

Ω -Vórtices y Acoplamientos Resonantes en Modelo de Patrón de Flujo Toroidal Regenerativo Mediante Física Moderna y Ondas

Cecilia Sandoval-Ruiz

Facultad de Ingeniería / Dirección de Postgrado Universidad de Carabobo, Venezuela
cesandova@gmail.com

Received: _17 Out 2023_ / Accepted: _27 Dec 2023_ / Published: _24 Mar 2024_.

Abstract: The objective of the present study is to propose a structure for modeling the stages of a complex physical system and a technique for characterization of renewable energy collection systems, the case study being a wind kite system, using concepts of modern physics and waves in engineering applications. The method comprises the identification of the correspondence of the LFSR (linear feedback shift register circuit) convolution operator and the direct relationship through the interpretation of the system dynamics. A set of self-similar equations is obtained in stages and the harmonic oscillator model is applied to get the coefficient matrix of the wind system with flow feedback, reinforcing the contributions of the study for investigation of compensation of interference patterns by symmetrical geometry.

Keywords: Energy systems research, modern physics and waves, wake effect compensation.

Resumo: El objetivo del presente estudio es proponer una estructura para modelar las etapas de un sistema físico complejo y una técnica para la caracterización de sistemas de captación de energía renovable, siendo el caso de estudio un sistema de cometas eólicas, utilizando conceptos de física moderna y ondas en aplicaciones de ingeniería. El método comprende la identificación de la correspondencia del operador de convolución LFSR (circuito de registro de desplazamiento de retroalimentación lineal) y la relación directa a través de la interpretación de la dinámica del sistema. Se obtiene por etapas un conjunto de ecuaciones autosemejantes y se aplica el modelo del oscilador armónico para obtener la matriz de coeficientes del sistema eólico con retroalimentación de flujo, reforzando los aportes del estudio para la investigación de la compensación de patrones de interferencia mediante geometría simétrica.

Palabras clave: Investigación de sistemas energéticos, física moderna y ondas, compensación del efecto de estela.



1. Introducción

Una fórmula para interpretar un sistema complejo como lo son los sistemas fluidodinámicos es desglosar las etapas, construyendo un arreglo experimental para entender la difracción de un flujo eólico por un captador eólico rotacional (turbina) o elementos tensados (cometas).

Lo primero que se analiza es la experiencia con la dinámica de fluidos, ¿quién no ha percibido el efecto sobre un flujo de aire modificado a la salida de un ventilador? En este artículo se analizan aspectos del sistema físico de un captador de energía, en el cual ocurre un proceso inverso al ventilador (activo), es decir, que, en lugar de contar con un motor de accionamiento acoplado a su eje es un sistema pasivo propulsado por la energía eólica, donde se acopla un generador para la conversión de energía cinética a energía eléctrica.

Un aspecto poco estudiado corresponde al efecto que tiene el captador sobre el flujo de aire a la salida (aguas abajo de la turbina), siendo fundamental modelar la fluidodinámica del captador para compensar los vórtices, diferencial de presión y efecto estela, que afecta otros elementos del arreglo y llegan a tener impacto ambiental. Para compensar esta interferencia, se estudia un generador de secuencia por registros desplazamientos con realimentación lineal, para el modelado matemático de los vórtices [1] y las técnicas de compensación por simetría del sistema mecánico. Lo cual resulta un aporte valioso para la interpretación de aspectos cinemáticos y dinámicos, de la rotación asimétrica, radial, o torsional de un fluido homogéneo e incompresible.

Entonces cuando una masa de un fluido adquiere un movimiento de rotación alrededor de un eje, se forma un vórtice como resultado de la intervención de un elemento externo como es el caso de una turbina, estos pueden crear efectos de turbulencia en contra de la eficiencia del sistema o ser reordenados mediante lentes eólicos de captadores inteligente (creando un sumidero de energía a favor de la alineación del arreglo).

El ensayo propuesto en la presente investigación permite el desarrollo teórico de ecuaciones de generación de vórtices de compensación, mediante la aplicación del principio de correspondencia fractal. Se realiza un análisis de las etapas componentes del sistema objeto de estudio, para la síntesis de la ecuación del modelo, se establece la técnica de formulación mediante adaptación de los pesos sinápticos de optimización, mediante la aplicación de un algoritmo adaptativo LMS, tanto como filtro de componentes espectrales del sistema o estimador de la ganancia de flujo en secciones geométricas, interpretando el modelo en relación con los parámetros físicos, para establecer la generalización paramétrica.

En esta investigación se analiza una interpretación de los sistemas físicos, partiendo del concepto de relación fractal de los generadores de secuencia descriptiva. En el primer nivel de caracterización del sistema se puede recurrir a técnicas de análisis de interacción basadas en la respuesta a una perturbación, que permite conocer las frecuencias características del arreglo. En el segundo nivel de análisis, consta de la separación e identificación de patrones estructurales entre las etapas componentes, interpretando el comportamiento de estos en sus respectivas dimensiones. En el tercer nivel se presenta la síntesis, donde se reordenan los elementos analizados en una composición estructural compatible, acá es donde se valida la aplicación del generador de secuencia LFSR (*Linear Feedback Shift Register*) como modelador. En un cuarto nivel se obtiene un auto reconocimiento del sistema, para la formulación de los pesos sinápticos óptimos, en alineación con las variables de entrada. Finalmente, en un quinto nivel se accede a una conexión de información, en una etapa de entrelazamiento cuántico, donde el sistema es

parte de una matriz extendida y tiene lugar la sintonización de la frecuencia de resonancia, respecto a la frecuencia natural de los elementos de la red de difracción, sobre los que se ven reflejados los efectos del captador, que consta de una correlación de datos que permiten decodificar el sistema completo.

Aparecen dos conceptos interesantes, la concatenación fractal de la estructura modeladora por nivel, como circuitos anidados en cascadas y la selectividad del nivel de enfoque del modelo de las variables de entrada, interpretadas como variables de energía o información para la configuración. Se pueden definir redes de capas concéntricas de radio de cobertura extendido, representado como un filtro modelador de media móvil sobre el campo unificado del espacio de estudio $\pi n a_i$, siendo su principal característica la fractalidad radial.

Desde la selección del conjunto de variables para la descripción del comportamiento de un mecanismo, por conversión de energía potencial a cinética (internas), hasta la consideración de efectos por entrelazamiento cuántico de variables y acoplamientos resonantes, incide en la complejidad de los modelos de los sistemas físicos, en la presente investigación se plantea el estudio por etapas para relacionar un modelo estructural compatible en cada nivel de comportamiento del sistema.

2. Definición del objeto de estudio

Los sistemas de dinámica de fluidos, tal es el caso de los parques eólicos presentan una problemática asociada al efecto estela que incide sobre otros elementos del sistema, modificando el patrón de viento y la dinámica de captación por parte de los aerogeneradores. Un aspecto poco estudiado corresponde a la simetría geométrica del efecto de patrones entre ondas estacionarias [2]. Es en tal sentido, que se plantea un modelo teórico y el diseño de ensayos práctico con el objetivo de minimizar el impacto de la red de difracción, a través de una etapa de acondicionamiento del flujo, mediante lentes de concentración en la entrada (flujo incidente) y lentes eólicos de flujo regenerativo a la salida de los elementos de la red de captadores definidos por *software* (es decir que la configuración del arreglo y los patrones geométricos son adaptativos sobre el modelo matemático), para restaurar las condiciones del flujo reflejado por el captador.

El objetivo de la presente investigación es construir una ecuación, expresada en parámetros de optimización, la cual pueda ser validada a través de ensayos prácticos. Se plantea una lente eólica [3] que corresponde a una superficie geométrica (imaginaria), resultante de la rotación de una catenaria (definida por arreglo de cometas) alrededor de un eje coplanario, creando una fuerza centrípeta de generación de vórtices de compensación, perpendicular al eje de simetría, sobre el cual se establece la dinámica de recirculación de flujo regenerativo. Los parámetros descriptivos de la catenoide definen la eficiencia del arreglo eólico y el efecto total del sistema físico, a fin de minimizar las pérdidas de energía residual y efectos ambientales, a la vez de maximizar los aportes de energía. Se analiza la capacidad de compensación entre dos vórtices relacionados por simetría geométrica, diseñados a través de un generador de secuencia LFSR.

La complejidad del sistema viene dada por el movimiento relativo de las cometas acopladas a una plataforma móvil, siendo un grado de libertad que permite el control de trayectoria para compensación geométrica del efecto a corregir, esto a través de los elementos del modelo correspondientes a un multiplexor de acoplamiento inducido resonante y un multiplexor de realimentación de energía potencial elástica interna.

Para el tratamiento pedagógico de los conceptos se definen tres etapas de modelado con variables por nivel de abstracción, sobre las cuales se analizan ensayos enfocados en el estudio de las fuerzas restauradoras, sistemas regenerativos de energía, resonancia en osciladores armónicos, así como la energía potencial de los sistemas dinámicos de energías renovables. En primer lugar, se discute el modelo del observador donde los componentes de medición modifican la dinámica del sistema.

1. Vórtices en secuencia Fibonacci espejos, se presenta un generador de vórtices a frecuencia natural de resonancia de la forma: 1,1,2,3,5,8,13,21 y su secuencia espejo: 21,13,8,5,3,2,1,1, con lo que se logra compensar de modo simétrico el efecto, por geometría proyectiva del patrón de flujo.

