

ESTUDIOS BASICOS E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MEDICIÓN REMOTA PARA RELEVAMIENTO DEL RECURSO EÓLICO E INTEGRACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO LIDAR ADQUIRIDO

Florencia Luna¹, Jonathan Quiroga^{1,3}, Néstor Cortez¹, Jorge Lescano¹, Patricio Triñanes¹, Leonardo González¹, Jacobo Salvador^{1,3}, José F. Gonzalez², Rafael Oliva¹, Osiris Sofia¹, Néstor Garzón², Sergio Cabrera²

¹Area Energías Alternativas (AEA), Universidad Nacional de la Patagonia Austral – Instituto de Tecnología Aplicada Unidad Académica Río Gallegos,

²Unidad Académica San Julián,

³Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral (OAPA / CEILAP/CONICET)

Av. Gregores y L.Rivera C.P. 9400 – Río Gallegos

Tel. (2966) 438151 / 442238 e-mail: mluna@uarg.unpa.edu.ar

Recibido 08/2024; Aceptado 11/2024

RESUMEN.- En el presente trabajo se muestran avances en los estudios básicos sobre la incorporación de Sensores Remotos (RSDs) en la medición del recurso eólico, aspectos de implementación de un prototipo demostrativo para analizar sus principios de funcionamiento y avances en la instalación de un equipo Lidar comercial adquirido. Se identifican las tecnologías actuales, la tipología particular que sería aplicable a un número importante de sistemas de medición en la zona patagónica austral, y los avances a la fecha en componentes del prototipo. También se describen los requerimientos y avances en la instalación del equipo comercial que servirá para mejorar la precisión y calidad de las mediciones. El instrumento permitirá validar y contrastar los resultados obtenidos con métodos convencionales, ofreciendo nuevas perspectivas en la caracterización del potencial eólico de la región.

Palabras clave: sensado remoto, energía eólica, sistemas ópticos, lidar.

BASIC STUDIES AND IMPLEMENTATION OF REMOTE MEASUREMENT SYSTEMS FOR WIND RESOURCE SURVEY AND INTEGRATION AND OPERATION OF ACQUIRED LIDAR EQUIPMENT

ABSTRACT.- This work shows progress in basic studies on Remote Sensing Devices (RSDs) in the measurement of wind resource, implementation aspects of a demonstrative prototype to analyze its operating principles and progress in the installation of a recently acquired commercial Lidar equipment. The current technologies, the configurations that would be applicable to a significant number of measurement systems in the southern Patagonia area, and the advances to date in prototype components are shown. Progress and requirements in the installation of the commercial system that will allow improvements in the precision and quality of measurements are also described. This instrument will allow the validation and contrast of the results obtained with conventional methods, offering new perspectives in the characterization of the region's wind potential.

Keywords: remote sensing, wind energy, optical systems, lidar.

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes, las energías renovables no convencionales han cobrado mayor importancia y han incrementado su aporte a la generación de energía eléctrica en todo el mundo. En Argentina se han registrado picos instantáneos de potencia eléctrica renovable del 35% a fines de 2023 (CAMMESA, 2024) según el ente regulador del mercado mayorista eléctrico (Figura 1). Allí se distingue las renovables separando la tradicional hidráulica de gran escala, y englobando las demás (eólica, fotovoltaica, biomasa, etc.) bajo Ley 26190 (Argentina Ley 26190, 2024).

Una porción significativa del aporte de estas fuentes renovables proviene de la energía eólica. La Patagonia Argentina cuenta con los recursos de dicha fuente más abundantes y técnicamente accesibles. La potencia eléctrica producida por las máquinas eólicas depende de la intensidad del viento en forma cúbica. Por tratarse de un flujo energético inherentemente aleatorio su estudio es de tipo estadístico y tradicionalmente se realiza a través de sistemas de medición convencionales (dataloggers y torres de medición anemométricas). El creciente tamaño de las máquinas eólicas, con rotores que ya superan los 200 m de diámetro (Yaramasu, 2022) montados en torres de 150 m de altura, ha incrementado

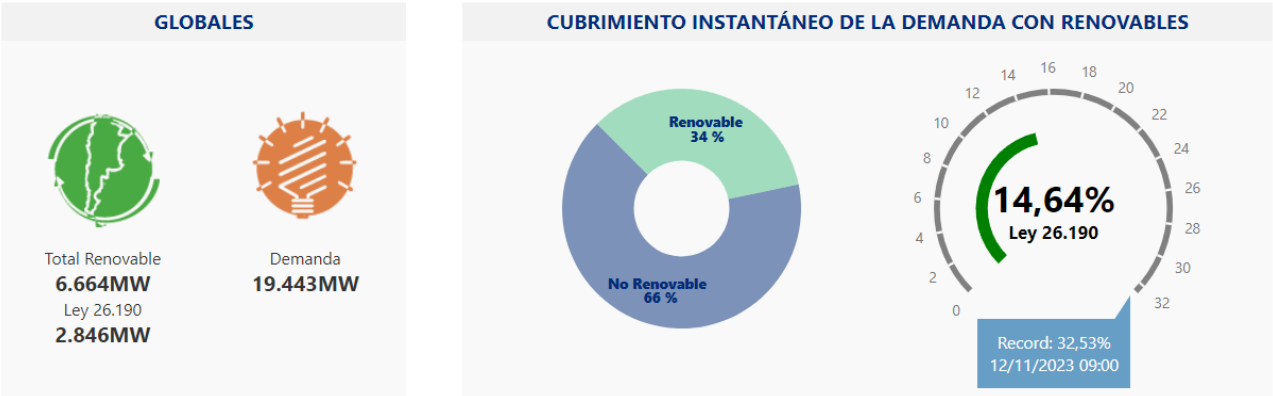


Fig. 1: Demanda eléctrica cubierta con fuentes renovables en Argentina según (CAMMESA, 2024)

mucho el costo de las mediciones de tipo convencional (fundamentalmente por las torres de medición requeridas), y ha impulsado el crecimiento de las tecnologías de medición remota, cuyo alcance en altura supera los 200 m (Figura 2).

