

Sistemas híbridos en diseño de distribución eléctrica con algoritmo genético

Ángel Núñez

angeldnm@gmail.com

Maestría en Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Antonio José de Sucre

Sede Puerto Ordáz, Venezuela

<https://orcid.org/0000-0002-8763-5513>

Estado Bolívar - Venezuela

Recibido (02/03/20), Aceptado (20/03/20)

Resumen: Se estudia la incorporación de sistemas híbridos basados en fuentes renovables para la optimización de sistemas de distribución eléctrica y planificación de estrategias de alimentación eléctrica usando algoritmos genéticos (AG). Se eligió una serie de características de sub estaciones eléctricas y mediante simulaciones, se obtuvieron datos para la optimización de la infraestructura existente, que brinde confiabilidad, seguridad, suministro económico y calidad de servicio. Se obtuvo un algoritmo con la configuración óptima de diversos componentes: paneles fotovoltaicos, baterías, generador AC, pila de combustible e inversor, que en el caso de la optimización mono-objetivo se logró la minimización de costos totales del sistema a lo largo de su vida útil. Se obtuvo la estrategia de control o combinación de variables de control más adecuada para minimizar los costos.

Palabras Clave: Distribución eléctrica, Sistemas híbridos, algoritmos genéticos.

Hybrid systems in electrical distribution design with genetic algorithm

Abstract: The incorporation of hybrid systems based on renewable sources for the optimization of electricity distribution systems and planning of power supply strategies using genetic algorithms (GA) is studied. A series of characteristics of electrical sub-stations was chosen and through simulations, data were obtained for the optimization of the existing infrastructure, which provides reliability, security, economic supply and quality of service. An algorithm was obtained with the optimal configuration of various components: photovoltaic panels, batteries, AC generator, fuel cell and inverter, which in the case of mono-objective optimization, minimized total system costs throughout its useful life. The most appropriate control strategy or combination of control variables was obtained to minimize costs.

Keywords: Electrical distribution, Hybrid systems, genetic algorithms.



I. INTRODUCCIÓN

La finalidad de un sistema eléctrico es satisfacer el requerimiento de energía de los consumidores basándose en unas determinadas condiciones técnicas. Los sistemas de generación se instalan donde resultan más provechosos, dicho sistema se emplea para enviar cantidades de energía desde las principales zonas de generación hasta las zonas de demanda, transportan la energía a los consumidores, utilizando el nivel de tensión adecuado. Por lo tanto, la energía eléctrica realiza estas funciones, soportada por cada uno de los subsistemas en que puede dividirse. Por lo general, las compañías eléctricas cubren una o varias de estas funciones dentro de un determinado contexto.

La seguridad en el suministro eléctrico exige gestión exitosa y calidad de las actividades de planificación, desarrollo, mantenimiento y operación de todos los componentes de la infraestructura eléctrica principal (generación, transmisión y distribución), así como de la infraestructura de sus sistemas auxiliares: mediciones, protecciones, supervisión, control y comunicaciones.

A medida que aumentan las cargas se origina un aumento de demanda, llegando incluso a los límites de capacidad de suministro eléctrico en las redes de distribución. Esto implica la optimización del sistema, construcción y/o ampliación de subestaciones, capacidad de transformadores, conductores, entre otras para satisfacer la demanda creciente. En este trabajo se desarrolla la optimización y las estrategias de control de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, basados en diferentes fuentes, aplicando AG.

Los sistemas híbridos de energía eléctrica pueden estar aislados o conectados a la red de suministro eléctrico. Una de las técnicas utilizadas en el diseño óptimo de sistemas de distribución son los algoritmos genéticos, los cuales están basados en métodos adaptativos usados en problemas de búsqueda y optimización de parámetros fundados en la reproducción y en la supervivencia del más apto.

El sistema eléctrico de potencia (SEP) en Venezuela ha presentado un crecimiento en la demanda de suministro eléctrico tanto a nivel industrial como en el ámbito residencial y comercial. En toda instalación eléctrica; que abarque una serie de equipos para satisfacer la demanda de energía eléctrica; el proceso de expansión para la generación, transmisión y distribución de electricidad se vuelve cada vez más compleja debido al aumento de capacidad de los sistemas de potencia. Esta problemática es un tema de gran preocupación debido a su influencia en la seguridad y calidad del Sistema de Potencia.

