

Unificación de la ecuación de modelado de sistemas de energías renovables

(Unification of the modeling equations of renewable energy systems)

Cecilia E. Sandoval-Ruiz¹

Material original autorizado para su primera publicación en la revista Ciencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Palermo.

Campo temático: Sistemas físicos de Energías Renovables

Recepción: 3/11/2023 | Aceptación: 29/1/2024.

Resumen

En este artículo se propone un modelador para sistemas de energías renovables, basado en redes de circuitos LFSR (*Linear Feedback Shift Register*), seleccionando estos operadores matemáticos, ya que permiten considerar la ganancia directa del arreglo de colectores, los estados pasados de energía potencial y la relación Comportamiento de conmutación de la dinámica de fluidos y fenómenos ondulatorios entre los elementos del conjunto y el entorno. El objetivo de esta investigación es establecer una relación teórica entre los parámetros del sistema físico y el operador matemático. Además de considerar los términos de alineación, recuperación de componentes energéticos residuales y restablecimiento de condiciones de equilibrio para avanzar en el concepto de sistemas regenerativos. El método de análisis consiste en la identificación de analogías del sistema físico con tecnologías aplicadas y conceptos matemáticos. El resultado es una ecuación paramétrica sobre el operador convolucional, con interpretación de los coeficientes del sistema físico. Se logró establecer un modelo generalizado de aproximación fractal por intervalos: etapa lineal, etapa recursiva y etapa ondulatoria, que se asocia con conjuntos acotados en campos finitos extendidos. La conclusión es que está

¹ Ingeniera Electricista en 2002, mención Sistemas y Automática, Magister en Ingeniería Eléctrica en 2007, y Doctora en Ingeniería en 2014, egresada de la Universidad de Carabobo. Profesora Titular de Postgrado de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Investigadora Nivel C acreditada por el Programa de Estimulo a la Investigación e Innovación PEII. cesandova@gmail.com

surgiendo una red de operadores LFSR como modeladores universales de campo extendido, con capacidad de sintonización dinámica.

Palabras clave: Compensación de patrones, energías renovables, **física matemática**, red de operadores LFSR.

Abstract

In this article, a modeler for renewable energy systems is proposed, based on LFSR (Linear Feedback Shift Register) circuit networks, selecting these mathematical operators, since they allow considering the direct gain of the collector arrangement, the past states of potential energy and relation switching behavior of fluid dynamics and wave phenomena between the elements of the array and the environment. The objective of this research is to establish a theoretical relationship between the parameters of the physical system and the mathematical operator. In addition to considering the terms of alignment, recovery of residual energy components and reestablishment of equilibrium conditions to advance the concept of regenerative systems. The analysis method consists of the identification of analogies of the physical system with applied technologies and mathematical concepts. The result is a parametric equation on the convolutional operator, with interpretation of the coefficients of the physical system. It was possible to establish a generalized model of fractal approach by intervals: linear stage, recursive stage and wave stage, which is associated with bounded sets in extended finite fields. The conclusion is that a network of LFSR operators is emerging as universal extended field modelers, with dynamic tuning capacity.

Keywords: LFSR operator network, mathematical physics, pattern compensation, renewables energy.

1. Introducción

Actualmente se desarrollan investigaciones en modelado dinámico de sistemas de energías renovables (Sandoval-Ruiz, 2023), (Sandoval-Ruiz, 2021), los cuales presentan como resultado innovador un componente de recirculación de flujo de energía, en una etapa de registro de energía potencial. Los actuales modelos de sistemas físicos presentan una relación lineal de la ganancia del sistema de captación, sin considerar el aporte de los estados pasados, entendiendo los componentes inerciales del eje colector como un arreglo de osciladores acoplados de memoria estructural, que se modela a través de circuitos equivalentes como registro desplazamiento LFSR (*Linear Feedback Shift Register*).

El modelo de los sistemas de energías renovables, con recuperación de energía residual viene a mejorar la eficiencia del captador. En la literatura consultada no se encontró un modelo que considere la restauración del flujo de salida o compensación de efectos del sistema sobre el entorno, siendo un objetivo fundamental en los criterios de responsabilidad ambiental. Por lo que queda pendiente establecer en el modelo un término de compensación del efecto de cada captador sobre la dinámica del arreglo y su impacto ambiental en el entorno, donde se consideran los operadores acotados sobre campos finitos extendidos a las aplicaciones de energía (Sandoval-Ruiz, 2021).

