

Laboratorio móvil para optimización de sistemas de energías renovables y aplicaciones ambientales

e-Lab for optimization of ERNC and ambientals applications

Sandoval-Ruiz, Cecilia

Facultad de Ingeniería / Dirección de Postgrado

Universidad de Carabobo, Venezuela.

cecisandova@yahoo.com

Resumen

Esta investigación presenta el diseño conceptual y propuesta de un sistema de entrenamiento móvil para el área de diseño, modelado y optimización de arreglos de energías renovables no convencionales ERNC y aplicaciones de monitoreo, estimación de impacto ambiental, control y remediación ambiental. Comprende el diseño conceptual de módulos portátiles de arquitectura LFSR, para el procesamiento por etapas de reciclaje, clasificación de materiales por coeficientes específicos de los materiales, de manera de realizar el procedimiento de separación de aleaciones y compuestos de forma eficiente, así como la realimentación en el modelo circular para su aprovechamiento de nuevas aplicaciones, bajo criterios de sostenibilidad y protección ambiental. El método de diseño modular del laboratorio comprende etapas de capacitación, optimización y entrenamiento dinámico, de forma remota. Se obtiene como resultado una matriz de coeficientes para el manejo de las funciones del laboratorio con energías renovables, adaptado a las potencialidades locales. Se proporcionó la configuración del modelo con la etapa de adaptación del sistema de transitorio y la retroalimentación lineal en el régimen permanente. Se establece así, un modelo único que simplifica la adaptación a nuevas aplicaciones. Lo que permite concluir que un esquema colaborativo con aplicación a la mitigación de impacto ambiental y optimización de los sistemas de energías renovables representa un valioso aporte para su extensión en base a las ecuaciones reportadas.

Palabras claves: Entrenamiento de sistemas de energías renovables, teletrabajo, modelado neuronal ANN basado en coeficientes específicos, mitigación de impacto ambiental, laboratorio móvil.

Abstract

The research developing a proposal and conceptual design of a mobile training system, for ERNC arrays modeling and optimization, and environmental impact estimation, neural-optimal control, environmental protection applications. In this sense, the correspondence between recycling scheme and waste heat recovery has been studied, as solutions from the engineering field with portable laboratory over sustainable technology, for bio-inspired design, intelligent learning of the environment, and modular simplification of systems, as a sustainable optimization method specific coefficients of materials. A set of proposals is presented, based on reconfigurable, biodegradable elements (meta-materials) and feedback, to minimize environmental impact. The method of modular design of the laboratory is for dynamic training and optimization; it's with technology on FPGAs and digital twins, for configurable power systems, aimed at supporting renewable energies, teleworking and mitigating environmental impact. The scheme is oriented to the design of cycles of reuse, recycling, dynamic reconfiguration and feedback of by-products or energy, in correspondence with the circular model. Among the results is the technological proposal developed for the integration of renewable energies, through remote activities in the energy sector, waste heat recovery and simplification based on ANN models. This allows us to conclude that the multidimensional study provides solutions within the scientific rigor in environmental matters, protection of natural resources, remediation of environmental impact, respect for the balance and cycles of nature, for the recovery of systems and quality of life of living beings.

Keywords — ERNC training, teleworking, ANN models, EIA, e-lab mobil.

1 Introducción

EL contexto del proceso de descarbonización que se adelanta a nivel internacional, requiere de una estrategia de reconversión de competencias técnicas, manejo de nuevas tecnologías y adaptación de procedimientos dentro de

la normativa ambiental vigente orientas al talento humano. De esta manera, se detecta el reto de diseñar una infraestructura móvil, flexible, reconfigurable y de soporte para el teletrabajo, a fin de garantizar la seguridad del personal técnico, a través de procedimientos remotos.

Se requiere de un espacio de capacitación práctica, contenidos técnicos actualizados y una plataforma de investigación (Sandoval 2019a, b) para el soporte de optimizaciones dinámicas, en materia de eficiencia energética y configuraciones de los sistemas de energías renovables ERNC. El potencial energético puede ser canalizado, a través de programas de desarrollo que faciliten la migración a sistemas inteligentes con compromiso ambiental y criterios de sostenibilidad. Tal es el caso de las termoeléctricas, donde se puede diseñar un esquema conmutado, con válvulas de bypass para la migración a ERNC, incorporando líneas de vapor sobrecalentado, a partir de tecnología termo-solar, que alimente una caldera solar-térmica.

Por otra parte, la bioremediación ambiental es una estrategia cada vez más necesaria, la cual demanda un enfoque centralizado sobre una plataforma tecnológica aplicada a espacios distribuidos. En las nuevas tecnologías emergentes se enuncian temas como meta-materiales y procesos regenerativos. Donde las competencias técnicas asociadas al procedimiento de remediación, pueden ser adaptadas con procedimientos de reparación, componentes reemplazables, reconfiguración de diseños, regeneración de materiales, programas de actualización y reciclaje inteligente: definición de propiedades del material o pieza componentes por software, entre otras funciones adicionales de modelo circular, del laboratorio móvil.

2 Preliminares

En (Bordons *et al.* 2020) consideran las microrredes como tecnología clave para dotar a los sistemas eléctricos de suficiente flexibilidad para una transición energética, basada en fuentes renovables, a través de MPC (Model Predictive Control) y técnicas de control distribuido para optimizar las conexiones a la red, a través de PCC (Point of Common Coupling), en los que se estudia el balance de energía por cada fuente de generadores de ERNC, fuentes externas, la energía en unidades de almacenamiento y la carga de la red, expresada por el modelo.

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_{gen,i}(t) + \sum_{i=1}^{n_e} P_{ext,i}(t) + \sum_{i=1}^{n_s} P_{sto,i}(t) - P_{ev,ch} \delta_{ev}(t) = 0 \quad (1)$$

Donde n_g es el número de generadores, n_e el número de conexiones exteriores y n_s el número de unidades de almacenamiento, P_i las potencias generadas por las fuentes de energías renovables, externas, almacenamiento y la potencia consumida por la carga (ejemplo: vehículo eléctrico), considerando la activación δ , en el sistema híbrido.

