

ESTUDIO DEL USO DEL PROTOCOLO KNX DE POWER LINE COMMUNICATION PARA COMUNICAR EL ESTADO DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA, PARA UNA ZONA AISLADA DE LA PATAGONIA AUSTRAL

Ibarreta Fañanas, Adriana L.; Lavorato, Mario B.

Facultad Regional Santa Cruz, Universidad Tecnológica Nacional.
libarretaf@frsc.utm.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo pretende ofrecer una solución a la problemática energética, de zonas aisladas de la Patagonia Austral, carecientes de tendido eléctrico. Por ello se propone la instalación de un aerogenerador de baja potencia, monitoreado de forma constante mediante una comunicación Power Line Communication con una central de comando, teniendo en cuenta que el mismo debe soportar las características climáticas de la Patagonia Austral, las cuales pueden producir daño a estructuras y conexiones. De la variedad de protocolos asociados a la técnica Power Line Communication, se estudió el protocolo KNX, debido a su robustez. Dicho estudio se acompaña de una simulación de la capa física de la comunicación propuesta mediante el software Simulink para evaluar su posible funcionamiento. Con la información recopilada hasta el momento se cree que es factible la utilización de dicho protocolo.

Palabras Claves: Power Line Communication, Aerogenerador, Zona aislada

ABSTRACT

This article pretends to offer a solution to the energetic problema that presents the so call isolated áreas in Sothern Patagonia without power line energy. This solution suggest the instalation og a low power windturbine, supervised by a control station, using Power Line Communications, knowing that the present climate conditions may produce damage to structures and conexions. From the different techniques associated with Power Line Communication, the KNX protocol was chosen, because of the robustness that the protocol presents. Finally the present article shows a simulation of the phisical layer of the proposed communication using Simulink to evaluate it behaviour. Using this information, its factible to use this protocol in the present case.

Keywords: Power Line Communication, Wind Turbine, Isolated areas

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la matriz energética de la Patagonia Austral, en particular de la provincia de Santa Cruz, no tiene un porcentaje significativo relacionado al uso y aprovechamiento de las energías renovables, al igual que sucede en toda la Argentina (Castelao Caruana, 2019), sin embargo, tanto el caudal de los ríos (Labriola, C. V. M., & Peralta, C. E., 2014), como la diferencia de mareas, al igual que la frecuencia e intensidad de vientos es digno de estudio (Oliva, R. B. & Lescano, J., 2013). Por ende, existe un potencial energético que actualmente no se está explotando.

En lo que respecta a energía eólica, numerosos estudios ubican a la Argentina, en particular a la Patagonia como una de las posibles ubicaciones de futuros parques eólicos (Casanovas, R. & Zuain, M., 2018). A su vez, la realidad de la Patagonia, en particular la provincia de Santa Cruz, con grandes extensiones de tierra y marcados centros urbanos, muestra una deficiencia energética respecto a los pequeños asentamientos existentes, como son campamentos de explotación de carbón, gas y petróleo los cuales suelen ser provisorios, pero que se encuentran habitados todo el año, cascos de estancia con personal permanente, puestos de vialidad dispuestos para el mantenimiento de las rutas, y escuelas rurales de las cuales se puede encontrar cuatro dispersas por la provincia, entre otros, que no poseen tendido eléctrico, y que debido al bajo número poblacional, no es rentable realizar un nuevo tendido eléctrico para satisfacer dichas necesidades energéticas.

Atento a esto se podría suponer que el aprovechamiento de las energías renovables, en particular, de la energía eólica podría ser una solución para el problema que se plantea, sin embargo, dadas las condiciones climáticas que se presentan en la zona, no sólo con continuos vientos de gran velocidad (Samela, A. M. & Bahamonde, P. J., 2012)], sino también las bajas temperaturas, las grandes nevadas y la presencia de escarcha principalmente entre otoño, invierno y parte de la primavera, las estructuras como puede ser un aerogenerador instalado pueden correr gran peligro, especialmente si no posee un mantenimiento constante.

Dado que, en la época invernal, muchas de estas zonas aisladas quedan con acceso restringido debido a la condición de las rutas, y teniendo en cuenta que no siempre se puede contar con un experto dentro de los pocos habitantes, las estructuras presentes deben poder mantenerse funcionales ante el clima severo de la Patagonia Austral, sin recibir mantenimiento durante el invierno.

Con esto en consideración lo que propone este artículo es un sistema compuesto por un aerogenerador, de características determinadas que le permita funcionar en las condiciones climáticas planteadas, de baja potencia, dado que la demanda no será demasiada por la cantidad de habitantes. Dicho generador estará comunicado a un centro de comando u hogar dentro de la zona aislada, el cual dará información del estado del aerogenerador en tiempo real, de modo que antes que la estructura pueda dañarse, puedan realizarse acciones de control desde el centro de comando, para evitar que este se rompa, quedando inutilizable hasta la temporada de primavera, en que pueda acceder un agente especializado.