2. En el modelo físico no se ve reflejado el efecto de entrelazamiento cuántico, es como si se está en presencia de una lente eólica (invisible e inmaterial), que depende del modelo del observador, según los postulados de física moderna. Se interpreta como un arreglo de ondas de energía, dispuestos en un patrón generado por secuencias con memoria de entrelazamiento de información. En este caso, el lente eólico se reconoce por la estela (rastros) que se mide en un acelerador de partículas. Cuando se estudia el comportamiento discreto, a nivel de partículas, corpúsculos o bloques de energía (unidad de flujo) muestra, la onda de energía se convierte en una entidad concreta. Al observar se altera el sistema, el término incorporado mide el efecto a nivel cuántico, pero a su vez introduce una variable de interacción que afecta al sistema.

3. Se inicia desde la inferencia del término que permite introducir la consideración del efecto Coriolis, de velocidad relativa sobre el modelo de planta piloto, para los ensayos de generadores de vórtices correlacionados, a fin de presentar un enfoque teórico, considerando la entropía a través de datos probabilísticos en los efectos de turbulencia y compensación simétrica, para describir el comportamiento de sistemas fluidodinámicos, extrapolando conceptos de álgebra de campos finitos aplicados en teoría de la información. Así se establece la conjetura sobre el término de realimentación externa por efecto de vorticidad. A lo que se suma un aporte de interés que corresponde a la mitigación de un efecto natural sobre un sistema móvil (de velocidad relativa), un sistema cerrado y un sistema abierto, donde se busca no afectar la dinámica ambiental mediante la técnica acoplamiento inductivo.

3. Principios de física moderna y ondas

Se inicia por entender los componentes del sistema de conversión de energía, los arreglos para unificar el modelo a un sistema con acoplamientos por resonancia, definir los parámetros de caracterización de frecuencia, estudiar los acoplamientos y la aplicabilidad del enfoque para maximizar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental del sistema, mediante conceptos de física moderna [4].

Caracterización de sistemas resonantes

Las ráfagas de viento en sistemas eólicos, así como las olas marinas en undimotriz, son fuerzas periódicamente aplicadas al captador de energía, con una frecuencia o componentes de Fourier, que pueden estar sintonizados con la frecuencia natural del sistema dinámico (definida por su masa m y coeficiente elástico k), por lo que pueden estar en resonancia aumentando su amplitud (debido al almacenamiento de energía vibratoria), para crear trabajo útil, de forma análoga se pueden atenuar componentes de frecuencia concretos (filtros de frecuencia).

Tal como ocurre en las cuerdas de un instrumento musical, donde unas vibran como eco de la cuerda accionada, se puede interpretar un arreglo eólico como un sistema resonante donde la fuerza del flujo incidente induce un efecto ondulatorio sobre los otros elementos, que puede ser autosostenida por el almacenamiento de energía (donde la energía mecánica se convierte, de forma periódica, de cinética a potencial), así la eficiencia del sistema estará dada por la configuración óptima de sus parámetros m y k .

Patrón de proyección en mecánica de fluidos

La definición de la geometría proyectiva que definen los elementos del arreglo captador y lente eólica de la red de difracción tendrá un efecto en el patrón del flujo a la salida de los elementos del arreglo (Fig.1).

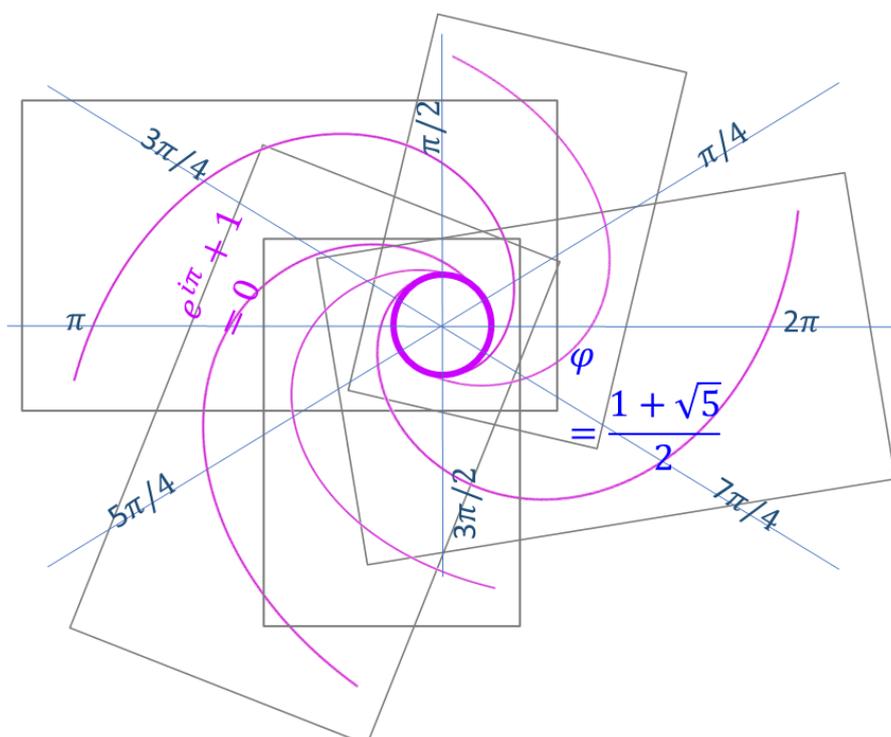


Figura 1. Red de difracción de un sistema eólico

Si se crea una corriente de flujo eólico en una tubería helicoidal (circuito interno, virtual formada por trayectorias cíclicas de una lente eólica), las líneas de flujo toroidal inducen un flujo en el núcleo (sumidero central), acelerando la velocidad de viento incidentes (circuito externo) sobre el captador, este principio se propone para desarrollar un circuito de control sin intercambio de materia con el entorno.

En este sentido, además del acoplamiento mecánico (mediante el eje de transmisión), se estudia el acoplamiento inductivo resonante, que se produce cuando dos objetos intercambian energía a través de la oscilación de sus campos ondulatorios. Cuando las frecuencias naturales de los dos objetos son aproximadamente las mismas, tiene lugar el acoplamiento resonante.

Por otra parte, se puede considerar un arreglo de álabes o elementos del arreglo captador orbitando en resonancia de $n:k$ (1:2, 2:3, 3:5, 5:8) ciclos entre sí, formando una cadena de resonancia de k elementos, similar a los sistemas planetarios sintonizados. Se parte del principio que las secuencias que surgen del generador de ondas SR (n,k) mantienen un enlazamiento matemático resonante, sobre las curvas cíclicas concatenadas.

Una pregunta de interés es por qué seleccionar una estructura de base del generador de secuencia LFSR, en lugar del estudio de los sistemas físicos de manera aislada, esto entendiendo

la naturaleza fractal de los sistemas y el objetivo de identificar un patrón autosimilar en el comportamiento de las variables. Veamos un ejemplo, al estudiar la dinámica y geometría de un patrón de proyección, encontramos una onda mecánica cíclica, que presenta un vector de fuerza motriz \vec{F}_m y un vector de velocidad \vec{v} , dando lugar a un flujo que describe una forma geométrica que coincide en secciones con la espiral Fibonacci, creando una superposición de patrones.

Partiendo de esto se plantean las interrogantes: ¿La geometría del flujo incidente puede tener relación con la geometría de formaciones estructurales?, ¿las estructuras son eco de la energía y viceversa?, ¿Se puede afirmar que un patrón de flujo contiene información para la configuración de un tejido estructural? Se puede considerar que lo contrario también se cumple, es decir, ¿un arreglo captador de energía eólica con estructura Fibonacci crea vórtices con la misma secuencia?, ¿existe una correlación de información en la conformación de patrones por geometría de una red de difracción, el flujo y la energía?

La selección de las variables geométricas puede ser fundamentales en la interpretación de un sistema físico, así como de la complejidad del modelo matemático y el nivel de detalle y controlabilidad que puede manejar el modelo de acuerdo con su estructura fractal, creando k niveles estructurales sobre los que fluye una cascada de energía.

Este enfoque de estudio de los sistemas físicos tiene como propósito en primer lugar mejorar la eficiencia desde el modelo matemático, modificando parámetros sobre la base de desarrollo dinámico y aún más relevante corregir la interferencia e impacto ambiental generado por las variables a la salida del sistema.

Es importante mencionar que en los métodos de modelado algunos términos son desestimados por las magnitudes de las variables y en otros casos, las etapas del sistema se encuentran concatenadas en el modelo de los coeficientes característicos o modelos de las variables (por su dinámica), de tal manera que presentan autosimilitud fractal, lo cual es considerado en la presente investigación.

El estudiante de física requiere reconocer patrones estructurales en las ecuaciones que modelan los sistemas físicos, con el objetivo de facilitar su aplicación a nuevos sistemas y extrapolación de los conceptos comprendidos. Algunos temas como la dualidad onda-partícula ha sido objeto de estudio por la complejidad de interpretación de la observación de fenómenos a nivel de física y mecánica cuántica, sin ser parte del alcance del presente estudio, lo que acá se propone es una interpretación compatible para sistemas clásicos y conceptos de física moderna y ondas.