El esquema propuesto está pensado para el soporte del teletrabajo (Sandoval 2020c), siendo esta una necesidad actual, que puede ser solventada con tecnología móvil, redes neuronales ANN y tecnología DTR (relés inteligentes). La incorporación de estas tecnologías requiere a su

vez la actualización del perfil técnico del nuevo profesional, el cual abarca los criterios de eficiencia energética, minimización de pérdidas por efecto térmico, degradación de materiales, fricción en elementos móviles, o contaminación de componentes del sistema, así como y el uso de técnicas de inteligencia artificial para estimación de comportamiento de los equipos en mantenimiento predictivo. Del mismo modo, se deben incluir nuevas funciones asociadas al ecosistema, lo que comprende el manejo de normativas y la capacitación para el estudio de impacto ambiental de los procedimientos en el área de diseño, mantenimiento y optimización.

En esta investigación se plantea incorporar un término de realimentación de energía pre-almacenada, al modelo del sistema de ERNC, en base a estudio previos en relación a energía solar (Sandoval 2020a), así como funciones neuronales para la configuración de la arquitectura presentada en la Figura 1.

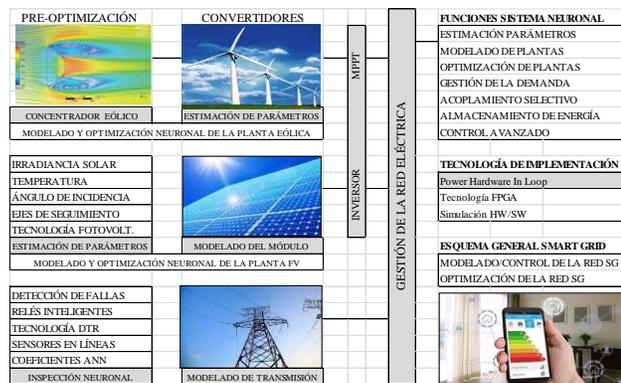


Fig.1 Arquitectura del Modelo Integrado de ERNC

Todo esto hace surgir el concepto de un laboratorio móvil para la optimización dinámica de los sistemas de ERNC y aplicaciones de remediación ambiental y sostenibilidad, donde se requiere generar un repositorio de códigos abiertos para hardware, con lo cual se simplifica el diseño y la configuración en línea, a fin de que el modelo de hardware evolucione con la dinámica del sistema, para mayor eficiencia y adaptarse a los avances tecnológicos, en lo que se deben definir las ecuaciones descriptivas del modelado modular de las etapas.

Centrales Virtuales de Energías Renovables

Un nuevo reto surge en materia de centrales virtuales de energías renovables, es decir instalaciones fotovoltaicas y eólicas distribuidas conectadas a la red, a través de una central de monitoreo y control. Este enfoque precisa de un modelo de mantenimiento, que incorpore la gestión a distancia de las instalaciones a mantener, a través de la digitalización de la central eléctrica, en el que se apliquen tecnologías de inspección y pruebas remotas, configuración óptima de la red inteligente y reparaciones programadas

desde una central teleoperada. Lo que introduce la necesidad de capacitación del talento humano en estas actividades, para ampliar el alcance del mantenimiento sobre las instalaciones distribuidas (Sandoval 2018).

El actual proyecto didáctico comprende el estudio de potencial solar y eólico para parques de energías renovables, un modelo de migración a ERNC y una unidad móvil capacitación, mediciones in situ y soporte técnico en actividades de mantenimiento industrial y residencial.

Modelos Auto-Regenerativos – MA

En función de los valores de las constantes de cada dieléctrico, existe una diferencia de potencial límite que cada material puede soportar por unidad de espesor. Si debido a determinadas condiciones de la red eléctrica y de temperatura extrema, inadmisibles para el correcto funcionamiento de los condensadores, se supera ese límite, denominado rigidez dieléctrica, se perfora el dieléctrico y salta un arco entre las dos placas. La *autoregeneración* del film de propileno consiste en que el arco eléctrico, en vez de generar un cortocircuito, evapora el metal en la zona que rodea al punto de ruptura, restableciéndose así el aislamiento entre las placas en el punto de perforación. Después de esta condición el condensador puede seguir trabajando en condiciones normales con una pérdida de capacidad inferior a los 100 pF.

Modelos Reconfigurables – MR

Proyecto Phoenix (fénix) de reutilización de componentes de centrales termo-eléctricas, para la implementación de centrales de energías renovables sostenibles, con tecnología y materiales locales. Un tipo de convertidor por vibración sobre los elementos móviles o flexibles, que pueda ser configurado a la velocidad, densidad y potencial, para conversión eólica, hídrica, mareomotriz, movimientos telúricos, etc. Estas configuraciones pueden ser soportadas sobre una tarjeta de código basado en el modelo LFSR (Sandoval 2021a). Todo el esquema presentado está orientado al concepto de *power hardware in loop*, para el control configurable.

Diseño conceptual del E-Lab Móvil

A partir de todo lo anterior, se plantea un laboratorio móvil para el servicio itinerante a los parques de energías renovables y empresas del sector energético. A fin de ofrecer un programa actualizado de capacitación técnica, el estudio de los sistemas de energías renovables y diseño de protocolos de medición y mantenimiento más eficientes. El laboratorio móvil de optimización estará conformado por una estación itinerante basada en electromovilidad, una estructura plegable de arreglo fotovoltaico para desplegar en terreno como referencia y abastecimiento eléctrico de la unidad, cabina de medición, instrumentación eléctrica básica, medición de degradación de los paneles

instalados, termografía, robótica de mantenimiento, drones de inspección de las instalaciones, estimación de eficiencia del sistema, mantenimiento de inversores y dispositivos electrónicos, mantenimiento mecánico de las estructuras de soporte y seguimiento solar, acoplamiento de elementos IEDs en una red para digitalización de la central virtual. El concepto comprende gemelos digitales, robótica, vehículos no tripulados para inspección, consulta colaborativas en ERNC, digitalización, equipos holográficos para operaciones remotas, modelado neuronal ANN, elementos acoplables, todo embebido en una unidad móvil, con accionamiento eléctrico (Sandoval 2016), como se presenta en la Figura 2.