La normativa IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), en particular la norma IEC 61400-12-1 Ed.3 (IEC61400-12-1, 2022) y su edición española equivalente (UNE-EN 61400-12-1,2024) provee guías sobre la medición de la producción real de las máquinas eólicas.

Dicha norma establece un procedimiento para medir las características de rendimiento de potencia de una turbina eólica y se aplica al ensayo de aerogeneradores de todo tipo y tamaño conectados a la red eléctrica, pero también a las medidas para el relevamiento del recurso en distintos emplazamientos. Desde la Ed. 2 de 2017 se incorpora el uso de mediciones activas remotas (conocidas como RSDs o Remote Sensing Devices), fundamentalmente de tecnología LiDaR (Light Detection and Ranging, en adelante Lidar), para la obtención de los datos de viento en el emplazamiento.

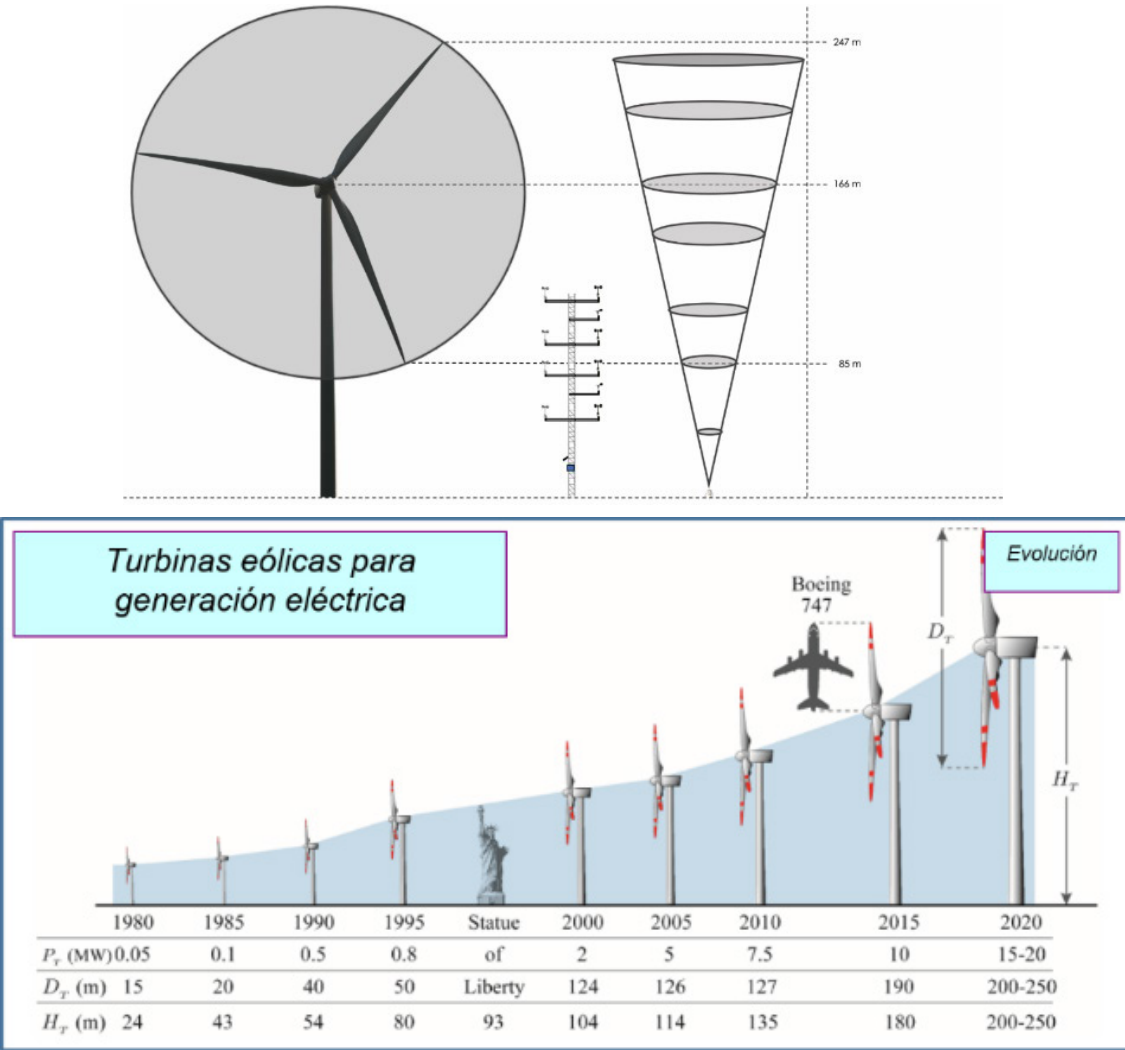


Fig. 2: (A- superior) Uso de RSDs y (B -inferior) evolución de tamaño de máquinas y torres de medición (Yaramasu, 2022)

El presente trabajo incluye una comparación de técnicas convencionales y nuevas alternativas con técnica Lidar (Figura 2) incluyendo aspectos preliminares de la construcción y evaluación de un prototipo experimental de Lidar por Triangulación, de tecnología más sencilla que los equipos Lidar Doppler utilizados comercialmente (Vaisala, 2024) (NRG Systems, 2024). Se obtuvo a través del programa Equipar Ciencia del CONICET la adquisición de uno de estos Lidares, que se utilizará como referencia en las mediciones y cuyo proceso de instalación se describirá también en este trabajo. Los Lidares por Triangulación basan su principio de funcionamiento en configuraciones geométricas determinadas entre el receptor y el emisor, y la captura de imágenes. Las aplicaciones van desde monitoreo de fauna (Malmqvist, 2019), hasta sensado remoto ambiental (Agishev, 2019) y se han probado variantes en las configuraciones ópticas como la ubicación del sensor, (Kong, 2020), demostrando así su validez. Este nuevo enfoque permite la utilización de componentes de bajo costo para caracterizar el perfil del viento a través de aerosoles troposféricos en el hemisferio sur. Esta propuesta resulta de la convergencia de varias líneas de investigación, diversas, pero afines buscando el beneficio de su interacción para obtener resultados de mayor relevancia en la Patagonia Austral donde las mediciones y ensayos a través de la investigación aplicada es escasa o muy pobre.

