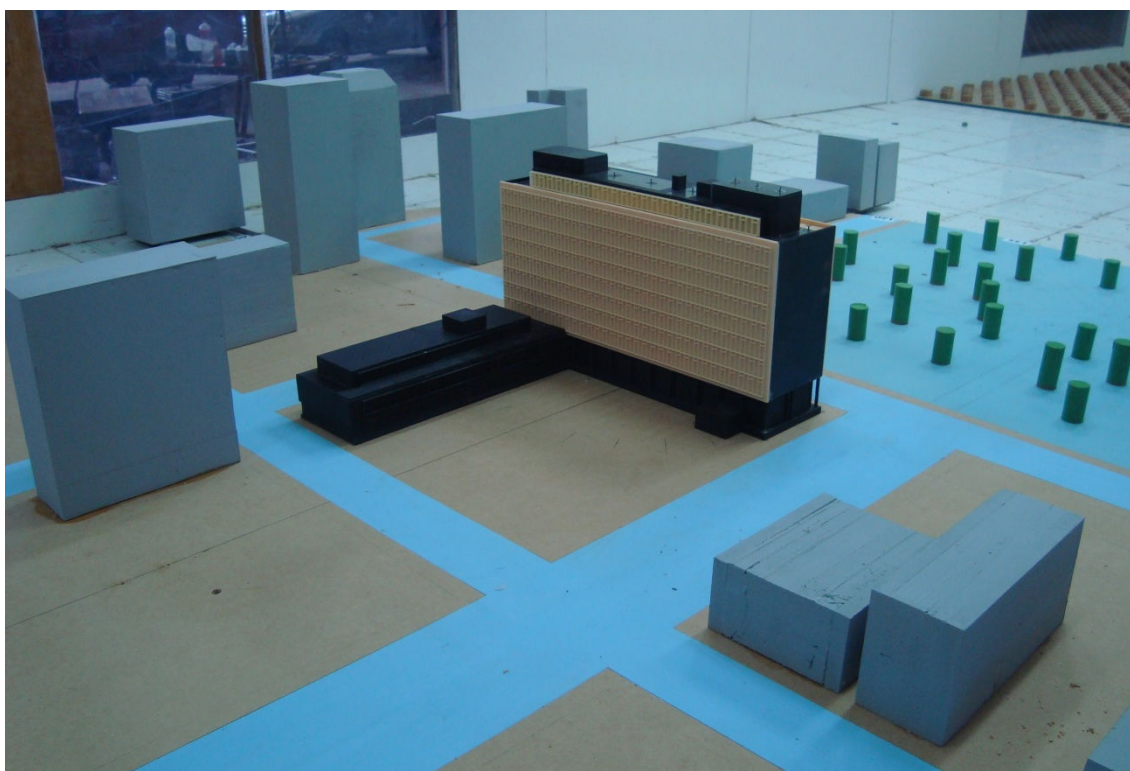


Figura 15: Primer plano del prototipo en 3D de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.

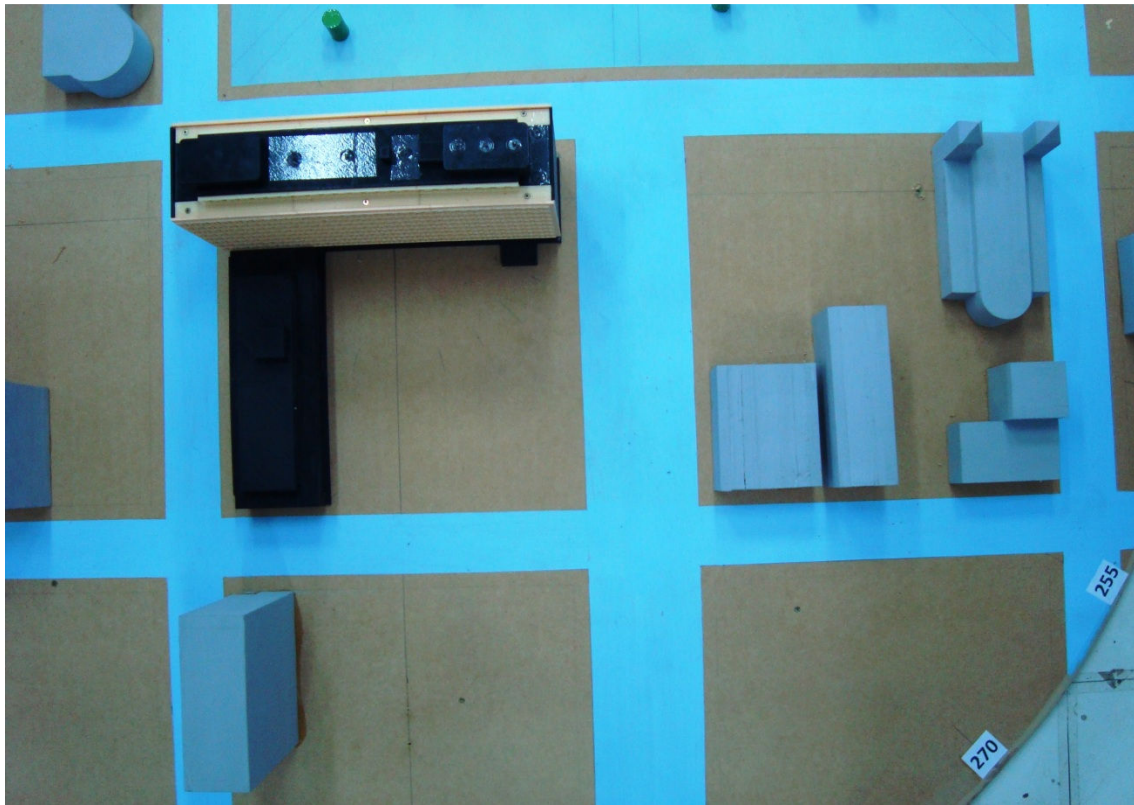


Figura 16: Vista planta del prototipo 3D de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco con instrumentos de medición.

### C.1.3. Descripción de ensayos experimentales en el túnel de viento

Los ensayos experimentales fueron realizados sobre el modelo a escala reducida donde se tuvieron en cuenta las condiciones reales de vecindad en torno a la estructura, las características medias y los parámetros de turbulencia del viento atmosférico correspondiente al terreno de emplazamiento de la estructura.

Las mediciones de las presiones estáticas, velocidades de viento medio en las proximidades de la terraza y perfiles de velocidad originada por el viento sobre el modelo se realizaron en la cámara de ensayos del túnel de viento, donde la velocidad máxima en vacío alcanza 25 m/s.

#### *Mediciones de las presiones estáticas*

Se midieron las presiones fluctuantes en 8 puntos sobre la superficie exterior en la parte superior del modelo reducido por medio de tomas de presión estática. Para medir las presiones instantáneas, se utilizó un sistema de medición Scanivalve de  $2 \times 64$  canales simultáneos. Los puntos de medición se indican en **Figura 17**. En cada punto de medición se obtuvo una muestra de 6000 valores de presión,



correspondientes a una duración de 20 segundos con una frecuencia de adquisición de 300 Hz.

Posteriormente se determinaron coeficientes de presión local correspondientes a las tomas de presión.

Los ensayos fueron realizados con viento incidiendo desde  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , a intervalos de  $15^\circ$ , es decir, 24 direcciones de viento (ver plano nº 2). Con estos datos, para cada dirección de viento analizada, se pueden obtener los coeficientes de carga de viento neto sobre los elementos estructurales de los paneles fotovoltaicos a ser emplazados en esa zona del edificio.

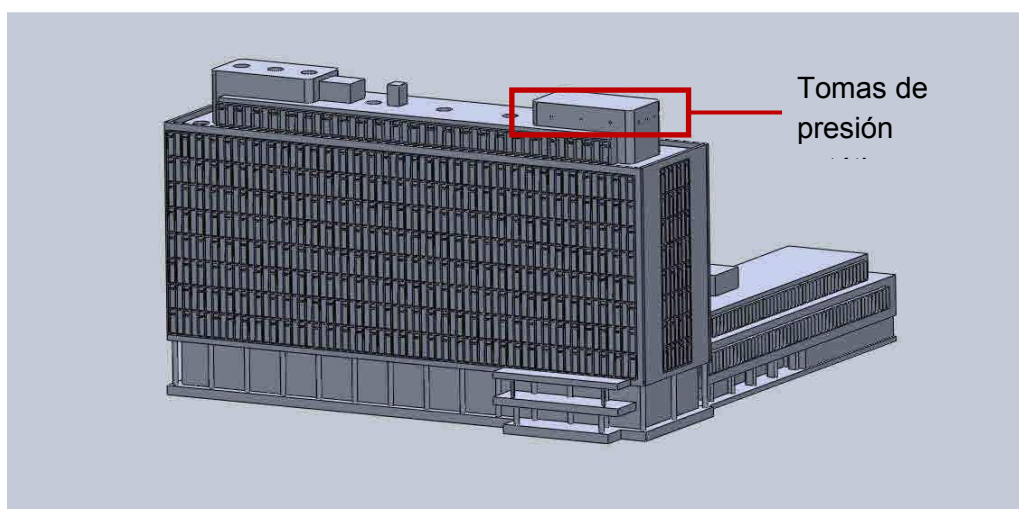


Figura 17: Perspectiva de modelo de Casa de Gobierno indicando tomas de presión en el Núcleo 2 del Edificio B.

#### *Velocidades de viento medio*

Para medir velocidades de viento medio a nivel de la superficie en la azotea del edificio, se utilizan sondas de presión omni-direccionales de tipo Irwin. La sonda o sensor posee dos tubos concéntricos que son la toma de presión “dinámica” y la toma de presión “estática”.

El sensor se monta en la superficie y el tubo interior sobresale una altura de entre 5 y 10 mm de acuerdo a la escala del modelo.

Las tomas, indicadas en la **Figura 18**, se conectan de forma diferencial a un transductor electrónico de presión. La calibración se realiza previamente en el mismo túnel de viento con diferentes velocidades medias y con flujo uniforme, usando como referencia el valor que se mide con un tubo de Pitot-Prandtl.

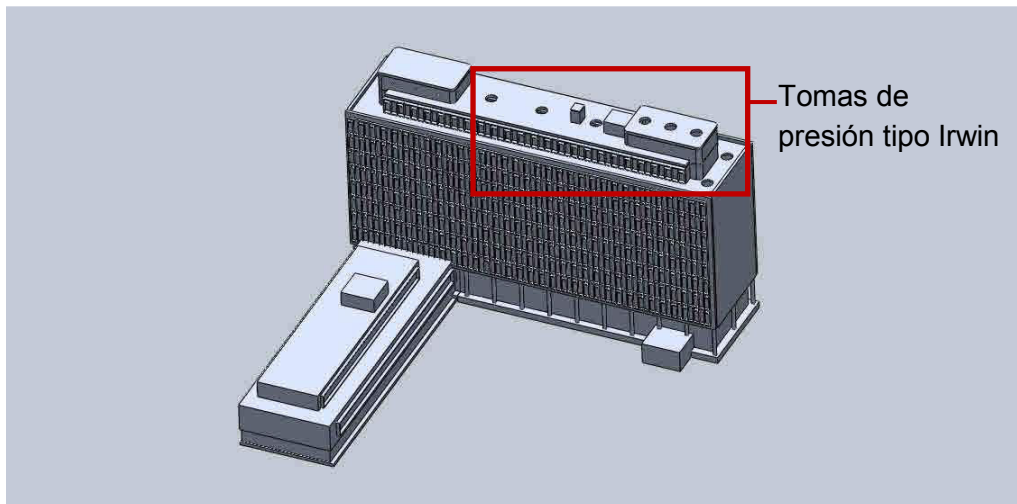


Figura 18: Perspectivas del modelo de Casa de Gobierno indicando la distribución de los sensores Irwin en la azotea del Edificio B.