Fig.2 Arquitectura del Laboratorio móvil

Mecanismo de Reparación por Impresión 3D

El proyecto de capacitación está pensado en una plataforma de investigación, fundamentada en un mecanismo de accionamiento sobre dos ejes para cubrir funciones de mantenimiento definidas por software. El prototipo puede ser diseñado basado en tecnología de hardware reconfigurable y reciclaje de componentes de residuos electrónicos, a fin de reinsertarlos, siendo su objetivo el soporte de los procedimientos de optimización energética y de materiales, asistido por elementos robóticos teleoperados, para el laboratorio práctico remoto.

Se propone así el diseño de equipos físicos funcionales para la realización de prácticas de laboratorio en diversas áreas, generan un entorno web de conexión remota para la manipulación de los equipos por prácticas establecidas. De

esta manera, se amplía el rango de alcance de las plataformas tecnológicas presentes en los laboratorios, siendo motivo de interés el análisis de los conceptos asociados al acceso en red del hardware que compone las estaciones de los laboratorios.

Tópicos de Capacitación con el laboratorio móvil

El laboratorio portátil permitirá capacitar para atención de sistemas de energías renovables, en centrales instaladas así como en convertidores de energías distribuidas, siendo este último importante en el desarrollo del concepto de la red inteligente sostenible. Estos sistemas tienen significativas ventajas al eliminar las pérdidas de transmisión de energía y la contaminación electromagnética asociada a las líneas de transmisión de potencia. En tal sentido, la capacitación del recurso humano para actividades de optimización dinámica, de manera remota de los sistemas distribuidos, usando tecnología inteligente, permitirá expandir las energías renovables, avanzar en el proceso de descarbonización, ampliar la vida útil de los equipos e implementar el modelo circular de la matriz energética a partir de personal capacitado para la gestión de componentes y materiales, para su eficiente reciclaje. Dentro de las nuevas tecnologías y aplicación de ANN en identificación de optimizaciones, como es el caso de los sistemas eólicos presentados en la Figura 3.

Neuro-Inspección Remota: Detección de Fallas por modelo ANN

Parámetros físicos y condiciones en pesos sinápticos de capas de la red neuronal modeladora:

- Rodamientos
- Interferencia electromagnética
- Vibración de parte móviles
- Temperatura
- Calibración
- Parámetros eléctricos
- Mediciones Ambientales

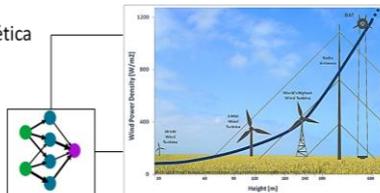


Fig.3 Optimización portátil de los sistemas Eólicos por ANN

Módulos de Sensores e Instrumentación

Para el sistema robótico diseñado se planteó contar con diferentes sensores dentro de los cuales destacan los sensores de proximidad, que permiten estimar la distancia a la cual se encuentra un obstáculo detectado, sensores de temperatura, que generan una lectura en grados centígrados (°C) de la temperatura ambiente identificada, los sensores de monóxido de carbono.

Módulos de Actuadores

Entre los sistemas de actuadores se pueden destacar la integración de conjuntos de mecanismos y motores que le permiten al robot diseñado realizar actividades, para esta aplicación se fraccionan los módulos de actuadores dependiendo de su aplicación directa, por una parte está el sistema de actuadores que controla el desplazamiento y giros

en cuanto a la dirección del robot y los sistemas de actuadores que controlan los movimientos del brazo robótico y la cámara de video.

Módulos de Control Tele-operado

En el módulo de control se implementa un sistema modular, donde se establecen jerarquías entre las ANNs de control óptimo, coordinadas por un sistema de control e interfaz de usuario remota. El esquema de control busca implementar la inteligencia energética del sistema.

APP desde dispositivo móvil para optimización remota

La aplicación debe permitir llevar a cabo el seguimiento remoto sobre el terreno desde dispositivos móviles, a fin de monitorear parámetros del sistema y mejorar el rendimiento de las instalaciones, así mismo permitir la interacción colaborativa, consultas en línea y garantizar la eficiencia energética del sistema, aplicando herramientas de redes neuronales artificiales.

Esquemas de Fotovoltaica Alternativos

Para esto se propone una valorización de potencial de los tejados de edificaciones urbanas, una plataforma de instalación de estructuras fotovoltaicas, el modelo de alquiler de tejados a los propietarios/usuarios de la energía, desde la administración de las centrales de energía con el conocimiento, experiencia y talento humano del sector. El esquema híbrido permite definir un modelo basado en estructuras LFSR, seleccionando la combinación presentada en la Figura 4.

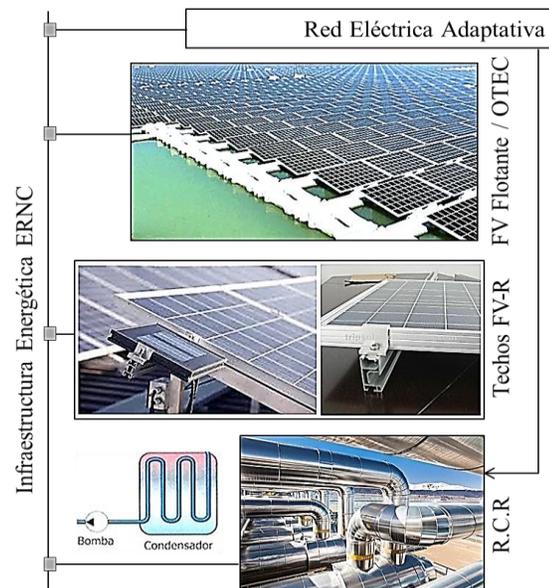


Fig. 4 Esquema de Almacenamiento de ERNC Distribuidas

Todos estos conceptos han sido estudiados, a fin de integrarlos en la propuesta conceptual y técnica, así como en un modelo generalizado, que permita el estudio, configuración y optimización dinámica de los sistemas sostenibles

en campo, a partir de la unidad móvil diseñada.