Se considera la necesidad de diseñar técnicas pedagógicas para identificar analogías en la descripción de la dinámica de sistemas de física clásica, discretizando componentes y analizando su interacción mediante acoplamientos: rígidos, flexibles, fluidodinámica, ondulatorios, enlaces, entrelazamiento cuántico y correlación de datos, a fin de entender estos modelos desde una perspectiva generalizada.

En primer lugar, se aborda el estudio sin una postura preestablecida, con el fin de ampliar las alternativas de asociación de los conceptos con las etapas del sistema entre sí, a partir de un operador básico. Para el ensayo se presenta un generador de código basado en el producto de convolución, que permite establecer una relación espacial y temporal, a partir de la ecuación de una progresión geométrica o polinomio generatriz.

En la literatura no se ha encontrado un modelo de la dinámica de los sistemas físicos que considere las etapas a nivel clásico y cuántico, a partir de estructuras autosimilares. Por tal motivo, se ha planteado la aplicación del operador matemático LFSR que permita describir

cualquier sistema físico. Para ello se seleccionó un sistema con una dinámica compleja como es un arreglo de captadores eólicos flexibles (cometas eólicas), el cual es abordado como una red de osciladores acoplados [2] a diferentes escalas, sobre una arquitectura LFSR (n,k) , logrando una descripción sencilla que puede ser aplicada en el laboratorio de física, para modelar casos específicos según los objetivos de caracterización y optimización de las etapas.

4. Hipótesis de la investigación

Si un mecanismo puede ser representado por un modelo de partículas y muelles, y los arreglos de osciladores acoplados presentan correspondencia con la arquitectura de un arreglo de registros desplazamiento con realimentación lineal, entonces los sistemas físicos (mecánicos y atómicos) pueden ser modelados por el operador LFSR (n,k) , por principio de correspondencia entre física clásica, física moderna y ondas.

El operador es implementado por un circuito LFSR, donde cada rama se corresponde con los coeficientes característicos de un polinomio generador $G(x)$ que se multiplica con la señal de entrada, asociada a la variable del sistema físico (Fig.2), generando patrones en respuesta a la función del sistema, siendo estos patrones de interés para caracterizar el sistema y plantear optimizaciones en su eficiencia, orientado a mitigar efectos del sistema sobre su entorno.

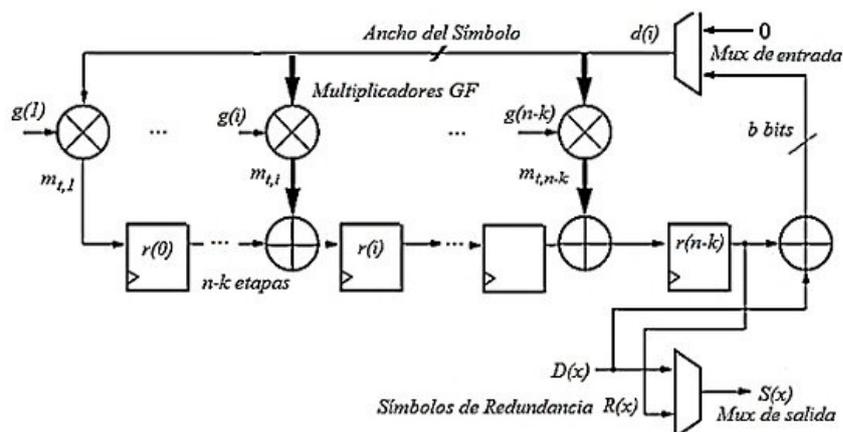


Figura 2. Circuito LFSR del operador de convolución.

El operador de convolución en su definición formal permite estimar la respuesta impulsiva que caracteriza al sistema físico a través de las frecuencias de resonancia. Siendo estas frecuencias relacionadas con el comportamiento inercial, elástico y disipativos del sistema mecánico (MRA: masa, resorte y amortiguador), su equivalente electromagnético RLC u óptico.

Una vez entendido estos aspectos y considerando que el estudio de un sistema físico a partir de su respuesta impulsiva es un asunto relevante y vigente en el mundo de la física aplicada y la ingeniería, a partir de las frecuencias naturales complejas de resonancia (FCNR), se puede caracterizar un sistema sin conocer los parámetros propios del modelo [5], permitiendo al estudiante de física proponer soluciones para el modelado. En tal sentido, el objetivo de la presente revisión es proponer la caracterización de los sistemas físicos mediante un modelador LFSR y su optimización por ajuste de las frecuencias de resonancia, a través de la configuración de los parámetros físicos del sistema y su distribución geométrica.

5. Compensación simétrica y generación de vórtices

Analicemos algunos métodos de optimización para compensar el impacto de las turbinas en los sistemas de energías renovables, el arreglo de álabes captadores y mecanismo rotor crea un movimiento rotacional que genera un diferencial de presión, temperatura y crea un patrón de flujo, relacionando la vorticidad con la velocidad angular de rotación del mecanismo.

Recientes estudios plantean el método numérico de segmentos discretos de vórtices VFMW para la ecuación de transporte de vorticidad [6], permite el análisis de rendimiento de los parques eólicos, en función de la dinámica de la estela sobre el flujo eólico y el diseño de álabes aerodinámicos generadores de vórtice, con tecnología biomimética, donde se estudia la dinámica de viento respecto a la relación de radio r y la frecuencia angular ωt , que permite obtener la ecuación de vorticidad Ω . Algunas soluciones están planteadas a partir de la adaptación del mecanismo captador, lo cual tiene un elevado costo energético y resulta una actualización de componentes de gran envergadura.

Por lo que se propone un esquema de actualización basada en *software*, en una etapa previa de lentes eólicas (ultralivianos) para el control de flujo regenerativo, a partir de la proyección de un patrón geométrico del arreglo eólico como una lente [7], [8], o red de difracción (aplicada sobre un patrón de onda de energía incidente y la relación de patrones de interferencia), incorporando términos descriptivos de fenómenos ondulatorios como difracción y reflexión de onda.

Se aplica el *mux* de entrada (realimentación por acoplamientos resonantes) para realizar la cancelación de componentes de frecuencia característicos del sistema físico, sobre las ondas periódicas de interacción entre los elementos, a través de la superposición de los correspondientes patrones de proyección, a la salida de la etapa i , y patrón de captación, a la entrada de la etapa consecutiva $i+1$ del sistema. Donde el filtrado se realiza mediante la incorporación de una etapa, de ganancia adaptativa, que, en lugar de restar, suma un componente simétrico [9], para la anulación del efecto específico y por ende se logra la mitigación del impacto sobre los elementos del arreglo inteligente y del ambiente.

Se parte del estudio de un sistema clásico para proponer el almacenamiento interno en un mecanismo conformado por una matriz aeroelástica. Un cuerpo en movimiento ejemplo un cometa deja un rastro que describe una trayectoria en el medio, la aplicación de los conceptos de física de la estela, pueden ser de utilidad para definir un espacio confinado, una masa de fluido delimitado por una envolvente de ondas en el medio en un instante de tiempo, e incluso a través del control de estas ondas, diseñar dispositivos ondulatorios, con la capacidad de acelerar un fluido creando una tobera inducida. Si bien los conceptos son algo abstractos, podemos ilustrar su concepción en ensayos donde se escribe con un objeto que se desplaza en un medio físico sin modificación de materia, algo que desde niños se realiza con frecuencia.

Su principal ventaja es el diseño de sistemas que no producen residuos materiales y su dinámica está dada por el control de trayectoria de las ondas producidas por el movimiento de un objeto inductor de órbita. Así colocar una cometa en un espacio, dibujando un dispositivo funcional como es el caso de una tobera, permitiría crear una aerodinámica tal que produce un patrón de estela, con el control de parámetros como posición y velocidad de barrido del cometa, se puede establecer una lente eólica, donde se presentan un conjunto de fenómenos ondulatorios como difracción, reflexión, refracción (por velocidad del medio) que interactúan generando una respuesta de aire acelerado por un vórtice de aire inductor, todo esto sin la necesidad de la infraestructura física equivalente y sin producir residuos materiales en el control de flujo de aire. El principio físico aplicado es la configuración del medio físico a partir del movimiento de un dispositivo inductor de flujo, por ondas.

6. Método de construcción del Modelo SRCE

Se revisaron los métodos de caracterización de los sistemas lineales y la estructura de la ecuación de ondas, mediante rangos de escala: (i) Etapa de captación diagrama de fuerzas (física clásica), (ii) Etapa de composición estructural del captador (masa-muelle), (iii) Etapa de interferencia por vórtices (física moderna y ondas).

Ensayo 1. Lente eólico por principios fluidodinámicos

Temática: Fluidodinámica y mecánica de fluidos

Principio Físico: Vórtices y estela de flujo en toberas

Se plantea la modificación de velocidad de un flujo, al colocar un reductor de área, considerando la densidad del fluido constante se cumple el *principio de continuidad*, que relaciona la velocidad del fluido y área de la sección transversal en dos puntos de análisis, se puede observar el incremento de energía cinética, representado en el aumento de velocidad, dado por el trabajo del diferencial de presión creado por la reducción de área. Este ejemplo permite ilustrar el comportamiento de un dispositivo como lo es la tobera (Fig. 3), que convierte la presión de un fluido en energía cinética, aumentando la velocidad por reducción de área (adaptación del parámetro geométrico).