Esta propuesta incluye sensores necesarios para conocer el estado del aerogenerador cuyas señales serán el mensaje enviado desde el aerogenerador hasta la central de comando.

Por otro lado, la comunicación se propuso utilizando la técnica Power Line Communication (Yitao, L. & Wenhao L., 2022) en la cual se aprovecha la instalación eléctrica, para enviar el mensaje, utilizando como señal portadora la señal de energía, producida en este caso, por el aerogenerador de baja potencia. Esta técnica posee numerosas aplicaciones, entre ellas se encuentra muy asociada a Smart Grid (López, 2019)]. Esto se debe a que el uso de la presente técnica posee bajo costo de instalación, ya que aprovecha la instalación eléctrica existente, obteniendo una conexión robusta, segura y confiable. En la Figura 1 se muestra el proceso de las señales en Power Line Communications.

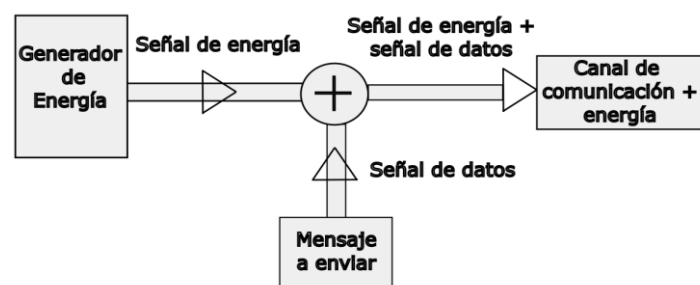


Figura 1 Ejemplo de la aplicación de la Técnica Power Line Communication.

Existen numerosos protocolos asociados a la técnica Power Line Communication, incluido el protocolo KNX (Pisapan, P. & Wongpanyo, W., 2023), escogido en este artículo. Cabe aclarar en este caso, que dependiendo de la bibliografía que se consulte existe una discrepancia entre la definición de KNX donde en algunos artículos se presenta como un protocolo, mientras que en otros se denomina como un estándar. En este caso, dado que no hay normativas al respecto en Argentina, es indiferente si se trata de uno u otro mientras se respeten los parámetros que dicte el mismo.

KNX principalmente destaca en el uso de domótica y automatización del hogar, en particular, se trata de un protocolo de gran robustez, orientado al uso de Narrowband power line communication.

En artículos anteriores se ha realizado una selección de protocolos que podrían ser utilizados en este caso de estudio particular (Ibarreta Fañanas, A. L. & Lavorato, M. B., 2021), sin embargo, en ese entonces, debido a la poca información obtenida sobre el protocolo KNX, notando que no existen precedentes del uso de éste en situaciones similares a la presentada, no se tomó en cuenta la utilización del protocolo escogido para esta publicación. Sin embargo, teniendo en cuenta la robustez del protocolo, y teniendo en cuenta que la principal importancia es mantener una comunicación confiable entre el aerogenerador y la sede de comando, se propone en el presente artículo la posibilidad de utilizar este protocolo. En la Figura 2 se muestra de forma gráfica el esquema de conexión que se propone.

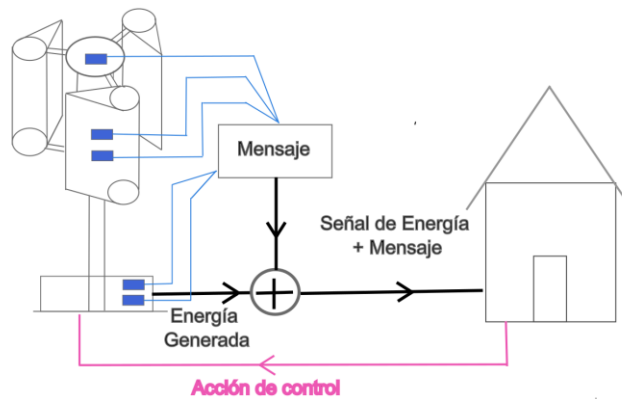


Figura 2 Esquema general del sistema propuesto.

El presente artículo finaliza con la simulación realizada en Mathworks Simulink, de la capa física del sistema propuesto, junto con un análisis de errores presente en la simulación.