3 Resultados

Optimización Modular de Arreglos Fotovoltaicos

Para el caso del arreglo fotovoltaico se puede aplicar optimización por mecanismo de seguimiento solar (Sandoval 2020f), en el módulo se debe definir la ganancia en la señal de irradiancia, por control del ángulo de incidencia, por refrigeración de los paneles, el módulo tendría la ecuación de relación de temperatura, reconfiguración dinámica del arreglo fotovoltaico, redefiniendo el modelo PV Array en relación de las conexiones. La optimización por componentes espectrales tiene dos posibles funciones: A.1 Concentración A.2 Filtrado, en relación a los componentes espectrales por hora (Figura 5).

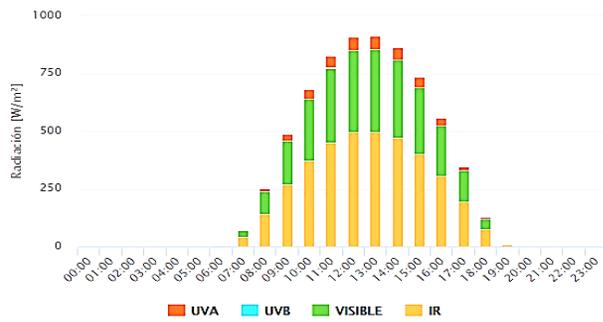


Fig.5 Componentes Espectrales de la Irradiancia Solar
Fuente: (Explorador Solar 2021)

Para el tratamiento de componentes expresadas por:

$$G_k = \sum_{i=1}^n w_{c,f} \cdot x(i) + G_k(i-1) \quad (2)$$

$$y_n(x) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n w_{UV} \cdot x_i + b_i, & \text{si } 10nm \leq \lambda \leq 400nm \\ \sum_{i=1}^n w_{FV} \cdot x_i + b_i, & \text{si } 400nm \leq \lambda \leq 700nm \\ \sum_{i=1}^n w_{IR} \cdot x_i + b_i, & \text{si } 700nm \leq \lambda \leq 0.01cm \end{cases}$$

Esto permite identificar un modelo de comportamiento funcional de módulos solares, analizando los aportes estimados en la Tabla 1.a.

Tabla 1.a. Porcentajes de radiación por banda espectral.

Clase de Radiación	Longitud de Onda [nm]	Radiación
Ultravioleta	280 - 400	10.49 %
Luz Visible	401 - 750	42.74 %
Infrarrojo	751 - 4000	46.77 %

Fuente: (NREL 2021)

Se realizaron estimaciones a partir de la herramienta (Explorador Solar 2021), obteniendo los datos de radiación por banda espectral para la ubicación seleccionada, como se presenta en la Tabla 1.b.

Tabla 2.b. Radiación W/m² por banda espectral.

UVB [290-315] nm.	UVA [315-400] nm.	Visible [400-650] nm.	IR [650-1800] nm.
0.49 W/m²	16.60 W/m²	110.58 W/m²	154.82 W/m²

El análisis de los componentes espectrales permitió establecer las ecuaciones del modelo para funciones de concentración o filtrado de componentes, en término de optimización del arreglo fotovoltaico (Sandoval 2020a,b), de forma generalizada.

$$G_F(n) = \sum_{\lambda=290}^{1800} w_{\lambda} \cdot x_{\lambda} + G_F(n-1) \quad (3)$$

En relación a las funciones de cada componentes espectral. El módulo de función de enfriamiento del panel con recuperación de calor regenerativo, expresado por:

$$T_k = \sum_{i=1}^n w_t \cdot f(i) + T_k(i-1) \quad (4)$$

En el módulo de configuración del arreglo fotovoltaico se tienen dos funciones: C.1 MCA. La función de configuración de la matriz de conmutación de conexiones del arreglo fotovoltaico expresada por:

$$I_{MPP} = \sum_{i=1}^n w_{array} \cdot I_k(i) + I_{MPP}(i-1) \quad (5)$$

C.2 Tecnología FV. Comprende coeficientes de conversión del material fotoeléctrico, la concatenación de estos en arreglo tándem, tecnología PERC de realimentación, entre otras. Se destaca que la optimización de sistemas HCPV por celdas de concentración, puede ser expresada en este módulo o en el módulo previo de tratamiento de la señal de irradiancia. En el módulo de función de definición del ciclo útil para control del DC-DC, en el valor óptimo de impedancia de la carga. D.1 MPPT expresado por:

$$P_k = \sum_{i=1}^n w_s \cdot I_{MPP}(i) + P_k(i-1) \quad (6)$$

Se realizó la extrapolación a sistemas eólicos, que permite definir una ecuación que se corresponde con el modelo LFSR (Sandoval 2021a).

$$P_e = \sum_{i=1}^n w_{\lambda labe} \cdot x_{PV}(i) + P_e(i-1) \quad (7)$$

Se describe como la suma de aportes de la entrada del perfil de viento en (m/s) ponderado por los coeficientes aerodinámicos de los álabes y la realimentación del último elemento en la conversión eólica.