2. METODOLOGÍA

2.1. Técnicas convencionales y remotas: elementos comunes

La Norma IEC 61400-12-1 agrupa, como se indicó en la parte introductoria, los aspectos relativos a la medición de la producción real de las máquinas eólicas. Dicha norma describe un procedimiento para medir las características de rendimiento de potencia P y una estimación de energía anual producida AEP . También establece principios básicos para los sistemas de medición a utilizar en el caso de las campañas de relevamiento del recurso eólico.

Para obtener la curva característica $P(V)$ del aerogenerador, donde V es la intensidad del viento [m/s], se evalúa la relación básica que existe entre la producción de potencia real de una máquina eólica y la intensidad del viento, que puede expresarse a través de la ecuación (1):

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p \eta_{TS} V^3 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (1)$$

Donde:

ρ es la densidad del aire (nominalmente 1.225 kg/m³)

D es el diámetro del rotor del aerogenerador [m]

η_{TS} es el rendimiento del generador (habitualmente constante) y transmisión mecánica

C_p el coeficiente aerodinámico adimensional de potencia del rotor (dependiente del viento y de la velocidad de giro)

V la intensidad del viento en [m/s]

P la potencia [W]

Además de la relación cúbica con la intensidad del viento, y suponiendo D y η constantes, la forma de la curva $P(V)$ depende sobre todo del coeficiente C_p y en forma no tan pronunciada de las variaciones de la densidad del aire (ρ) con temperatura (T) y presión atmosférica (B).

De acuerdo con Eq.(1), la medición de la curva $P(V)$ deberá tomar en cuenta la intensidad del viento con un anemómetro, la potencia eléctrica producida y la temperatura y presión barométrica. Debido a las interferencias sobre la torre de medición meteorológica y sobre la torre del aerogenerador, se debe incluir un sensor de dirección de viento (Veleta), o si se utiliza un equipo RSD (por ejemplo, Lidar) se incorporarán directamente mediciones de intensidad y dirección a distintas alturas, pero con énfasis en la correspondiente a la altura del eje del rotor. A su vez, considerando que el producto P por tiempo es equivalente a energía E , y que $P(t)$ no es conocida por ser aleatoria, debe recurrirse a un método estadístico para determinar asimismo una estimación anual de energía producida (conocida como AEP o *Annual Energy Production*). El método estadístico que se utiliza para obtener la curva de potencia se denomina “método de los bins”, y ha sido tratado en un trabajo anterior (Oliva y otros, 2021) del grupo.

Las características de viento a largo plazo difieren significativamente de las de corto plazo y se suelen utilizar distribuciones de probabilidad específicas (Rayleigh o Weibull-ii) para evaluar el comportamiento del viento promedio en emplazamientos a lo largo por ejemplo de un año. El cálculo de AEP está contemplado en la IEC61400-12-1 (Zappa y otros, 2013). Según se indicó previamente, la Ed. 2 de la norma IEC 61400-12-1 (2017) introduce modificaciones que hacen viable la utilización de equipos RSDs, lo cual abre un conjunto de posibilidades de desarrollo y potencial reducción de costo en los ensayos sobre todo en las máquinas de mayor tamaño.

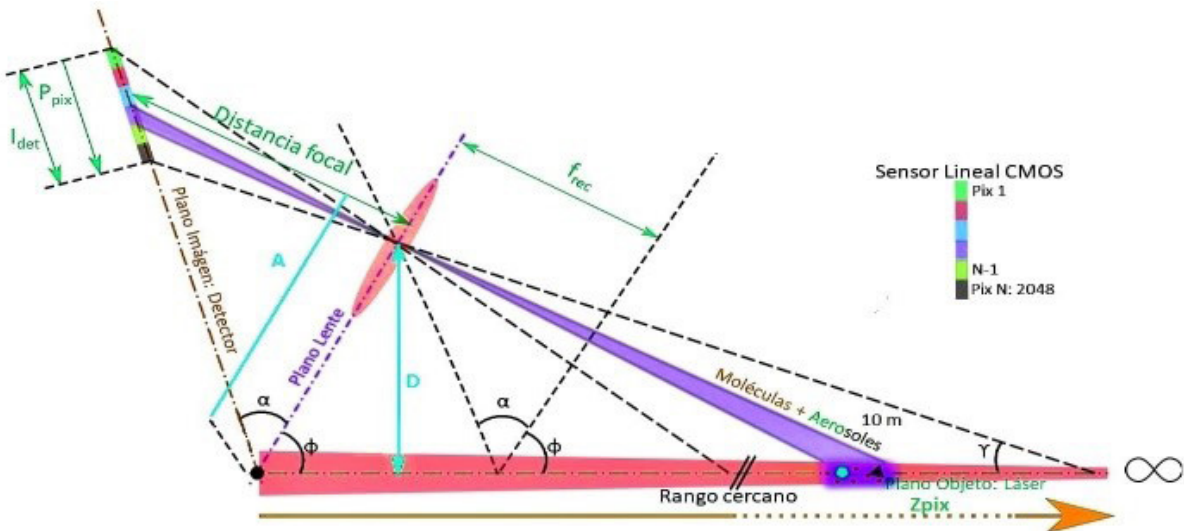


Fig. 3: Esquema del principio de triangulación del LiDAR propuesto, con todos los ángulos y longitudes necesarios para calcular el alcance y resolución

Tabla 1: Variables utilizadas en las ecuaciones de rango y resolución (Eq. 2-6)

Variable	Definición
l_{det}	Longitud del detector
p_{pix}	Posición del píxel con número de píxel m
α	Ángulo entre el plano de la lente y el plano del detector
ϕ	Ángulo entre el plano de la lente y el plano del haz láser.
b	Distancia entre el centro de la lente y el centro del detector
A	Distancia entre "b" y el punto intersección
N	Número de píxel
D	Distancia perpendicular entre el haz láser y el centro de la lente
f_{rec}	Longitud focal del receptor
γ	Ángulo de muestreo