En la investigación se plantea la reinterpretación de estos sistemas físicos de manera discreta sobre operadores LFSR, incorporando términos de escala fractal, alineación de flujo y recuperación de energía residual, a fin de considerar los aportes del sistema, tanto a nivel de dinámica de fluidos, convolución del flujo incidente con el patrón de captación de las ondas mecánicas (Figura 1).

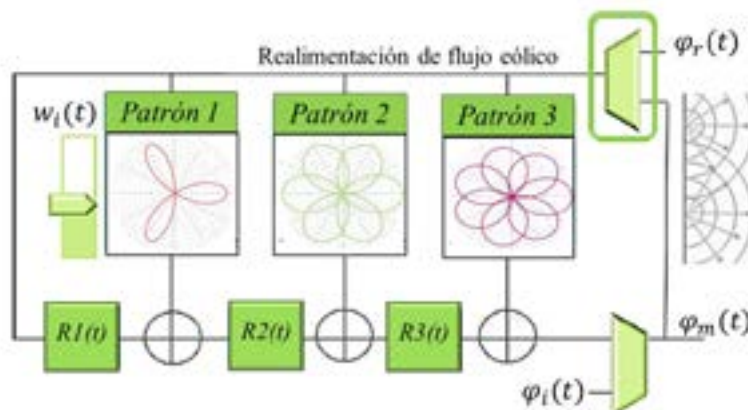


Figura 1. Patrones de Proyección LFSR

Se parte por interpretar el sistema eólico (Sandoval-Ruiz, 2022) como un arreglo de osciladores acoplados por vibraciones forzadas, sobre una red neuronal (Sandoval-Ruiz, 2020) y resonancia con el flujo eólico (Figura 2), un macro estado corresponde con el componente de almacenamiento de energía potencial elástica en las cámaras de flujo eólico entre captadores, volante de inercia como estados en la transmisión de energía por tensión del sistema de poleas y accionamiento del convertidor (donde se considera la amortiguación en la transmisión para compensación simétrica) y microestados de resonancia estructural.