En el modelado neuronal para sistemas eólicos (Sun y col., 2020) se estudian los coeficientes, a fin de optimizar características dinámicas del esquema de configuración, como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Esquema de configuración dinámica del modelo eólico

Relación Potencial / ángulo de incidencia	Descripción
	<p>La rosa de potencia en relación al ángulo de incidencia permite definir el esquema de seguimiento en el control.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 0 - 500 kW ● 500 - 1000 kW ● 1000 - 1500 kW ● 1500 - 2000 kW ● 2000 - 2500 kW ● 2500 - 3000 kW ● 3000 - 3500 kW ● 3500 - 4000 kW ● 4000 - 4500 kW ● > 4500 kW

Fuente: (Explorador Eólico 2021)

En el módulo de optimización del control del inversor a la salida del sistema fotovoltaico. Lo que se ha alcanzado es un modelo auto-similar para cada uno de los esquemas de optimización, en las diversas etapas del sistema fotovoltaico. Más aún, se ha conseguido un esquema fractal en la concatenación de optimizaciones, dentro del modelo donde cada etapa tiene un efecto específico sobre las variables de entrada. Se tiene así una concatenación de optimizadores, que aportan a la salida optimizada con realimentación lineal, dando un modelo generalizado con estructura simplificada. Todo esto, permite la evaluación de eficiencia, estimación de recursos, costos e impacto ambiental para la configuración HW/SW del sistema fotovoltaico y eólico, así mismo como el sistema de almacenamiento de ERNC, en los que se plantean registros de realimentación selectiva, como se muestra en la Figura 6.

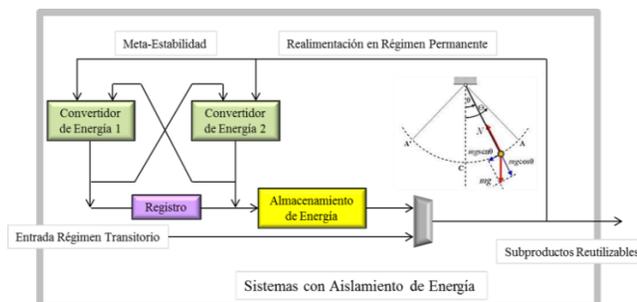


Fig.6 Esquema de Almacenamiento de ERNC Distribuidas

En la Figura 7 se presenta el esquema de control

usando redes neuronales ANN.



Fig.7 Optimización portátil de los sistemas fotovoltaicos por ANN

Donde se debe plantear la función objetivo y las restricciones del sistema, para la estimación de los parámetros óptimos. A través de las etapas que intervienen en la optimización de la planta física, como son el neuro-controlador ANN, el modelo de referencia y el observador de estado.

De la misma manera, se definió un algoritmo de optimización generalizado para cada sistema, consta del reconocimiento de patrones en las etapas de conversión de ERNC, clasificación de materiales, revalorización de subproductos en un modelo circular y evaluación de eficiencia energética, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Algoritmo de Entrenamiento para Optimización ANN

- Procesamiento eficiente y eco-responsable: w_i, x_i
- Integración de etapas: Σ
- Re-valorización de subproductos: $f(t-1)$
- Realimentar subproductos
- Evaluar impacto (comp.)
- Targets bio-proceso
- (Inspirado en de la eficiencia naturaleza)
- Evaluación de Eficiencia Energética
- Optimizar eficiencia (r_i : coef. de realimentación)
- Aislamiento térmico
- Recuperación de calor residual
- Realimentación de energía residual capturada
- Optimizar procesamiento (w_i : coef. de capa externa)
- 1. Inicializar contador de iteraciones
- 2. Asignar parámetros físicos de las condiciones actuales
- 3. Inicializar los pesos sinápticos w_0
- 4. Obtener entradas para conjunto de condiciones x_0
- 5. Obtener un conjunto de secuencias de referencia $r(k)$
- 6. Calcular las señales para cada muestra
- 7. Calcular respuesta del sistema Valorizar recurso: x_i
- 8. Actualizar los pesos sinápticos
- 9. Incrementar contador
- 10. Verificar criterio de parada cond. óptima: (4)
- 11. Finalizar entrenamiento

El principal reto de estos algoritmos como cálculo variacional en tiempo discreto, cálculo de los coeficientes adaptativos y redes neuronal profundas, corresponde a la demanda de capacidad de cómputo, siendo la tecnología

FPGA (Field Programmable Gate Arrays), una alternativa de implementación eficiente.

Modelo LFSR (Sandoval 2020d) del sistema para termodinámica aplicada, transferencia de energía en bloque, High Performance Computing (HPC), basado en la técnica de volúmenes finitos, para alcanzar resultados físicamente consistentes en todas las magnitudes calculadas: temperatura, presión, velocidades, para el análisis detallado y la optimización de equipos y sistemas térmicos, así como el cálculo de flujos exigentes con dispositivos masivamente paralelos como modelos en FPGA (Sandoval 2020e).

Modelo LFSR de la turbina, mecánica aplicada. Transferencia de viento, estudio de dinámica de fluido computacional – CDF, en bloque. El modelado matemático como la aplicación de métodos numéricos (Sandoval 2019c) es una herramienta importante para el diseño óptimo y operacional, facilita la predicción de las condiciones y favorece la toma de decisiones para la implementación, en tiempo real.

Control neuro-óptimo en tiempo discreto, con estructura LFSR y esquemas neuro-adaptativos (Sandoval 2017). Ahora el algoritmo de optimización basado en método de gradiente descendiente, permite ajustar los coeficientes a los valores óptimos, en relación a la función objetivo de máxima eficiencia energética. El control óptimo es una técnica matemática usada para resolver problemas de optimización en sistemas que evolucionan en el tiempo y que son susceptibles de ser influenciados por fuerzas externas. Los coeficientes de la planta se pueden asociar al vector de estado y los coeficientes del optimizador al vector de control, existe una relación entre ambos. El vector de control debe maximizar el objetivo intertemporal, objetivo general de optimización.