2. EL RECURSO DEL VIENTO Y SU APROVECHAMIENTO

Existen pocos estudios respecto a la medición de vientos en diferentes sectores de la Patagonia Austral [ref], esto se debe, no sólo a las grandes extensiones de tierra sin centros urbanos, donde no se suelen tomar mediciones climáticas, sino que históricamente, tampoco se han hechos grandes relevamientos de dicha información a excepción de las mediciones de rutina realizadas por los aeropuertos naciones, dentro de los límites del aeropuerto. Estos registros muestran en las zonas más ventosas, en la zona este, entre el centro y sur de la provincia de Santa Cruz, vientos del sector de predominancia OSO y SO (Samela A. M. & Bahamonde P.J., 2010) que alcanzan una velocidad promedio de 9 m/s (Samela, A. M. & Bahamonde, P. J., 2013). Debe tenerse en cuenta también que la característica del viento presente en esta zona, es que no es constante, sino que presenta fuertes ráfagas, que pueden producir el arrastre de partículas y objetos pequeños, que pueden poner en riesgo cualquier estructura no protegida. Teniendo en cuenta que en zonas alejadas a los grandes centros urbanos esta situación se ve más acentuada debido a la falta de reparo de grandes construcciones o estructuras. En la Figura 3 se muestra un mapa de intensidad de vientos correspondiente a datos tomados del Servicio Meteorológico Nacional expresado en km/h.

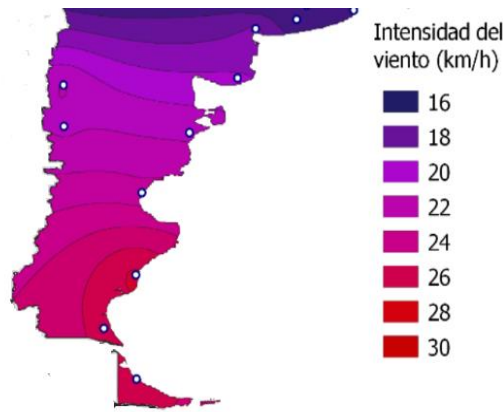


Figura 3 Mapas de intensidad media del viento en Argentina, elaborado a partir de datos del SMN.

Respecto del aprovechamiento, existen en la actualidad tres parques eólicos, de una extensión considerable, ubicadas en el centro y norte de la provincia de Santa Cruz: el parque eólico Vientos los Hércules con una capacidad de energía de 97,2MW, el parque eólico Cañadón León que posee una capacidad instalada de 122MW, y el parque eólico Del Bicentenario que ofrece una capacidad de energía de 126MW, además existen algunos artículos donde se han realizado pruebas con prototipos pequeños de baja potencia que no han tenido éxito debido a la condiciones climáticas de la zona. En la Figura 4 puede verse la ubicación de los parques eólicos en funcionamiento de la provincia de Santa Cruz, mostrando en verde la ubicación aproximada del parque eólico Vientos los Hércules, en rojo la ubicación aproximada del parque eólico Cañadón León y en azul la ubicación aproximada del parque eólico Del Bicentenario.

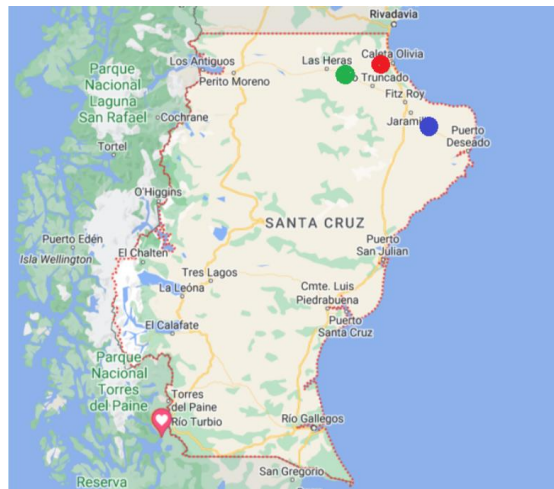


Figura 4 Ubicación aproximada de los partes eólicos en funcionamiento en la provincia de Santa Cruz.

Se realizó un relevamiento de la energía generada entre 2021 y 2023 de cada uno de los parques mencionados, a partir de la información otorgada por la empresa Cammesa (CAMMESA, 2023), se elaboraron los gráficos presentes en las Figura 5, Figura 6 y Figura 7, correspondiendo la Figura 5 a la energía generada por el Parque eólico Del Bicentenario, la Figura 6 a la energía generada por el parque eólico Cañadón León y la Figura 7 correspondiente a la energía generada por el parque eólico Vientos De Hércules.

