

PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS RECONFIGURABLES DE ENERGÍAS RENOVABLES APLICANDO MODELOS LFSR

Sandoval-Ruiz, Cecilia E.

cesandova@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-5980-292X>

Facultad de Ingeniería, Instituto de Matemática y Cálculo Aplicado,
Universidad de Carabobo, Venezuela.

Recibido (08/10/19), Aceptado (05/11/19)

Resumen: En esta investigación se presenta una plataforma para adaptación modular de redes eléctricas, con el objetivo de optimizar la producción de energías renovables. El concepto de parque científico de investigación en tecnología sostenible, basado en un esquema reconfigurable, con concatenación de convertidores y almacenamiento de energía con realimentación secuencial, en el marco de sistemas regenerativos. Se establecieron criterios para la configuración de los dispositivos electrónicos inteligentes IEDs, soportados por tecnología FPGA. Se ha aplicado redes neuronales artificiales, en sus funciones específicas de identificación de sistemas, modelado dinámico, control avanzado y acoplamiento de los esquemas reconfigurables. Se obtiene como resultados el diseño conceptual de la plataforma bajo criterios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, una matriz de códigos para el configuración remota de los elementos y un modelo con arquitectura LFSR para el sistema de convertidores de energías renovables. Todo esto permite aportar en la migración hacia nuevas tecnologías y modelos sostenibles de la matriz energética, con estimación en línea del impacto ambiental y eficiencia de los nuevos desarrollos.

Palabras Clave: Dispositivos Electrónicos Inteligentes – IEDs, Energías Renovables, Cogeneración Eléctrica, Redes Eléctricas Inteligentes, Modelo LFSR.

RESEARCH PLATFORM OF RECONFIGURABLE ELECTRICAL NETWORKS OF RENEWABLE ENERGIES APPLYING LFSR MODELS

Abstract: This research presents a platform for modular adaptation of electrical networks, with the aim of adapting the production of renewable energy. The concept of a science park for research in sustainable technology, based on a reconfigurable scheme, concatenation of converters and energy storage with sequential feedback, it in the framework of regenerative systems. Criteria were established for the configuration of intelligent electronic devices IEDs, supported by FPGA technology. Artificial neural networks have been applied, in their specific functions of system identification, dynamic modeling, advanced control and coupling of reconfigurable schemes. As a result, the conceptual design of the platform is obtained under criteria of sustainability and environmental responsibility, a matrix of codes for the remote configuration of the elements and a model with LFSR (Lineal Feedback Shift Register) architecture for the renewable energy converter system. All this makes it possible to contribute to the migration towards new technologies and sustainable models of the energy matrix, with online transformation of the environmental impact and efficiency of the new developments.

Keywords: Intelligent Electronic Devices - IEDs, Renewable Energy, Electric Cogeneration, Smart Grid, LFSR Model.

I. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se plantea un modelado de esquemas híbridos de energías renovables, con adaptación en sitio, a través de tarjetas FPGA. Lo que permite la actualización y configuración dinámica, bajo criterios de máxima eficiencia. Una arquitectura reconfigurable ofrece ventajas en el campo de investigación y desarrollo de sistemas eléctricos de potencia, integrando energías renovables y nuevas tecnologías. Es en tal sentido, que se propone una plataforma de soporte para migración escalonada de centrales eléctricas convencionales.

Es así como surge la idea de una arquitectura adaptativa, para relacionar estas nuevas etapas (termo-solares, eólicas, fotovoltaicas, entre otras), con la migración tecnológica de los sistemas ya instalados, a través de dispositivos electrónicos inteligentes. Un aspecto importante al considerar la reconversión de la matriz energética, corresponde al impacto ambiental, donde se plantea la re-utilizabilidad y reciclaje. En este tema se debe tomar en cuenta el manejo de (1) residuos electrónicos, a través del diseño de hardware reconfigurable y actualización usando tecnología FPGA y (2) equipos, obsolescencia programada y su degradación en el tiempo. En los que se pueda desmantelar y programar la recuperación de materiales componentes.

De allí nace la propuesta de un modelo, el cual comprende etapas paralelas y circuitos cerrados para conversión de energía eléctrica. Se parte del estudio de centrales termoeléctricas de ciclo combinado con integración solar. El principio de conversión de energía termo-solar se fundamenta en el ciclo de Rankine, es decir que la energía calórica concentrada, transportada por un fluido térmico, para producir vapor sobrecalentado para el ciclo térmico, hasta accionar una turbina de agua/vapor. Siendo factible la incorporación de una etapa de conversión de energía renovable, a través de una caldera solar para accionamiento combinado de la turbina de vapor.

La estructura de elementos concatenados con realimentación lineal, LFSR (Lineal Feedback Shift Register), es el esquema propuesto para la realimentación, los sistemas de recuperación de energía y almacenamiento, en la adaptación a un modelo termo-solar híbrido.

En primer lugar, se estudian los conceptos de control adaptativo sobre sistemas de potencia [1] e Industria 4.0, correspondientes con: Inteligencia Artificial, Realidad Virtual, Machine Learning, Big Data, Gemelos Digitales. Este último, resulta especialmente útil en la optimización de equipos y sistemas, por permitir el modelo virtual de los componentes. Igualmente, a través de la Inteligencia Artificial se replican procesos en entornos virtuales, que facilitan su estudio. De esta forma,

se pueden realizar simulaciones y pruebas en un ámbito completamente virtual, anticipando necesidades futuras y evitando fallos en el entorno real [2].

Seguidamente, se analizan los avances en migración tecnológica del sector energético. En [3] se presenta un modelo de reconversión de una planta termoeléctrica, alimentada de carbón, en una planta con nueva tecnología, a fin de lograr un importante aumento de la eficiencia y reducir las emisiones. En el que se aplica el concepto de plantas de energía digital y paquetes de software con integración de conceptos tecnológicos para Plantas Eléctricas Digitales [2-4]. Igualmente, se estudian las diversas tecnologías solares, sus ventajas y campo de aplicación [5]. Así como arreglos de módulos de conversión distribuida, a través de disco Stirling, micro-turbinas de aire comprimido, para el estudio de máxima eficiencia.

Partiendo del diseño de sistemas eléctricos de generación híbridos [6], el desarrollo de propuestas de laboratorios en tecnología sostenible, el estudio de arreglos de concentradores solares, que pueden ser tratados con control adaptativo [7], así como aplicaciones en micro-redes [8] y su sistema de comunicación. Considerando la interface de configuración de los modelos de energías renovables, así como el concepto de sistemas definidos por software [9], para su extrapolación a sistemas de potencia y sus aplicaciones en centrales virtuales, a partir de plataformas de investigación [10]. Incorporando configuración remota de los dispositivos FPGA [11], para el desarrollo de prácticas de investigación, así como parques tecnológicos con tecnología sostenible [12]. Se plantea así, promover proyectos de investigación y desarrollo, que apliquen tecnologías emergentes para lograr un menor impacto ambiental, donde no se agoten los recursos naturales. Algunas investigaciones presentan optimizaciones de las centrales de ciclo combinado [13], la integración de calderas solares [14] y adaptaciones híbridas.

El objetivo de la investigación es diseñar una plataforma de investigación, basada en un esquema LFSR para sistemas de potencia, que permitan el manejo digitalizado y eficiente de la central eléctrica, para la migración tecnológica. La idea fundamental es obtener una solución simple, de bajo costo y sostenible, para la conversión de energía. En este punto el concepto de sistema inteligente viene a aportar una solución. A través de un modelo adaptativo, con capacidad de reconfiguración para diversas funciones, adaptando la arquitectura convencional de una planta de generación, basada en el concepto de auto-similitud fractal con modelos electrónicos y neuronales para un modelo de arreglo secuencial de turbinas LFSR (n,k).