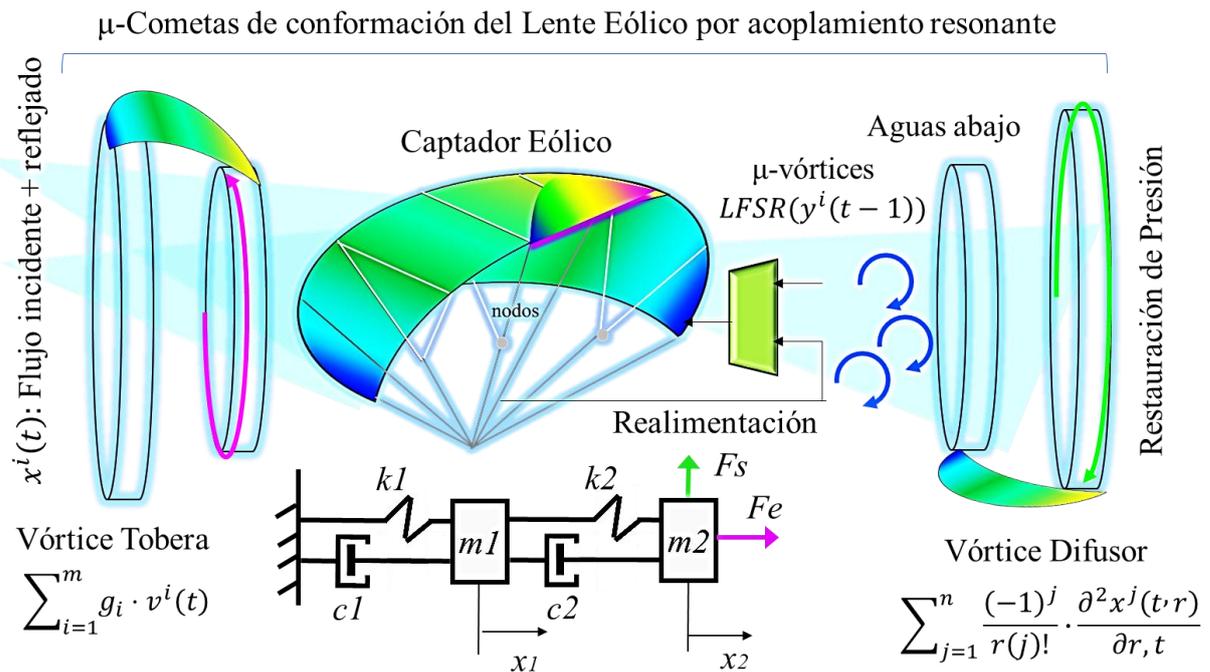


Figura 3. Lente Eólica de Concentración de flujo $x(t)$.

El operador de convolución LFSR, permite obtener un modelo sintetizado de las etapas de aplicación de la ecuación de Bernoulli, a través de una matriz paramétrica de presiones, temperaturas, coeficientes de viscosidad, densidad del fluido (según altura y temperatura), incorporando un término de recirculación de energía elástica en el volante de inercia del rotor – realimentación interna, así como recirculación de flujo y energía reflejada en los elementos del parque eólico – realimentación externa, del arreglo captador eólico.

La presión en un fluido se puede ver como una medida de la energía por unidad de volumen por medio de la definición de trabajo. En nuestro ejemplo se debería aplicar la ecuación de Bernoulli en cada etapa de la tobera discretizada, para lo cual se propone un modelo matemático LFSR que permite ponderar la ganancia de cada etapa en la secuencia del flujo axial.

Interpretación del tensor de Inercia del Sistema Físico

El tensor de inercia es un vector que rota alrededor de un eje, corresponde a tensor simétrico de segundo orden que caracteriza la inercia rotacional de un sólido rígido a una velocidad angular es $\omega = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$. En mecánica clásica el momento angular de un sólido rígido se puede expresar en términos del tensor de inercia, donde el primer término en la ecuación representa la energía cinética resultante del movimiento translación de la masa m , mientras que el segundo término representa la energía cinética resultante de la rotación alrededor del centroide.

Un aspecto interesante es la interpretación del tensor de inercia, de forma didáctica, a través de un operador matemática de convolución. Se puede entender la operación del producto escalar entre variables $v(t)$, un producto vectorial en el espacio para los componentes xyz y un producto de convolución multidimensional para un campo en el espacio-tiempo.

En el cálculo del tensor de inercia se divide el cuerpo continuo en elementos diferenciales y el integrando se construye multiplicando la masa del elemento diferencial por el cuadrado de la distancia el elemento geométrico respecto al que se define el momento de inercia. En este punto se puede considerar cada uno de los elementos finitos como las masas del modelo discreto del cometa eólico, representado como un arreglo de osciladores acoplados y se realiza la operación de convolución sobre un circuito LFSR(n, k) para los n elementos del captador eólico, respecto a los k puntos de acoplamiento del arreglo geométrico, que rotan en referencia al eje de transmisión.

Comprende el análisis de un ejemplo para validar un principio físico, la discretización de un sistema complejo (como el caso de un sistema eólico), la deconstrucción de etapas, la identificación de compatibilidad entre el fenómeno estudiado y las etapas, la síntesis del concepto, hasta la consideración de efectos más elaborados, que a través de la dualidad onda-partícula [10], pueden ser interpretados, dando lugar a la controlabilidad de las variables, compensación simétrica y estudios de materiales ferromagnéticos, toberas magnéticas de plasma, control de fuerza de fricción en el rotor del captador, aplicación de superfluidos como condensado de Bose-Einstein y nuevos conceptos emergentes. Donde se destaca un primer paso de desaprender los límites conceptuales de la mecánica clásica y la extrapolación de conceptos avanzados de teoría de la información para formular modelos extendidos compatibles en física moderna y ondas.

El lente eólico planteado permite canalizar el flujo eólico como una tobera o túnel de viento, a través de la descripción de una trayectoria descrita en el espacio a una velocidad v^i , formando así un vórtice de flujo eólico que redirecciona el flujo incidente hacia el captador.

Ensayo 2. Almacenamiento intermedio de energía potencial elástica en sistemas resonantes

Temática: Osciladores armónicos simples

Principio físico: Fuerzas restauradoras

Se ha seleccionado el mecanismo (Fig. 4) para estudiar los componentes, se tiene una pieza de soporte para el resorte de coeficiente de elasticidad k y el eje de acoplamiento al disco de giro, una pieza de accionamiento que transmite el vector de fuerza impulsora F^i generando un desplazamiento en el resorte x^i , en el estado accionado, al eliminar la fuerza el sistema se ve sometido a una fuerza de restauración, para alcanzar el punto de equilibrio x_0 en k pasos de

posición del eje.

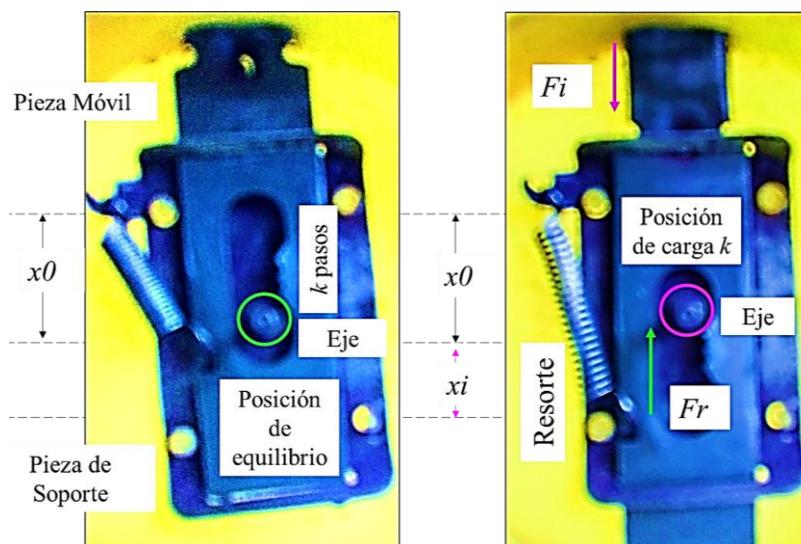


Figura 4. Realimentación de energía potencial $y(t-I)$.

Un sistema MRA puede convertirse en un sistema resonante, creando un circuito espejo, para reflejar la fuerza impulsora por una fuerza restauradora, esto acoplando un elemento simétrico de almacenamiento de energía potencial elástica mediante un resorte o su equivalente óptico-geométrico.