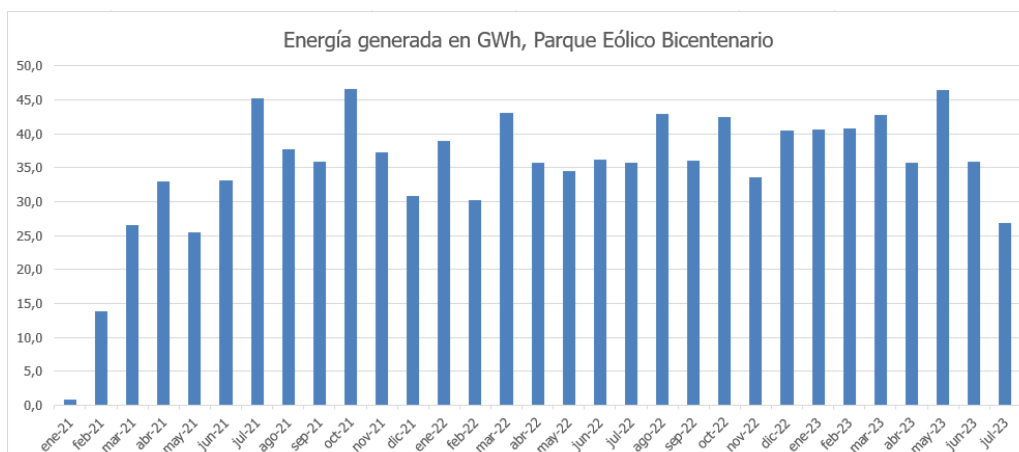


Figura 5 Energía generada por el Parque Eólico Del Bicentenario

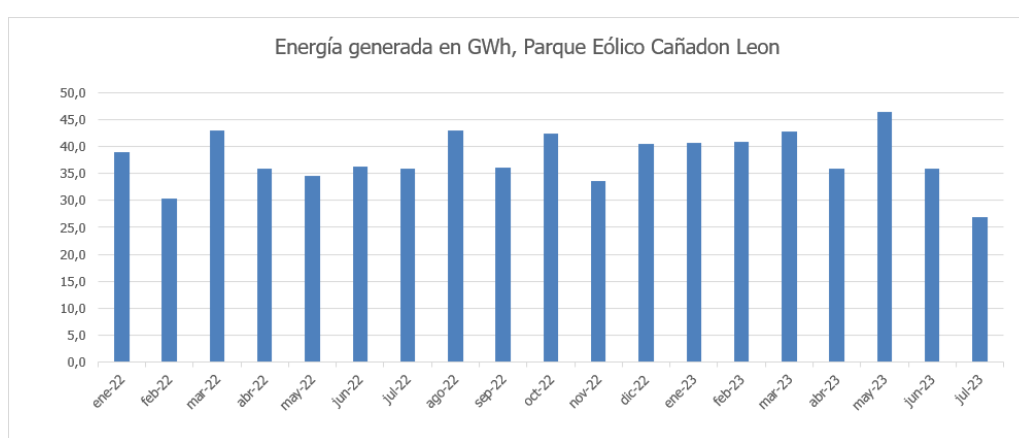


Figura 6 Energía generada por el Parque Eólico Cañadón León

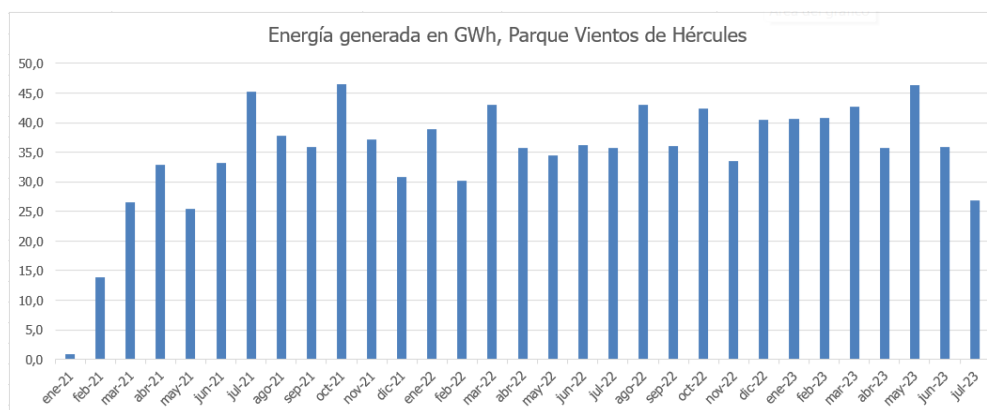


Figura 7 Energía generada por el Parque Eólico Vientos de Hércules

Teniendo esto en cuenta, se propone para este caso la instalación de un aerogenerador de eje vertical, de baja potencia, brushless para evitar ciertas partes mecánicas que puedan dañarse, similar al desarrollado por la UTN FRSC (Samela, A. M. & Ibarreta Fañanas, A. L., 2018). El mismo posee tres palas en forma de gota, las cuales fueron ensayadas para vientos similares a los presentes en la zona centro y sur de Santa Cruz (Samela A. & Bahamonde P, 2015)