II. DESARROLLO

Estudio de Esquemas de Sistemas Eléctricos de Potencia

Las plantas híbridas consisten en centrales térmicas (pueden ser de carbón, gas, fuel, biomasa y ciclos combinados), con un componente híbrido solar, donde parte de la energía necesaria para calentar el vapor proceda de la irradiación solar, con el consiguiente ahorro de combustible y de emisiones. Gracias a este esquema, se combinan las características de las centrales térmicas de combustibles (que pueden producir energía de forma constante) y las centrales térmicas solares, que no requieren consumo de combustible. La tecnología ISCC (Integración Solar en Ciclos Combinados) es semejante al de una planta de ciclo combinado convencional, donde se aplican sistemas de recuperación de calor, se les añade el calor proveniente del campo solar, resultando en un aumento en la capacidad de generación de vapor. El recurso solar sustituye parcialmente el uso del combustible, con el ahorro de emisiones que ello supone.

Por su parte, el concepto de cogeneración [15] está asociado a la producción de energía a partir de varias fuentes primarias, igualmente se aplica para la producción de más de una energía resultante, como es el caso de conversión de energía eléctrica y aprovechamiento de la energía térmica, en procesos asociados. El intercambiador de calor recibe el nombre de generador de vapor por recuperación de calor (HRSG, por sus siglas en inglés), donde se identifica su similitud con los elementos de almacenamiento para realimentación del esquema LFSR.

Los proyectos tipo ISCC permiten ahorrar combustible y mejorar su rendimiento energético [16]. Lo importante de estas alternativas híbridas es la posibilidad de su integración en centrales ya instaladas, en las que se puedan disminuir los costos asociados a implementación aprovechando los activos disponibles (como turbinas de vapor, transformadores, HRSG, válvulas, bombas, etc), adaptando las etapas del sistema de forma eficiente. Destacando el diseño de los módulos requeri-

dos como son los concentradores solares de la tecnología seleccionada e intercambiadores solares HTF (Heat Transfer Fluid). Existen varios motivos para desarrollar centrales híbridas con el objetivo de maximizar la eficiencia disminuir el consumo de combustibles no renovables y emisión de gases contaminantes.

Sin embargo, todos estos aspectos positivos se ven comprometidos por (a) el aporte final de potencia respecto a la inversión de desarrollo de los sistemas termo-solares, en este punto se plantea un sistema híbrido con máximo aprovechamiento de los recursos y realimentación adaptativa [17], (b) los costos de mantenimiento de los colectores solares, para lo cual se propone un sistema inteligente para la inspección y limpieza de los concentradores, basada en robótica tele-operada [18], así como el monitoreo y posicionamiento de colectores para máxima eficiencia, con un diseño electrónico a la medida, que pueda solventar los requerimientos de estos, (c) el modelo de migración, un diseño reconfigurable con etapas pre-conversión en paralelo, con equipos integradores híbridos (dimensionados para actualizaciones y expansión), facilitarán la migración hacia la optimización práctica, partiendo de un estudio teórico y los hará más competitivos.

Estudio de Tecnología Solar

Igualmente, se considera el estudio de tecnologías. Teóricamente, el campo solar se construye a partir de tecnología de concentración solar: (a) Cilindro Parabólico, la forma del espejo concentrador y la movilidad de este arreglo lo hacen más complejo, con facilidades en modularidad de la tubería. (b) Fresnel Lineal, se trata de espejos planos, con control sincronizado de los ejes, lo que resulta de fácil mantenimiento. (c) Torre Central, logra manejar temperaturas de 650°C, para esta tecnología se deben estudiar los modelos ópticos y térmicos del sistema de concentradores solares [19]. Las especificaciones para la plataforma de investigación están planteadas en la Tabla I.

Tabla I. Especificaciones de la Plataforma de Investigación en Tecnología Solar.

Elementos ópticos híbridos de refracción (etapa externa) y reflexión (etapa interna), con capacidad adaptativa
Panel frontal plano, estructura cubierta herméticamente, para protección de contaminación, humedad, agentes corrosivos y para simplificación del procedimiento de limpieza automatizado
Convertidor Híbrido de tecnología Termo-Solar y Fotovoltaica de concentración HCPV, para disminuir el material fotovoltaico y los costos asociados.
Estructura liviana y paneles reflectantes flexibles, a fin de disminuir la carga de los motores en el seguimiento.
Digitalización de señales de monitoreo y control de Temperatura y características eléctrica de forma remota.
Diseño robótico para limpieza de paneles frontales con mecanismo neumático (módulo principal), con sistema de recolección de agua de lluvia para limpieza en mantenimiento mayor.

Las pérdidas asociadas al transporte del fluido térmico, así como filtraciones en las tuberías, juntas y sellos, que requieren un mantenimiento periódico, pueden ser solventadas con la conversión energética de manera distribuida. En los módulos de conversión se plantea el análisis de rendimiento a través de lentes reconfigurables, recuperadores de calor, frontal plano y mecanismo hermético para optimizar el mantenimiento. En la Figura 1, se resume la clasificación de tecnologías para su análisis y consideraciones del diseño de tecnologías híbridas.

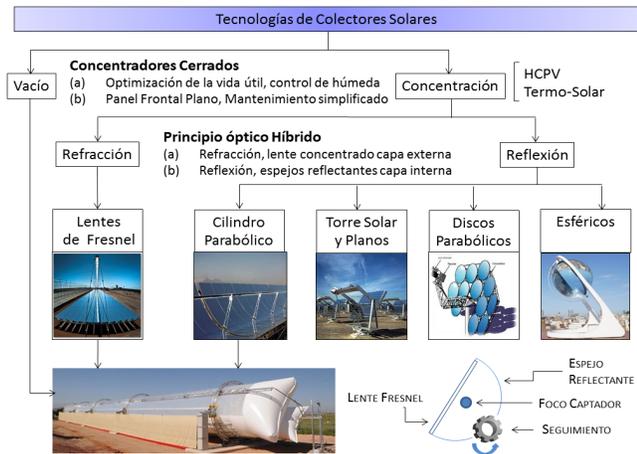


Figura 1. Tecnologías de los Colectores Solares

Modelo de Arreglo de Turbinas Auto-Secuencial LFSR

En [20] se presentan diversas configuraciones de turbinas, donde se aplica el concepto de ciclo regenerativo, el cual consiste en hacer una extracción de vapor en la turbina, y emplear esta extracción para calentar el agua de alimentación, realimenta vapor no completamente expandido para la caldera, a fin de aumentar la temperatura. Esta arquitectura mejora el rendimiento debido a que se aprovecha el calor de vaporización del agua aunque sea de una fracción del total, del modo convencional se tendría que ceder todo este calor a otro sistema. En la generador de vapor solar, la energía capturada por los colectores, van a un intercambiador de calor en el que se genera el vapor de agua, y es enviado a la caldera del ciclo de potencia, CRC – Calderas con recuperación de calor. El campo solar está dispuesto en lazos en paralelo, cuenta con varias secciones con válvulas de control para la gestión del aceite térmico a través de la instalación. Además incorpora un sistema

de seguimiento solar de un eje que minimiza el ángulo de incidencia a lo largo del día, aumentando el rendimiento, según las configuraciones de las Turbinas Híbridas en Ciclos Combinados, con Turbina de Gas (TG) y Turbina a Vapor (TV), con combustión secuencial (ec. 1.1) y (ec. 1.2).

$$\eta_{TV} = \frac{W_T - W_B}{\dot{Q}_c} \quad (1.1)$$

$$(1.2)$$

Donde W_T : Potencia producida por la Turbina. W_C : Potencia Consumida por el compresor y W_B : Potencia Consumida por la Bomba.