En un sistema diseñado para convertir, transportar y entregar energía eléctrica se deben realizar estudios para la expansión y optimización en la distribución de energía con varias fuentes alternas, que permitan establecer el equipamiento necesario para cubrir el aumento de las cargas. Estos estudios están basados en futuras predicciones de demanda de energía y obedecen a un compromiso entre los niveles de confiabilidad, márgenes de seguridad del sistema y los costos asociados a la capacidad que se va a instalar.

Los AG forman parte del grupo de técnicas metaheurísticas inspirados en la evolución natural capaz de resolver problemas de optimización con pocos esfuerzos, con cálculos más precisos tanto a niveles económicos como pre dimensionamiento y optimización de equipos, que permiten dar soluciones satisfactorias al ser aplicados a problemas con gran complejidad y con tiempo de cálculos muy bajos. Los AG surgen como soporte en la ingeniería para la predicción y optimización de la demanda en los sistemas de energía instaladas y a futuro, ante posibles aumentos de cargas interconectadas.

Los AG utilizan técnicas de población de soluciones codificadas de forma similar a los cromosomas. Cada uno de estos cromosomas tendrá asociado un ajuste que cuantifica su validez como solución del problema. En función de este valor se le darán más o menos oportunidades de reproducción. Algunas características importantes de los AG son: Usan una codificación de las soluciones, trabajan con una población de soluciones, de manera tal que se pueden obtener un conjunto de soluciones viables para el problema. Además, usan reglas probabilísticas de transición y no determinísticas, los operadores se aplican con una probabilidad determinada.

Entre otros antecedentes a esta investigación, se menciona el de Pinzón [1], quien realizó un diseño óptimo global para un sistema de distribución considerando los componentes principales de una red de distribución (Circuito primario, transformadores de distribución y circuitos secundarios) en la que se evaluaron la complejidad del método, eficiencia computacional, calidad de respuesta y flexibilidad para hallar ventajas y desventajas de las propuestas y escoger la más apropiada para ser implementada en el software correspondiente.

Mendoza [2] estudió diseño multiobjetivo y multietapa en los sistemas de distribución de energía eléctrica aplicando algoritmos evolutivos, planteó la incorporación de dos algoritmos evolutivos multi-objetivos al diseño de un sistema de distribución eléctrica, utilizando un modelo mono-etapa y otro multietapa, se obtuvo una herramienta de diseño que resuelve con tiempos menores de cálculos, los diseños en los sistemas de distribución planteando la

utilización de dos objetivos: los costos económicos globales del sistema de distribución y la fiabilidad, garantizando mantener los requerimientos técnicos y operativos del mismo en cuanto a capacidades de potencia y caídas de tensión.

Vizcón [3] propuso un sistema híbrido, fotovoltaico-diesel, para la generación de energía eléctrica en un policlínico. Analizó la situación actual de la utilización de las energías renovables en el mundo, así como el software más utilizado actualmente en el tratamiento de estos sistemas. Posteriormente se ejecutó la simulación y optimización de un sistema híbrido mediante la aplicación del software HOMER, para determinar la mejor variante de suministro de electricidad. Los sistemas híbridos, poseen un largo período de recuperación de la inversión, motivado por los costos de los paneles solares, por la preservación del medio ambiente, provocando niveles mínimos de contaminación.

Lagunas [4], estudió control supervisorio para un sistema híbrido de generación eléctrica. Presentó el desarrollo de un controlador supervisorio para un Sistema Híbrido de Generación Eléctrica (SHGE). A través de la investigación realizada se definió la configuración y los elementos que componen el SHGE a utilizar, producto de la revisión de configuraciones de sistemas híbridos propuestos actualmente.

Bernal [5] Aplicó algoritmos genéticos en un diseño óptimo para sistemas de distribución de energía eléctrica, con el desarrollo de un modelo de optimización mono-objetivo que considera el tamaño y localización óptimo de líneas de transmisión eléctricas y subestaciones, así como la dimensión temporal del diseño (monoetapa o multietapa). En primer lugar, se planteó la realización del modelo de diseño óptimo mono-objetivo. Inicialmente se define el problema que se desea resolver con el fin de indicar claramente las variables básicas que van a aparecer posteriormente.

La realización del diseño de una red de distribución de energía eléctrica se lleva a cabo tomando en cuenta, además del costo económico global, otros aspectos técnicos de la red, entre los cuales se pueden citar, a título de ejemplo, los siguientes: Optimizar diversas medidas para evaluar la fiabilidad de la red de distribución de energía esperada no suministrada, tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada, etc.).