Para poder realizar el correspondiente monitoreo del estado del aerogenerador, se recomienda una distribución mínima de sensores, de modo de cubrir cualquier falla mecánica o eléctrica que pueda requerir la parada de marcha de emergencia del aerogenerador. Dichos sensores se colocarán en las

palas del aerogenerador, para realizar mediciones de vibraciones, galgas extensiométricas para medición de esfuerzo mecánico, otros se colocarán en el eje para realizar mediciones de vibración, y velocidad de rotación. También se propone realizar mediciones respecto al rotor, tanto de temperatura como de parámetros eléctricos. Esto no solo permitirá conocer su estado, sino también controlar el rendimiento del aerogenerador en tiempo real. En la Figura 8 puede verse la distribución física de los sensores propuestos.

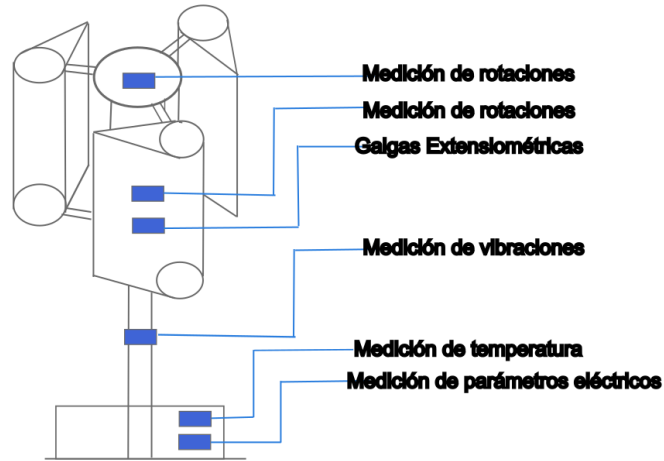


Figura 8 Distribución propuesta de sensores

3. POWER LINE COMMUNICATION Y EL PROTOCOLO KNX

Power Line Communication es un técnica muy utilizada (Wang B. & Cao Z., 2019), donde se aprovecha como canal de comunicación un conductor por el que pasa energía, donde el mensaje utiliza como portadora la señal de energía. Este tipo de comunicación tiene como fin realizar una comunicación segura, con bajo costo de instalación, sin embargo, dependiendo del tipo de aplicación que se le quiera dar, la misma puede adquirir otras características. Se distinguen dos tipos de usos los cuales se corresponden con la denominada Narrowband Power Line Communication (Llano, A. & De La Vega D., 2019) y la denominada Broadband Power Line Communication (Gonzales Ramos, J. & Uribe Pérez N., 2022). La primera fue diseñada para áreas de gran tamaño, capaz de cubrir grandes distancias sin necesidad de repetidoras, lo que las hace robustas y confiables, las mismas trabajan en el rango de frecuencias que abarca hasta los 500 kHz y poseen una velocidad nominal del orden de los kbps hasta los 500 kbps. Por otro lado, la segunda, está íntegramente relacionada a in-home multimedia, diseñada para cubrir poca distancia, pero teniendo a ser más veloz, ofreciendo una comunicación rápida y segura, opera en el rango de frecuencias de 1,8 a 250 MHz, con una velocidad del orden de los Mbps hasta los Gbps. En la Figura 9 se presenta gráficamente la diferencia de frecuencias que abarcan las comunicaciones Narrowband y Broadband

Dadas las características de ambos tipos de comunicaciones, se escogió utilizar para el caso descrito una comunicación Narrowband Power Line Communication, debido a que, si bien no se consigue gran velocidad de conexión, en el presente caso de estudio se prioriza ante todo la robustez de la comunicación.

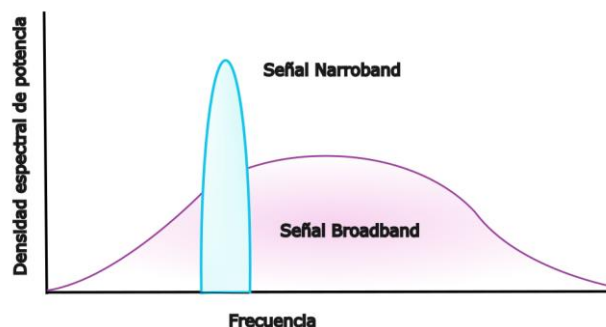


Figura 9 Diferencia de distribución de frecuencias entre una comunicación Narrowband y una comunicación Broadband