Estos modelos de eficiencia en relación a la potencia consumida por los equipos del sistema de potencia y la potencia producida por ciclo/etapa, permitirá la estimación del rendimiento y así analizar las diversas configuraciones, siendo un insumo de importancia al momento de diseño en línea. Se pueden así plantear ciclos combinados con condiciones iniciales basadas en un modelo particular, como puede ser tecnología termo-solar para las horas de máxima radiación y la configuración de un ciclo con realimentación lineal, que permita sostener la producción en horas de mínima radiación, así como otras combinaciones de acuerdo a las condiciones climáticas, ambientales y la demanda energética.

Sistema Reconfigurable de ERNC con arquitectura LFSR

El concepto desarrollado comprende la integración de elementos en un esquema LFSR, con turbinas secuenciales en un sistema reconfigurable de convertidores de energías – SRCE. Entre las alternativas se presenta la opción de caldera híbrida (Solar / Residuos Sólidos Urbanos / nuevas tecnologías con bajas emisiones de CO₂), para accionamiento de turbinas de vapor. Así como turbina accionadas por aire comprimido (motor-generator), aprovechamiento de calor regenerativo. Integración de energías renovables eólica-solar de parques remotos, la aplicación de tecnología 4.0 en la gestión de los equipos (transformadores de potencia, motores, turbinas, entre otros), con digitalización y monitoreo remoto, como se observa en la Figura 2.

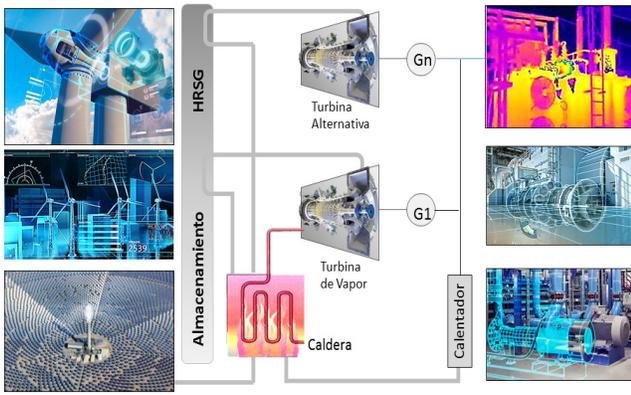


Figura 2. Sistema Híbrido de ERNC con arquitectura LFSR

A partir de estas tecnologías se ha propuesto la integración modular de componentes y características de una plataforma con las especificaciones del sistema, que puedan ser configuradas de forma remota, basados en el modelado de estos esquemas en lenguaje VHDL - VHSIC (Very High Speed Integrated Circuits) Hardware Description Language.

Plataforma en Tecnología Sostenible

Se plantean alternativas de redes eléctricas sostenibles, al mismo tiempo se deben implementar mecanismos de bio-remediación y regeneración ambiental. Esto a través de la protección de parques, árboles, vegetación, bosques, hábitat de fauna y flora (áreas forestales, glaciares, ambientes marinos, etc.), para la recuperación de espacios naturales. Así como el uso racional de recursos naturales, los ciclos combinados con almacenamiento de energía, realimentación bajo el esquema LFSR (para de aire comprimido multi-etapa), así como el reciclaje de materiales de equipos y dispositivos electrónicos. En cada proyecto, se requiere el análisis y estimación de impacto socio-ambiental, en fase de diseño, implementación, vida útil y desmontaje, para lo cual se diseñó un formato de verificación y asignación porcentual de la matriz energética híbrida, así como un espacio para el diseño / optimización de micro-proyectos. Todos estos en el marco de redes eléctricas inteligentes, en las que se evidencie un compromiso de respeto y responsabilidad ambiental, como se presenta en la Tabla II.

Tabla II. Criterios de Diseño del Modelo SRCE con arquitectura LFSR

Categoría	Componente	Condiciones	Criterios / Remediación
Recursos Naturales	R.N	Contaminación del Recurso Natural	Filtrado y técnicas de remediación ambiental Bio-Modelos de regeneración de aire, vegetación y algas, tecnología de filtros de CO2.
		Capacidad de los recursos naturales	Modelo Híbrido de Caldera para concentración Solar Módulos inteligentes de ahorro de agua, sistemas neumáticos y vapor par mantenimiento.
	H.C	Tratamiento / Reciclaje de materiales	Reutilización de Componentes de Ciclo Combinado para migración hacia Tecnología Sostenibles
		Protección de Glaciares y áreas forestales	Cometas AS (Aero-Solares), papagayos con función de conversión solar-eólica Eficiencia eólica por altura. Irradiancia (W/m2) con menor efecto óptico por masa de aire Filtrado selectiva de radiación solar para superficies de glaciares y áreas forestales.
		Contaminación por plástico (mares)	Robótica de clasificación y reutilización de materiales
	S.R	Recuperación de Calor residual	Eficiencia termodinámica basada en recuperación de calor, a través de adaptación d captadores modulares, para disminuir la disipación de calor al ambiente.
		Tratamiento de COx	Bio-remediación (aplicados a agua/aire)
Residuos de componentes / tecnología		Reconfiguración Dinámica del Sistema de Potencia. Reutilización de recursos, reciclaje tecnológico y tecnología circular.	
Ecológico	Flora	Diversidad y abundancia de especies	I&D en línea del comportamiento del modelo: Protección del hábitat natural con e mínimo impacto ambiental y monitoreo de condiciones para mejorar las condicione ambientales.
		Alteración del hábitat	Optimización de espacio en los módulos de conversión híbridos de energías renovables.
		Especies protegidas y en peligro	
	Fauna	Diversidad y abundancia de especies	Desplazamiento Dieléctrico, como conversión a través de microelectrónica, usando l vibración / resonancia selectiva, para disminuir el impacto en las aves y paisaje. Integración de vegetación para protección de la fauna.
		Especies terrestres, acuáticas, aves	
		Especies protegidas y en peligro	
Social	Empleo	Tele-Trabajo y Actualización en Tecnologías Sostenibles	
	Educación	Educación Ambiental	
	Salud	Remediación ambiental, paisajismo con techos verdes, rejillas / paneles hidropónicos	
	Calidad / modificación del paisaje	integración de cubiertas vegetales en espacios urbanos, refrigeración pasiva.	
Diseño O&M	Rendimiento del Sistema	Análisis Remoto de Fallas para programa de Mantenimiento eficiente	
		Modelo de ciclos secuenciales LFSR en la etapa de conversión	
		Sistema de Control Distribuido DCS basado en IEDs sobre FPGA	
		Reconocimiento de planta por modelado RNA	

S.R: Sistemas Residuales, H.C: Calor / Contaminantes, R.N: Recursos Naturales.

Algunos de los elementos del diseño conceptual de la plataforma se presentan en la Figura 3.