Interpretación de sistemas de movimiento armónico

Se parte de una fuerza impulsora externa (senoidal), la cual se disipa en función del coeficiente de amortiguación c , se modela la dinámica de resonancia del oscilador:

$$F_i \text{sen}(\omega t) = m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx.$$

De esta manera, el resorte se interpreta como un registro de almacenamiento de energía, en pasos discretos, que se retorna al sistema a través de la fuerza restauradora, contraria a la fuerza impulsora, generando un torque τ , que hace girar el disco acoplado al eje a una velocidad angular ω , actuando como un multiplicador de momento en el disco de giro, lo que permite optimizar la eficiencia de convertidores de energía mecánica a energía eléctrica acoplando al eje un dinamo, turbina, etc., mediante la incorporación de un acople elástico (carga del resorte por pasos), para maximizar el momento angular, a partir de la máxima elongación x (desplazamiento desde el punto de equilibrio) en el resorte para almacenar energía potencial que se convertirá en energía cinética prolongando el tiempo de giro (Fig. 5.a). Lo que se puede interpretar como un acoplamiento mecánico resonante. Donde m es la masa, x el desplazamiento de la masa desde el punto de equilibrio, F_i la amplitud, ω es la frecuencia angular, k es la constante del resorte, y c los coeficientes de viscosidad del eje. Esto puede tomar la forma de:

$$\frac{F_i}{m} \text{sen}(\omega t) = \frac{d^2x}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x$$

Donde, se tiene que la frecuencia natural del sistema es: $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$, y el factor de amortiguación dado por: $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$

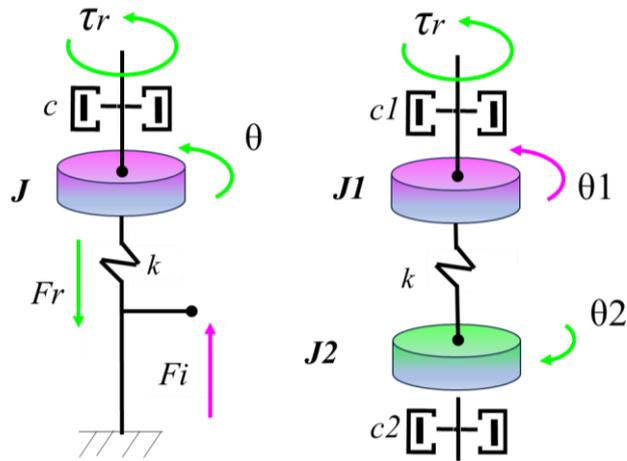


Figura 5. Mecanismo de compensación resonante.

Igualmente, se puede optimizar a través de la anulación del efecto de vorticidad a la salida del rotor de la turbina, acoplado un mecanismo en contragiro, para compensar el efecto del captador aguas abajo de la turbina (Fig. 5.b). El disco $J2$ se puede modelar como un volante de inercia de restauración y permite convertir el mecanismo en un sistema resonante. Donde la fuerza impulsora genera un desplazamiento θ_1 en $J1$ y a través del acoplamiento elástico k , se transfiere energía a $J2$ donde se almacena la energía potencial, se produce un desplazamiento θ_2 . Siempre que la frecuencia de la fuerza externa esté en resonancia con la frecuencia natural del sistema se producirán oscilaciones de mayor amplitud respecto al punto de equilibrio, tal como ocurre en un columpio.

Este ensayo permitió valorizar las fuerzas restauradoras que se producen la energía almacenada en elementos elásticos y la aplicación de estas fuerzas para optimizar la eficiencia y cancelación de un efecto, a través de un elemento simétrico de compensación, donde las especificaciones técnicas de estos elementos se definen a partir de los coeficientes del modelo. La solución de la ecuación diferencial del oscilador armónico se puede realizar a través de exponentes complejos, definiendo el factor de arreglo (ecuación 1), lo que resulta más oportuno para su interpretación en función de la descripción mediante un vector rotativo del movimiento armónico simple MAS, como la suma de dos vectores que giran en sentido horario y antihorario, respectivamente [2]. Lo que permite enunciar que puede producirse un movimiento armónico rectilíneo mediante la superposición de dos movimientos circulares reales iguales y opuestos. Esto en nuestro estudio nos permite concluir respecto a la cancelación de vórtices por compensación simétrica.

Inferencia del factor de arreglo del sistema eólico

De esta manera si observamos la correspondencia entre las perturbaciones o turbulencia y la interferencia inter simbólica, los conceptos de antenas inteligentes y códigos correctores de errores pueden ser extrapolados para los captadores inteligentes de energías renovables. Un captador inteligente es la combinación de un arreglo de cometas con una unidad de procesamiento, en tiempo real con tecnología FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*), a fin de optimizar el diagrama de captación eólico. Por lo que se busca así desarrollar tecnología con relación al campo de control adaptativo. Del concepto de factor de arreglo se interpreta para el arreglo de cometas, como el producto del diagrama de radiación de un elemento del arreglo multiplicado por un factor que considera la interferencia de las n ondas generadas por los n

elementos del arreglo, que depende de la separación entre los elementos del arreglo;

$$FA(\psi) = \sum_{i=1}^n r_i e^{j(i-1)\psi}, \tag{1}$$

con r_i el radio de barrido del captador eólico, n : número de elementos del arreglo, $\psi = kd\cos(\theta) + \beta$ la función de onda que representa la diferencia de fase entre los n elementos, β fase progresiva que permite controlar la directividad del arreglo de cometas, k : número de elementos reflectantes, d : separación entre cada elemento del arreglo.

Ensayo 3. Cálculo ángulo de salida de una lente de refracción para alineación y transporte de energía.

Tema: Fenómenos ondulatorios y resonancia óptica. Principios Físicos: Difracción, refracción, reflexión.

La superficie crea una cámara de resonancia óptica [2], con un radio de curvatura, que se plantea establecer en el lente de proyección de onda. Se logra definir la estabilidad del arreglo de resonancia óptica mediante las relaciones geométricas de los radios de curvatura de los arreglos reflectantes y la distancia entre estos. El resonador óptico es estable si logra confinar la luz en ciertas posiciones de su radio de curvatura [11], en caso contrario el haz de luz saldrá de la superficie reflectante, luego de unas oscilaciones y presentará pérdidas de potencia en algunos ciclos de oscilación, este principio óptico puede ser aplicado en arreglos fotovoltaicos [12], [13] y extrapolado al sistema fluidodinámico, a través de lentes eólicos, mediante laboratorios de investigación en tecnologías sostenibles [14]. Se tiene una esfera (Fig. 6) con índice de refracción entre el rango 1.32 a 2.10, por presentar superficies traslucidas y opacas, se tomará $n = 1.58$, inmersa en aire, con un índice de refracción 1. El parámetro b es la distancia a la que pasa el haz de luz del centro de la esfera, de radio $r = 3$ cm, coincide con el seno de α , ángulo con que incide la luz en la superficie esférica. El cociente de los senos de los ángulos α y α' es inversamente proporcional a los índices de refracción de la luz en los medios respectivos.

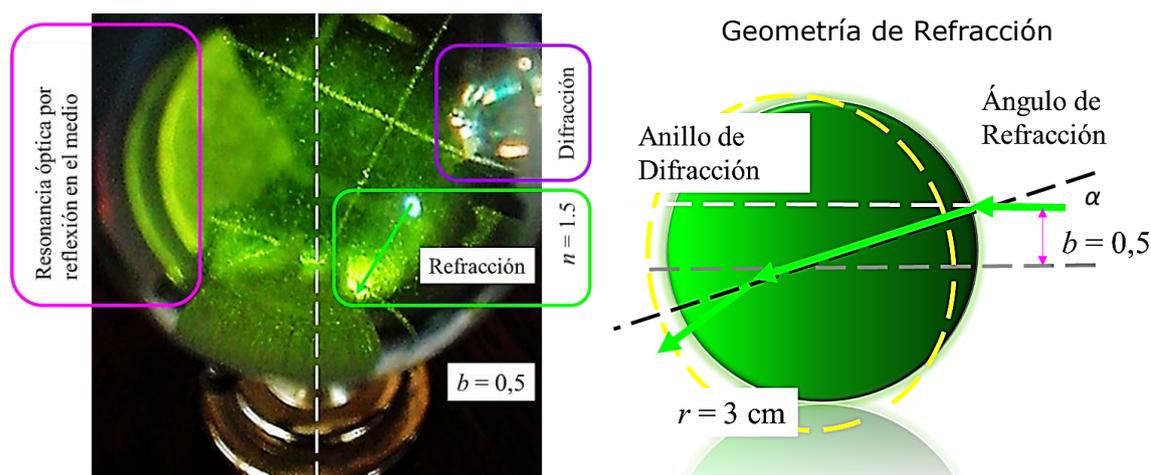


Figura 6. Cálculo del ángulo de salida de onda incidente.

Se realiza el cálculo del ángulo de salida α' respecto al ángulo de incidencia, por la relación de los índices de refracción del aire (medio externo) y el lente (cristal de la esfera), $n = \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\alpha'}$

función de la relación geométrica, siendo $\text{sen}(\alpha)$ la longitud b (distancia entre la recta de entrada al centro), de donde se obtiene $\alpha' = 30^\circ$.

Igualmente se puede calcular los ángulos para la refracción de onda sobre un lente, con una composición de materiales de superficie traslucida y un medio de plasma, para definir un índice configurable.

Reflexión: El redireccionamiento de una onda incidente (haz de luz, flujo eólico), junto a la modificación de la velocidad de propagación, al pasar a través de un medio a otro, ¿qué función tendría en un arreglo de cometas de captación de energías renovables?

7. Análisis de los principios estudiados

En este punto se han introducido los tres conceptos asociados a la ecuación desarrollada: (1) vorticidad en mecánica de fluidos, (2) compensación simétrica, (3) sistemas con acoplamiento resonante, en base al enfoque de física moderna y ondas, dualidad onda-partícula, interpretación discreta de bloques de energía, correlación de secuencia en flujo dinámica clásica y cuántica. La estrategia didáctica comprende la discretización de un flujo eólico en una trama de bloques de energía, donde se propone el tratamiento de la trama mediante un codificador de bloques, creando una correlación, esto permite emular el fenómeno de entrelazamiento cuántico, ya que la trama codificada se ha generado en una red de difracción común y la secuencia mantiene una memoria estructural entre los bloques según el polinomio generador de código.