Existen numerosos protocolos y estándares asociados a Narrowband Power Line Communication, que son ampliamente utilizados, sin embargo en este caso, se intenta probar uno que particularmente no es tan masivo como podría ser PRIME (Hashim S. M. & Al-Mashhadani I. B., 2022) o G3 Power Line Communication (El Sayed, W. & Crovetti P., 2021)]. El protocolo o estándar KNX originalmente fue concebido para automatización de hogares, donde se desee trabajar con gran número de variables dado que permite de forma efectiva el control de variables, utilizando una red bus en común. A su vez tiene otras ventajas, que en este caso no serían aprovechadas, como el hecho que no se necesita una unidad de control central, ya que la “inteligencia” del sistema se comparte en los sistemas de los diferentes dispositivos a controlar.

En el presente caso si bien no se desea controlar un gran número de dispositivos, se trata de un gran número de sensores, cuya lectura debe comunicarse de forma eficiente. Existe un estudio previo realizado de la situación presentada, donde se descartó este protocolo debido a que el mismo presentaba sólo ejemplos de automatización indoor, y que la misma presentaba una comunicación tipo half-duplex, sin embargo, dada la velocidad en la que se pretende realizar la comunicación, se podía adaptar a una comunicación half-duplex sin problema.

Desde el aspecto técnico KNX, la comunicación posee una tasa de transferencia de 1,2 kbit/s, el mensaje se envía mediante Spread Frequency Shift Keying (S-FSK) donde la frecuencia de 105,6 kHz corresponde a un cero y la de 115,2 kHz corresponde a un uno, tal como muestra la Figura 10.

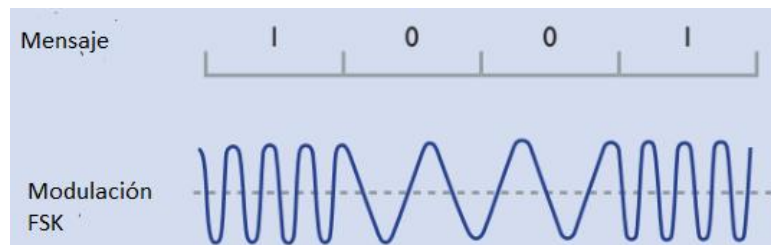


Figura 10 Modulación propuesta por el protocolo KNX

Respecto a la estructura del mensaje, comienza con un campo de entrenamiento que sincroniza los niveles del transmisor del mensaje y receptor. Luego posee un campo preliminar, que indica el comienzo de la transmisión, control de acceso al bus y que previene la colisión de paquetes. El tercer campo es el mensaje que se desea enviar. Finalmente, el último campo posee ID del sistema, de modo que sólo los dispositivos que poseen la misma ID puedan comunicarse. En la Figura 11 puede verse cómo está constituida la estructura del mensaje.

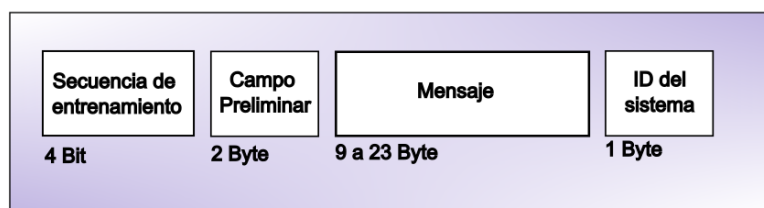


Figura 11 Estructura del mensaje en el protocolo KNX

3. SIMULACIÓN

Utilizando los datos técnicos de la capa física del protocolo seleccionado, se realizó una simulación mediante el software Simulink de Mathworks, donde se realizó el envío de un mensaje aleatorio utilizando Power Line Communication. En la Figura 12 puede verse el esquema general de la comunicación propuesta, mientras que en la Figura 13 puede verse una comparación entre el mensaje enviado y el mensaje recibido, donde los mismos se corresponden.