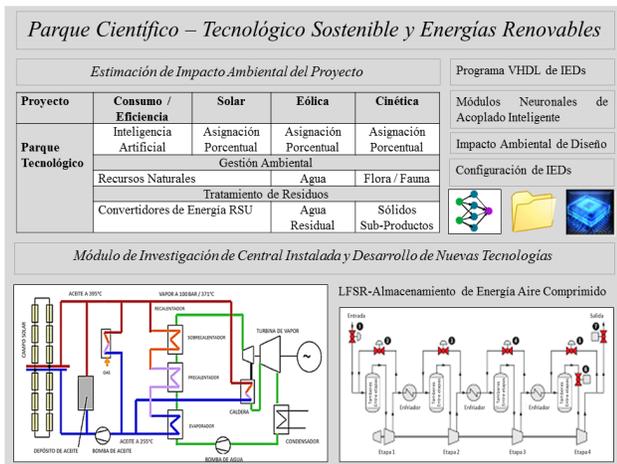


Figura 3. Diseño Conceptual de la Interface de Configuración

En el modelo propuesto destaca el arreglo LFSR, como una estructura de concatenación con realimentación lineal. En este caso, esta arquitectura aplicada para la producción de energía con fuentes renovables, se ha seleccionada basada en el principio híbrido de estructura paralela con ponderación adaptativa y control por FPGA – Field Programmable Gate Array, para la reconfiguración dinámica del esquema de conversión híbrido [21].

III. METODOLOGÍA

Se ha seleccionado establecer una plataforma SW/HW para el diseño en línea, monitoreo, configuración de parámetros y arquitectura de la central eléctrica. Todo con el objetivo de dar soporte a actividades de formación, actualización e investigación en tecnologías sostenibles. Entre las prácticas experimentales consideradas se tiene el control de los convertidores solares. Ensayos para el seguimiento automático de concentradores en formato centralizado y distribuido, haciendo uso de los equipos de una ISCC, con adaptación de la planta al formato de parque científico con nuevas tecnologías.

Una vez detectada la necesidad de actualizar la tecnología a energías renovables. Otro aspecto de interés, corresponde a la necesidad de actualización del recurso humano, para su adaptación a las nuevas tecnologías, garantizando su continuidad y la eficiencia de la planta, siendo indispensable crear un espacio de capacitación e investigación, para avanzar en el proyecto de migración tecnológica. Igualmente estos laboratorios tendrán funciones de desarrollo de tecnología, así como la prestación de servicios para universidades y centros de

investigación en el área de energías renovables y eficiencia energética, reciclaje electrónico y reutilización de recursos. El objetivo es disponer de un entorno para la optimización de tecnología aplicada a las diversas configuraciones y el modelo de arreglo auto-secuencial LFSR y arreglo concurrente [22]. De manera, de estudiar el rendimiento de los arreglos de acuerdo a la configuración adaptada, la eficiencia energética de arreglos particulares y el impacto ambiental.

Un parque científico – tecnológico con módulos de investigación, basados en los componentes instalados, como eje didáctico de un laboratorio piloto, presenta la posibilidad de una interface de acceso remoto, para ensayos y diseño colaborativo. El impacto ambiental se puede considerar a partir de estimar el rendimiento de la unidad de producción, en función de la relación de consumo de combustible y la salida de potencia generada. Igualmente, al momento de diseñar el sistema eléctrico de potencia, se deben considerar conceptos como reutilización de equipos componentes y reciclaje.

Migración Tecnológica de Centrales Eléctricas

La estrategia de migración comprende la incorporación de tarjetas de hardware FPGA, configuradas para tratamiento neuronal de los sistemas. El diseño define dispositivos plug and play, con firmware de reconocimiento para la configuración de los equipos y la arquitectura, de forma remota, lo que facilita actualizaciones en línea, optimizaciones y control distribuido – DCS, a partir de neuro-IEDs. Estos IEDs, tienen función de medición de parámetros, estimación de potencialidades e impacto ambiental, para reconfiguración de la arquitectura, así como control inteligente y soporte de tele-operaciones, diseñados para la gestión de los módulos de conversión W-IED, PV-IED, RSU-IED, CAES-IED, TS-IED, etc, para la gestión de la central virtual de energía, en la que se combinan software de soporte y hardware distribuido. Uno de los aspectos a considerar entre los criterios de diseño, corresponde a la tecnología de los convertidores y comparación de los aspectos asociados a eficiencia, impacto ambiental y costos de mantenimiento, que permiten estimar el desempeño del diseño en el tiempo. Esto bajo el principio de hardware circular, donde se propone estudiar las similitudes entre las tecnologías y estructuras de la plataforma de soporte, a fin de identificar potencialidades de adaptación de equipos. Al mismo tiempo se requieren considerar conceptos de nuevas tecnologías, (física y mecánica cuántica, en la configuración de micro-estructuras, a través de software) para la optimización de componentes como convertidores fotovoltaicos, filtros de CO₂ y otros elementos del sistema eléctrico de potencia.

En el sistema de seguimiento de los captadores solares, la menor frecuencia de accionamiento de las partes móviles, representan menor desgaste, deformación y deterioro en el tiempo, simplificando el procedimiento de mantenimiento de estos elementos.

En el laboratorio tecnológico se deben analizar alternativas como Jardines o Huertas Solares, recuperando espacios del hábitat de los polinizadores. Una forma es compartir las áreas de huertos y coberturas fotovoltaicas Agro-PV, a favor del equilibrio de los ecosistemas. Asimismo, es necesario medir el impacto ambiental en todas las etapas del proyecto y la vida útil de las instalaciones solares. Instalaciones Flotantes fotovoltaicas. Del mismo modo, como se propone el diseño de módulos bi-funcionales para instalaciones terrestres, con

el fin de optimizar el espacio de los campos solares, se pueden considerar disposiciones similares, para sistemas fotovoltaicos flotantes, paneles de bio-remediación con cultivo de algas marinas, dada su importancia en el ecosistema y sus aplicaciones industriales, así como sistemas fotovoltaicos plegables como cometas, suspendidos en el aire, con función de cobertura de protección de glaciares y sistemas sensibles a la radiación solar, teniendo en cuenta que el aire funcionaría como medio de refrigeración de los módulos PV y aumentaría su eficiencia. Lo que permitió establecer adaptaciones, se estudió la actualización por etapas de la central termoeléctrica convencional, con propuestas de solución sostenible, ésta es presentada en la Tabla III.

Tabla III.a. Alternativas Eco-Adaptativas por etapas

Sistemas y Etapas (condiciones iniciales / transitorio)	Alternativas Eco-Adaptativas
Generación de calor (condición inicial) Turbina de Vapor	Colectores Solares y Calderas con accionamiento solar Adaptada a turbina configuración secuencial y Tecnología Híbrida
Perdidas de Calor en disipadores y radiadores	Recuperación de calor en equipos eléctricos
Gestión de Residuos	Sistemas Cero Residuos / Bio-Remediación

Tabla III.b. Criterios de Diseño de la Propuesta

Criterios Ambientales	Criterios Sociales
Matriz energética 100% Energías Renovables	Adaptación de puestos de trabajos al personal actual
Eficiencia Energética de las unidades producción	Capacitación del personal a las nuevas tecnologías
Reutilización de Equipos y componentes	Incorporación de asesorías en línea
Aplicación de IEDs actualizables en el tiempo	Creación de alianzas estratégicas con universidades
Soporte de control avanzado para Energías Renovables	Programas permanentes de formación
Incentivo científico-tecnológico en Sostenibilidad	Seguridad energética y Desarrollo Sostenible a las comunidades

De esta manera, se pueden asignar pesos a cada tipo de convertidor de energías renovables, simplificando los sistemas y aplicando principios de ciclo combinado. Los recuperadores de calor asociados a un nuevo concepto de redes inteligentes, tiene como objetivo aprovechar la energía térmica que se genera de forma indirecta en diversos procesos, sustituir los disipadores de calor de equipos industriales y urbanos, reemplazándoles por concentradores, almacenadores y una red de distribución, con lo que el efecto de aumento de temperatura ambiental pueda verse mitigado. Para el tratamiento del sistema inteligente de cogeneración eléctrica con realimentación, se propone el diseño de dispositivo inteligentes IEDs [8]. Esto para el acoplamiento entre las etapas de conversión en el modelo híbrido de realimentación lineal, siguiendo la extrapolación del modelo neuro-adaptativo LFSR.