### *Perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia*

El análisis de los perfiles de velocidades medias e intensidades de turbulencia, se llevaron a cabo en el “Núcleo 1”, debido a que en esta área se aprovecharían mejor los vientos predominantes que favorecen al buen desempeño del aerogenerador.

En este caso, las mediciones de las velocidades fluctuantes se realizaron con un anemómetro de hilo caliente Dantec 56C conectado a una PC a través de una placa de adquisición de datos Computer Board PCI-DAS 1602/16. Los registros de velocidad se obtuvieron con una frecuencia de adquisición de 2048 Hz y una duración de 64 segundos. Los datos obtenidos se procesaron con un software desarrollado en el laboratorio para determinar los perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia.

Estos ensayos se realizaron considerando solamente las tres direcciones de viento incidente que predominan en la región. La dirección noreste, este y sudeste.

Una vez obtenidos los resultados, deberá ser analizada su influencia en términos del potencial eólico.

En todos los ensayos se registraron las velocidades del escurrimiento medio en condición no perturbada (a barlovento del modelo para evitar interferencias) a la altura de referencia, equivalente a la altura máxima del modelo de la Casa de Gobierno, utilizando un tubo de Pitot-Prandtl 2. Esto permite obtener la presión dinámica de referencia “ $q_z$ ”, en forma simultánea se realizaron las mediciones de las presiones fluctuantes sobre el modelo. La presión estática no perturbada se obtuvo del mismo tubo de Pitot-Prandtl 2. La **Figura 19** indica el posicionamiento inicial del anemómetro de hilo caliente Dantec 56C y el tubo de Pitot-Prandtl como sensor de medida de referencia.

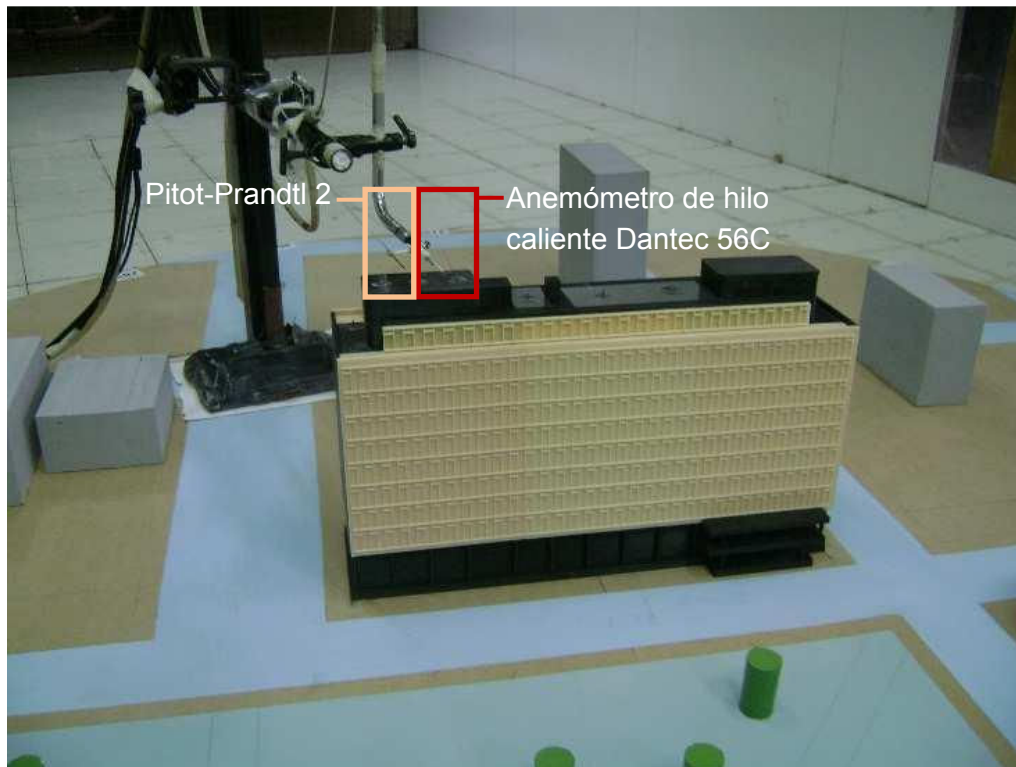


Figura 19: Fotografía del modelo a escala de la Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco con posicionamiento del tubo de Pitot-Prandtl 2 y el anemómetro de hilo caliente Dantec 56C.

#### C.1.4. Resultados obtenidos de los ensayos experimentales

##### *Resultados de las mediciones de las presiones estáticas*

La medición de las presiones fluctuantes, realizada en 8 puntos sobre el “Núcleo 2” (ver **tablas 1, 2 y 3**) por medio de tomas de presión estática, permite determinar los coeficientes de presión local correspondientes a las direcciones de viento incidente desde 0° (Norte) a 360°, cada 15°.

En las tablas 1, 2 y 3 se indican, a modo de ejemplo, los valores de presión media  $p_m$ , valor RMS de presión  $p_{RMS}$ , y los respectivos coeficientes de presión media  $C_{pm}$  y RMS  $C_{pRMS}$ , obtenidos mediante la presión dinámica  $q$ , para las direcciones de viento 0°, 45° y 90°, respectivamente. Los puntos de medición se indican a través de la numeración desde 17 a 24 que corresponde a las tomas de presión.

A su vez, estos coeficientes permitirán obtener los coeficientes de carga de viento neto sobre elementos estructurales de los paneles fotovoltaicos.

Tabla 1: Valores de presión, coeficientes y velocidades obtenidos para viento incidente a 0°.

<i>Toma</i>	$p_m [Pa]$	$p_{RMS} [Pa]$	$Cp_m$	$Cp_{RMS}$	$V_m [m/s]$	$q [Pa]$
17	-40.37	31.39	-0.20	0.17	18.93	207.11
18	25.09	40.16	0.13	0.34	18.79	204.00
19	92.66	54.65	0.47	0.24	18.68	201.70
20	21.10	52.03	0.11	0.34	18.70	201.95
21	-3.32	41.46	-0.02	0.28	18.68	201.49
22	-66.22	39.98	-0.33	0.31	18.75	203.11
23	-292.35	56.13	-1.46	0.24	18.76	203.39
24	-229.04	47.20	-1.15	0.22	18.69	201.74

Tabla 2: Valores de presión, coeficientes y velocidades obtenidos para viento incidente a 45°.

<i>Toma</i>	$p_m [Pa]$	$p_{RMS} [Pa]$	$Cp_m$	$Cp_{RMS}$	$V_m [m/s]$	$q [Pa]$
17	-89.76	21.23	-0.44	0.11	19.00	208.64
18	-93.38	24.23	-0.47	0.17	18.78	203.72
19	-121.15	32.46	-0.61	0.10	18.77	203.62
20	70.41	55.20	0.35	0.18	18.86	205.60
21	63.86	52.34	0.31	0.11	18.95	207.55
22	37.61	46.77	0.19	0.21	18.88	205.93
23	-159.26	40.02	-0.79	0.12	18.79	204.02
24	-115.81	31.32	-0.58	0.14	18.75	203.07

Tabla 3: Valores de presión, coeficientes y velocidades obtenidos para viento incidente a 90°.

<i>Toma</i>	$p_m [Pa]$	$p_{RMS} [Pa]$	$Cp_m$	$Cp_{RMS}$	$V_m [m/s]$	$q [Pa]$
17	-180.80	35.38	-0.89	0.15	18.90	205.51
18	-234.43	47.64	-1.16	0.29	18.91	205.80
19	-253.71	54.10	-1.23	0.22	19.12	210.29
20	-54.32	34.96	-0.27	0.30	18.97	207.01
21	-7.06	43.97	-0.03	0.24	19.00	207.73
22	18.42	57.23	0.09	0.34	18.75	202.34
23	103.39	52.36	0.51	0.17	19.02	208.08
24	73.30	45.51	0.36	0.23	19.04	208.53

### *Resultados de los ensayos de velocidades de viento medio*

Los valores de la diferencia de presión  $\Delta p$  que permitirán obtener las velocidades a nivel de la superficie en la terraza del edificio, fueron medidos utilizando las sondas de tipo Irwin montadas en la parte superior del modelo. Los sensores fueron ubicados en 8 posiciones sobre la terraza y se obtuvieron los valores correspondientes a las direcciones de viento incidente desde 0° (Norte) a 360°, cada 15°. En las tablas 4 a 6 se indican, a modo de ejemplo, los valores medidos para las direcciones de viento 0°, 45° y 90°, respectivamente.

Tabla 4: Valores de presión,  $\Delta p$  y velocidad obtenidos para viento incidente a 0°.

<i>Toma</i>	$p_m$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$V_m$ [m/s]	$q$ [Pa]
1	-145.61	s1	18.83	204.77
2	-99.20	46.40	18.79	204.07
3	-158.15	s2	18.71	202.24
4	-138.87	19.29	18.93	207.11
5	-238.27	s3	18.79	204.00
6	-186.71	51.56	18.68	201.70
7	-267.73	s4	18.70	201.95
8	-170.13	97.60	18.68	201.49
9	-240.96	s5	18.75	203.11
10	-190.16	50.80	18.76	203.39
11	-169.97	s6	18.69	201.74
12	-149.93	20.04	18.86	205.50
13	-193.30	s7	18.57	199.23
14	-170.49	22.82	18.83	204.77
15	-208.21	s8	18.79	204.07
16	-190.07	18.14	18.71	202.24

Tabla 5: Valores de presión,  $\Delta p$  y velocidad obtenidos para viento incidente a 45°.

<i>Toma</i>	$p_m$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$V_m$ [m/s]	$q$ [Pa]
1	-74.74	s1	18.56	201.75
2	-58.74	15.99	18.74	199.07
3	-75.55	s2	18.84	202.82
4	-69.51	6.04	19.00	205.09
5	-115.70	s3	18.78	208.64
6	-55.14	60.56	18.77	203.72
7	-118.40	s4	18.86	203.62
8	-56.34	62.06	18.95	205.60
9	-143.42	s5	18.88	207.55
10	-66.96	76.47	18.79	205.93
11	-75.27	s6	18.75	204.02
12	-50.55	24.72	18.60	203.07
13	-81.57	s7	18.69	199.80
14	-51.02	30.56	18.56	201.75
15	-89.69	s8	18.74	199.07
16	-79.26	10.42	18.84	202.82

Tabla 6: Valores de presión,  $\Delta p$  y velocidad obtenidos para viento incidente a 90°.

<i>Toma</i>	$p_m$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$V_m$ [m/s]	$q$ [Pa]
1	-147.08	s1	18.76	202.53
2	-97.88	-49.20	19.29	214.18
3	-143.60	s2	18.79	203.25
4	-114.34	29.26	18.90	205.51
5	-212.57	s3	18.91	205.80
6	-162.69	49.87	19.12	210.29
7	-229.96	s4	18.97	207.01
8	-129.76	100.20	19.00	207.73
9	-251.89	s5	18.75	202.34
10	-141.48	110.41	19.02	208.08
11	-186.40	s6	19.04	208.53
12	-125.13	61.27	18.82	203.80
13	-188.34	s7	18.62	199.46
14	-121.89	66.45	18.76	202.53
15	-214.58	s8	19.29	214.18
16	-159.71	54.87	18.79	203.25



### Resultados de los perfiles de velocidad media

La medición de los perfiles de velocidad media, permite determinar la configuración del flujo en proximidades de la superficie. En este caso, las tres direcciones de viento incidente analizadas corresponden a 60° (noreste), 90° (este) y 120° (sudeste), que se eligieron de acuerdo a los vientos predominantes en la ciudad de Resistencia.