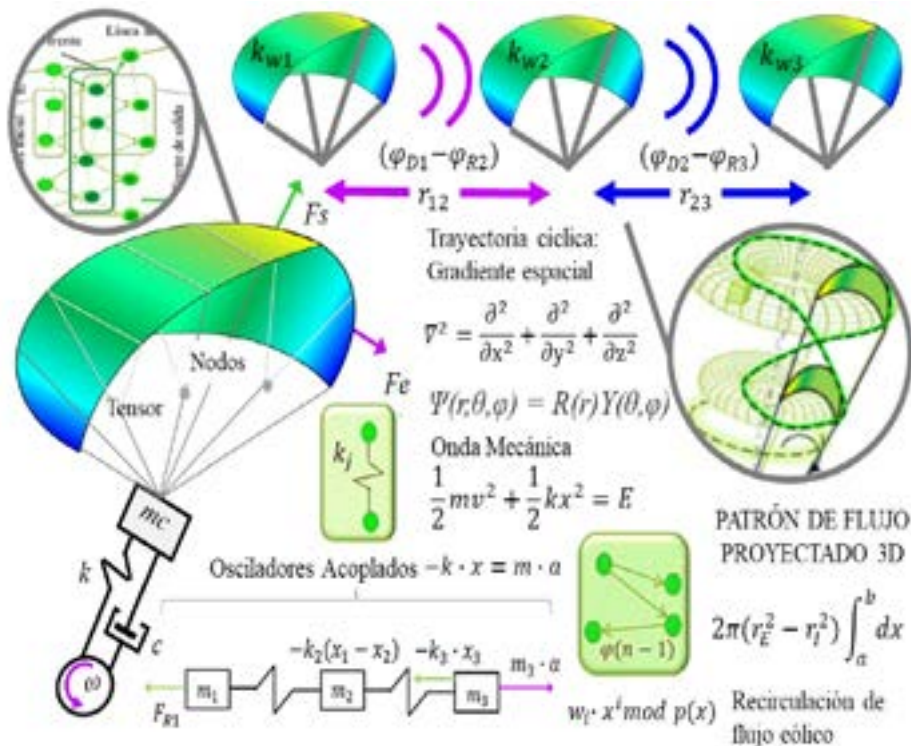


Figura 2. Modelo físico del sistema eólico

La investigación incorpora como criterio base del estudio de los sistemas físicos de energía renovable la remediación sobre modelo del impacto del arreglo captador y establecer la interpretación física de las variables fractales. El objetivo corresponde a definir una ecuación con el propósito de establecer coeficientes de control para los sistemas de energías renovables instalados y el diseño de nuevas tecnologías, con alto rendimiento y compromiso ambiental para el restablecimiento del equilibrio dinámico.

2. Fundamentos del Modelo Físico del Sistema

Los enfoques del estudio se pueden orientar para las escalas del sistema según los objetivos de recuperación de energía del entorno, considerando el fenómeno de transporte de energía: (1) desplazamiento del captador sobre una órbita, (2) vibraciones de la estructura del sistema aerodinámico (cometa eólica) en resonancia con el flujo incidente. (3) vibraciones de la estructura por flujo reflejado por los elementos del sistema físico, donde la posición de los captadores incide en la superposición de efectos, se establece el patrón de cada uno para establecer la proyección geométrica óptima sobre la superficie del arreglo, a fin de cancelar el efecto estela del captador.

La ecuación en términos de un coeficiente de ganancia de onda respecto al flujo difractado y reflejado puede ser interpretada en función de la distancia entre los elementos consecutivos: que corresponde al radio r_i , en el arreglo de la distribución sobre una curva cíclica. Los coeficientes formulados serán una relación del coeficiente de difracción del arreglo captador, el coeficiente de reflexión y el inverso del radio entre los elementos. De esta manera, se puede relacionar el sistema de mecánica de fluidos, mediante la ley de Newton de balance de fuerzas en un sistema masa-muelle se tiene (French, 1974):

$$-k \bullet x = m \bullet a \quad (1)$$

Donde la fuerza resultante sobre el sistema viene dada por la fuerza restauradora igual al producto de un coeficiente elástico por el desplazamiento respecto al equilibrio. Por conservación de la energía mecánica total (E):

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = E \quad (2)$$

La ecuación consta de una componente inercial responsable del transporte de energía cinética y una componente elástica para el almacenamiento de energía potencial elástica.

El modelado de captadores de energías renovables se puede desarrollar a través de una red neuronal, pero aparece un término que no se relaciona de manera directa con una variable física del sistema, corresponde al *bias*, el objetivo es reconocer un patrón en estos sistemas, para dotar de significado físico a este término de la ecuación. De esta manera la función de la red neuronal modela el sistema físico dinámico, con elementos de memoria TDL en una ANN recurrente, pero el sesgo puede ser interpretado como la variación respecto al efecto del entorno en relación con el radio de cobertura.

$$y(n) = \sum_{i=1}^m w_i \otimes x_i(t) + \frac{1}{\phi} \frac{d^i x_j(r)}{dr} \quad (3)$$

Así se ha reajustado el modelo, que en un caso de efecto no significativo o distancias que tienden a infinito se anulan, pero en casos reales su impacto es considerado en relación con un coeficiente de atenuación que sigue la proporción Fibonacci.

Al momento de abordar de forma ampliada estos sistemas se deben considerar el sistema físico compuesto de estados y microestados, dando lugar al análisis de fluidodinámica cuántica para ERNC. En tal sentido se puede establecer una analogía entre el operador escalera por su relación de conmutación con el operador matemático LFSR, estableciendo en la entrada del multiplexor de realimentación, un sistema de compensación por ortogonalidad, para la potencialización y/o atenuación (cancelación) de armónicos esféricos del patrón de proyección (mediante el análisis de las curvas polares 3D de potencial), que describe la densidad del espectro de energía respecto al elemento i del arreglo captador, interpretando a nivel de microestados a estos elementos como osciladores armónicos acoplados.