Digitalización de Central Termo-Solar

1. Identificación de Sistemas, comprende el análisis de señales de salida de los equipos instalados, con el ob-

jetivo de identificar su comportamiento, el cual puede ser copiado por una red neuronal artificial, como gemelo digital que permite conocer más del sistemas, de forma de adaptar nuevos componentes y actualizaciones con tecnología sostenible.

2. Reconfiguración remota del Sistema, amplía la aplicación de hardware reconfigurable a sistemas de potencia, a través del acoplado electromecánico de partes y ejes, usando tecnología FPGA para la configuración remota.

3. Modelos Dinámicos de Componentes, se establece una red neuronal multicapa, para el modelado dinámico de los componentes y equipos, obteniendo así las ecuaciones matemáticas que representan las etapas del sistema.

4. Dispositivos Electrónicos Inteligentes IEDs, comprende la configuración de los elementos electrónicos de monitoreo y control, a través de una red de comunicación, que permite interactuar con los dispositivos de potencia, de forma inteligente.

5. Neuro-Procesamiento de Imágenes, en esta fun-

ción se asigna al sistema de monitoreo inteligente, el análisis y diagnóstico de fallas en los equipos, a partir de imágenes de termografía [23], que puedan prever el estado de operación de estos (ver Figura 4). Para este procesamiento se puede seleccionar clasificación y

análisis de señales, a través de redes neuronales convolucionales profundas CNN, redes pre-entrenadas y transferencia de aprendizaje, dando como conjunto de entrenamiento señales relacionadas con los equipos de potencia.

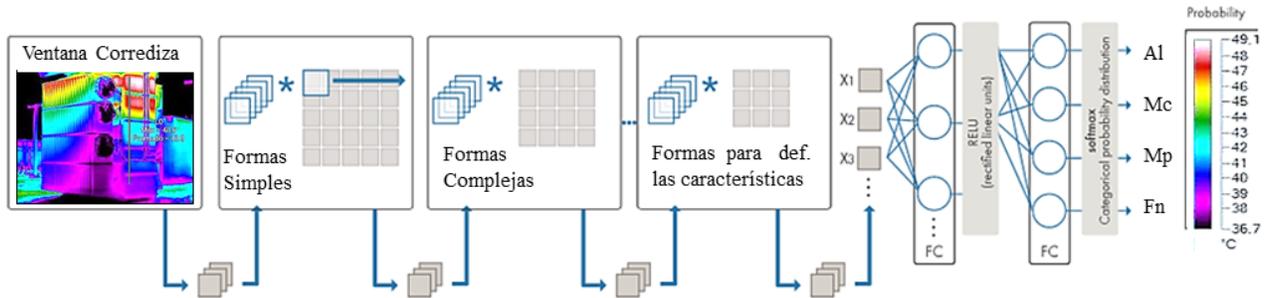


Figura 4. Procesamiento Neuronal de Señales Termo-gráficas

6. Monitoreo y Control Digital, corresponde a la interacción a distancia del control distribuido del sistema, así como la digitalización y monitoreo de condiciones de los componentes del sistema. Comprende funciones sobre los equipos manejados a través de mecanismos robóticos, para limpieza automatizada de los colectores solares, entre otros.

7. Mantenimiento Preventivo en Línea, en esta función se pueden programar las actividades de mantenimiento preventivo, condiciones de supervisión y rangos de funcionamiento, para generar avisos pertinentes, así como optimizaciones en función de parámetros de eficiencia. Con estas funciones el DCS – sistema de control distribuido, adquiere un nuevo enfoque, con objetivos de control y de monitoreo para mantenimiento preventivo, correctivo, con parámetros de medición de eficiencia.

IV. RESULTADOS

Se obtiene entre los resultados una propuesta general, basado en la extrapolación de conceptos de arreglos secuenciales con realimentación para la configuración de las turbinas, acopladas al diseño con fuentes de energías renovables. Un conjunto de códigos para el soporte de la plataforma en tecnologías sostenibles, que permitan la configuración remota de la central termo-solar, así como consideraciones y criterios del parque tecnológico, su actualización y mantenimiento en línea. En base a esto, se establece el modelo híbrido con realimentación se obtendría la ecuación 3.

$$\eta_{LFSR}(p) = \sum_{p=1}^n c_p \cdot (\dot{W}_p - \dot{W}_c) + \eta_{LFSR}(p-1) \quad (2)$$

Esto se traduce en la eficiencia del sistema con modelo LFSR (realimentación lineal secuencial) en un instante p , vendrá dado por la eficiencia acumulada y

la eficiencia de las salidas de los elementos que componen la estructura, en el caso del modelo híbrido vendrá dado por la eficiencia de las turbinas que producen energía, siendo está la relación de potencia producida W_p y potencia consumida W_c , en los elementos para el accionamiento de la turbina de conversión (bombas para turbinas hidroeléctricas o vapor de agua producido por calderas termo-solares, compresores para fluidos gaseosos como aire comprimido, entre otros) y c_p , el coeficiente de conversión. Del estudio se propone centralizar la caldera como colector principal (caldera solar) en lugar de la tubería para disminuir pérdidas de distribución del fluido térmico, con el objetivo de aumentar la eficiencia térmica del sistema en la etapa previa a la turbina de vapor.

Modelo de Sistema Reconfigurable de Convertidores de Energía

El modelo de central eléctrica de sistemas reconfigurables, consta de un conjunto de ramas o etapas adaptativas, que pueden ser integradas de manera escalonada al diseño, con realimentación de energía para la recuperación de recursos y una mayor eficiencia energética. En este esquema se destaca el monitoreo de señales digitales, así como la configuración de componentes a través de dispositivos de hardware reconfigurable, como solución tecnológica.

$$y(t) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + y(t-1) \quad (3)$$

Se tendrá la concatenación de elementos convertidores y la realimentación de energía y subproductos del proceso de conversión, especificada como $y(t-1)$. Esta ecuación permite describir el ordenamiento de los componentes del sistema, para la tele-configuración dinámica y un comportamiento auto-organizado de la red inteligente (Smart Grid).