2.2. Descripción del prototipo de estudio propuesto

Debido a la complejidad de los principios involucrados se decidió avanzar sobre componentes esenciales de un Lidar con vistas a la construcción de un prototipo demostrativo. La inclusión de principios ópticos adaptados a la medición de viento ha sido analizada en (Luna y otros, 2022). El principio de triangulación, la regla de la bisagra y la regla de Scheimpflug es descrita en (T. Scheimpflug, 1904) como una aplicación utilizada principalmente en fotografía. El principio de que cuando un haz de luz se propaga a través de la atmósfera, se ve afectado por las fluctuaciones del índice de refracción a lo largo del camino óptico (Cheon y otros, 2007). Basado en este fenómeno se presenta el principio de funcionamiento para medir la componente transversal del viento a partir del desplazamiento del patrón de centelleo que produce una fuente de luz LED y un detector de imágenes instalados a una distancia conocida (Lawrence y otros, 1972). Para comprender las limitaciones en alcance, sensibilidad y resolución temporal y espacial, también se modelaron las ecuaciones del sistema completo utilizando programación en Python. Esta simulación facilitó el análisis del área de recepción, la divergencia del haz y la sensibilidad del píxel en función de la potencia de emisión.

Se plantean las ecuaciones (2) a (6) necesarias para desarrollar un modelo que permita dimensionar cada componente óptico del sistema. De esta manera, el objetivo es lograr una comprensión completa de su funcionamiento y alcance.

$$z_{pix} = \frac{D}{\tan(\gamma)} \quad (2)$$

$$z_{pix} = D \cdot \frac{b + p_{pix}[\sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \cot(\phi)]}{b \cdot \cot(\phi) + p_{pix}[\sin(\alpha) \cdot \cot(\phi) + \cos(\alpha)]} \quad (3)$$

$$D = \frac{b}{\tan(\alpha)} \cdot \sin \phi \quad (4)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{f_{rec} \tan(\alpha)}{b - f_{rec}}\right) \quad (5)$$

$$p_{pix} = m \cdot l_{pix} - \frac{l_{det}}{2} \quad (6)$$

$$dz_{pix} = \frac{z_{pix}^2 Q}{x_{pix}} \quad (7)$$

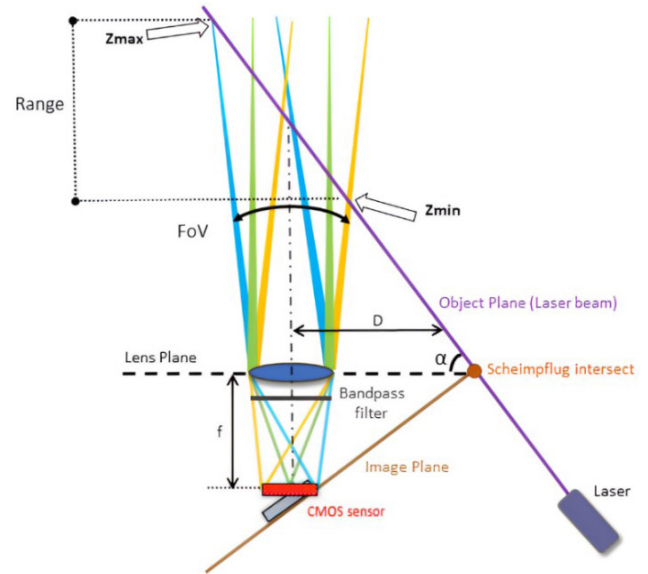


Fig. 4: Esquema del principio de triangulación propuesto, en el que el detector se posiciona paralelo a la lente

La descripción de los componentes según los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Elementos que constituyen un Lidar como el propuesto

Descripción de Componentes	
Sensor	CMV2000, 2048 × 1088 píxel, 5.5 μm
Fuente Laser	4-W 808-nm diodo laser, 3 mrad
Receptor	Sky-watcher 800 Quattro-8C OTA
Campo de visión (FoV)	0.0139 rad
FoV pix	6.82 μrad

2.3. Experiencias para depuración de algoritmo y procesamiento

Por otro lado, se realizó una experiencia para describir el algoritmo, el análisis y procesamiento de imágenes digitales en el receptor para detectar y seguir en el tiempo las variaciones de los cen-

telleos sobre el sensor. Se utiliza una cámara Raspberry Pi NoIR V2.1 - 8MP con un sensor Sony IMX 219 conectada a una Single Board Computer del proyecto Raspberry Pi, modelo 4B. Los datos crudos del sensor de imágenes son pre-procesados y enviados a una PC para su tratamiento en tiempo real vía rutinas escritas en lenguaje Python. A partir de la secuencia de imágenes individuales, se calculan series de tiempo de coordenadas centroides horizontales y verticales para cada una de las luces empleadas. Las coordenadas del centroide de los LED se utilizan posteriormente para estimar la velocidad del viento (Tichkule y Muschinski, 2012). Un diagrama del principio se muestra en Figura 5.

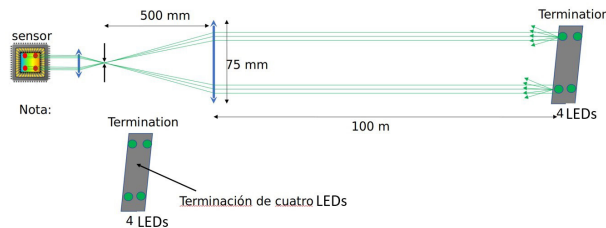


Fig. 5: Sistema para detectar cambios en el índice de refracción entre el sensor y un área de terminación compuesta por 4 LEDs

Los ensayos iniciales se realizaron utilizando solo dos fuentes de luz LED a una distancia reducida, utilizando un sistema construido en base al diagrama de la Figura 6. Para la adquisición de las imágenes se utilizó una cámara Raspberry Pi NoIR V2.1 - 8MP con interfaz directa a una RBPi4B corriendo Raspbian 32bit (Legacy) montado sobre una microSD de 128GB. Aunque se realizaron intentos de trabajar con el nuevo Raspbian Bullseye de 64bit, todavía no existe un soporte en Python equivalente al de las bibliotecas PiCamera desarrolladas desde hace años para la versión de 32bit, y las funcionalidades requeridas ameritaban mantener la versión anterior. Como se observa, la RBPi4 se hace operar en modo “headless” sin monitor ni teclado, utilizando el VNC Viewer para mayor agilidad en el transporte del prototipo. Como se observa, los primeros ensayos sólo involucran imágenes estáticas de LEDs las cuales se transforman numéricamente a efectos de determinar las coordenadas del centroide, paso fundamental para poder avanzar hacia un prototipo más complejo.