En la siguiente figura, se presentan los perfiles de velocidad obtenidos para estas tres direcciones de viento que, al presentar configuraciones aerodinámicas distintas, muestran distribuciones verticales también diferentes entre sí. Con viento a 60° no se produce inversión del flujo medio, sin embargo, a medida que la orientación de la estructura edilicia respecto a la posición de medición toma preponderancia existen inversiones importantes.

De esta forma, a 90° se detecta la inversión en el punto inferior del perfil, mientras que para 120° la inversión se percibe en los cuatro puntos más próximos a la superficie.

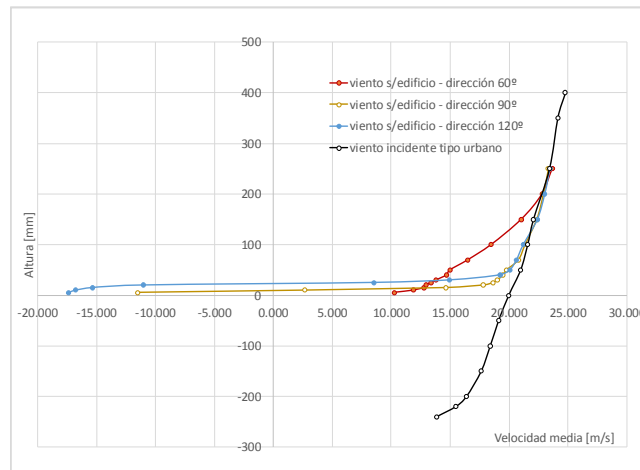


Figura 20: Perfiles de velocidad media para las direcciones de viento de 60°, 90° y 120°.

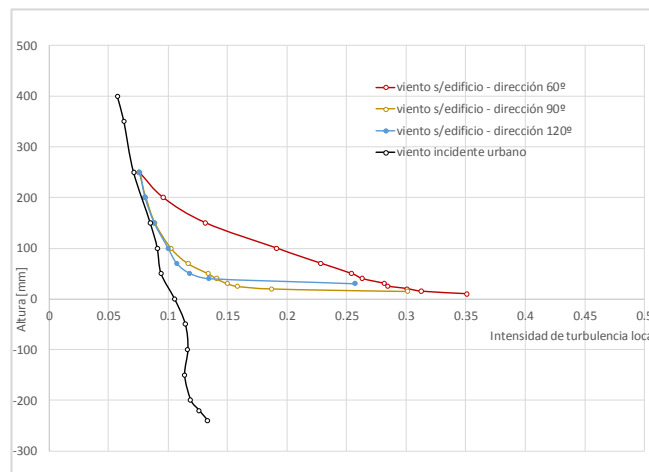


Figura 21: Perfiles de intensidad de turbulencia del viento local.

El perfil de velocidad media urbano presentado en la **Figura 20**, permite comparar el perfil de velocidad media del viento en el terreno sin construcciones. Se puede ver que para las 3 direcciones de viento incidente, las velocidades no aumentan sobre el edificio.

El perfil de intensidad de turbulencia local (**Figura 21**), medido en el terreno sin construcciones, presenta valores menores a 0.12 a partir del nivel que corresponde a la altura del edificio. Las intensidades de turbulencia que se midieron sobre el edificio disminuyen rápidamente para vientos a 90° y 120°, no obstante mantienen valores un poco más elevados para viento incidiendo a 60°, delimitando claramente para que direcciones las características del viento se vuelven más uniformes y más adecuadas para un rendimiento más constante de las pequeñas turbinas de viento.

#### C.1.5. Conclusiones sobre los resultados experimentales obtenidos en el túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE.

A partir de las mediciones de presiones locales en la zona norte del ala más alta del edificio, pueden determinarse los coeficientes aerodinámicos de carga, con el objeto de prever las acciones que se pueden desarrollar sobre las futuras estructuras de soporte de paneles solares fotovoltaicos, que se desean instalar también en la azotea. El Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones, CIRSOC 102 (4), especifica coeficientes de carga aplicables a estructuras de formas regulares y de pequeño porte.

Los valores medidos de vientos medios en las proximidades de la terraza con sonda de tipo Irwin, permiten analizar zonas de la terraza y direcciones de viento incidente para las que se producen aumentos de la velocidad medio respecto a los valores de referencia. Los resultados obtenidos admiten determinar el confort humano en la azotea según las direcciones de viento predominante. El confort humano permite conocer cuando es factible o no caminar sobre la azotea para realizar relevamiento de datos, o desarrollar tareas de mantenimiento, es decir, es un factor de seguridad necesario.

La configuración de los perfiles de velocidad media, indica las inversiones de flujos, zonas de disminución de velocidad y niveles de turbulencia que se producen en la parte superior del edificio. Los resultados muestran que por encima de los 50 mm, esto es 10 m en escala real, el perfil de velocidades medias no presenta inversiones, y que el perfil de velocidades se vuelve uniforme. Esto define la altura de la torre de la turbina, indispensable para garantizar su posicionamiento y lograr un rendimiento óptimo.

## C.2. Anteproyecto Azotea de Nuevo Banco del Chaco S.A.

En la segunda etapa del Proyecto, se ha completado el punto 3. Anteproyecto en Azotea del Nuevo Banco del Chaco.

En esta etapa, la información de velocidades y dirección de viento, serán utilizadas para; (A) Cálculos civiles sobre las estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos; (B) Definir las medidas para reforzar la seguridad del o los operarios de mantenimiento, cuando la probabilidad de existencia de ráfagas fuertes a nivel de superficie de la azotea es elevada; (C) Definir la configuración del flujo del viento en las proximidades de la superficie de la azotea, en las tres direcciones de viento predominantes estudiados.

Debido a la altura y posición del edificio del Nuevo Banco del Chaco S.A., se descarta la posibilidad de un buen rendimiento de generación de energía a partir de aerogeneradores para entornos urbanos.

El posicionamiento de los paneles solares es muy importante, porque determinará el buen desempeño y rendimiento de los equipos.

Para definir la localización óptima es necesario conocer:

- El espacio disponible.
- La inclinación.
- La orientación.

### C.2.1. Espacio disponible

El espacio disponible se establece luego de realizar una visita a la azotea del edificio del Nuevo Banco del Chaco S.A.

El Plano N° 5: Planta Edificio del Nuevo Banco del Chaco S.A. (Gral. Güemes 102), que se adjunta en el Anexo de este informe final, indica el espacio donde se montarán los paneles y se propone una disposición de estos.

Se ha previsto disponer de suficiente sitio para circular, subir, bajar y realizar mantenimiento de los equipos.

A continuación, se presenta una galería de imágenes tomadas el día de la visita.

Las **Figuras 22 y 23**, permiten visualizar parte de la zona disponible de la azotea (zona noroeste), y parte de la zona no disponible, donde se encuentran los equipos de refrigeración del edificio.

### C.2.2. Inclinación

Para determinar la inclinación de los paneles fotovoltaicos, es necesario conocer en que época del año va a haber más consumo eléctrico. En Resistencia, el mayor consumo se produce en verano, por tanto, resulta conveniente colocar las placas solares en un grado de inclinación que optimice el rendimiento los meses de verano.

El grado de inclinación se define por el grado de latitud de la zona donde se montarán los paneles.



Figura 22: Fotografía tomada sobre la azotea del Nuevo Banco del Chaco S.A. Zona noroeste disponible. Hora aproximada 10 de la mañana.



Figura 23: Azotea Nuevo Banco del Chaco S.A. Zona de equipos de refrigeración no disponible. Hora aproximada 10 de la mañana.

El grado de inclinación recomendada para invierno corresponderá con la latitud del lugar más 18 grados. Así pues, en la ciudad de Resistencia, cuya latitud es de 27.45 grados, en invierno, época del año en el que el sol incide de forma indirecta no perpendicular,

se deberán colocar los paneles a una inclinación de 45.45 grados aproximadamente. Mientras que para uso de la instalación en las temporadas de verano, se deberá inclinar a un ángulo igual a la latitud del lugar menos 18 grados. En Resistencia, en verano los grados de inclinación óptimos en este caso serían de 9.45 grados.

Los estudios previos dicen que, para garantizar el máximo rendimiento de estas tecnologías, lo ideal es ajustar la inclinación de los paneles dos veces al año. Esto se logra, montando los paneles sobre estructuras regulables.

Debido a que los paneles serán montados en zonas urbanas, se ha establecido montar a un solo ángulo. Esto garantiza un rendimiento sostenido durante todo el año, la bibliografía disponible presenta como alternativa, tomar como ángulo de inclinación al de la latitud del lugar.

Esto permitirá una mejor fijación de los paneles a sus estructuras de soporte, favoreciendo la seguridad del entorno. Se explicó anteriormente que en la zona se presentan ráfagas de viento (altas velocidades) de corta duración, que deben tenerse en cuenta al momento de realizar cálculos de estructuras de pequeño y mediano porte (4).

La inclinación además debe garantizar que no se acumule tierra o agua sobre los paneles, ya que reducen el rendimiento.

### C.2.3. Orientación

Los módulos fotovoltaicos siempre tienen que estar orientados hacia el norte (para instalaciones en el hemisferio sur), o generalizando el concepto, mirando al Ecuador.

También hay que evitar siempre que edificios o árboles del entorno cercano, hagan sombras encima de los paneles a lo largo del día. Antes de colocar los paneles se debe tener en cuenta este hecho para no tener sorpresas a posteriori. La mejor época para ver las sombras será en invierno ya que las sombras serán más alargadas que en verano a causa de la poca altura del sol. Se presenta una serie de figuras obtenidas, haciendo uso del programa de diseño y modelado en tres dimensiones SketchUp Free.

La galería de imágenes, muestra la proyección de sombra durante los meses de invierno en el edificio del Nuevo Banco del Chaco S.A. y su entorno próximo.

Teniendo en cuenta, el espacio disponible, la inclinación y la orientación recomendada, en la propuesta se muestra que la azotea puede contar con 236 paneles de 240 Wp de potencia, lo que equivale a 56.64 kWp de potencia total.

## Galería de imágenes



Figura 24: Proyección de sombra Nueva Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 7 de la mañana con entorno cercano.



Figura 25: Proyección de sombra Nueva Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 7 de la mañana.





Figura 26: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 12 de la mañana.



Figura 27: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 12 de la mañana.



Figura 28: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 16 de la tarde.



Figura 29: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 16 de la tarde.