De esta manera, se requiere la interpretación de una etapa ondulatoria (basada en el principio de dualidad onda-partícula), donde la energía se proyecta siguiendo un patrón (armónico esférico) definido según el objetivo del arreglo, así considerando la función de densidad de energía se puede integrar en pasos discretos (órbitas) relacionados con la distancia (r) al núcleo o elemento captador, descritas mediante los polinomios generatriz, observando su similitud con los polinomios de Legendre², que pueden ser desarrollados sobre el operador LFSR. Se revisan conceptos asociados como momento angular orbital, espectro residual, función de onda radial-angular³, operador Hamiltoniano H en el espacio tridimensional⁴.

La probabilidad se calcula por integrales impropias y se plantea el contexto del sistema físico con parámetros geométricos y ópticos, para estimar los valores del parámetro para que la integral converja. Se identifica la aplicabilidad de los LFSR como modelador de sistemas físicos (Choudhary, y otros, 2020), incluso como

² Polinomios de Legendre, que pueden ser aplicados para definir la interacción entre los elementos en función de un orbital correspondiente al sub-índice l , para un radio proporcional a las componentes de la función de onda radial:

$$y(n) = \sum_{i=1}^m w_i \otimes x_i(t) + \frac{1}{\phi} \frac{d^i x_j(r)}{dr}$$

³ Ecuación de onda radial-angular: $\Psi(r, \theta, \varphi) = R(r)Y(\theta, \varphi)$

⁴ El operador Hamiltoniano H en el espacio tridimensional consta de un operador Laplaciano:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

y el potencial V está especificado en tres dimensiones $V(x, y, z)$, que pueden ser reescritas en coordenadas esféricas.

operador escalera sobre funciones de ondas, en armónicos esféricos comportándose como un filtro adaptativo para definir los polos de un patrón toroidal 3D de proyección de onda para una lente de optimización, en aplicaciones de patrones fluidodinámicos (sobre parque eólico), **ópticos**, electromagnéticos, acústicos, termodinámicos, a nivel macro y microsistemas de mecánica cuántica.

4. Método de Interpretación del Modelo Extendido

Se busca una ecuación de un modelo unificado que sea válida tanto para sistemas captadores macroscópicos como para control de flujo activo de energía a través de un arreglo de osciladores acoplados y ondas (French, 1974), donde la generalización presente un mecanismo de implementación por correspondencia con el modelo LFSR, analizando la dualidad onda-partícula de la energía y el estudio de la interferencia del captador, sobre el flujo difractado (ϕ -mod), a través de técnicas de regeneración de patrones.

(1) Se reconoció un patrón estructural entre los operadores matemáticos LFSR y el modelo de cualquier sistema físico, a partir de la analogía de osciladores acoplados y mecanismos en múltiples escalas. (2) Se estableció la función del multiplexor de la línea de realimentación para compensación de efectos mediante la optimización de condiciones de equilibrio. (3) Se reconoció que los sistemas físicos tienen memoria, lo que permite reconstruir los enlaces estructurales y regenerar los patrones de energía. (4) Se desarrolló una ecuación modeladora universal con base en la composición fractal LFSR. (5) Se interpretó una analogía entre los sistemas físicos y la teoría de la información, dando lugar a la aplicación de métodos de aproximaciones sucesivas y algoritmos adaptativos para hallar los coeficientes óptimos del sistema.

En el primer término de la ecuación se modela el arreglo de captadores de energía de forma lineal, interpretando el sistema físico desde la perspectiva de la mecánica clásica. En un segundo término se considera el aporte de energía residual, que se almacena en forma de energía potencial en el arreglo mecánico, siendo el colector del captador (eje) interpretado como un volante de inercia, cuya interpretación matemática se corresponde con un LFSR, además se establece una relación del sistema físico con conceptos de teoría de la información, como se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Modelo de Inferencia de ERNC

Flujo dinámico de entrada	Conceptos de telecomunicaciones
Flujo incidente $\varphi(i)$	Trama de datos de entrada $D(x)$
Flujo Envolvente $\Phi(x) = \varphi(i) \cdot p(x)$	Polinomio irreducible $p(x)$
Captador eólico	Arreglo de antenas inteligentes
Rosa de viento	Patrón de radiación de cada elemento
Control de flujo $W(x) \otimes \Phi(x)$	Codificación $C(x) = G(x) \otimes D(x)$
Flujo Turbulento	Ruido del canal $R(x)$
Flujo dinámico de salida	Conceptos de telecomunicaciones
Efecto estela del captador previo	Síndrome de bits de error de trama
Entropía del sistema	Probabilidad del límite teórico
Compensación por vórtices	Corrección de errores LFSR
Reporte de eficiencia	Relación señal a ruido S/N