Un diagrama en bloques del posprocesamiento para determinar los centroides utilizando Python (Anaconda) se muestra en la Figura 7.

Uno de los problemas encontrados en las primeras experiencias fue la regulación de la corriente entregada a los LEDs para evitar la saturación de las imágenes al realizar el tratamiento numérico. Se

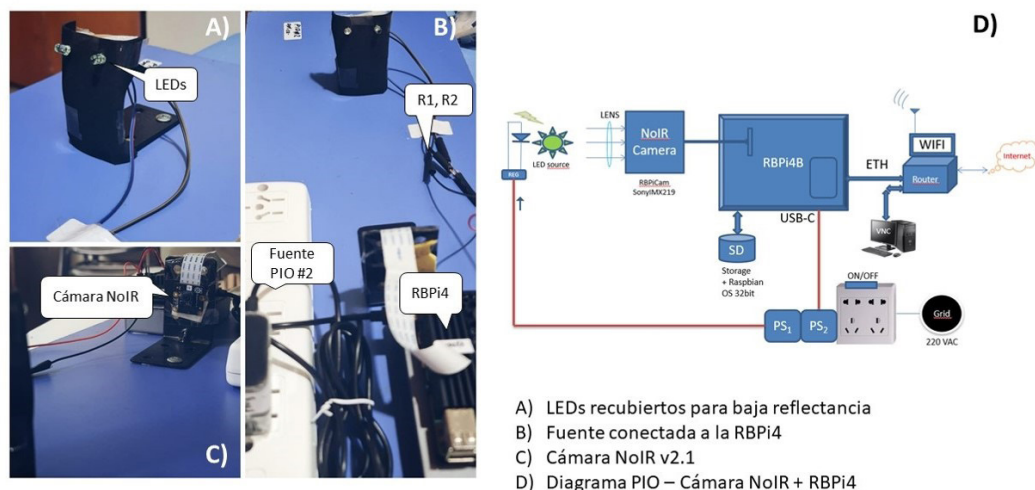


Fig. 6: Esquema del equipo de ensayo y distribución de elementos para la adquisición de las imágenes de los LEDs

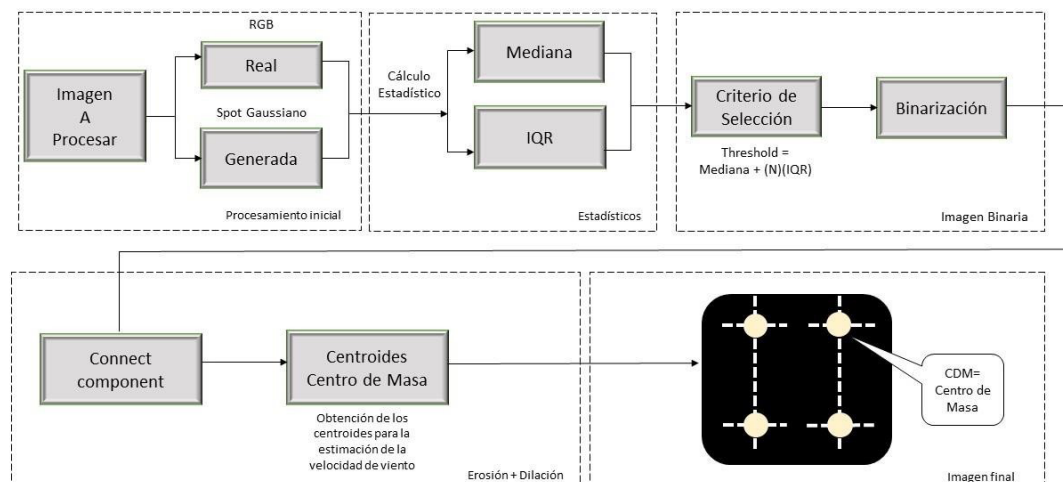


Fig. 7: Diagrama en bloques del Posprocesamiento en Python de las imágenes adquiridas

espera lograr resultados de esta primera etapa en el corto plazo. Para estudiar la adquisición y procesamiento de datos, se modeló el diseño PCB para un sensor comercial CMOS lineal de 4096 píxeles con el fin de capturar imágenes de resolución temporal elevada. El sensor es de la compañía Hamamatsu, modelo S13496 (Hamamatsu, 2020). Se pretende que el procesamiento sea tratado en una FPGA sin asistencia dedicada de una PC.

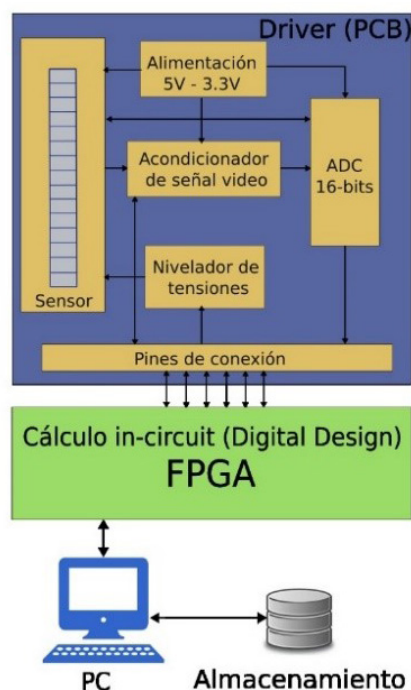


Fig. 8: Diagrama en bloques del Driver más el FPGA

Con esta arquitectura se busca reducir el tiempo de transferencia hacia la PC y resolver métricas estadísticas en la misma placa. Este enfoque contribuirá a evitar sobrecarga de datos en el sistema de almacenamiento, que se traduce en mayor eficiencia y en aplicaciones donde se requiera medir en alta resolución desde horas a días inclusive, lo cual es especialmente relevante en aplicaciones de Lidar de monitoreo atmosférico.