El análisis de esquemas de conversión, control y algoritmos permitió definir una ecuación con elementos habilitadores y coeficientes técnicos para la configuración óptima del sistema híbrido, en red o bien del laboratorio móvil, que define el comportamiento realimentado tanto de energía como material reciclado, para modelar un conjunto extenso de aplicaciones ambientales con tecnología sostenible, descritos por:

$$y_P = \sum_{i=1}^n h_i \cdot LFSR w_i \cdot x_i(i) + h_{FB} \cdot y_P(i-1) \quad (8)$$

En la propuesta de teletrabajo se tiene la tecnología *open sources* para dispositivos de conectividad y operación remota, aplicando códigos Reed Solomon para comunicaciones. Otro aspecto importante, corresponde a la validación de documentos de certificación de capacidades técnicas, a fin de aperturar las oportunidades laborales, de forma equitativa, garantizando la disponibilidad efectiva y seguridad de talento humano.

El concepto de unidades recolectoras de residuos, se extrapola a unidades móviles de procesamiento de residuos urbanos de forma distribuida, con accionamiento eléctrico de energías renovables. De esta manera, los usuarios seleccionan los materiales o elementos a reciclar, a fin de que sean bien reparados, reemplazados por partes actualizadas, reciclados como materiales para la impresión 3D de nuevos elementos funcionales, con el objetivo de revalorizar y disminuir los residuos que producen gases de efecto invernadero, contaminación de agua y suelo por metales pesados, contaminación de océanos por microplásticos, así como la protección de ecosistemas naturales.

Monitoreo y operación de equipos remotos, las estaciones tele-operadas vendrían siendo todas aquellas estructuras o equipos que son operados desde un ente remoto, a través de un enlace programado. El laboratorio consta de tres partes diferenciadas, los sensores (encargados de captar información de su entorno), los actuadores de posicionamiento, función de mantenimiento y reconfiguración (encargados de modificar el entorno), y el controlador (responsable de leer los datos de los sensores, procesar esa información y activar los actuadores).

Neuro-Optimización de equipos en centrales de ERNC

En el marco del tele-trabajo y los procedimientos de inspección, diagnóstico, configuración y optimización remota de las plantas de ERNC, basada en comparación de modelos neuronales de la planta, equipos o componentes del sistema para la detección de fallas por modelado ANN. El procedimiento consiste en la implementación de un protocolo de diagnóstico, en el cual se modelan por capas y coeficientes los parámetros físicos, características técnicas y condiciones nominales, para así establecer diferencia entre el modelo nominal (los pesos arrojados en el entrenamiento de la ANN modeladora) y el modelo diagnosticado, identificando los parámetros alterados, según la desviación y signo del coeficiente, corregir las fallas.

El esquema de optimización neuronal, además de incluir sensores específicos, para medición de variables ambientales y variables de eficiencia del sistema, para identificación de condiciones y fallas en los sistemas estudiados, a partir del estudio técnico de los coeficientes característicos, para diversos aspectos a analizar. Soporta la implementación de inspección tele-operada, así como una red de talento humano distribuido, para la colaboración en optimización dinámica.

4 Aplicaciones Ambientales

Los avances presentados en la generalización del modelo y algoritmos de revalorización, permiten establecer conceptos tales como inteligencia estructural en la autoorganización de las estructuras, componentes químicos y meta-materiales, a partir de una reserva finita o matriz de configuración, así como el concepto de inteligencia energética (con realimentación de energía térmica residual), a

través del esquema de control neuronal, con modelos de referencia basados en la inteligencia de la naturaleza, en procesos de alta eficiencia energética y reciclaje inteligente de componentes residuales.

En la Tabla 4 se resumen un conjunto de aplicaciones que se permiten adaptar para sistemas sostenibles y remediación ambiental.

Tabla 4. Propuestas de Sistemas Sostenibles

Aplicaciones de Vehículo aéreo no tripulado (VANT)

Dispositivo dron para transporte de herramientas funcionales, dispositivos, soporte en funciones de inspección, comunicación y configuración remota, a fin de garantizar el acceso a distancia con herramientas de teletrabajo, de forma segura, disminuyendo el riesgo en las operaciones técnicas y el impacto asociado a la movilidad.

Supervisión de calidad de aire en columna vertical, para control de emisiones de material particulado, composición de elementos CO₂ y otros.

Filtrado portátil de aire, mitigación de impacto ambiental, funciones de remediación en espacios naturales.

Dispositivo fotovoltaico para procesamiento portátil:

Impresora 3D configurable para reciclaje de materiales y rediseño con fabricación aditiva, procesamiento de materiales residuales en nuevos componentes sostenibles, reciclaje de metales, plásticos y otros, para revestimientos de pisos, paredes, cristales de ventanas, módulos o paneles fotovoltaicos, etc.

Compostaje y procesamiento de residuos orgánicos provenientes de espacios funcionales de la edificación, para sostenibilidad en circuito cerrado de la huerta urbana, con condiciones ambientales controladas y riego inteligente.

Procesamiento térmico eficiente, con energía termo-solar para la preparación de alimentos, lentes configurables con posicionamiento inteligente. Integrado con sistemas de ventilación para preparaciones sin aceite. Técnicas controladas de conservación natural y sostenible de alimentos: deshidratación, germinación, vinagreta, fermentación, maceración, cocción en frío, control de temperatura, etc.

Recuperadores de componentes y energía térmica

Filtros por etapas para recursos naturales no renovables: agua y aire, en etapa de entrada y salida al sistema de la edificación sostenible.

Sistema aero-térmico de recuperación de calor residual, control de temperatura ambiental, ventilación inteligente.

Dispositivo satelital de monitoreo, control y optimización de condiciones, como es el caso de direccionamiento de radiación solar y recurso eólico para optimización de ERNC.

En materia de bio-remediación el laboratorio móvil puede manejar un semillero colaborativo de reforestación, a partir de captadores de residuos inteligentes para clasificación y germinación controlada de la matriz o dispensa de semillas (en potencial latente), para la distribución de éstas en parques forestales o reservas de la biosfera, a través de un estudio de datos de compatibilidad de los ecosistemas, a fin de implementar estrategias de protección y conservación de especies de flora y fauna (Sandoval 2021b).