Se establece la analogía del sistema físico de energías con teoría de la información, donde el captador eólico se comporta como una antena de ganancia programable, conformando un lente de formulación adaptativa que permite establecer el comportamiento a través de los coeficientes de difracción, absorción y reflexión de onda. Los captadores permiten describir patrones de proyección 3D definidas por *software* equivalentes al área de barrido de los elementos captadores, interpretando el arreglo de colaborativo de captadores de energía, de forma similar a los patrones de radiación de los arreglos de antenas.

Finalmente, se incorpora un tercer término más relacionado con la interpretación del sistema, desde la perspectiva de la dualidad onda-partícula, que busca reflejar el efecto proyectado por el captador en la red de difracción, los aportes de energía reflejada y la dinámica de grupo.

Según el interés específico se puede seleccionar la etapa del modelo y evaluar el comportamiento desde cada uno de los enfoques: (a) ganancia intrínseca al diseño de los captadores, (b) ganancia asociada a la energía potencial recuperada del sistema para optimización, (c) impacto por efecto estela (gradiente de presión y temperatura) en el **área de cobertura** del captador de energía, para la compensación simétrica de efectos sobre elementos del arreglo y mitigación de impacto ambiental.

Siendo lo más importante considerar el auto efecto del elemento en el sistema total, para efectuar una corrección o compensación simétrica, se establecen los subconjuntos de elementos finitos que constituyen una partición del dominio, en relación con las operaciones algebraicas sobre campos finitos, a través de la operación $mod-p(x)$ polinomio irreducible, en transformada discreta de Fourier, a partir de la función de densidad para proyectar sobre el espacio de elementos finitos la función definida

por la lente de configuración, mediante un proyector configurable⁵. En este punto se introduce la interpretación discreta del sistema físico de energía⁶.

Interpretación del término de entropía

En el primer término se tiene una relación lineal de energía en macro estados, el segundo término comprende componentes de los sistemas físicos para recuperación de energía potencial almacenada en estados elásticos y el tercer término comprende los microestados y la entropía donde no se puede predecir el porcentaje de energía recuperable, debido a un comportamiento estadístico, donde el modelo tendrá coeficientes probabilísticos para modelar el comportamiento del sistema a nivel de ondas. Se analiza el concepto equivalente de límite del error teórico para un canal entendido como guía de onda:

$$P_b \approx \frac{2^{m-1}}{2^m-1} \cdot \approx \frac{1}{m} \frac{1}{n} \sum_{l=t+1}^n l \binom{n}{l} P_S^l (1 - P_S)^{n-l} \quad (5)$$

El cual se puede reescribir en término de la probabilidad de ocurrencia de un vórtice y su compensación mediante el lente eólico, que genera un vórtice simétrico a través de su modelo matemático. El término de ondas reflejadas en función del límite teórico se expresa:

$$\frac{1}{r!} \sum_{i,j=1}^{m,n} \Delta x_{i,j} \binom{n}{r} \approx \frac{1}{m} \frac{1}{r} \sum_{l=t+1}^r l \binom{r}{l} P_v^l (1 - P_v)^{r-l} \quad (6)$$

Siendo m el número de elementos captadores del arreglo, r el radio de localización en el arreglo proporcional a la distancia entre los elementos estudiados, P_v la probabilidad de vórtice sobre el captador siguiente, que será compensado. Se dedujo el tercer término del modelo interpretado como la serie geométrica de la función de densidad de energía en la interacción de ondas, para superficies radiales del campo en el arreglo de captadores, variable en el tiempo. Lo que se corresponde con un patrón de radiación (rosa de energía eólica), de **lóbulos adaptativos en la dirección de máxima potencia**. Los coeficientes paramétricos de la función de densidad se estiman para que la serie converja, a fin de alcanzar el objetivo de máxima eficiencia, analizando los coeficientes y parámetros geométricos en el diseño del lente optimizador. El valor medio para la variable de flujo de energía

⁵ Proyector: $\pi^h v(\cdot) = \sum_{i=1}^n n v(x_i) N_i(\cdot) \in V^h$

⁶ El lector debe considerar el modelo sobre una lente ajustable a la escala fractal de las variables físicas y componentes espectrales. Aplicando conceptos de Mecánica de fluidos: caudal Q , pérdidas hf , rugosidad ϵ , viscosidad cinética ν , diámetro del área de barrido del captador eólico D , y longitud L , esta última puede definir el impacto de las variaciones por efecto de difracción del lente eólico.

espacial en función del radio x corresponde a: $\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) \cdot dx$

Donde $f(x)$ como función de densidad o patrón de potencial puede presentar discontinuidad en las zonas de interferencia, así la integral se puede realizar en forma discreta, sobre orbitales o capas por el nivel de energía.