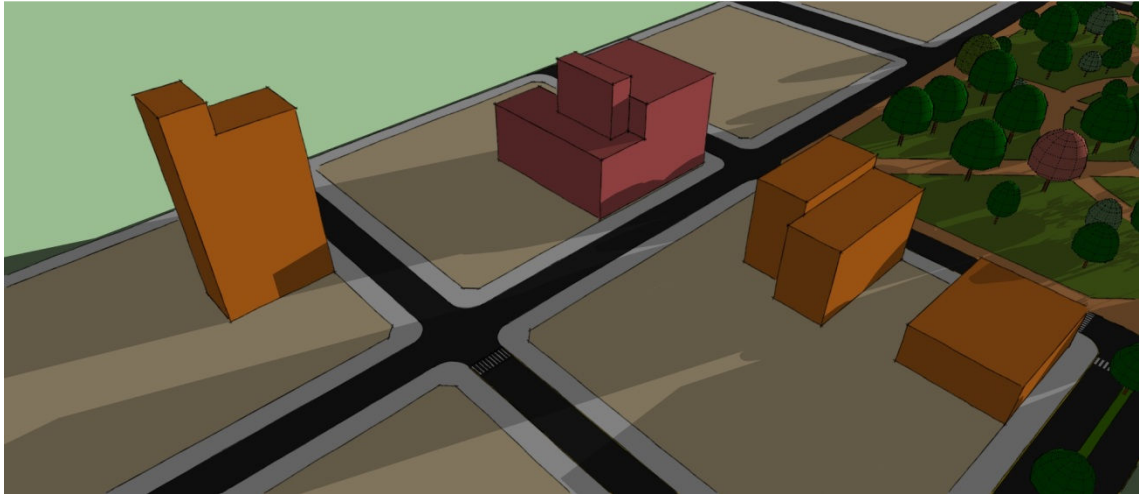


Figura 30: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista isométrica, 19 de la tarde.

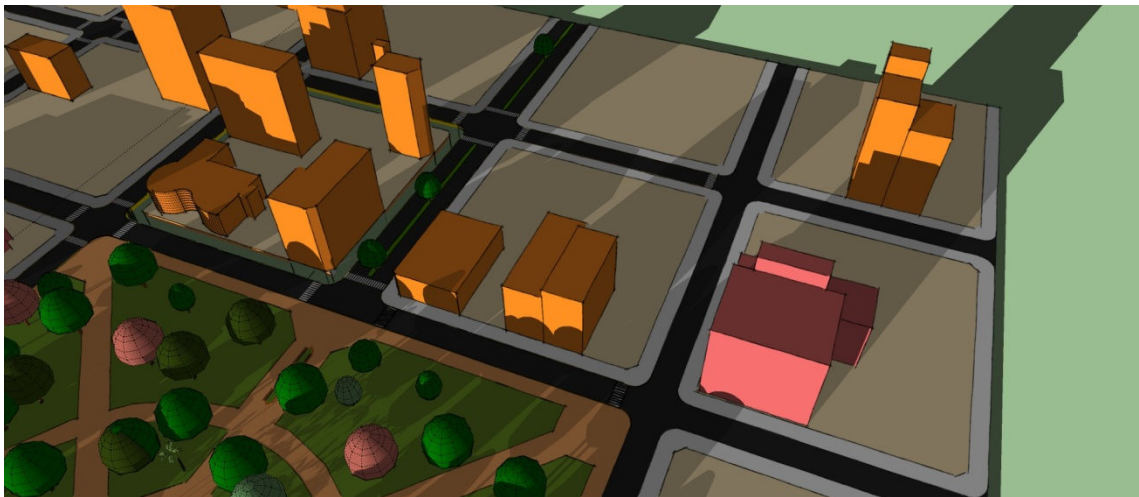


Figura 31: Proyección de sombra Nuevo Banco Chaco S.A. General Güemes 102. Vista superior, 19 de la tarde.

### C.3. Anteproyecto Azotea Edificio de ANSES, UDAI.

En la tercera etapa del Proyecto, se ha completado el punto 2. Anteproyecto en Azotea Edificio de ANSES, UDAI.

El edificio se ubica en la calle Marcelo T de Alvear al 240 de la ciudad de Resistencia Chaco, y tiene una altura aproximada de 42 m.

En el *Plano N° 7: Planta Edificio de ANSES, UDAI*, se presenta una propuesta con el montaje de paneles solares fotovoltaicos y, debido a su gran potencial por la altura y la zona de vientos predominantes despejada, se plantea también la implementación de un pequeño aerogenerador.

En la vista ampliada del plano, se puede ver con más detalle el tipo de turbina eólica y la torre que la sostiene.

La turbina es de eje vertical, por las ventajas que presenta en entornos urbanos y que son mencionadas en la sección E. Tipos de Tecnologías, perteneciente a este informe.

La torre propuesta es de tipo tubulares tronco-cónicas de acero, que son las más usuales, aunque también puede optarse por torres de celosía, que requiere la mitad de material de construcción que una tubular, pero tiene una apariencia visual desfavorable (cuestión claramente debatible). Otro tipo es la torre de mástil tensado, que presenta ventaja en los costes y peso, pero los tensores dificultan el acceso a las zonas alrededor de la torre. Por último, también puede considerarse la torre híbrida, que es una combinación entre la torre de celosía y de mástil tensado.

Se sugiere la utilización de una galería de paneles solares. La galería permite la circulación de los visitantes y aprovecha al mismo tiempo, el potencial solar de este espacio común.

Para definir el espacio disponible, se hizo una visita a la azotea y se llevó a cabo un relevamiento de las medidas, lo que ha permitido actualizar el plano de planta con el que cuenta el consorcio del edificio.

La inclinación y la orientación de los paneles se llevaron adelante de la misma manera que en las etapas anteriores.

El área donde se propone el montaje de la turbina, es el núcleo estructural más fuerte y más alto del edificio. Allí no tendrá acceso más que el personal de mantenimiento y monitoreo.

## **D. Consumo energético**

El proyecto contempla cubrir parte del consumo energético del noveno piso de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.

De un relevamiento realizado en el piso se pudieron obtener los siguientes datos de consumo:

- Consumo de sector de refrigeración: 52.900 kilovatios.
- Consumo en iluminación: 8.554 kilovatios.
- Consumo del área de informática: 36.050 kilovatios.
- Consumo en sector cocina en general: 5.300 kilovatios (heladeras, anafe, ventilador).

Debido al alto potencial solar de la zona, la Subsecretaría de Energía del Gobierno de la Provincia del Chaco propone utilizar paneles solares para abastecer el consumo en iluminación e informática, y para el consumo de agua caliente en cocina.

La Subsecretaría de Innovación Tecnológica, plantea también la utilización de una pequeña turbina de viento para garantizar el suministro de energía en iluminación e informática cuando la radiación solar es insuficiente o nula, es decir, como una alternativa de generación de energía también a partir de recursos renovables.

El Nuevo Banco del Chaco S.A., ubicado en la calle General Güemes 102, tiene una demanda de potencia para consumo propio de alrededor de 595 kWh al mes. Por tanto, se clasifica como Grandes Usuarios Menores (GUME).

La Subsecretaría de Innovación Tecnológica de la Provincia del Chaco, propone la utilización de 236 paneles solares fotovoltaicos de 240 Wp de potencia, para cubrir parte del consumo total de energía en la actualidad y aportar con la producción de energía distribuida de bajo impacto ambiental.

El Edificio de ANSES, UDAI, ubicado en la calle M. T. de Alvear al 240, tiene una fuerte demanda en iluminación de los espacios comunes, bombeo al tanque de alimentación de agua de todos los departamentos particulares y oficinas, también en servicios de ascensores. La Subsecretaría sugiere la implementación de una galería de 45 paneles solares fotovoltaicos, de 240 Wp de potencia, orientados 30 ° hacia el Noreste (NE) y Noroeste (NO). La galería del NE tendrá mayor rendimiento por las mañanas, la galería del NO presentará más rendimiento a partir del mediodía y la tarde.

## **E. Tipos de tecnologías**

### **E.1. Paneles solares**

Existen dos tipos de paneles solares: los paneles solares fotovoltaicos y los paneles solares térmicos.

Los paneles solares fotovoltaicos generan electricidad por reacciones química. Los paneles solares térmicos, utilizan la energía del sol para calentar agua.

Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas.

Los materiales para celdas solares suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Los cristales de arseniuro de galio se fabrican especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes normalizados, más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica

Las células de silicio más empleadas en los paneles fotovoltaicos se pueden dividir en tres subcategorías:

- Las células de silicio monocristalino que están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células de silicio policristalino (también llamado multicristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

- Las células de silicio amorfo. Son menos eficientes que las células de silicio cristalino pero también más barato. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.

Los paneles solares fotovoltaicos funcionan mediante la incidencia de los rayos solares sobre su superficie, lo que obliga a que estos estén correctamente orientados en todo momento hacia el sol para captar toda la luz posible. Esta luz transmite energía a los electrones, lo que provoca que estos se separen de protones y neutrones y sean liberados del panel en forma de electricidad.

Lo paneles fotovoltaicos seleccionados para este proyecto contienen células de silicio monocristalino desarrollados por uno de los diez mejores productores del mundo.

Por su parte, los paneles solares térmicos tienen una configuración más sencilla. Estos paneles, que generan energía termosolar, reciben los rayos solares sobre su superficie y calientan el agua que circular a través de unos tubos que se encuentran dentro del panel.

Se ha seleccionado un colector solar de placa plana con cubierta para agua caliente, desarrollado por productores locales, esto es, de la Provincia del Chaco, Argentina. Cabe destacar, que el productor local, se somete a las mediciones exigentes del INTI y publica las curvas de rendimiento, esto lo hace un equipo nacional altamente confiable.

## E.2. Turbinas de viento

Básicamente hay dos tipos de turbinas, turbinas eólicas de eje vertical y turbinas de eje horizontal. Las turbinas eólicas de eje horizontal dominan la industria eólica. Eje horizontal significa que el eje de rotación del aerogenerador es horizontal o paralelo al suelo.

Las turbinas de eje vertical son aquellas que presentan su eje de rotación vertical o perpendicular al suelo. Este tipo de turbinas no necesita orientarse hacia la dirección del viento, ya que siempre reciben el viento en forma óptima. También son menos sensibles a los efectos de turbulencia. Los vientos turbulentos y multidireccionales son frecuentes en entornos urbanos.

Funcionan a menores revoluciones y tiene un área de barrido también menor. El conjunto de estas características hacen que se reduzca el ruido producido por el aerogenerador, que se consiga una mayor integridad estructural y que se disminuya el desgaste de las partes mecánicas, logrando una menor contribución de ruido urbano, mayor seguridad y menores costos de mantenimiento respectivamente.

Una menor área de barrido reduce la eficiencia de estas tecnologías, por tanto es importante realizar un balance que equilibren los menores costes de mantenimiento y la menor producción de energía con los costos iniciales del rotor a la hora de la selección del modelo.

Se cuenta con una preselección de turbinas de viento, a continuación se listan los criterios de selección analizados:

- Modelo
- Orientación
- Potencia Nominal (W/kW)
- Rendimiento Máximo (W/kW)
- Tension de Salida (V)
- Tipo de Generador o Alternador
- Aplicaciones
- Tipo de controlador
- Protección de sobrevelocidad
- Material de las palas
- Número de palas
- Diámetro del rotor (m)
- Altura del rotor (m)
- Área de barrido ( $m^2$ )
- Velocidad de viento nominal (m/s)
- Velocidad de viento a la que comienza a producir energía (m/s)
- Velocidad de viento de corte (m/s)
- Velocidad de control (m/s)
- Velocidad de resistencia (m/s)
- Peso de cabeza (Kg)
- Tipo de torre
- Altura de la Torre (m)
- Vida útil
- Garantía
- Unidades vendidas
- Años en el mercado
- Precio
- Certificaciones
- Curva de potencia

## **F. Tamaño de los equipos de generación**

### **F.1. Paneles solares**

Las células o celdas fotovoltaicas tienen tamaño estándar (de 5 pulgadas o de 6 pulgadas), y se combinan de diferentes maneras. La más común es, la configuración indicada por POT, malla 6 x10 células. No es estándar la separación entre células ni la anchura de bordes.