En esta investigación se plantea el estudio del potencial energético de las áreas a reconvertir, partiendo del proceso de descarbonización, analizando las alternativas de desarrollo socio-ambiental en el momento de migración de la matriz energética. Los cambios de fuentes de energías suponen un avance en materia ambiental, siendo a la vez un

reto en materia social al desplazar las unidades laborales y los ejes de desarrollo. Es en tal sentido, que se complementa el estudio con un modelo de adaptación arquitectónica de las estructuras urbanas para mantener la línea de desarrollo sostenible propuesto.

La innovación corresponde a la definición de conceptos tecnológicos como mantenimiento regenerativo, en el marco de las tendencias de disminuir el impacto ambiental y ahorrar recursos dentro del plan de carbono cero. Así mismo, a nivel de dispositivos se ha diseñado un mecanismo de dos ejes de movimiento, para desarrollar actividades de mantención y optimización sobre equipos del sistema eléctrico de potencia y convertidores solares fotovoltaicos (CSP).

Entre las funciones de mantenimiento se programa la limpieza basada en criterios ecológicos, esto a través de actuadores neumáticos e ionización para la limpieza sin agentes químicos. Por otra parte, se ha diseñado un elemento recuperador de calor regenerativo, que permitirá cubrir superficies amplias en la tarea de capturar el calor de los elementos del sistema, en lugar de intercambiadores de calor dedicados, de esta manera se ahorran recursos y se obtiene un dispositivo portátil que simplifica el proceso y hace así más eficiente el rendimiento de los equipos.

Una matriz de insmumos, molienda y descomposición controlada de materiales, separación de aleaciones por técnicas neuronales de filtrado y reconocimiento, por coeficientes específicos del material, para la impresión 3D de nuevos componentes sostenibles, con actualización o reciclaje programado. En la Tabla 5 se detallan las especificaciones del modelo de reconversión.

Tabla 5. Conversión a Sistemas Regenerativos

Optimización y Mantenimiento Regenerativo

Tratamiento regenerativo en equipos de potencia.

Revestimiento de plasma, meta-materiales, nuevos estados de la materia, en paneles fotovoltaicos y otros equipos.

Tratamiento eléctrico de superficies auto-limpiantes

Mantenimiento Electromagnético de Máquinas Eléctricas

Central de energía definida por software – SDE

Reducción de pérdidas en los equipos de conversión de ERNC.

Optimización de parámetros de los sistemas de energía.

Control de temperatura y recuperación de energía térmica por intercambiadores de calor regenerativo.

Considerar los tratamientos de regeneración que se pueden aplicar en mantenimiento para extender la durabilidad y eficiencia del panel fotovoltaico y otros equipos industriales.

Conceptualización de Modulación de Luz Solar

Esta modulación basada en elementos reflectantes que permita codificar la luz solar a fin de controlar la temperatura por radiación incidente, con señal PWM, transmisión de información colaborativa (sin encriptación de datos), código morse para transmisión de información de forma inalámbrica, luz solar / sombra inducida por elementos

controlados (cometas o elementos satelitales), datos abiertos y capacidad de comunicar mensajes colectivos, con coeficientes de decodificación en la base de la llave del mensaje (casos específicos). Así como se tienen las transmisiones por fibra óptica (cableada) o bien transmisiones LED-wifi, presentar una alternativa basada en luz solar incidente, con mínima potencia de consumo para la transmisión y sin efectos electromagnéticos asociados, comunicaciones inalámbricas con cero impactos ambientales. La modulación de radiación solar, puede ser aplicada de forma eficiente, para los sistemas fotovoltaicos, a fin de controlar la temperatura del panel FV de forma óptima, con transmisión remota de comandos de configuración, a través de tecnología óptica inalámbrica, para mejorar la eficiencia y ahorro energético.

Procedimientos bajo criterios de sostenibilidad

Algunos registros de actividades como los reportes de configuración y formatos de inspección pueden ser manejados en texto, para su comunicación por correo electrónico, a fin de hacer estos más sostenibles, eliminando los requerimientos de impresión y más sencillo, para llevar un repositorio digital, que no requiera archivos con formatos específicos, así mismo no se hace necesario equipos de computación elaborados, sino que se pueden gestionar, a través del teléfono móvil o dispositivos multiplataforma.

Aportes del Modelo Propuesto

1. Reconocimiento de competencias técnicas, sin trámites administrativos.
2. Seguridad, sostenibilidad y disponibilidad para tele-trabajo con herramientas de soporte flexibles.
3. Virtualización de las centrales de energías renovables, digitalización y VANT para funciones de inspección distribuida.
4. Adaptabilidad de hardware, aplicando matrices de reconfiguración, reciclaje inteligente y tele-configuración de proyectos con código abierto.
5. Proyectos colaborativos de energías renovables, remediación ambiental y protección a la fauna y flora en ecosistemas naturales.
6. Redes de energía térmica, con recuperación de calor regenerativo y control de temperatura ambiental.
7. Programas de limpieza, control térmico, restauración y regeneración, para máxima eficiencia de equipos.

Matrices Holográficas sobre tecnología FPGA para soporte de centrales virtuales de energía.

En los avances del concepto de tele-trabajo, la tecnología permite implementar tareas de diagnóstico remoto, así como el concepto de tele-presencia en ambientes laborales específicos. El desarrollo de una matriz holográfica para el monitoreo de las condiciones reales de equipos remotos, facilitará la interacción entre el talento humano y el sistema, logrando modificar variables y configuraciones

del hardware, en equipos distribuidos, a través de sus gemelos digitales por modelos holográficos y alineación entre las señales del sistema, en lo que permite la integración de VANT (Vehículos aéreos no tripulados y vehículos submarinos no tripulados) para inspección remota, visitas técnicas y coordinación de procedimientos de optimización colaborativa, en ambientes remotos.

5 Conclusiones

Gracias a los aportes de esta investigación se propone la innovación en diseño, mantenimiento regenerativo, optimización energética y reconfiguración dinámica, a través de componentes con autonomía energética, mecanismos móviles y acoplamientos programables incorporados en el sistema.