El ensayo propone desde desensamblar la tobera sólida (despiece del dispositivo), por un arreglo de etapas, en una secuencia de anillos con diámetro configurable (mecanismo replegable) o apantallamiento en la entrada del captador, para crear un concentrador de flujo eólico híbrido, hasta la interpretación desde la perspectiva de física moderna y ondas.

Lo que permite construir dispositivos cinéticos basados en vórtices funcionales aplicando principios de mecánica de fluidos, una discretización del sistema físicos y en los espacios vacíos de la secuencia se aplican los conceptos de desprendimiento de capa límite y efecto estela, que permiten mantener el patrón desde la salida de un anillo hasta el próximo. De esta manera, se puede aplicar el efecto estela a favor de la construcción de un patrón de flujo óptimo para la entrada del captador eólico, considerando el comportamiento del flujo como una secuencia de etapas. Es importante mencionar que la tobera se comporta como un mecanismo con memoria, tal como cuando escribimos con un lápiz imaginario, y se retiene la trayectoria previa, pues la tobera mantiene un patrón de flujo remanente que describe el comportamiento sobre una línea de tiempo, por el corrimiento de elementos discretos secuenciales.

Se ha propuesto así, revalorizar el espacio entre los elementos de la secuencia de flujo, luego la sustitución de estos elementos por un arreglo de lentes eólicos conformados por el control de difracción y reflexión del flujo y la energía, desde un enfoque más orientado a conceptos de física moderna y ondas. Lo que constituye el concepto de un arreglo definido por *software* o tobera virtual, con las ventajas de implementación y minimización de materiales. Para ilustrar la dinámica del parque eólico, se plantea una comparación con una guitarra, siendo la cámara de resonancia el circuito confinado por el lente eólico. Observar la amplitud y frecuencia de las ondas senoidales que se producen ante una vibración de cuerdas acopladas al modificar la distancia y parámetros de la caja de resonancia y registrar las observaciones sobre el efecto. ¿La geometría de la caja de resonancia incide en la amplificación?, ¿qué fenómenos ondulatorios se presentan dentro de la caja de resonancia?, ¿las vibraciones entran en resonancia con la cámara de aire?, ¿la forma (8) inciden en los modos de vibración?, ¿dónde se presenta la difracción de las ondas?, ¿qué ocurre al modificar la tensión de las cuerdas acopladas mediante el puente? ¿Se puede definir un lente eólico en forma de ocho?, ¿se puede modificar el

coeficiente de elasticidad mediante la tensión de las cuerdas de las cometas del arreglo captador? Todo esto se plantea para optimizaciones dinámicas.

La sucesión Fibonacci ha sido considerada como herramienta para modelar sistemas físicos, se puede estudiar esta progresión geométrica, a través del circuito generador de la secuencia, tal es el caso de los registros desplazamiento con realimentación lineal LFSR en configuración Fibonacci o Galois, que guardan estrecha correspondencia con las etapas componentes de los sistemas físicos fractales.

Resultados de la Investigación

Se definió el sistema físico de estudio (captadores eólicos y lentes geométricos de flujo regenerativo) para conversión de energía a partir de ondas mecánicas, donde se deduce un conjunto de términos componentes, considerando la energía potencial y la realimentación dinámica por reflexión, donde la variable del tercer término corresponde a la energía del acoplamiento resonante, donde se plantea la consideración adicional de una realimentación de la variable de salida difractada y una variable de acoplamiento resonante, dada por la onda reflejada sobre elementos del arreglo de la forma: $y(r,t)$, siendo una variable predictiva del sistema.

$$\frac{\partial y(r,t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^m g_i \cdot x^i(t) + \frac{1}{\phi} \cdot [x^i(t-1) + y^i(t-1)] \pm \sum_{j=1}^n \frac{(-1)^j}{r(j)!} \cdot \frac{\partial^2 \psi^j(r,t)}{\partial r, t}, \quad (2)$$

la cual puede ser reescrita de la forma:

$$y(r,t) = \sum_{i=1}^m g_i \otimes x^i(t) + \frac{1}{\phi} [y^i(t-1) + LFSR[\Omega^i(t-1)]] \pm \sum_{j=1}^n \frac{(-1)^j}{r(j)!} \cdot e^{i(j-1)\psi}. \quad (3)$$

El primer término corresponde a una reinterpretación de la ecuación clásica de dinámica de fluidos, para transporte de energía por flujo laminar y flujo turbulento, según el número de Reynolds. A este modelo se suma el transporte de energía por vorticidad, que corresponde al estudio de patrones geométricos y consideraciones de energía reflejada por los elementos del parque de captadores eólicos, todo esto se agrupa en un concepto de patrón de flujo regenerativo. De esta manera, se identifica el operador de convolución entre el flujo incidente con la función de transferencia del captador eólico y la función de transferencia del sistema que comprende la envolvente del lente eólico, red de difracción y flujo reflejado, que se corresponde con un patrón de flujo en n_{xy} .

Un ejemplo de esto se puede evidenciar al contrastar un arreglo eólico con un arreglo de antenas inteligentes, para identificar el tratamiento entre los patrones espaciales de rosa de viento (patrón de captación y patrón de proyección) y los patrones de radiación de antenas con haz direccionable. Todo esto con la finalidad de aplicar las técnicas de compensación y adaptación del arreglo.

A partir del principio de correspondencia postulado por Niels Bohr, donde los modelos de los sistemas clásicos se aproximan a particularizaciones de la teoría cuántica, que han sido desarrollados de manera independiente por la observación del sistema objeto de estudio. Se plantea ahora la observación de los sistemas físicos para identificar patrones de correspondencia entre las estructuras del modelo y las ecuaciones, a fin de construir la interpretación física de

los coeficientes del modelo y las variables correlacionada.

Con este análisis de correspondencia, el estudiante de física está en capacidad de identificar analogías entre mecanismos independientes, así como autosimilitud entre etapas concatenadas de un sistema físico complejo y realizar inferencias de compatibilidad de modelos sobre la base de las ecuaciones descriptivas, relacionando los operadores y estructura del circuito con los componentes del sistema estudiado.

A partir de esta interpretación, se define un modelo de correspondencia del captador y conjunto de ondas de la red de difracción con los patrones de proyección (Fig. 7) modificando la órbita de los elementos móviles del lente eólico, cuya entrada estará desfasada en relación del ángulo de ataque del captador, un coeficiente de ganancia o atenuación de componentes de flujo.

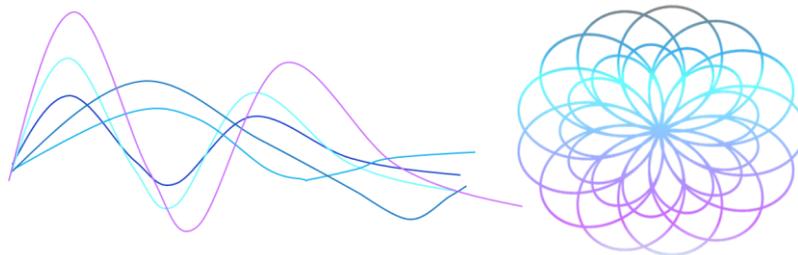
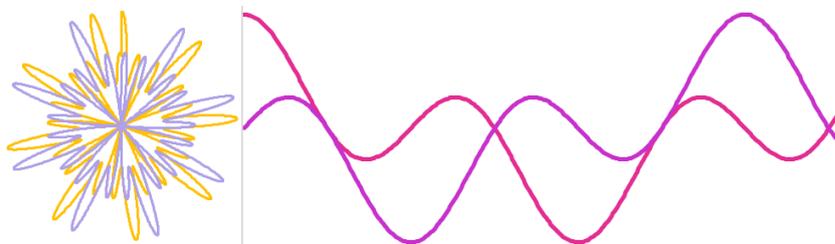


Figura 7. Patrón de proyección de ondas del SRCE

Para el diseño del lente eólico se tiene un elemento generatriz de la superficie que corresponde con el arreglo de cometas eólicos (catenaria) y una directriz que corresponde con la curva de trayectoria, siendo el LFSR un circuito que se interpreta como la operación (catenaria) sobre un polinomio generatriz del campo finito o curva directriz (orbital).

El modelo desarrollado en VHDL permitió realimentar un flujo reflejado en una proporción de φ respecto al flujo incidente, por los elementos que conforman el sistema compuesto por un lente eólico (cometa con trayectoria cíclica a una velocidad de barrido que permite describir la circunferencia de reflexión de onda de la tobera de reducción de área) y una red de difracción de k elementos captadores alineados en el espacio en distribución Fibonacci. Para la descripción de la generación de vórtices de compensación se tiene un LFSR (acoplamiento resonante) de ganancia 1.618, que está compuesto por k elementos en la secuencia (Fig. 8).