5. Resultados

Se obtuvo el modelo sobre la ecuación de convolución fractal (Golmankhaneh, Golmankhaneh, & Baleanu, 2013), donde se describió el comportamiento del sistema en tres dimensiones, dejando un término de ajuste (arbitrario para condiciones específicas). Finalmente, para la interpretación física del *bías* asociado al punto de equilibrio (Sandoval-Ruiz, 2023) se incorpora un término en la dimensión espacial fractal en (7).

$$\binom{n}{r} = \sum_{i=1}^m w_i \cdot x_i \binom{n}{r} + \varphi \cdot y \binom{n-1}{r} + \frac{1}{r!} \sum_{i,j=1}^{m,n} \Delta x_{i,j} \binom{n}{r} \quad (7)$$

El término que pondera el efecto de un elemento sobre otro, en la red de difracción de la onda de energía, inversamente proporcional al producto factorial de la distancia, permite medir el impacto ambiental indirecto y su compensación (Sandoval, 2021c), éste se puede reescribir como una progresión geométrica (8).

$$\sum_{i,j=1}^{m,n} \frac{1}{2^{m \cdot r_i(n)} \cdot r_i(n)!} x_j \hat{x}_i \binom{n}{r} \quad (8)$$

Donde la razón de la progresión está dada por la variable x para el efecto del arreglo, sobre el elemento i , que refleja un componente de onda externa realimentada, reflejada por el elemento j . Siendo el factor de recuperación de energía, por tanto, está asociado a la minimización de pérdidas en la eficiencia del sistema.

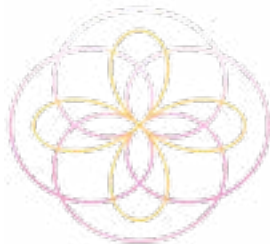
6. Consideraciones Finales

La interacción entre las ondas de energía que inciden y se reflejan en los elementos del arreglo de captadores presentan un comportamiento probabilístico, donde resulta necesario proponer un conjunto de ensayos para establecer los coeficientes (probabilidades) de atenuación de energía en el sistema como componentes de amortiguación, permitirán estimar la salida del sistema físico y la compensación, se formula a través de compensación simétrica equivalente a la matriz síndrome del decodificador Reed Solomon, para definir un modelo híbrido por etapas del sistema físico clásico.

Aplicación en sistemas instalados

Los conceptos estudiados permiten formular un lente LFSR sobre los sistemas de energías renovables (Sandoval-Ruiz, 2018) aplicando configuración geométrica proyectiva, para compensación simétrica (Brading & Castellani, 2023), (Ikeda, Kitamura, & Morimoto, 2023), (Zia, Dehghan, D'Errico, Sciarrino, & Karimi, 2023), con tecnología definida por *software* para el radio del lente, la configuración de la malla, la dinámica del elemento generatriz sobre la directriz y por ende el control de flujo activo. El ensayo en las locaciones permitirá definir los parámetros óptimos, crear un espejo de las condiciones para obtener la distribución eficiente y lograr la captación de energía de forma responsable, garantizando las condiciones de salida del captador. Finalmente, el operador LFSR aplicado sobre los patrones de captación $C(n,k)$ de flujo incidente y patrones proyectados $P(n,k)$ de flujo difractado a la salida, a fin de anular componentes definidos en diseño, mediante patrones superpuestos (Figura 5).

Patrón: $C(2,1)-P(2,3)$



Patrón: $C(7,5)-2P(2,3)$



Figura 5. Patrones de Captación y Proyección LFSR

Se han establecido algunas configuraciones LFSR para definir los patrones de captación $C(n,k)$ del aerogenerador y patrones de proyección a la salida $P(n,k)$, los cuales se superponen entre los elementos del arreglo, para compensación de efectos en el sistema físico.