Estos sistemas presentan una dinámica compleja, que debe ser abordada con un esquema de control para modelos híbridos y como una ampliación teórica de la optimización, a partir de estructuras LFSR, en su aplicación para control de procesos dinámicos de conversión de energía (considerando que estos dependen de las condiciones climáticas, requieren de un sistema de almacenamiento de energía). De esta manera se propo-

ne un sistema regenerativo, con un régimen transitorio y un régimen permanente, con control selectivo y los elementos almacenadores de energía potencial (neumática, hidráulica, química, entre otras), que pueden ser realimentadas. Se han definido etapas y establecido la similitud entre los componentes del modelo LFSR, como se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV. Esquema conceptual del modelo sostenible

Modelo/ Etapa	Características/ Resultados		Resultados del Modelo		
DeCOx (Investigación)	Módulos integrados de conversión de energía		Alternativas de bajo Impacto Ambiental: Agro-PV, BU, etc.		
	Ecuación Generatriz del modelo fractal		Identificación de correspondencia de componentes del modelo		
FPCA (Desarrollo)	Adaptación de Infraestructura Smart City		Elemento	Etapa Electrónica	Etapa Potencia
	Función de los Módulos	Tecnología	Selectores	Multiplexores	R-IEDs
	Diseño de IEDs en VHDL	FPGA	Operadores	Multiplicador /AND	Convert. / Compr.
	Módulo Bi-direccional Gestión ambiental	e-Reciclado	Sumadores	XOR	Válvulas XOR
	Micro-plantas portátiles con panel PV	µC OpenSource	Memoria	Registros (FF)	Baterías/ Tanques
	Implementación de las tarjetas diseñadas		Realimentación	Bus de datos (simb.)	Energía altemat.
CTeleBot (Capacitación)	Tareas de tele-robótica de mantenimiento		Tele-Trabajo bajo criterios de responsabilidad socio-ambiental y generalización, para optimización.		
	Estandarización de procedimientos				

El primer punto corresponde al estudio y adaptación de la infraestructura de manera modular o coordinación centralizada, el diseño de las tarjetas para monitoreo y control de las aplicaciones, fabricación de micro-plantas fotovoltaicas para autonomía de los usuarios, etc. entre las soluciones reciclaje electrónico, para promover la recuperación de componentes, un modelo basado en Energías Renovables No Convencionales – ERNC, teleconfiguración remota y robótica distribuido, para la red energética. Se presenta un concepto innovador al definir sistemas configurables de energías, como tecnología disruptiva frente a las Smart Grid. Adicionalmente, se integra responsabilidad ambiental: reutilización de componentes, ciclos de regeneración ambiental, remediación de efectos contaminantes y estrategias de conservación para los ecosistemas

FPCA basado en Arquitectura Reconfigurable LFSR

Una matriz energética carbón-free, puede ser adaptada a partir del concepto Fractal Programmable Converters Arrays – FPCA. Éste tendrá un impacto positivo en la disminución de residuos contaminantes y en las actividades de mantención de la central / nuevo modelo parque científico tecnológico – PCT. En la formulación de resultados para el parque tecnológico se incorpora el modelado y simulación de los equipos en software, a

partir de la digitalización de la central, así como la aplicación de redes neuronales para modelado dinámico de equipos eléctricos, con el fin de simplificar los procesos de desarrollo, en la optimización de los convertidores de la central. Es allí donde se aplica el concepto de gemelo digital, que permite conocer e interactuar con el modelo virtual de la central / laboratorio remoto, combinando estrategias de hardware/software, en el proceso de co-diseño.

El diseño de sistemas electrónicos inteligentes para el control de redes eléctricas distribuidas [24-25] es una área de investigación que propone alternativas de solución en materia energética corresponde a las redes eléctricas inteligentes [26-27], en las cuales se pueden manejar conceptos de redes reconfigurables, donde el diseño puede considerar las condiciones de demanda energética, incorporando técnicas de control avanzado e inteligencia artificial [28].

La configuración del esquema puede integrar sistemas de energías renovables, bajo criterios de sostenibilidad y con alto nivel de eficiencia, como se presenta en [29-30]. Adicionalmente, la revalorización de los subproductos y residuos sólidos urbanos – RSU (cáscaras y otros residuos postcosecha), que pueden ser aprovechados para producción de electricidad con la infraestructura de la termoeléctrica, en aplicaciones híbridas

de calderas y reciclaje de subproductos (hardware circular), reciclaje de materiales electrónicos, aplicación de pigmentos fotosintéticos (a base de algas), en sensibilización de paneles fotovoltaicos, entre otros aspectos de valorización de potencial. Modelos multi-etapas que aporten en el proceso de conversión de energías, dentro de un sistema reconfigurable que permita la adaptación según las condiciones climáticas.

A la vez este esquema debe ser considerar el impacto ambiental, tanto en la etapa de diseño, implementación, operación, mantenimiento y desmantelado de los módulos de conversión. Es por ello que se plantea iniciar el diseño desde la adaptación y optimización de infraestructura disponible, con el fin de producir el menor número de residuos. De igual modo, es necesario tomar medidas de compensación, a través de la remediación

de espacios, con técnicas naturales como reforestación y cubiertas forestales hidropónicas, a fin de que estos sean acondicionados para disminuir temperatura, filtrar la contaminación y proteger la biodiversidad urbana.

Por último, el esquema de control, integrando un modelo convolucional [31], para redes neuronales configurables, modelos fractales [32], redes neuronales [33] en el esquema de electrónico, y sistemas de almacenamiento sostenible de energías, estudiando la eficiencia los sistemas neumáticos CAES – Compressed Air Energy Storage [34-36], red de colectores de calor residual, y energía potencial. Así como tecnología sostenible [37-38] y reciclaje para un sistema inteligente (cero residuos y cero emisiones), basado en el modelo matemático del esquema LFSR (ver Figura 5).

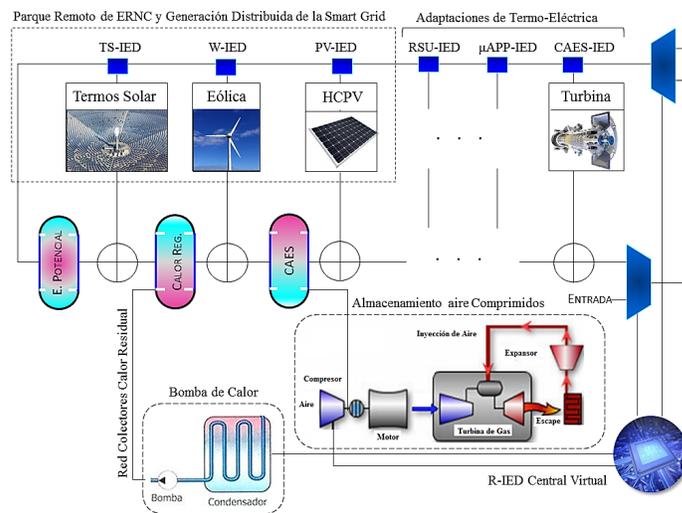


Figura 5. Esquema Fractal-LFSR en Sistemas Reconfigurables de Conversión de Energía

A partir de la generalización del modelo, se obtiene como resultado una librería en VHDL para la configuración de los esquemas, los componentes PLC básicos de los IEDs (ver Tabla V).