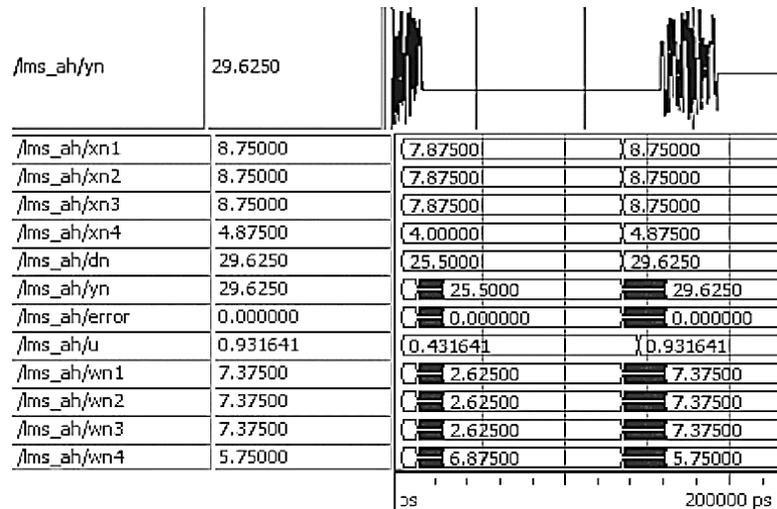


Figura 8. Patrón de difracción compuesto LFSR (n,k).

La descripción del modelo VHDL, permitió validar los resultados, optimizando el comportamiento del sistema mediante la incorporación del término de realimentación externa, con un coeficiente del término $wn4$ que aproxima a 6.88, el cual se desglosa en el generador de vórtices, para una potencia objetivo de 25.5 MW.

A partir del análisis de la ecuación propuesta se desarrolla un modelo fractal de generador de secuencia LFSR [15], [16] con parámetros geométricos variables, en función de una optimización objetivo por términos (en relación con las condiciones de la dimensión, estado y etapa del sistema). En resumen, se presenta una ecuación de modelo para la etapa de física clásica con pesos sinápticos relacionados con la ganancia del sistema w_i , que concatena la onda modulada: $X_i(w_m \cdot \Omega + \theta_m)$, es decir la onda incidente que presenta una rotación en fase θ_m con parámetros de control, para anulación o filtrado de componentes y amplificación de componentes a la frecuencia Ω resonante para la optimización de desempeño, sumando un término que modela la envolvente de radio r del sistema, que acota la reflexión de ondas del conjunto

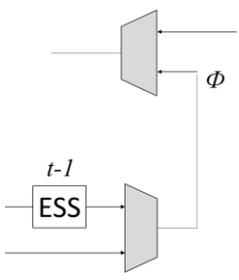
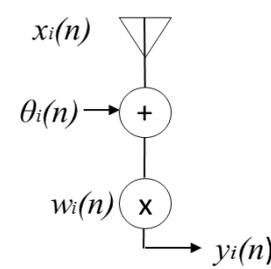
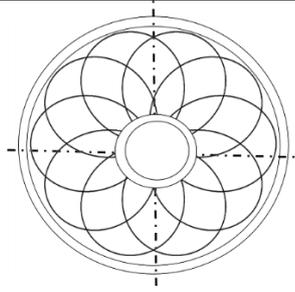
$$W \otimes X = w_i \cdot X_i(w_m \cdot \Omega + \theta_m(r)) + w_0 \epsilon_0 \frac{\partial x(r, t)}{\partial r, t} \quad (4)$$

donde se puede observar la analogía entre el sistema fluidodinámico y su equivalente en un arreglo de antenas de ondas electromagnéticas (Tabla I), destacando que la fase pasa de ser una constante a ser un parámetro en función del radio y el objetivo de optimización, lo que representa una alta controlabilidad del sistema y su condición fractal, en base al estudio de biomimética de compensación en sistemas eólicos [17], tal como se presenta en la Figura 9.

Se realizó el diseño de una estructura de análisis práctico de post laboratorio (Tabla II) para análisis de sistemas de energías renovables sobre la arquitectura Ω -LFSR aplicando redes fractales de capas radiales. El objetivo de la práctica diseñada es modelar un sistema físico a nivel clásico mediante patrones de campo sobre la interpretación matemática de la función de onda. Para un conjunto $GF(2^m)$ con m capas de una red de difracción radial LFSR(r, θ), que coincide con el patrón de la dirección de flujo de energía del sistema físico de energías eólica estudiado, con el fin de aportar una simplificación en el modelado, un término de compensación

y una técnica de optimización dinámica.

Tabla I. Etapas de modelado LFSR mediante analogía de arreglo de antenas con un sistema físico fluidodinámico.

Objetivos	Diseño de patrones de optimización por convolución con patrones proyectados de rosa de viento			
Recirculación	Ganancia	Ω -resonancia	Fase de polarización	Patrón de difracción
				
$\Phi^{-1} \cdot x^i(t-1)$	$w_i \cdot X_m(n \cdot \Omega + \theta_m)$		$\sum_{j=1}^n \frac{(-1)^j}{r(j)!} \cdot \frac{\partial^2 x^j(r, t)}{\partial r, t}$	

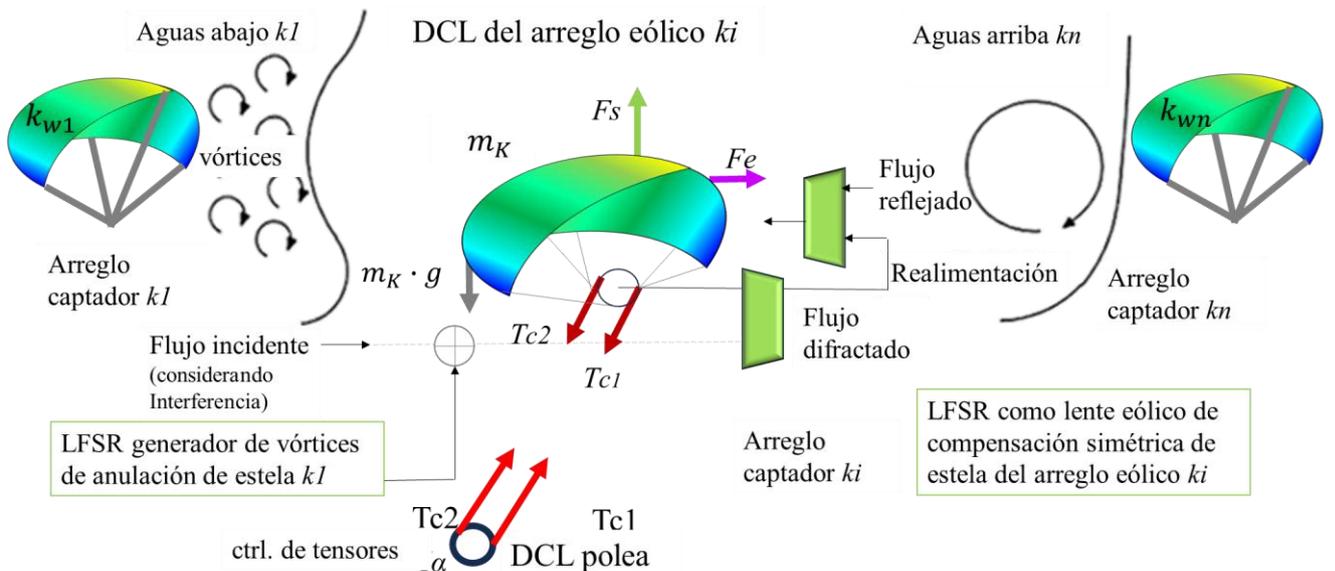
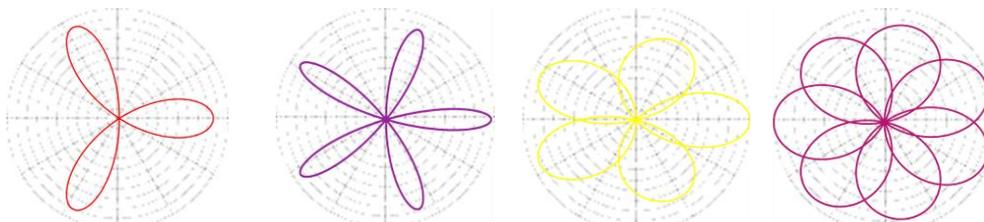


Figura 9. Representación del sistema físico fluidodinámico interpretado en el modelo LFSR (n, k) .

Tabla II. Diseño de actividad de post laboratorio de compensación mediante patrones de flujo proyectado

Objetivos	Comparación de métodos de optimización de sistemas resonantes			
Fundamentos	Análisis del modelo de optimización y estimación de parámetros			
Modelo $\Omega(n, k)$	Ganancia clásica	Ω -resonancia	Fase de polarización	Fase de reflexión
Técnicas	Modelo VHDL	LFSR	Patrón polar	Híbrido
Paso 1.	Levantamiento de datos sobre modelos teóricos o mediciones			
Patrones polares	$\Omega(3, 1)$	$\Omega(5, 1)$	$\Omega(5, 3)$	$\Omega(7, 5)$

Paso 2.
Método gráfico:
Estudio de
patrones



Paso 3.
Compensación
simétrica,
establecer fase de
compensación

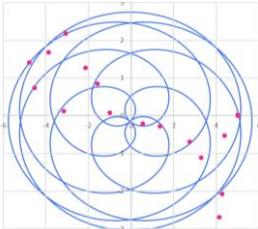


Paso 4. Superponer los patrones de estudio: (a) Turbinas eólicas patrón de difracción de los elementos del arreglo. (b) arreglo de lentes eólicas para recirculación de flujo reflejado.