Se ha seleccionado módulos de 60 células que cuyas dimensiones son 1650 mm x 990 mm x 40 mm con potencia pico de 240 W. El número de módulos a adquirir está determinado por el espacio disponible en la azotea. En el área disponible debe

tenerse en cuenta el ángulo de inclinación de los módulos y la proyección de sombra de los paneles durante el día.

El tamaño de los paneles o colectores solares térmicos depende del uso que les vaya a dar. La bibliografía consultada presenta algunas dimensiones aproximadas.

- Para un calentador de agua: necesitaría un acumulador de entre 200 y 300 litros para una vivienda de cuatro personas. El volumen depende también de la presencia de un sistema auxiliar. Para este sistema haría falta un panel térmico de entre 2 m<sup>2</sup> y 5 m<sup>2</sup> según el potencial solar de la zona geográfica.

- Para calefacción central: Serían necesarios entre 10 m<sup>2</sup> y 30 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos (dependiendo del tamaño de la vivienda). Podría cubrir hasta el 60% de sus necesidades.

- Para un sistema combinado de calefacción y agua caliente: Se necesitarían unos 10 m<sup>2</sup> o 20 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos (unos 15 m<sup>2</sup> para una vivienda de cuatro personas).

El calefón solar seleccionado está formado por un depósito (tanque) acumulador aislado térmicamente, provisto con una resistencia eléctrica para suplir las ausencias prolongadas de sol, y un colector de placa plana de alto rendimiento. El modelo escogido tiene una capacidad de 160 litros y sus dimensiones son, 1.20 x 2.00 x 2.00 metros. Cuenta con una superficie colectora de 1.5 m<sup>2</sup> y la presión de trabajo es 1.5 kgf/cm<sup>2</sup>.

## F.2. Turbinas de viento

El tamaño de la turbina eólica depende de la aplicación. Las turbinas pequeñas varían en tamaño desde 10 vatios a 100 kilovatios (kW).

Las turbinas más pequeñas (10 a 500 Watt) se utilizan en aplicaciones tales como, baterías de carga para espacios recreativos y para veleros.

Las turbinas utilizadas en aplicaciones residenciales pueden variar en tamaño desde 400 vatios a 15 kW.

Para agricultores y aplicaciones en pequeñas y medianas empresas, el tamaño puede variar de 15 kW a 100 kW.

Las turbinas de viento pequeñas generalmente se comparan por su potencia nominal en W o kW. La potencia nominal de una turbina eólica dada para una velocidad del viento de 12.5 m/s es tres veces más alto que el valor dado para velocidades de viento de 9 m/s. La misma máquina puede etiquetarse con una potencia nominal muy diferente solo dependiendo de la velocidad del viento que se usa como valor básico.

Solo en los sitios más ventosos del mundo, las turbinas operarán durante un período de tiempo significativo a una velocidad de viento de 12.5 m/s. En la mayoría de los sitios tales vientos fuertes son muy raros. Desafortunadamente, se ha vuelto común para que las turbinas de viento sean comparadas mirando su potencia máxima



de salida o 'potencia nominal' en kilovatios (kW). Mirando la potencia nominal de un turbina de viento, uno debe comparar la velocidad del viento utilizado en el procedimiento de calificación con el esperado en su zona (4 - 9 m/s). El fabricante, distribuidor o instalador proporciona la producción de energía anual esperada de una turbina en función de la velocidad de viento promedio anual en cada zona.

Luego está el tamaño del rotor. El término técnico aplicado al rotor se llama el "área barrida", que literalmente significa el tamaño del área "barrida" por las palas a medida que giran. Cuanto más grande es el rotor, más viento captura y por lo tanto, más energía genera. La relación entre el área barrida y la salida es lineal, por lo que si duplica el área barrida de una turbina obtienes el doble de salida.

Debido al potencial eólico en la zona de Resistencia Chaco, la Subsecretaría de Innovación del Gobierno de la Provincia, propone adquirir una turbina pequeña, con una potencia nominal menor a 1kW. La pequeña turbina será un modelo demostrativo, sobre el que se analizará el rendimiento anual con los vientos predominantes en la ciudad de Resistencia Chaco.

## **G. Certificaciones**

Para justificar las inversiones en los paneles solares fotovoltaicos, el colector solar y la pequeña turbina de viento es necesario asegurarse que el modelo ha sido evaluado en términos de seguridad, rendimiento y funcionalidad.

La certificación difiere de país en país. En este proyecto el factor lleva el rol más importante ya que se trata de un montaje en un entorno urbano.

El SPF Institut für Solartechnik, es el instituto Suizo con más de 30 años de experiencia en investigación y desarrollo de tecnologías energéticas innovadoras, enfocado en eficiencia energética y energía renovables en general, particularmente en energía solar térmica y fotovoltaica.

El instituto realiza testeo sobre paneles nuevos y en uso para garantizar el cumplimiento de parámetros mínimos de calidad y funcionalidad de los equipos. Además ofrece una lista con datos de las empresas de distintos países del mundo que han certificado, que han modificado sus fichas de datos o que han sido removidas de la lista de certificaciones.

La Subsecretaría de Innovación Tecnológica de la Provincia del Chaco, recibe un reporte semanal con la base de datos de los equipos solares certificados, modificados y removidos por el SPF Institut für Solartechnik, debido a que son informes completos y accesibles.

En Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), posee una Plataforma Solar Térmica en el Parque Tecnológico Miguelete, donde algunos productores nacionales se someten a pruebas de mediciones. El INTI hace público un informe que exhibe datos principales con la curva de "Producción de agua caliente sanitaria versus Irradiancia" de cada colector.

El Laboratorio de medición de desempeño de aerogeneradores de baja potencia del INTI Neuquén – Municipalidad de Cutral-Có, presenta un listado de los fabricantes nacionales. El Instituto permite descargar informes de ensayos de las 18 turbinas que participan del programa fortalecimiento de fabricantes nacionales de aerogeneradores de baja potencia. El informe contiene un resumen de resultados de ensayos, con curvas de potencia e incertidumbre de medición, curva de coeficiente de potencia y tablas con la estimación de producción anual de energía (2).

## **H. Garantías**

Las Subsecretaría de Innovación Tecnológica de la Provincia, indica investigar y solicitar la duración de las garantías y que incluyen las tecnologías a adquirir. Esto facilitará la adquisición de beneficios y promociones de la Ley 27.191 que se hizo referencia al inicio de este informe.

## **I. Costos**

Los costos de instalación varían mucho según la zona, los permisos, la posibilidad de conexión fuera de la red o en la red pública.

Dependiendo de estas consideraciones, también como el tamaño de la turbina, los pequeños sistemas de energía eólica tienen según el “U.S. Department of Energy 2014 Distributed Wind Market Report” un costo promedio de aproximadamente USD 6230 (EUR 5660) por kilovatio instalado.

Las Subsecretaría de Innovación Tecnológica de la Provincia, indica investigar y solicitar la duración de las garantías y que incluyen las tecnologías a adquirir. Esto facilitará la adquisición de beneficios y promociones de la Ley 27.191 que se hizo referencia al inicio de este informe.

## **J. Instalación y administración de energía**

Ya sea que el sistema sea independiente o esté conectado a la red, se debe considerar la longitud del cable que pasa entre la tecnología y la carga (casa, baterías, bombas de agua, etc.). La electricidad se puede perder como resultado de la resistencia del cable, cuanto más largo es el cableado, más electricidad se pierde. El fabricante, distribuidor o instalador tiene que proporcionarle instrucciones de cómo actuar en caso de problemas y seguridad.

Para este proyecto se propone un sistema de conexión Off-Grid. Es un sistema de generación solar que está conectado directamente a la red de energía pública interactuando con la misma de acuerdo a diferentes condiciones. En los momentos de disponibilidad de radiación solar el equipo generará energía para el autoconsumo,

inyectando el excedente a la red. Mientras que en los momentos en que la radiación solar es insuficiente o nula, el consumo se efectúa automáticamente desde otra fuente de generación de energía renovable, como la pequeñas turbina de viento, o de la red pública de manera convencional.

## **Conclusiones**

El informe final contiene información acerca de: (A) Las regulaciones y normativas para la utilización de energía renovable en la nación y la provincia; (B) El recuso eólico y solar en la zona; (C) El análisis de localización de las tecnologías de generación a partir de fuentes limpias en uno de los edificios públicos de la ciudad de Resistencia que se estudiarán en este proyecto; (D) El consumo energético que se desea cubrir en el noveno piso de la Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco; (E) Tipos de tecnologías existentes; (F) El tamaño de los equipos de generación de energía a partir del recurso solar fotovoltaico, solar térmico y eólico; (G) Tamaño de los equipos de generación; (H) Las certificaciones. (I) Garantías. (J) Costos. (K) Instalación y administración de energía.

Se analizó la ley 27.191 sobre el “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación” y la ley de “Generación Renovable Distribuida” sancionada el pasado 29 de noviembre del 2017.

Se realizó un relevamiento de los mapas satelitales que contienen la Irradiancia Solar Directa (DNI) e Irradiancia Global Horizontal (GHI) en la zona, y se halló que la distribución de GHI ronda entre los 5 - 6 kWh/m<sup>2</sup> por día.

Respecto a la información que arrojan los mapas satelitales eólicos, se pudo informar que la velocidad promedio a una distancia de 200 m de altura sobre la superficie terrestre de la ciudad de Resistencia es de aproximadamente 8 m/s.

Por otra parte se recopilaron y analizaron datos históricos de velocidades, dirección y ráfagas de viento en la zona obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional. La velocidad promedio anual en la zona es de 2.5 m/s, las velocidades más elevadas se observan en los últimos meses de año. Existen ráfagas de viento que superan los 15 m/s.

Se describen las tareas llevadas a cabo para definir el posicionamiento óptimo de las tecnologías solares y eólica en la azotea de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco. Para ello fue necesario: (A) El diseño y construcción de un modelo a escala de la Casa de Gobierno y su entorno cercano próximo; (B) El desarrollo de tareas experimentales en el túnel de viento de capa límite de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste; (C) El análisis de resultados y conclusiones.

En la segunda etapa, se analiza la implementación de paneles solares fotovoltaicos en la azotea del Edificio del Nuevo Banco del Chaco S.A. Para ello se ha visitado y corroborado el espacio disponible del lugar, luego se ha analizado la

orientación e inclinación recomendada para los paneles. Finalmente se hace una propuesta de disposición de paneles que aprovecha al máximo el espacio disponible.

En la etapa final, se estudia la implementación de paneles solares y, debido a la altura del Edificio del ANSES, UDAI, de una pequeña turbina de eje vertical. De esta manera, la propuesta contempla la incorporación de ambas tecnologías en el tercer edificio planteado.

El Anexo de este informe, contiene planos de cada propuesta y algunas imágenes 3D del Edificio de Casa de Gobierno que permiten una mejor visualización del posicionamiento de las tecnologías.