Tabla V. Definición de Componentes Funcionales de los IEDs

Definición del Componente en VHDL	Código VHDL del Comportamiento
<pre>entity Red_Neural is port (yp: in std_logic_vector (7 downto 0); ... wij: alg port map (wd,xi,yi); -- wn+1 <= función_de_aproximación(wn) dl: TDL port map (in,out); c1: capa_sigma port map (yp,u,a,l); n1: neurona port map (pi,wi,bi,y,l); -- Configuración de las capas intermedias y las neuronas componentes nS: neurona port map (pi,wi,bi,yS); cS: capa_lineal port map (a,l,ym); -- Capa de Salida</pre>	<pre>U1: Identificador_Sistema Port Map (x1,x2,x3,y1,y2); U2: Controlador_Neuronal Port Map (u1,d1,y1); ... -- Modelo Neuronal / Códigos Reed Solomon / LFC (n,k) -- Concatenación ponderada con realimentación lineal LFCS u1: a2<=a1(6 downto 4) & (a1(3) xor a1(7)) & (a1(2) xor a1(7)) & (a1(1) xor a1(7)) & a1(0) & a1(7); -- Generación de términos del LFSR: -- ut: at+1 <= at(j) xor (at(m-1) and p(i)) & ... for i=m-1 to 0</pre>
<pre>entity Comparador is port (I: in std_logic; Ent : in std_logic_vector (3 downto 0); P : in std_logic_vector (3 downto 0); -- Preset del comparador Eo : out std_logic; -- Salida Igual end comparador;</pre>	<pre>architecture Behavioral of comparador is process (Ent,P) begin if (Ent = P) then Eo <='1'; else Eo <='0'; end if; end Behavioral;</pre>
<pre>entity Temporizador_Contador is port (I: in std_logic; Ent : in std_logic; -- clk / Sensor / Pulso de conteo P : in std_logic_vector (3 downto 0); Eo : out std_logic; -- Salida de comp. Igual End Temporizador; Signal --acumulado CT: in std_logic_vector (3 downto 0);</pre>	<pre>architecture Behavioral of Temp is ... process (Ent) begin if Ent='1' and Ent' event then inc CT if (CT = P) then Eo <='1'; else Eo <='0'; end if; end Behavioral;</pre>

Estos códigos permiten implementar funciones de manera eficiente y capacidad de reconfiguración.

V. CONCLUSIONES

Gracias al Sistema Reconfigurable de Convertidores de Energía – SRCE, basado en la arquitectura LFSR, para el arreglo modular de elementos activos de la red eléctrica, con electrónica R-IEDs para optimización de convertidores distribuidos (minimizando las pérdidas de transporte) y almacenamiento de energía, siendo factible su adaptación en un sistema inteligente de energía. Se plantea un diseño sostenible, con monitoreo, mantenimiento remoto (identificación de rendimiento o fallas en el sistema distribuido) y gestión online. Así mismo, se propone la incorporación de aplicaciones, para aumentar la eficiencia energética, a través de refrigeración pasiva (freecooling), bombas de calor y circuitos de recuperación de calor residual, que puedan ser adaptadas en la infraestructura urbana (edificaciones, parques, universidades). Estas soportadas sobre la plataforma de la central eléctrica virtual.

De esta manera, se obtiene un modelo matemático para el diseño de aplicaciones sostenibles y redes eléctricas reconfigurables. A partir de la adaptación de las centrales termoeléctricas (descarbonización), la actualización de los equipos e infraestructura, revalorización de pasivos de la central termoeléctrica, para su aprovechamiento en los nuevos proyectos a desarrollarse y aprovechamiento de calor residual con nuevos materiales termoeléctricos, uso sostenible de los recursos, observando la interacción de los ecosistemas, diseñando en función de estos principios y desarrollando infraestructura inteligente, no contaminante. Considerando criterios de eficiencia e impacto ambiental, dentro de un programa de educación ambiental. A través de laboratorios de investigación e innovación de acceso remotos, para el estudio de las alternativas más eficientes de producción de energía y unidades de producción más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Integrando convertidores de ERNC en un sistema reconfigurable, se plantea escalar módulos piloto de convertidores de energía Solar Híbrida, de concentración fotovoltaica HCPV y Termo-Solar, basado en iniciativas de investigar el comportamiento de nuevas tecnologías (disminuir la cantidad de material fotovoltaico, haciendo más eficiente el sistema, disminuyendo los costos de implementación y aplicando recuperados de calor para realimentar al sistema termo-solar), a fin de comprobar la mejor alternativa. Considerando el diseño con ciclos de recuperación de los sistemas y analizando la capacidad de reciclaje, vida útil y mantenimiento de los componentes. Proponiendo un uso eficiente de los espacios, alternando con agro-PV, micro-eólica sobre torres de potencia y telecomunicaciones, sin intervenir ambientes naturales, agrícolas y forestales.

Otro aspecto a mencionar, corresponde a la simplificación de termoeléctrica convencional. Donde los equipos de intercambio de calor / presión, pueden ser reutilizados, haciendo viable su implementación, sin los elevados costos asociados a un proyecto en fase inicial. A la vez que estos equipos tendrán una función alternativa, sin pasar a formar parte de los residuos eléctricos. Enmarcado en criterios de responsabilidad ambiental y bioremediación, a través de redes de vegetación hidropónica para superficies, a fin de cumplir con funciones de aislamiento térmico, purificación de aire y belleza paisajística, con impacto socio-ambiental positivo, en pro de las mejores condiciones para la biodiversidad, preservación de hábitats, la creación de bosques urbanos y la sostenibilidad.

Se propone así, una plataforma para el estudio de la eficiencia y soluciones óptimas en la matriz energética, bajo un modelo de redes auto-organizada, con esquema fractal. Así como la digitalización aplicando modelos neuronales, para la gestión remota de las instalaciones, adaptación parámetros de los convertidores y control adaptativo. El concepto de tele-reconfiguración a través de tecnología FPGA, permitirá optimizar la estructura de los convertidores, su concatenación modular, rendimiento y función objetivo, como sistemas eco-inteligentes. A la vez que los códigos en lenguaje descriptor de hardware VHDL desarrollados representan un aporte para el diseño en línea de soluciones innovadoras. La ingeniería debe considerar el diseño de sistemas regenerativos, que se inspire en esa renovación de los recursos y energía, dentro de un equilibrio y con principios de sostenibilidad y conservación, así como la programación de reutilización y reciclaje de bajo consumo energético (materiales bio-degradables), incorporando nuevas tecnologías en electrónica de control y equipos re-configurables.

REFERENCIAS

- [1]Sotelo-neyra, V., & Paredes-larroca, F. “Multirate-sampling adaptive controller for an induction generator driven by a wind turbine Controlador por multi-tasa de muestreo adaptivo para un generador de inducción accionado por una turbina de viento”. Ingeniería Investigación Y Tecnología, 19(1), pp. 51–62. 2018. Retrieved from http://oa.upm.es/48731/1/PFG_Lucia_Gonzalo_Carabias.pdf
- [2]Canovas, A. (2018). Gemelos Digitales y su Aplicación en la Industria. Retrieved from <http://blog.nctech.com.mx/gemelos-digitales-y-su-aplicación-en-la-industria>
- [3]International, P. (2017). GE Power to turn old power plant into technology center. Retrieved from <https://>