Paso 5.

Aplicación de un modelo LFSR(n,k) fractal para el modelado del sistema físico y optimización dinámica de los coeficientes del modelo.

<p>Arreglo Experimental de caracterización (Código VHDL)</p>	<p>Algoritmo de control del arreglo inteligente con 3 cometas captadoras y compensación <i>Cálculo de coeficientes:</i> $factor(n) = \mu * \epsilon(n) * x(n)$; For $i=1$ to 4 (orden del filtro 4) <i>Salida estimada:</i> $y(n) = w_{UV}(n) * x1(n) + w_{IR}(n) * v2(n) + w_{LV}(n) * v3(n) + wf(n) * vf(n)$;</p>
<p>Resultados</p> 	<p>Relacionar cada término del modelo con su correspondiente variable del sistema físico, presentación de gráficas de estimación de parámetros e interpretación de resultados. Establecer un patrón de optimización definido como meta del algoritmo de optimización, por adaptación de coeficientes del modelo del sistema físico, logrando medir la desviación de los puntos de muestras, que conforman la constelación. Registro de mediciones del ensayo: (1) Pruebas de vibraciones de los acoplamientos con y sin flujo regenerativo. (2) Medición de desgaste en piezas metálicas y sellos con lente eólica. (3) % de eficiencia η del sistema aplicando curvas de compensación geométricas.</p>
<p>Conclusiones</p>	<p>Establecer análisis de resultados para las aplicaciones de sistemas de energía, considerar la técnica de estimación de parámetros con menor error y máxima velocidad de respuesta, proponer la extrapolación de los resultados a otras aplicaciones.</p>

La selección de este esquema para modelar sistemas de energías renovables viene dada por la facilidad para el análisis de la salida del sistema. Esto quiere decir que en un sistema fluidodinámico se puede obtener la ecuación de generación de vórtices (considerando los parámetros propios) y lo más importante se puede definir la generación de vórtices de compensación para efectos del captador de energía aguas abajo de su intervención.

Para la compensación se propone la aplicación de análisis de datos empíricos, recolectados a través de cometas eólicas de investigación sobre un laboratorio móvil de barrido de área de cobertura, utilizando redes neuronales para la predicción de efectos por solapamiento de áreas

proyectadas entre captadores y evaluación dinámica de las variaciones de parámetros. A fin de obtener modelos basados en la física y herramientas de aprendizaje profundo DNN.

Hay algo importante que observar, se mencionaron 5 niveles, lo que no es igual a 5 capas en la ecuación del modelo. Esto porque en una capa se pueden abordar 2 o 3 niveles, incluso, pueden solaparse, ya que en una operación de convolución sobre la red LFSR pueden haber operaciones anidadas $LFSR(n, k-GF(m))$, así como operaciones superpuestas de la forma: $nLFSR+1/n!LFSR$, lo que se evidencia en el estudio de los ensayos que involucran principios concatenados en el modelo fractal.

Análisis del aporte didáctico de los ensayos

Se planteó la tesis de una memoria estructural, que, a través de fuerzas de restauración para recuperar el equilibrio del sistema, permiten almacenar energía potencial mediante elementos elásticos, muelles neumáticos, aplicados en circuitos multietapas.

Se modeló la salida del sistema con auto compensación de vórtices y restauración de las condiciones de presión del flujo regenerativo, además del factor de arreglo diseñado para establecer acoplamientos por parámetros de resonancia del sistema físico, considerados en el argumento de la exponencial del factor de arreglo resonante, permiten restaurar el patrón de flujo óptimo, como una aplicación de ingeniería desde física moderna y ondas. Cada ensayo estudiado aporta una interpretación en los componentes del modelo, por variables físicas: $x(t-1)$, $y(t-1)$, Ω -vórtices generados por compensación simétrica, acoplamientos resonantes entre los k elementos del arreglo, todo esto enmarcado en fenómenos ondulatorios.

Se valorizó el efecto estela, para crear una masa de aire (por centrifugado) a través de la trayectoria de una cometa que funciona como lente eólica, a una velocidad de barrido, que permite confinar un flujo incidente creando una tobera por fluidodinámica. De forma análoga, se propone la creación de un difusor aguas abajo para restablecer el flujo laminar y reordenar el flujo de salida.

El modelo predictivo de la estela de salida del sistema permite tomar acciones directas para corregir el impacto sobre elementos del arreglo, asociados a la responsabilidad en los criterios de diseño colaborativo, ya que las variables de salida dependen de la red de difracción del captador y la dinámica aguas abajo del captador, lo que requiere de un estudio sobre un campo extendido.

8. Conclusiones

Gracias al análisis desarrollado para la identificación de correspondencia entre la arquitectura del operador fractal de convolución y las etapas del sistema, se logra un aporte para sistemas con acoplamiento de resonancia y compensación de vórtices definidos por *software*, entre los aportes alcanzados se tiene:

1. Desarrollo del concepto de una tobera fluidodinámica basada en conceptos de efecto estela, desprendimiento de la capa límite y velocidad de barrido de un elemento móvil para la creación de un vórtice de flujo confinado como reductor de área en el espacio previo al captador.
2. Interpretación de unidades discretas de flujo eólico en el transporte de energía (bloques de masa de aire), considerando la realimentación de flujo reflejado.
3. Obtención de una relación de realimentación de flujo reflejado con ganancia de $1/\phi$, siendo la salida de un ϕ -LFSR que modela una secuencia de generador de vórtices: 1, 1,

2, 3, 5, 8, 13, 21,..., con proporción 1.618.

4. Sistematización del modelo con una ecuación que integra la dualidad onda-partícula, para definir la proporción fractal de interacción entre los elementos del arreglo de captación.

Referencias

- [1] F. J. Manjón, J. M. Villalba, E. Arribas, A. Nájera, A. Beléndez and J. A. Monsoriu, "Vórtices no estacionarios en un vaso de agua," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 35, no. 3, p. 3304, 2013.
- [2] A. P. French, *Vibraciones y Ondas.*, Curso de Física del M.I.T. Primera Edición. Editorial Reverté. ISBN 8429140980., 1974.
- [3] C. Sandoval-Ruiz, "Wind Turbine with Configurable Feedback Scheme for Minimal Environmental Impact and Maximum Efficiency," *Universidad Ciencia y Tecnología*, vol. 26, no. 113, pp. 123-136, 2022.
- [4] W. E. Gettys, F. J. Keller, M. J. Skove and L. A. Lopez, *Física clásica y moderna*, España: McGraw-Hill. Capítulo 40, mecánica cuántica: 1063-1085., 1991.
- [5] R. Barroso and A. Zozaya, "Prony's method and matrix pencil method performance on determining the complex natural resonance frequencies of a linear system," *Revista RIMNI*, vol. 38, no. 3, 2022.
- [6] C. Sandoval-Ruiz, "xyz Modelo de optimización de arreglos de cometas captadoras de energías sostenibles," *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 46, no. 2, 2023.
- [7] C. Sandoval-Ruiz, "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*, vol. 10, no. 3, pp. 3-15, 2023.
- [8] C. Sandoval-Ruiz, "ZPF para arreglo de proyección de onda: ϕ -LFSR en modelado $F_p[x]/f(x)$ de sistemas de energías renovables," *Revista Universidad del Zulia*, vol. 15, no. 42, 2024.
- [9] K. Brading and E. Castellani, "Symmetries in Physics: Philosophical Reflections," *Cambridge Univ. Press.*, 2023.
- [10] A. T. G. D. Carvalho, R. F. Pimentel, R. S. Carvalho and C. Laburu, "A linguagem, a epistemologia e o ensino conceitual da dualidade onda-partícula," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 45, p. e20220339, 2023.
- [11] C. Sandoval-Ruiz, "JK-ESS renewable energies storage with hybrid feedback," *Revista Ciencia e Ingeniería*, vol. 44, no. 3, pp. 287-296, 2023.
- [12] C. Sandoval-Ruiz, "LFSR Optimization Model based on the Adaptive Coefficients method for ERNC Reconfigurable Systems. *Ingeniare*," vol. 29, no. 4, pp. 743-766, 2021.
- [13] C. Sandoval-Ruiz, "Arreglos fotovoltaicos inteligentes con modelo LFSR-reconfigurable," *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, vol. 30, no. 2, pp. 32-61, 2020.
- [14] C. Sandoval-Ruiz, "Tecnología R-IEDs para ERNC, teletrabajo y mitigación de impacto ambiental," *Industrial data*, vol. 23, no. 2, pp. 151-167, 2020.
- [15] C. Sandoval-Ruiz, "Operador matemático LFC(n,k) en campos finitos basado en concatenación fractal para GF (2m)-Extendido," *Ciencia e Ingeniería*, vol. 41, no. 2, pp. 197-204, 2020.
- [16] C. Sandoval-Ruiz, "Fractal mathematical over extended finite fields $F_p[x]/(f(x))$," *Proyecciones (Antofagasta)*, vol. 40, no. 3, pp. 731-742, 2021.
- [17] C. Sandoval-Ruiz, "Biomimética Aplicada a Modelos de Sistemas de Energías Renovables Reconfigurables Basados en Estructuras Autosimilares," *Rev. Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 46, no. 1, 2023.