## Bibliografía

1. **Fenés, Gastón.** Día histórico: Argentina aprobó Ley de generación distribuida con energías renovables. *Energía Estratégica*. 2017.
2. *Characteristics of Zonda wind in South American Andes.* **Loredo-Souza, Acir M., y otros.** 6 (2017), s.l. : Wind and Structures Journal, 2017, Vol. 24.
3. **Energy, Nordic Folkecenter for Renewable.** *Catalogue of Small Wind Turbines*. 2016. 978-87-7778-137-7.
4. **Mertens, Sander.** *Wind Energy in the Built Environment, Concentrator Effects of Buildings*. Essex, United Kingdom : Multi-Science, 2006.
5. *Wind power of small wind turbines in turbulent open jets.* **Sedaghat , A., y otros.**2, s.l. : Elsevier B.V., 2012, Scientia Iranica, Vol. 19, págs. 272-281.
6. *Performance of an H-Darrieus in the Skewed Flow on a Roof.* **Mertens, Sander, van Kuik, Gijs y van Bussel, Gerard.** s.l. : Journal of Solar Energy Engineering, 2003, Vol. 125.
7. **Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, CIRSOC 102. INTI.** *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones*. Buenos Aires : s.n., 2001.
8. **Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Presidencia de la Nación.** <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>. 2015.
9. *EVALUACION DE CARGAS EN UN EDIFICIO MEDIANTE ENSAYOS EN TUNEL.* **De Bortoli, Mario E., y otros, y otros.** Buenos Aires : 23 Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, 2014.
10. *Characterization of a New Open Jet Wind Tunnel to Optimize and Test Vertical Axis Wind Turbines .* **Tourn, S., y otros.** 2016.
11. **INTI.** *Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, CIRSOC 102: "Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones"*. Bs As : s.n., 2001.

12. **Dutton, A.G., Halliday, J.A. y Blanch, M.J.** *The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines (BUWTs): Achieving their Potential for Carbon Emission Reductions*". s.l. : Council for the Central Laboratory of Research Councils, Didcot., 2005.
13. **Stankovic , S, Campbell , N y Harries, A.** *URBAN WIND ENERGY*. London : Earthscan, 2009.
14. **Patagonia, INTI - Neuquén. Centro Regional.** <https://www.inti.gob.ar/neuquen/>. [En línea] [Citado el: 4 de Septiembre de 2018.] <https://www.inti.gob.ar/neuquen/index.php?seccion=aerogeneradores>.