Dado el enorme potencial en energías renovables y la migración de tecnología se detecta la necesidad de una plataforma de soporte para la adaptación de la actual matriz energética, por lo que el laboratorio móvil permite ofrecer un modelo de actualización itinerante para las potencialidades estudiadas en forma remota.

Integra entre los logros más resaltantes un algoritmo de optimización basado en la realimentación de energía residual, así como la revalorización de los componentes y materiales del sistema. Este en correspondencia con el modelo desarrollado, donde se generalizan los coeficientes técnicos que describen la planta a optimizar.

Otra propuesta es la inclusión de drones de inspección con mediciones de material particularizado y variable ambiental temperatura, para la implementación de tecnologías de filtros en las columnas de aire de salida y recuperadores de calor regenerativo, que puedan mitigar el impacto ambiental de las actividades energéticas.

Se requiere así estrategias que garanticen la seguridad integral del talento humano, así como las herramientas para su actualización y adaptación a las nuevas tecnologías, el tele-trabajo sostenible, abierto (con validación de competencias a nivel internacional) y responsable, para mejorar la calidad de vida y la calidad ambiental.

Referencias

- Bordons C, Garcia-Torres F, Ridao M, 2020, Model predictive control of interconnected microgrids and with electric vehicles. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* vol. 17, pp. 239-253. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.13304>
- Explorador Solar, 2021, Universidad de Chile. URL: <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/inicio>
- Explorador Eólico, 2021, Universidad de Chile. URL: <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/inicio>
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2021. ASTM G173-03
- Sandoval-Ruiz C, 2021a, Fractal Mathematical over Extended Finite Fields $F_p[x]/(f(x))$, *Proyecciones Journal of Mathematics*, vol. 40, issue 3.

Sandoval-Ruiz C, 2021b, Modelo de Sistemas Inteligentes Regenerativos para la protección de Ecosistemas, Flora y Fauna, Universidad, Ciencia y Tecnología, vol. 25, no. 108.

Sandoval-Ruiz C, 2020a, Arreglo Inteligente de Concentración Solar FV para MPPT usando Tecnología FPGA, Rev.Téc.Fac.Ing.Univ.Zulia, vol. 43, no. 3, pp. 122-133. doi.org/10.22209/rt.v43n3a02.

Sandoval-Ruiz C, 2020b, Arreglos Fotovoltaicos Inteligentes con Modelo LFSR-Reconfigurable, Ingeniería: Revista de la Universidad de Costa Rica, vol. 30, N° 2, pp. 32-61. DOI: 10.15517/RI.V30I2.39484

Sandoval-Ruiz C, 2020c, Tecnología R-IEDs para ERNC, Teletrabajo y Mitigación de Impacto Ambiental, Industrial Data, vol. 23, N° 2, pp. 151-167. <https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.18633>.

Sandoval-Ruiz C, 2020d, Operador matemático LFC(n,k) en campos finitos basado en concatenación fractal para GF(2m) – Extendido, Ciencia e Ingeniería, vol. 41, N° 2, pp. 197-204.

Sandoval-Ruiz C, 2020e, LFSR-Fractal ANN Model applied in R-IEDs for Smart Energy". IEEE Latin America Transactions, vol. 18, Issue 4, pp. 677-686. DOI: 10.1109/TLA.2020.9082210

Sandoval-Ruiz C, 2020f, Proyecto Cometa Solar – CS para optimización de sistemas fotovoltaicos, Universidad Ciencia y Tecnología, vol. 24, no 99, pp. 74-87.

Sandoval-Ruiz C, 2019a, Plataforma de Investigación de Redes Eléctricas Reconfigurables de Energías Renovables aplicando Modelos LFSR, Universidad, Ciencia y Tecnología, vol. 23, no 95, pp. 103-115.

Sandoval-Ruiz C, 2019b, Modelo VHDL de Control Neuronal sobre tecnología FPGA orientado a Aplicaciones Sostenibles, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 27, no 3, pp. 383-395. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v27n3/0718-3305-ingeniare-27-03-00383.pdf>

Sandoval-Ruiz C, 2019c, Métodos Numéricos en Diferencias Finitas para la Estimación de Recursos de Hardware FPGA en arquitecturas LFSR (n,k) Fractales, Ingeniería, investigación y tecnología, vol. 20, no 3, pp. 1-10.

Sandoval-Ruiz C, 2018, Códigos Reed Solomon para Sistemas Distribuidos de Energías Renovables y Smart Grids a través de Dispositivos Electrónicos Inteligentes sobre Tecnología FPGA, Memorias. Investigación en Ingeniería, vol. 16, no 1, pp. 37-54.

Sandoval-Ruiz C, 2017, Modelo Neuro-Adaptativo en VHDL, basado en Circuitos NLFSR, para Control de un Sistema Inteligente de Tecnología Sostenible, Rev. Universidad, Ciencia y Tecnología. vol. 21, no 85, pp. 140-149.

Sandoval-Ruiz, C. (2016). Plataforma reconfigurable de investigación aplicada a movilidad sostenible. Rev. Universidad, Ciencia y Tecnología, 20(78), 35-41. <http://www.scielo.org.ve/pdf/uct/v20n78/art03.pdf>

Sun, H., Qiu, C., Lu, L., Gao, X., Chen, J., & Yang, H. (2020). Wind turbine power modelling and optimization using artificial neural network with wind field experimental data. Applied Energy, 280, 115880

Recibido: 10 de diciembre de 2020

Aceptado: 12 de marzo de 2021

Sandoval-Ruiz, Cecilia E. Profesora en Postgrado de Ingeniería UC, egresada de la Universidad de Carabobo de Ingeniero Electricista 2002, Magister en Ingeniería Eléctrica y Doctora en Ingeniería. Investigadora acreditada en el PEII - Nivel C, áreas de investigación: diseño sostenible, energías renovables, eficiencia energética y hardware reconfigurable.