Al abordar las ecuaciones del principio geométrico, las pruebas para adquisición de imágenes por centelleo y proponer un diseño para el procesamiento de datos, se estudió la factibilidad del prototipo propuesto. Además, las ventajas del sistema incluyen bajo consumo de energía, portabilidad, uso de componentes estándar y alta

resolución temporal y espacial. Una implicación esperada de este diseño es el potencial desarrollo continuo de sistemas de bajo costo que permitan a la industria de energía renovable evaluar recursos eólicos en gran altitud en la troposfera utilizando Lidar.

3. INSTALACIÓN DE EQUIPO COMERCIAL

3.1. Adquisición de Lidar via Equipar Ciencia-CONICET

Este sistema Lidar fue solicitado en 2022 por ITA-UARG y el Programa Federal Equipar Ciencia de CONICET, a través del CIT Santa Cruz, con destino a los Grupos AEA (Energías Alternativas) que coordina el Mg. Ing. Rafael Oliva y GLOP (Grupo de Investigación en Optoelectrónica), dirigido por Dr. Jacobo Salvador. En febrero de 2024 llegó a Argentina y a Río Gallegos, donde actualmente está radicado para su uso una vez que se completen las tareas de instalación y los requerimientos operacionales que involucra (Figura 9).

3.2. Principio de funcionamiento

El Lidar ZX300 es un dispositivo diseñado para la medición precisa del recurso eólico en diversas aplicaciones, incluyendo estudios de viabilidad para parques eólicos. Como el resto de Lidar, su principio de funcionamiento se basa en la transmisión de pulsos laser hacia la atmósfera y la recolección de luz retrodispersada por los aerosoles en movimiento en las masas de aire. En este caso se utiliza la denominada detección coherente (Afek y otros, 2013), que es la metodología detrás de los denominados dispositivos Lidar Doppler. Estos equipos miden el desfase Doppler en la longitud de onda la luz reflejada desde los aerosoles en movimiento en un volumen muestreado de aire. Dicho desfase Doppler es generalmente medido a través de un sistema óptico coherente, cuya fuente de luz es cuidadosamente controlada, realizando una interferencia de la luz reflejada con el oscilador local. Debido a que el desfase Doppler es proporcional a la componente radial de la velocidad, es necesario medir en numerosas posiciones en el espacio para poder extraer el vector (completo) promedio de velocidad de viento. Esto implica una complejidad mayor, pero permite medir la velocidad y dirección del viento a diferentes alturas, proporcionando datos detallados que son fundamentales para el diseño y la optimización de proyectos de energía eólica.

3.3. Requerimientos de instalación y operación

El equipo tiene ciertos requerimientos de alimentación (12 V CC estables) que se resuelven habitualmente en combinación con bancos de baterías (Figura 10). Se ha proyectado asimismo combinar el sistema con equipos de medición convencional a efectos

Ubicación LIDAR – Campus UARG 22-07-24 (v2D)
Vista de Recepción de Equipo (02-2024)



(3) Paneles FV Techo

(2) Tablero y baterías

F17 A

Possible ubicación LIDAR – Campus UARG 06-03-24



Fig. 9: Equipo Lidar recibido vía programa Equipar Ciencia (CONICET) y preparación de ubicación en Campus UNPA-UARG.

de realizar los controles adecuados en los períodos de prueba.

Se espera poder iniciar a la brevedad los ensayos, para lo cual se encuentra en proceso la instalación y pruebas con su software específico y requerimientos de orientación y cableado, como se muestra en figura 11.

Por su diseño de fácil despliegue y portabilidad, es un equipo especialmente útil en terrenos complejos o en ubicaciones remotas donde la instalación de torres meteorológicas tradicionales es impráctica o costosa. Su capacidad para operar en condiciones meteorológicas adversas lo convierte en una herramienta valiosa para obtener mediciones de viento precisas y confiables.