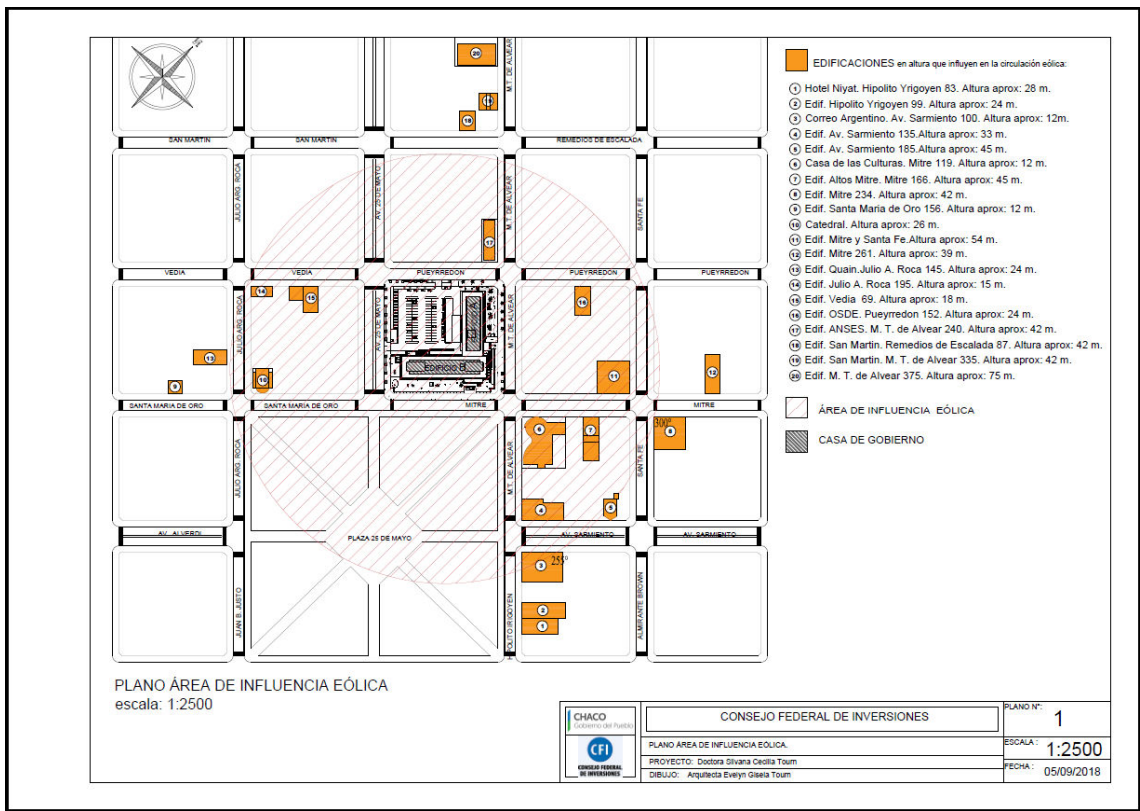




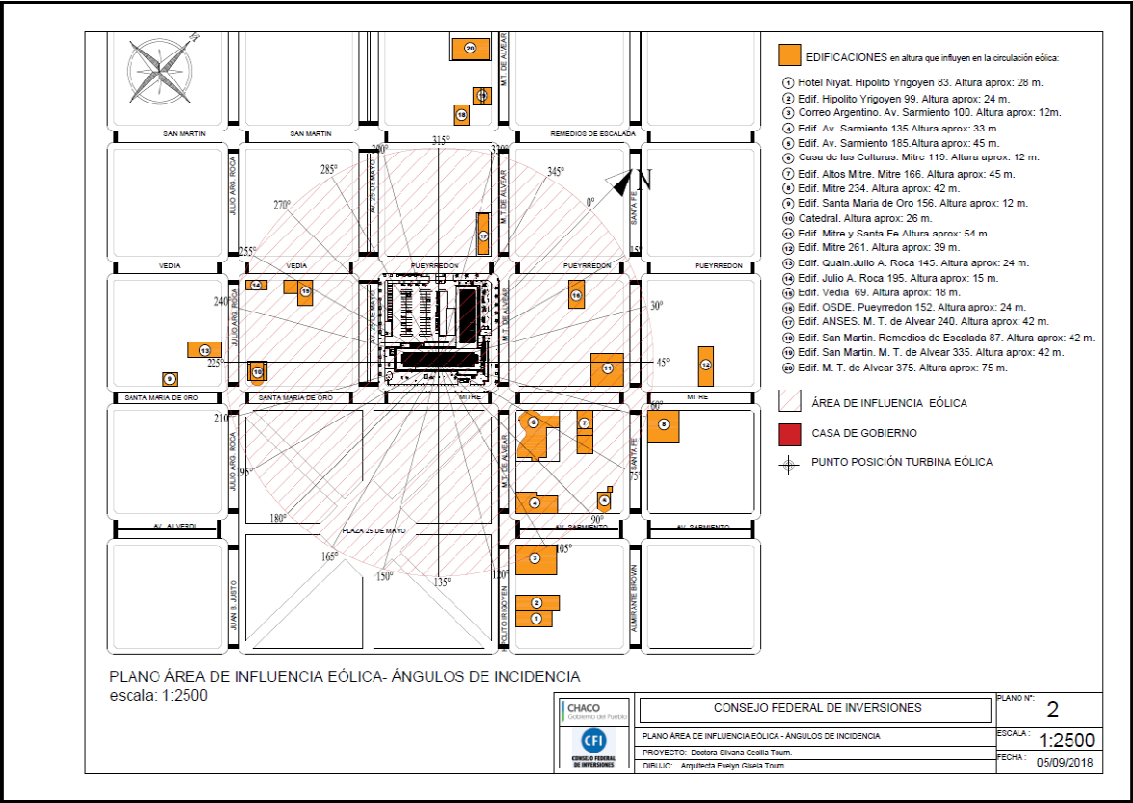
## **Anexo**

Planos

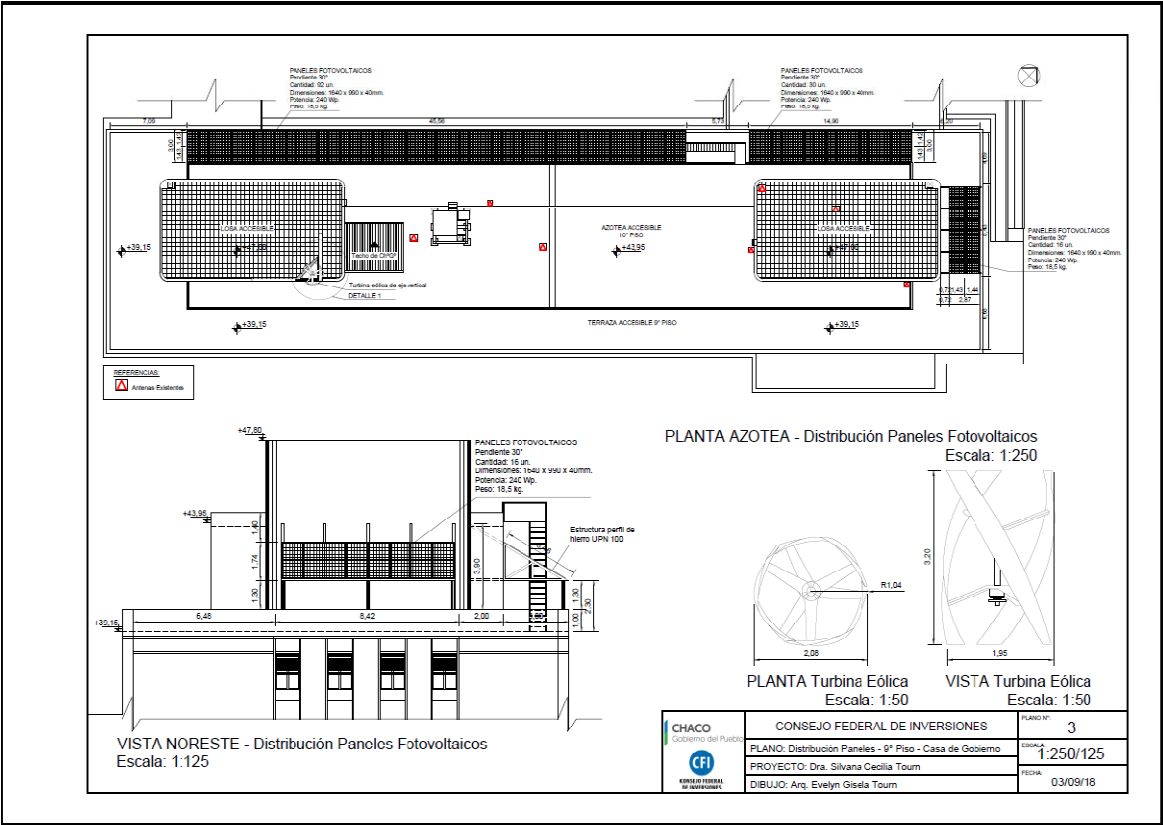
Plano N° 1: Área de Influencia Eólica



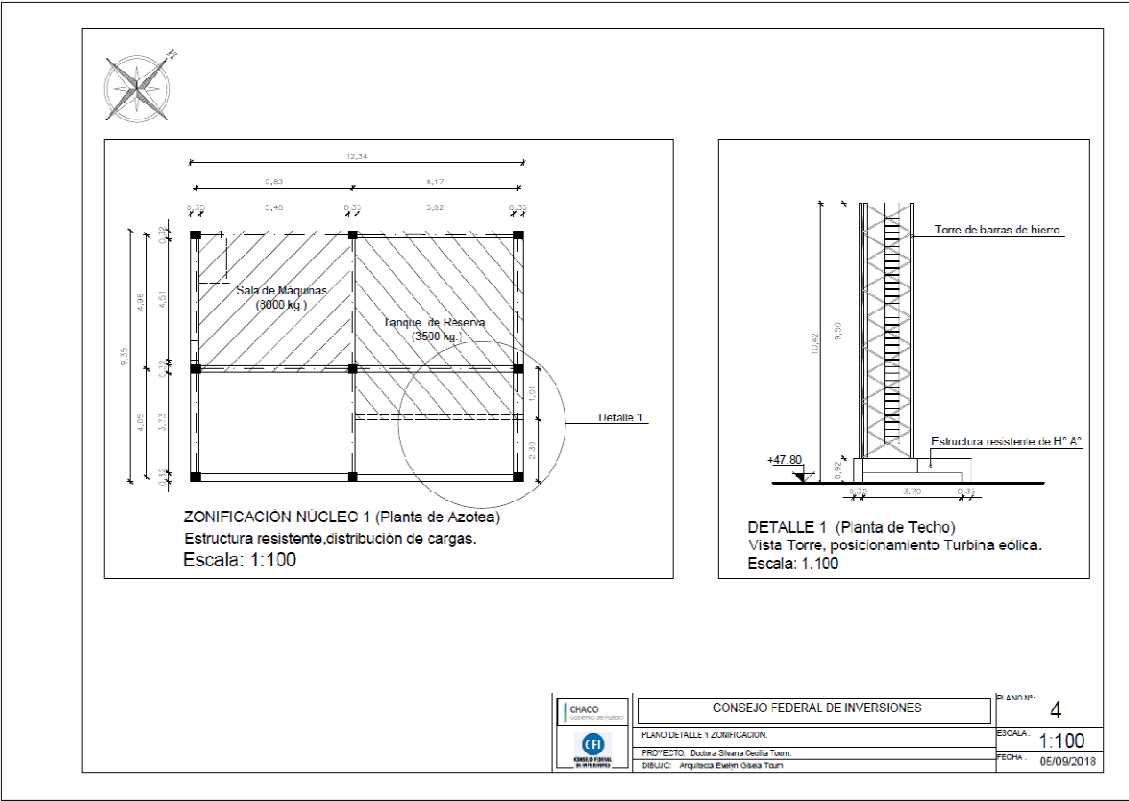
Plano N° 2: Área de Influencia Eólica – Ángulos de Incidencia



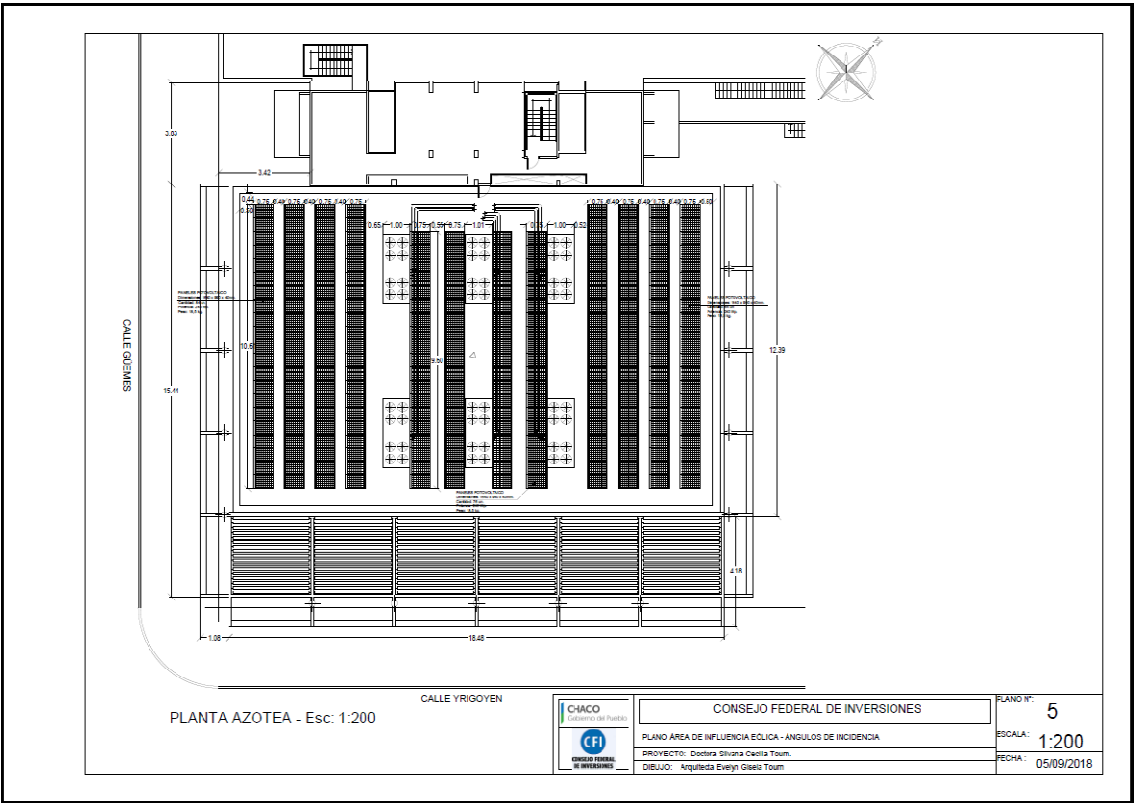
Plano N° 3: Planta Azotea y Planta Techo - Edificio B de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.



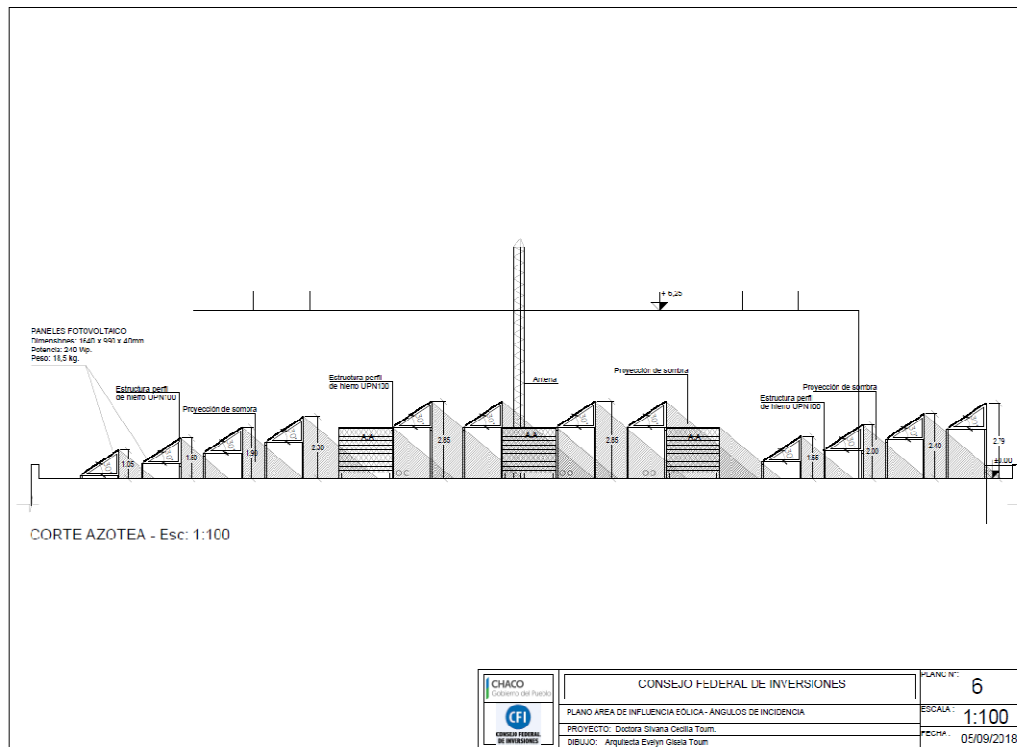
**Plano N° 4: Detalle y Zonificación – Edificio B de Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco.**



Plano N° 5: Planta Edificio Nuevo Banco del Chaco S.A.

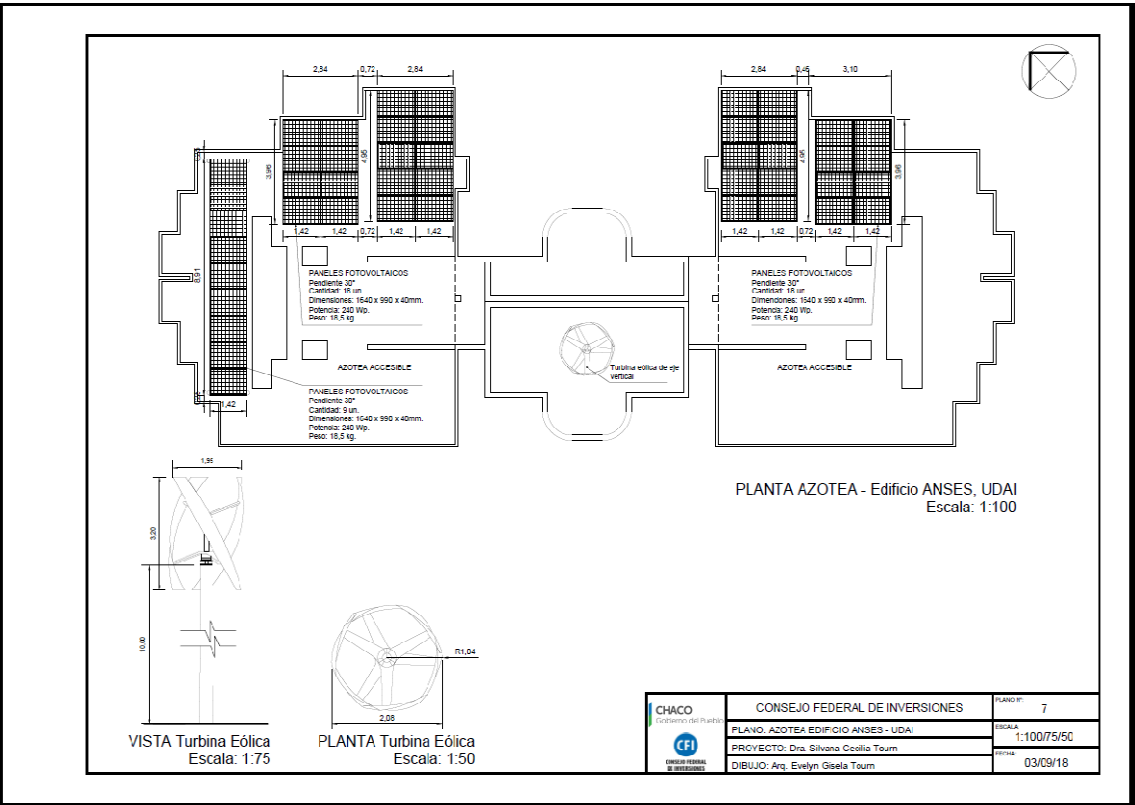


### Plano N° 6: Corte Azotea Nuevo Banco del Chaco S.A.





Plano N° 7: Planta y Detalle Edificio ANSES, UDAI.