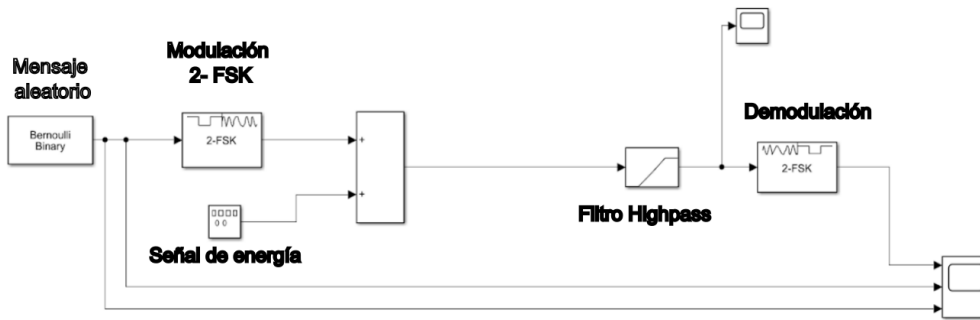


Figura 12 Esquema en Simulink de la comunicación propuesta

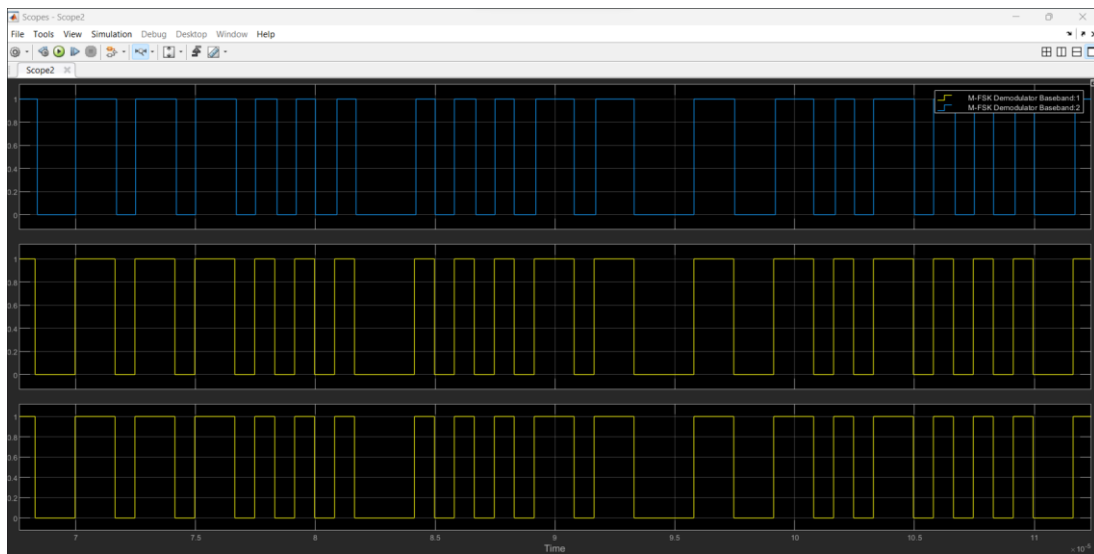


Figura 13 Comparación entre mensaje enviado y mensaje recibido

Se realizó el cálculo del error ratio de la comunicación y el mismo se comparó con el producido por los bloques de modulación, sin contar con la intervención de Power Line Communications, los resultados se muestran en la Figura 14.

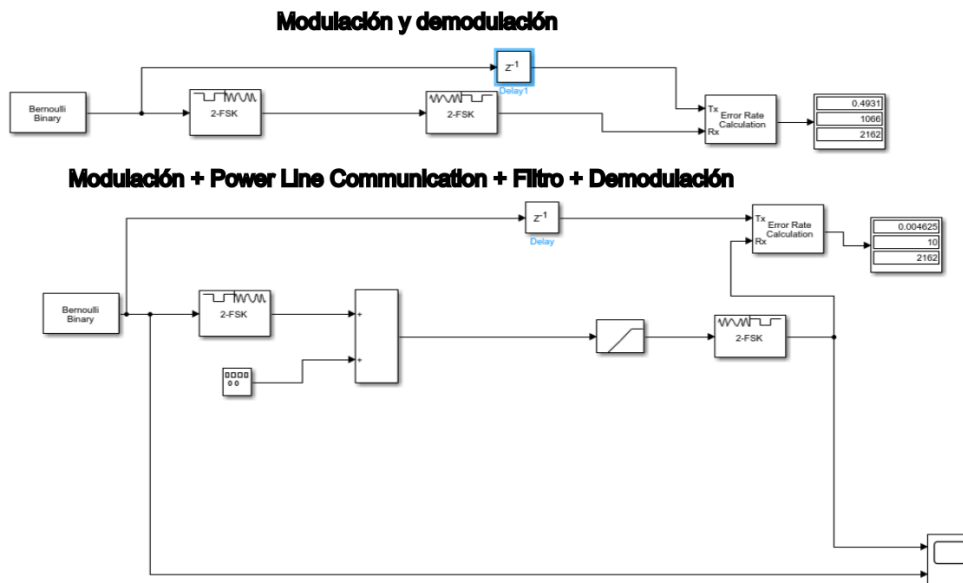


Figura 14 Cálculo de tasa de error sin y con el uso de Power Line Communication

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los datos recopilados, al igual que las simulaciones realizadas, puede concluirse que es factible realizar la comunicación propuesta entre un aerogenerador de baja potencia y una central de control, alimentada por dicho aerogenerador, utilizando el protocolo KNX correspondiente a Power Line Communications, para realizar un relevamiento del estado general del aerogenerador, mediante el uso de múltiples sensores, que funciona en una zona aislada de la Patagonia Austral. Cabe destacar que en las presentes simulaciones no se tuvo en cuenta el ruido impulsivo, que suele presentarse en el canal de comunicación dentro de las comunicaciones tipo Power Line Communication, por lo que para próximas investigaciones cabe la posibilidad de agregar en la simulación los efectos de dicho ruido impulsivo, y de ser necesario, considerar alguna técnica para mitigarlo.