7. Conclusiones

Gracias al estudio realizado se logró identificar analogías entre los conceptos matemáticos, y físicos de energías renovables. El modelo una herramienta de entrenamiento sobre operadores matemáticos, así como en aplicaciones de diseño de patrones de proyección para control activo de flujo de energía

mediante polinomios generatriz sobre campos finitos extendidos, con análisis de comportamiento de ondas.

De esta manera, los desarrollos existentes para el tratamiento de arreglos de antenas inteligentes pueden ser extrapolados al área de eólica adaptativa. Incorporar un término en la ecuación del modelo clásico aporta controlabilidad de parámetros físicos, mediante relaciones geométricas simples. Otro aspecto para destacar corresponde con la autosimilitud entre las etapas del sistema, manejando un modelado. Sistematizar el modelo de sistemas físicos complejos, permite una descripción teórica para la consideración de singularidades, recuperación de energía residual, compensación simétrica de efectos del patrón de proyección y optimización de eficiencia.

Referencias

- Brading, K., & Castellani, E. (2023). *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*. Cambridge Univ. Press.
- Choudhary, A., L. J., Holliday, E. G., Miller, S. T., Sinha, S., & Ditto, W. L. (2020). Physics-enhanced neural networks learn order and chaos. *Physical Review E*, 101(6), 062207.
- French, A. P. (1974). *Vibraciones y Ondas*. Curso de Física del M.I.T. Primera Edición. Editorial Reverté. ISBN 8429140980.
- Golmankhaneh, A., Golmankhaneh, A., & Baleanu, D. (2013). About Maxwell's equations on fractal subsets of \mathbb{R}^3 . *Open Physics*, 11(6), 863-867.
- Ikeda, Y., Kitamura, S., & Morimoto, T. (2023). Photocurrent induced by a bicircular light drive in centrosymmetric systems. *Phys. Rev. Lett.*, 131, 096301.
- Sandoval-Ruiz, C. (2020). LFSR-fractal ANN model applied in R-IEDs for smart energy. *IEEE Latin America Transactions*, 18(4), 677-686. doi:10.1109/TLA.2020.9082210
- Sandoval-Ruiz, C. (2021). Fractal mathematical over extended finite fields $\mathbb{F}_p[x]/(f(x))$. *Proyecciones (Antofagasta)*, 40(3), 731-742.
- Sandoval-Ruiz, C. (2021). LFSR Optimization Model based on the Adaptive Coefficients method for ERNC Reconfigurable Systems. *Ingeniare*. 29(4), 743-766. doi:10.4067/S0718-33052021000400743
- Sandoval-Ruiz, C. (2022). Wind Turbine with Configurable Feedback Scheme for Minimal Environmental Impact and Maximum Efficiency. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 26(113), 123-136.

- Sandoval-Ruiz, C. (2023). Biomimética Aplicada a Modelos de Sistemas de Energías Renovables Reconfigurables Basados en Estructuras Autosimilares. *Rev. Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 46(1).
- Sandoval-Ruiz, C. (2023). JK-ESS renewable energies storage with hybrid feedback. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 44(3), 287-296.
- Sandoval-Ruiz, C. (2023). xyz Modelo de optimización de arreglos de cometas captadoras de energías sostenibles . *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 46(2).
- Sandoval-Ruiz, C. (2023). YPR-ángulos de alineación para arreglo de cometas de captación de energía eólica: α, β, γ -coeficientes de control y mantenimiento de patrones de flujo regenerativos. *Revista Científica UCSA*, 10(3).
- Sandoval-Ruiz, C. (2018). Control de Micro-Redes de Energía Renovable a través de estructuras LFCS Reconfigurables en VHDL. *Ciencia y Tecnología*, 18, 71-86. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i18.847>
- Thedens, P., & Schmehl, R. (2023). An Aero-Structural Model for Ram-Air Kite Simulations. *Energies*, 16(6), 2603.
- Zia, D., Dehghan, N., D'Errico, A., Sciarrino, F., & Karimi, E. (2023). Interferometric imaging of amplitude and phase of spatial biphoton states. *Nature Photonics*, 1-8.