# Lista de fabricantes nacionales de aerogeneradores de baja potencia

Padrón de Fabricantes Nacionales de Aerogeneradores



## BAJA POTENCIA

Fabricantes que participan en la Iniciativa de Fortalecimiento del INTI

EMPRESA	Contacto	Teléfono	Email	Web	Ubicación de Origen	Obs.
Energía Argentina S.A.	Ing. Juan Carlos Bianchini Bianchini	0294-4880331	bianchini@energiasa.com.ar	http://www.energiasa.com.ar/energia/energia-sa.html	Rosario Capital	Aerogenerador 4,5 kW
Ergon S.P.A.	Ing. Marcelo Michelucci	011-47774611/47774612/47774613	info@ergon.com.ar	www.ergon.com.ar	Capital Federal	Aerogenerador 1,5 kW
Glendower / Pádel	Juan Glendower	0900-481177/481178/481179	glendower@glendower.com	www.glendower.com	San Carlos de Bariloche	Aerogeneradores 1000 / 1000 / 1000 W
Padel Solar	Ing. Pablo Glendower	0294-4880331	pablo1983@glendower.com		Rosario Capital	Aerogeneradores 1,5 kW / 100 W
ET Charger	Marcelo Glendower	011-4774611/4774612/4774613/4774614/4774615/4774616/4774617	energiasa@energiasa.com.ar	www.etcharger.com	Capital Federal Rosario	Aerogeneradores 1000 / 1000 / 1000 W
Glendower	Ing. David M. Glendower	011-4880331/4880332/4880333/4880334/4880335/4880336	glendower@glendower.com david@glendower.com	www.glendower.com.ar	La Plata / Buenos Aires	Aerogenerador 100 W
Glendower SRL	Dr. Diego A. Franco	0294-4880331	glendower@glendower.com	http://www.glendower.com	Capital Federal	Aerogeneradores 100 W / 100 W
Glendower Solar	David Franco	0294-4880331	glendower@glendower.com	http://glendower.com.ar/	Rosario, Buenos Aires	Aerogenerador 1000 / 1000 W
Glendower Argentina SRL	Dr. Marcelo Glendower	0294-4880331	info@glendower.com.ar	http://glendower.com.ar/	Cordoba / Entre Ríos	Aerogeneradores 100 / 100 / 1000 W
Glendower	Carlos L. Glendower	011-4880331	glendower@glendower.com	www.glendower.com	Capital Federal	Aerogeneradores 100 W
Glendower Argentina Patentes S.A.	Marcelo Glendower Eduardo Lardi	0294-4880331 / 4880332 0294-4880333	glendower@glendower.com glendower@glendower.com	http://www.glendower.com	San Carlos de Bariloche	Aerogenerador 1,5 y 2 kW
Glendower S.A.	Glendower Glendower	0294-4880331	glendower@glendower.com	www.glendower.com	Cordoba / Tucumán / Chubut	100 W / 100 W / 1,5 kW
Glendower	Glendower Glendower	0294-4880331 / 4880332 / 4880333	glendower@glendower.com	www.glendower.com	Rosario, Buenos Aires, La Plata	100 W
Glendower Solar	Marcelo Glendower	0294-4880331	glendower@glendower.com	www.glendower.com	La Plata / Buenos Aires	1,5 kW - 1,5 kW
Glendower	Marcelo Glendower	0294-4880331	glendower@glendower.com	www.glendower.com	CABA, Buenos Aires	100 W

Fabricantes de Aerogeneradores de Baja Potencia que no participan de la Iniciativa de Fortalecimiento del INTI





EMPRESA	Contacto	Teléfono	Email	Web	Ubicación de Origen	Obs.
Pumpas S.A.	221-414070 - 414070/414		info@pumpas.com.ar	www.pumpas.com.ar	La Plata - Buenos Aires	
SAUSUR S.A.	Alfredo Sauro	0294-4880331	sauro@glendower.com	www.glendower.com	Cordoba de Buenos Aires	Aerogeneradores 100/1000/1000/1000/1000/1000 W
Solar S.A.	Ing. Rodrigo Solari	0294-4880331	solari@glendower.com	www.glendower.com	Buenos Aires	100 W / 100 W

## ALTA POTENCIA

Fabricantes de Aerogeneradores de Alta Potencia

EMPRESA	Contacto	Teléfono	Email	Web	Ubicación de Origen	Obs.
INTI	Carlos Glendower	0294-4880331	glendower@glendower.com	www.glendower.com	Buenos Aires	Aerogeneradores 1,5 kW / 1,5 kW
INTI Patentes	Glendower Glendower	0294-4880331	glendower@glendower.com	www.glendower.com	Cordoba / Tucumán / Chubut	Aerogenerador 1,5 kW

## Lista de fabricantes internacionales de aerogeneradores de baja potencia que pueden implementarse en la zona bajo estudio (2)

País	Imagen	Rendimiento nominal(W)	Velocidad de arranque (m/s)	Velocidad mínima de generación (m/s)	Tipo de turbina	Precio USD
Alemania		1000	1,5	2,5	vertical	≈ 10.600 <sup>(1)</sup>
Finlandia		500	2	2	vertical	≈ 18.700 <sup>(2)</sup>
China		400, 600	2	2,5	horizontal	≈ 440-650 <sup>(3)</sup>
USA-China		1200		3,5	vertical	≈ 15.906 <sup>(4)</sup>
Brasil <sup>(5)</sup>		1000	2	3	horizontal	≈ 2700 <sup>(5)</sup>
Brasil <sup>(5)</sup>		500	2,5	3,8	Vertical	-

≈ Símbolo de aproximadamente. Se ha calculado con la cotización del dólar el día.

- (1) Incluye turbina, inversor, sistema de anclaje al techo, sistema de monitoreo (medidor de energía, anemómetro y PowerDog S, envío hasta el puerto de Bs. As).
- (2) No incluye el gabinete de conexión a la red (costo 4260 dólares más). Los precios incluyen la turbina, controlador de carga, interruptor de seguridad, grasa y caja de embalaje. Los precios son sin mano de obra e IVA 0% y para turbinas individuales. En cantidades mayores, el precio es naturalmente más bajo y puede ser discutido. Los costos de envío a Argentina son normalmente c. 5-10% del precio total (dependiendo del método de transporte elegido). Las torres de soporte no están incluidos en el precio. Cada instalación es única y el método de instalación se comprueba y se recomienda por separado a petición.
- (3) Precio para órdenes menores a 50 equipos. Forma de pago, 100 % por adelantado para órdenes menores a 20 equipos. El precio incluye controlador híbrido solar + viento para sistema no conectados a la red.
- (4) Costo de la turbina, torre, anclaje de la torre al techo, controlador y batería. No incluye envíos, impuestos, cables.
- (5) Incluye solo la turbina.

## Imágenes 3D Casa de Gobierno de la Provincia del Chaco

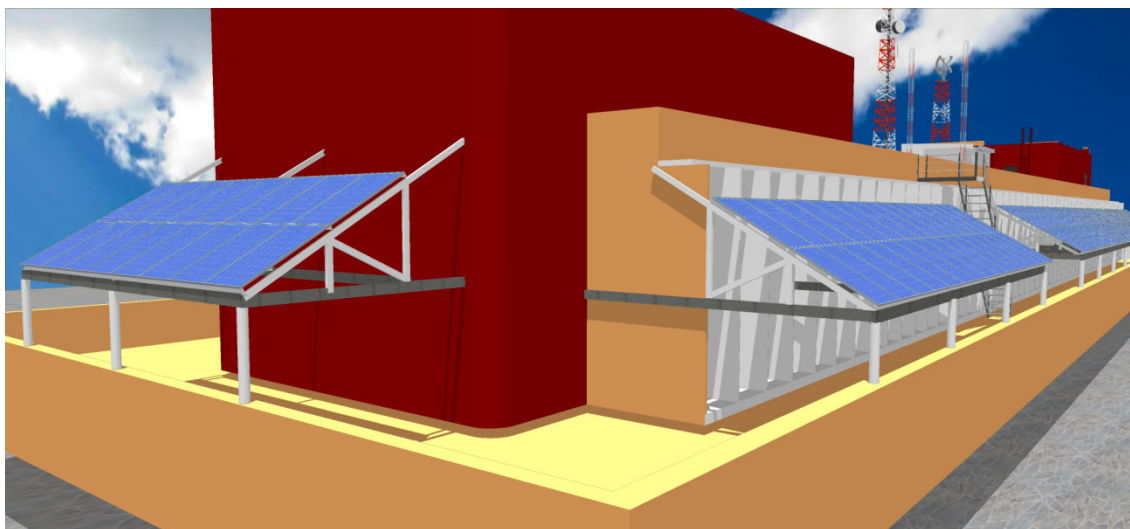


Ilustración 1: Vista Isométrica NE- NO - 10 am.

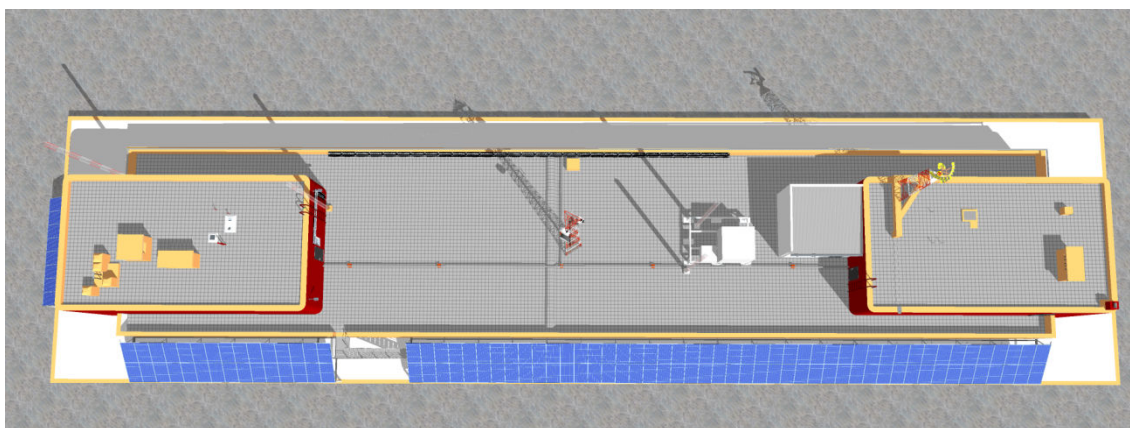


Ilustración 2: Vista Planta

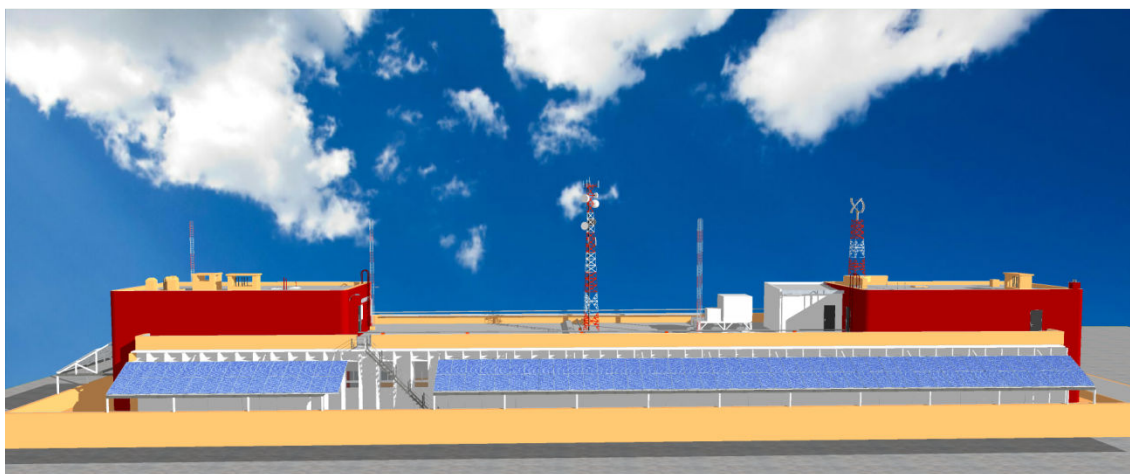


Ilustración 3: Vista frontal NO