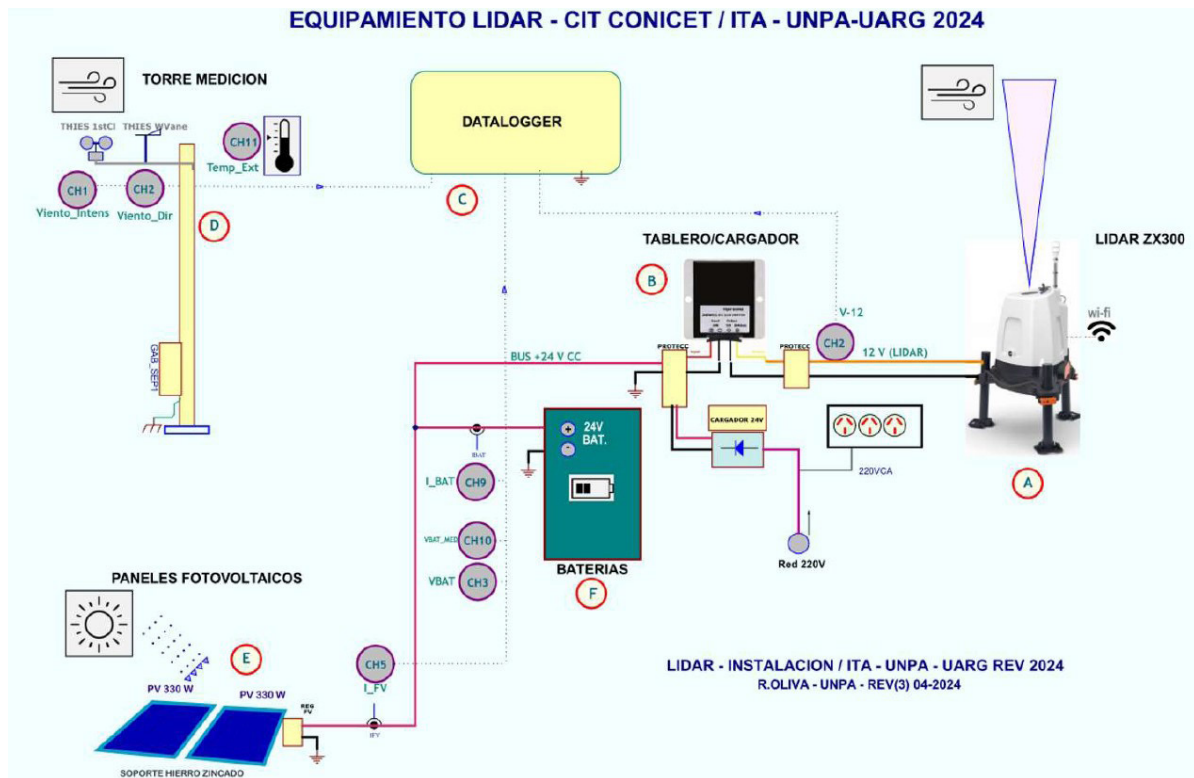


Fig. 10: Esquema eléctrico para alimentación del equipo Lidar en Campus UNPA-UARG.

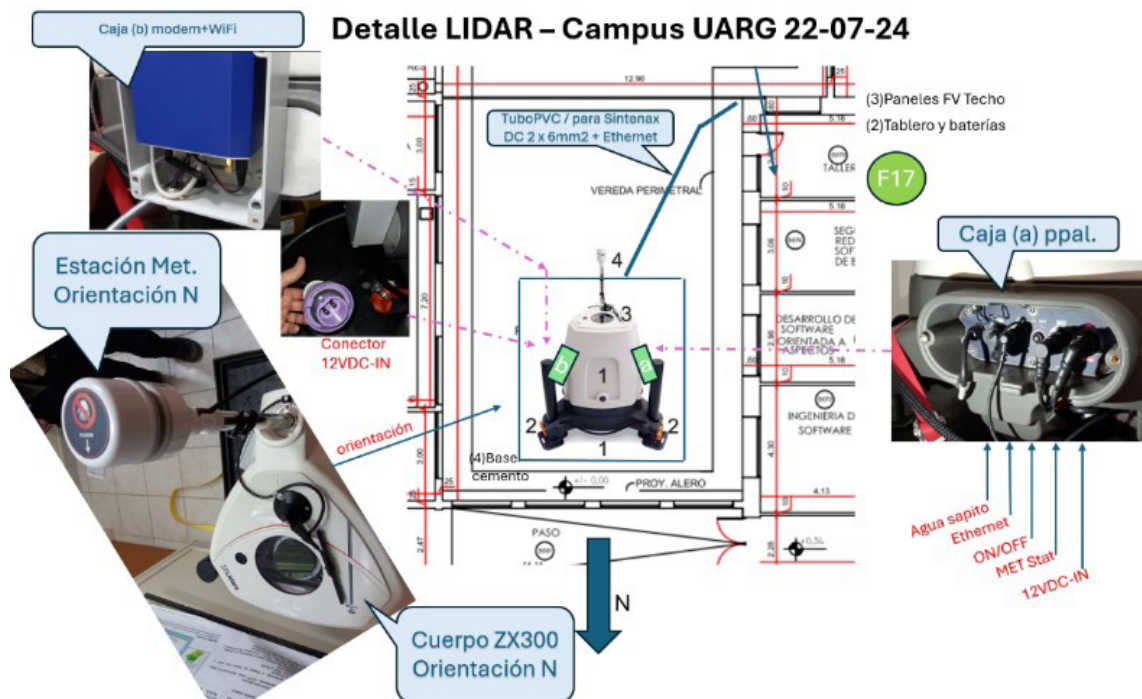


Fig. 11: Conexión de equipo Lidar en Campus UNPA-UARG.

4. CONCLUSIONES

Se han podido presentar los aspectos más relevantes mostrando el potencial de combinar técnicas convencionales y ópticas aplicadas a las energías renovables. Las primeras, estándar industrial hasta hace menos de una década, comenzaron a mostrar limitaciones debido al crecimiento del tamaño de las máquinas eólicas, a la vez que se registró una persistente reducción de costo de las técnicas remotas utilizando RSDs, particularmente los dispositivos Lidar, y su incorporación a la normativa internacional IEC. El trabajo realizado involucró el diseño de distintos prototipos para diferentes pruebas, incluyendo los circuitos electrónicos y aspectos de programación.

Esto presentó un desafío significativo, pero se logró en muchos casos refinar las configuraciones ópticas y electrónicas para conseguir una mejora en los resultados. En cuanto a los diseños ópticos, trabajar con un sistema simplificado permitió la obtención de un modelo que permite trabajar con las variables principales que intervienen en el proceso de seguimiento de aerosoles en movimiento para su detección mediante luz. Al mismo tiempo, formular las ecuaciones matemáticas siguiendo los principios ya establecidos y ampliamente usados en fotografía derivó en su implementación para obtener resultados en las simulaciones. Resta avanzar en el perfeccionamiento de la parte electrónica y en una optimización del modelado para tomar en cuenta un mayor número de variables que afectan al proceso de medición real.

En futuros trabajos, se podrá continuar con el desarrollo del proyecto hacia la integración de técnicas ópticas aplicadas a energías renovables, expandiendo la documentación y profundizando en su aplicabilidad local, tanto para equipos de montaje convencional como offshore.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Este proyecto cuenta con financiamiento a través de Proyectos de Investigación UNPA (29/A492 y recientemente 29/A543), y a través del Programa Federal Equipar Ciencia, EX-2022-07985605-APN-DDYGD#MCT, resolución RESOL-2022-777-APN-MCT de diciembre 2022.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CIT Santa Cruz (CONICET), al Instituto de Tecnología Aplicada y a la Universidad Nacional de la Patagonia Austral por la cooperación para avanzar con las tareas del presente proyecto.