4. REFERENCIAS.

- CAMMESA. (Enero de 2011). *Cammesa Energías Renovables*. Obtenido de <https://cammesaweb.cammesa.com/erenovables/>
- Casanovas ,R. & Zuain, M. (2018). El recurso eólico en Chubut (República Argentina). El rol de la Dirección General de Evaluación Ambiental en su explotación. *Párrafos Geográficos N° 30*, 17-27.
- Castelao Caruana, M. E. (2019). La energía renovable en Argentina como estrategia de política energética e industrial. *Problemas de desarrollo*, vol.50 no.197.
- El Sayed, W. & Crovetti P. (2021). Electromagnetic Interference of Spread-Spectrum Modulated Power Converters in G3-PLC Power Line Communication Systems. *IEEE Letters on Electromagnetic Compatibility Practice and Applications*, vol. 3, 118-122.
- Gonzales Ramos, J. & Uribe Pérez N. (2022). Upgrading the Power Grid Functionalities with Broadband Power Line Communications: Basis, Applications, Current Trends and Challenges. *Sensors* 2022, 22, 4348, 1-34.
- Hashim S. M. & Al-Mashhadani I. B. (2022). Performance analysis of PRIME Technology based on QPSK and 16/64-QAM of power line communication. *2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies* , 298-303.
- Ibarreta Fañanas, A. L. & Lavorato, M. B. (2021). SELECCIÓN DE UN PROTOCOLO DE POWER LINE COMMUNICATIONS APLICADO A. *Anales AFA Vol. 32 Nro. 2*, 55-61.
- Labriola, C. V. M., & Peralta, C. E. . (2014). Análisis de sistema de convertidores fluido-dinámicos de energía renovable para la Patagonia Austral de Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 128–143.
- Llano, A. & De La Vega D. (2019). Impact of Channel Disturbances on Current Narrowband Power Line Communications and Lessons to Be Learnt for the Future Technologies. *IEEE Access*, vol. 7, 83797-83811.
- López, G. (2019). The Role of Power Line Communications in the Smart Grid Revisited: Applications, Challenges, and Research Initiatives. *IEEE Access*, vol. 7, 117346-117368.
- Oliva, R. B. & Lescano, J. . (2013). Consideraciones de diseño para un parque eólico piloto en puerto San Julián, Santa Cruz. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; vol. 13*, 117-124.
- Pisapan, P. & Wongpanyo, W. (2023). A capability of power line communication for HEMS of smart grid on traditional home power grid in Thailand. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 163-172.
- Samela A. & Bahamonde P. (2015). “Diseño y construcción de túnel de viento para ensayo de perfiles de superficies de palas para aerogenerador. *XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina*, (págs. 165-172). San Rafael, Mendoza.

- Samela A. M. & Bahamonde P.J. (2010). Caracterización del régimen de vientos en la Ciudad de Río Gallegos. *II Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica*. Córdoba: Universidad de la Defensa Nacional.
- Samela, A. M. & Bahamonde, P. J. (2012). Determinación de parámetros de vientos en el sur de la Provincia de Santa Cruz. *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV)*, (pág. 11). La Plata.
- Samela, A. M. & Bahamonde, P. J. (2013). Estudio del régimen de vientos en la localidad de Gobernador Gregores. *ASADES 2013-XXXVI Reunión de Trabajo-Tucuman*.
- Samela, A. M. & Ibarreta Fañanas, A. L. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EOLOELÉCTRICO DE BAJA POTENCIA ADAPTADO A CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA PATAGONIA AUSTRAL. *III Congreso Argentino de Energías Sustentables* (págs. 104-111). Bahía Blanca: edUTecNe.
- Wang B. & Cao Z. (2019). A Review of Impedance Matching Techniques in Power Line Communications. *Electronics*, 1-26.
- Yitao, L. & Wenhao L. (2022). TENG-inspired LED-in-capacitors for smart self-powered high-voltage monitoring and high-sensitivity demodulation of power-line communications. *Nano Energy*, Volume 102.