- www.elp.com/articles/2017/05/ge-power-to-turn-old-power-plant-into-technology-center.html
- [4]Energía Eólica. (2018). Retrieved from <http://s729123989.mialojamiento.es/5-things-to-consider-before-buying-an-apple-watch>
- [5] Farrerons Vidal, Ó., Olmedo Torre, N., Calduch Pros, E., & Martínez, J. (2013). Prospecciones de futuro de la energía termosolar en España y en el mundo.
- [6]Sandoval Ruiz, C. “Diseño conceptual de un módulo híbrido para Generación eléctrica”. In VIII Congreso Nacional y 2do Congreso Internacional de Investigación Universidad de Carabobo, 2013.
- [7]Sandoval Ruiz, C. “Adaptive Control in VHDL Applied to a Solar Oven”. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(23), pp. 142–147, 2014.
- [8]Sandoval-Ruiz, C. E. “Control de Micro-Redes de Energía Renovable a través de estructuras LFCS Reconfigurables en VHDL”. *Ciencia Y Tecnología*, 18, pp. 71–86, 2018.
- [9]Sandoval-Ruiz, C. “VHDL Signal Processing Modules applying Neuronal Networks for SDR systems”. *Revista Fac Ing UCV*, 32(1), pp. 17–26, 2017.
- [10]Sandoval Ruiz, C. “Plataforma de Gestión, Investigación y Formación en Tecnologías Sostenibles, para soporte de un Laboratorio Remoto”. *Revista Eduweb*, Universidad de Carabobo, 10(1), pp. 79–92, 2016. Retrieved from <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/eduweb/v10n1/art06.pdf>
- [11]Rondón, J., & Sandoval, C. “Diseño de un co-laboratorio remoto basado en programación modular de dispositivos VHDL aplicado a telecomunicaciones”. *Facultad de Ingeniería UCV*, 25(2), pp. 7–12, 2010. Retrieved from <http://www.scielo.org.ve/pdf/rfiucv/v25n2/art02.pdf>
- [12]Steckler, D., Nava, C., Duarte, J., Zambrano, J., & Sandoval-Ruiz, C. E. “Design of Neural Networks on microcontrollers, applied in functional modules for an eco-park”. *Revista Ingeniería uC*, 25(1), pp. 50–60, 2018. Retrieved from <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v25n1/art06.pdf>
- [13]Fresneda Moreno, V. (2016). Mejoras de eficiencia y optimización de equipos en una Central de Ciclo Combinado.
- [14]Cerrato-Morilla, D. (2012). Integración de una caldera solar en un ciclo combinado (ISCC). Universidad Carlos III de Madrid, España.
- [15]García, M. (2015). “Dimensionado de un sistema de recuperación de gases de escape para un portacontenedores de 2700 TEU”. Universidad Politécnica de Catalunya. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26621/PFC-MarioGarcia.pdf>
- [16]De la Fuente, J. “Generación de energía: ISCC Ciclo Combinado Híbrido”. *Dyna*, 86(4), pp. 391–396, 2011. Retrieved from <http://www.revistadyna.com/Documentos/pdfs%5C201104ago%5C4352DYNAINDEX.pdf>
- [17]Castellanos, J., Sandoval, C., & Azpurua, M. “A FPGA implementation of a LMS adaptive algorithm for smart antenna arrays”. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería de La Universidad de Zulia, Venezuela*, 37(3), pp. 270–278, 2014. Retrieved from <http://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/21211/21051>
- [18]Valero-Moro, J., Bonilla-Turmero, Y., & Sandoval-Ruiz, C. “Estación tele-operada de robótica móvil, para el laboratorio de micro-controladores”. *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, 21(83), pp. 69–75, 2017. Retrieved from <http://www.uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/794/639>
- [19]Beltrán-Chacón R., Velázquez-Limón N., & Saucedo-Carvajal D. “Análisis y diseño de un sistema de generación eléctrica termosolar con concentrador de disco parabólico y motor Stirling de 2 . 7 kW enfriado por aire”. *Ingeniería Investigación Y Tecnología*, XIII(1), pp. 43–53, 2012.
- [20]Gonzalo C., L. “Desarrollo de un Modelo de Simulación de Centrales de Ciclo Combinado y Optimización para Diferentes Niveles de Presión”. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía*, 2017.
- [21]Sandoval Ruiz, C. “Modelo VHDL de Control Neuronal sobre tecnología FPGA orientado a Aplicaciones Sostenible”. *Ingeniare. Rev. Chilena de Ingeniería*, 27(3), 2019.
- [22]Sandoval-Ruiz, C. “Codificador RS (n,k) basado en LFCS : caso de estudio RS (7,3)”. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, (64), pp. 68–78, 2012. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n64/n64a07.pdf>
- [23]MathWorks. (2018). Segment Thermographic Image after Edge-Preserving Filtering. Retrieved from https://la.mathworks.com/help/images/segment-thermographic-image-after-edge-preserving-filtering.html?searchHighlight=thermographic&s_tid=doc_srchtile
- [24]Real-Calvo, R., Moreno-Munoz, A., Pallares-Lopez, V., Gonzalez-Redondo, M. J., Moreno-Garcia, I. M., & Palacios-Garcia, E. J. “Sistema Electrónico Inteligente para el Control de la Interconexión entre Equipamiento de Generación Distribuida y la Red Eléctrica”. *Revista Iberoamericana de Automática E Informática Industrial RIAI*, 14(1), pp. 56–69, 2017.
- [25]Real, R. “Integración de dispositivos electrónicos inteligentes en smart grid”. Tesis Doctoral. Universidad de Cordova, 2016.
- [26]Villa, D., Martín, C., Villanueva, F., Moya, F., & Lo-

- pez, J. "A dynamically reconfigurable architecture for smart grids". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57(2), pp. 411–419, 2011. <https://doi.org/10.1109/TCE.2011.5955174>
- [27]Harley, R. G., & Liang, J. "Computational Intelligence in Smart Grids". In *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 1, pp. 1–8, 2011.
- [28]García, T., Carlos, J., & López, L. "Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas a la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid)". *Novótica*, 213, pp. 29–34, 2011. Retrieved from <http://arco.esi.uclm.es/public/papers/2011-NOVATICA.pdf>
- [29]Sandoval-Ruiz, C. E. "Códigos Reed Solomon para Sistemas Distribuidos de Energías Renovables y Smart Grids a través de Dispositivos Electrónicos Inteligentes sobre Tecnología FPGA". *Memoria. Investigación en Ingeniería*, 16(1), pp. 37-54, 2018.
- [30]Sandoval-Ruiz, C. "Arquitectura Reconfigurable y Redes Inteligentes aplicadas al Diseño Sostenible en Smart City". *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, 7(12), 1-19, 2018.
- [31]Sandoval-Ruiz, C. "Modelo de Estructuras Reconfigurables con Registro Desplazamiento, para Lenguaje Descriptor de Hardware VHDL". *Revista Fac Ing UCV*, 31(3), pp. 63–72, 2017.
- [32]Sandoval-Ruiz, C. E. "Análisis de Circuitos Fractales y Modelado a través de Sistema de Funciones Iteradas para VHDL". *Revista Ciencia E Ingeniería*, 38(1), 3–16, pp. 2017. Retrieved from [http://erevis-](http://erevis-tas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/8398/8351)
- [tas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/8398/8351](http://erevis-tas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/8398/8351)
- [33]Sandoval-Ruiz, C. E. "LFSR-Fractal ANN Model applied in R-IEDs for Smart Energy". *IEEE Latin America Transactions*, VOL. 18, "submitted for publication" or "to be published".
- [34]Lladó Sánchez, A. "Estudio de almacenamiento de energía mediante aire comprimido: los sistemas CAES (compressed air energy storage)", (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya), 2015.
- [35]Clemente Jul, M. D. C. "Comparación de tecnologías de almacenamiento energético provenientes de energías renovables". In *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, Vol. 16, No. 1, pp. 29-49. Real Academia de Doctores de España, 2012.
- [36]Guacaneme, J. A., Velasco, D., & Trujillo, C. L. "Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes". *Información tecnológica*, 25(2), pp. 175-188, 2014.
- [37]Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E. "Optimizador de Eco-Productos de origen vegetal aplicando Control Neuronal en VHDL". *Agrollanía Revista de Ciencia Y Tecnología*, 15, 58–64, 2018.
- [38]Sandoval-Ruiz, C., & Ruiz-Díaz, E. (2018a). "Eco-Innovación en Ingeniería de Alimentos Sostenible aplicando técnicas Inteligentes de Eficiencia Energética – EcoSVeg". *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, 88(22), pp. 54-66, 2018.