REFERENCIAS

- Afek y otros, (2013) Afek, N. Sela, N. Narkiss, G. Shamai, S. Tsadka. Wind measurement via direct detection lidar. Proc. SPIE 8894, Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing IX, 889404 (22 October 2013); doi: 10.1117/12.2031624
- Agishev, R. (2019) Laser Remote Sensing of the Environment: Methods and Techniques (monograph)/Moscow, PhysMathLit Publishing House, 2019. -264 p. [en línea] URL <https://www.researchgate.net/publication/340078165_RAgishev_Laser_Remote_Sensing_of_the_Environment_Methods_and_techniques_monograph_Moscow_PhysMathLit_Publ_House_2019_-_264_p> [consulta: 29 de julio de 2024]
- ArgentinaLey26190 [en línea] Ley 26190, reglamentación y modificatorias - Dirección URL <<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26190-123565/normas-modifican>> [consulta: 08 de agosto de 2024]
- CAMMESA [en línea] CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A.) - Renovables Hoy - Dirección URL <<https://cammesaweb.cammesa.com/generacion-real/>> [consulta: 10 de agosto de 2024]
- Cheon y otros, (2007) Y. Cheon, V. Hohreiter, M. Behn, A. Muschinski Angle-of-arrival anemometry by means of a large-aperture Schmidt-Cassegrain telescope equipped with a CCD camera, Journal Opt. Soc. Am. A, vol. 24, pp. 3478 - 3492, 2007. [en línea] URL <<https://opg.optica.org/josaa/abstract.cfm?uri=josaa-24-11-3478>> [consulta: 10 de agosto de 2024]
- Hamamatsu (2020) CMOS linear image sensor S13496 (Datasheet available): [en línea] URL <<https://www.hamamatsu.com/us/en/product/optical-sensors/image-sensor/ccd-cmos-nmos-image-sensor/line-sensor/for-spectrophotometry/S13496.html>> [consulta: 28 de julio de 2024]
- IEC61400-12-1 2022 [en línea] Wind energy generation systems - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (3rd Ed., 2022) - Dirección URL <<https://webstore.iec.ch/en/publication/68499>> [consulta: 05 de agosto de 2024]
- Kong et al, (2020) Kong, Z. Mei, L. Ma, T. Feasibility investigation of a monostatic imaging lidar with a parallel-placed image sensor for atmospheric remote sensing. [en línea] URL <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002240732030279X>> [consulta: 02 de agosto de 2024]
- Lawrence y otros, (1972) S. Lawrence, G. R. Ochs, S. F. Clifford. Use of scintillations to measure average wind across a light beam. Applied Optics, vol. 11, pp. 239-243, 1972. [en línea] URL <<https://opg.optica.org/ao/fulltext.cfm?uri=ao-11-2-239>> [consulta: 10 de agosto de 2024]
- Luna y otros, (2022) Luna F., Salvador J., Oliva R., Quiroga J. Principios Ópticos para la Medición Remota Activa del Recurso Eólico en Patagonia Austral, Argentina, XVII TOPFOT - Óptica y Fotónica Aplicadas al Ambiente y la Salud. [en línea] URL <https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=64686&congresos=yes&detalle=s=yes&congr_id=10263572> [consulta: 06 de agosto de 2024]
- Malmqvist, E. (2019). From Fauna to Flames: Remote Sensing with Scheimpflug Lidar. Dept. of Physics, Lund University URL <https://portal.research.lu.se/files/60914506/Fauna_to_Flames.pdf> [en línea] [consulta: 06 de agosto de 2024]
- NRG Systems (2024) ZX Lidars [en línea] URL <<https://www.nrgsystems.com/products/lidar>> [consulta: 08 de agosto de 2024]
- NRG ZX 300 (2024) Equipo Lidar Doppler fabricado por ZXLidars.com [en línea] URL <<https://www.nrgsystems.com/products/lidar/detail/zx-300-wind-lidar/>>
- Oliva y otros, (2021) Oliva,R., Salvador,J., González,J., Cortez,N., Lescano,J., Triñanes,P. González,L., Cabrera,S., Garzón,N. Fuentes,C., Quiroga, J., Díaz,N., Flores,M., Luna, F. La normativa IEC para sistemas eólicos e híbridos aislados, y la utilización de tecnologías de medición remota: aplicación en contexto patagónico. Avances en Energías Renovables y Medio

Ambiente – AVERMA e-ISSN: 2796-8111, Vol. 25. [en línea] URL <<https://avermaexa.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/163>> [consulta: 06 de agosto de 2024]

Scheimpflug, T. (1904). Improved Method and Apparatus for the Systematic Alteration or Distortion of Plane Pictures and Images by Means of Lenses and Mirrors for Photography and for Other Purposes. GB Pat. No. 1196 -1904. [en línea] URL <<https://patents.google.com/patent/GB190401196A/en>> [consulta: 06 de agosto de 2024]

Tichkule y Muschinski, (2012) S. Tichkule, A. Muschinski. Op Vaisala (2024) Windcube Lidar [en línea] URL <<https://www.vaisala.com/en/wind-lidars/wind-energy/windcube>> [consulta: 08 de agosto de 2024]

UNE-EN 61400-12-1 2024 [en línea] Sistemas de generación de energía eólica. Parte 12-1: Mediciones del rendimiento de potencia de aerogeneradores productores de electricidad. (Ed. 2024) - Dirección URL <<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-iec-61400-12-1-2024-n0072808>> [consulta: 05 de agosto de 2024]

Yaramasu, Venkata PhD, (2022). Power Converters for Wind Energy Conversion Systems - Wind Energy Class at the Universidad de Talca, Chile 10-2022. Northern Arizona University - Email: Venkata.Yaramasu@nau.edu

Zappa y otros, (2013) Zappa A, Oliva R, Duzdevich J, Martín G. Evaluación de curva de potencia en plataforma de ensayo para aerogeneradores de baja potencia. Actas de Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente - Vol. 1, pp. 06.89-06.98, 2013. ISBN 978-987-29873-0-5 [en línea] URL <<https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/2054>> [consulta: 06 de agosto de 2024]