Una de las técnicas más populares en el diseño óptimo de sistemas de distribución en este momento son los algoritmos genéticos. Miranda [6] usa la confiabilidad del sistema dando un costo en la función objetivo. Se plantea como un problema multi-etapa pero no tiene coordinación entre las diferentes etapas y se puede presentar que las soluciones se superpongan. La incertidumbre en la planeación de un sistema de distribución es tratada a través de una optimización donde se tienen diferentes posibles escenarios. Usando algoritmos evolutivos se encuentra una serie de soluciones para cada uno de los posibles escenarios de los cuales se escogen las respuestas que mejor se comporten en todos los escenarios.

Teniendo en cuenta que el problema de optimización de sistemas de distribución desde el punto de vista práctico está formado por una serie de inversiones en diferentes años, un modelo mono-etapa puede no ser el más apropiado para modelar el problema. Por esta razón el modelo multietapa es de gran importancia, como el de donde se usa programación entera-mixta lineal, costos linealizados, con un modelo multietapa completamente dinámico que incluye el tiempo en el cual se deben hacer las inversiones.

Bernal [5] realiza un estudio de los diferentes modelos que se han usado en la optimización de sistemas de distribución hasta la fecha de su publicación, adicionalmente trabaja con varios modelos para la planeación (mono-objetivo, multiobjetivo, mono-etapa y multi-etapa) pero dando énfasis en un esquema de optimización con programación entera-mixta no lineal con algoritmos genéticos, usando costos no lineales, multietapa y multiobjetivo donde se tiene en cuenta la confiabilidad del sistema.

Ramírez-Rosado [7], trabaja con un modelo de optimización multi-objetivo donde se tienen dos funciones objetivo y como resultado de la optimización se obtienen una serie de posibles soluciones en equilibrio paretiano, se trabaja con un modelo de optimización no lineal entera-mixta. Los factores que presentan incertidumbre son las variaciones de demanda eléctrica, los costos variables de energía y adicionalmente las potencias, tensiones y corrientes difusas ocasionadas por las primeras. Presentaron un modelo fuzzy original basado en optimización no lineal multiobjetivo para planear el sistema mono-etapa o multietapa.

II. DESARROLLO

Algoritmos Genéticos

A grandes rasgos un AG consiste en una población de soluciones codificadas de forma similar a los cromosom-

mas. Cada uno de estos cromosomas tendrá asociado un ajuste, valor de bondad, ajuste o fitness, que cuantifica su validez como solución al problema. En función de este valor se le darán más o menos oportunidades de reproducción. Además, con cierta probabilidad se realizarán mutaciones de estos cromosomas.

La computación evolutiva se refiere al estudio de los fundamentos y aplicaciones de ciertas técnicas heurísticas basadas en los principios de la evolución natural [35]. Estas técnicas podrían clasificarse en tres categorías principales dando lugar a la ecuación evolutiva.

A. Fitness Puro: $r(i, t)$

Es la medida de ajuste establecida en la terminología natural del propio problema. La ecuación 1 establece el cálculo del valor de bondad de un individuo i en un instante t (o generación).

$$r(i, t) = \sum_{j=1}^{Nc} |s(i, j) - c(i, j)| \quad (1)$$

Donde: $S(i, j)$ = Valor deseado para el individuo i en el caso j .

$C(i, j)$ = Valor obtenido por el individuo i para el caso j .

Nc = Número de casos.

B. Fitness Estandarizados: $s(i, t)$

Para solucionar esta dualidad ante problemas de minimización o maximización se modifica el ajuste puro.

En el caso de problemas de minimización se emplea directamente la medida de fitness puro. Si el problema es de maximización se resta de una cota superior r_{max} del error el fitness puro. Empleando esta métrica la bondad de un individuo será mayor cuanto más cercano este a cero el valor del ajuste. Por lo tanto, dentro de la generación t , un individuo i siempre será mejor que uno j si se verifica que $s(i, t) < s(j, t)$.

C. Fitness Ajustado: $a(i, t)$

Se obtiene aplicando la transformación al fitness estandarizado [2] se obtiene:

$$\alpha(i, t) = \frac{1}{1 + s(i, t)} \quad (2)$$

De esta manera, el fitness ajustado tomara siempre valores del intervalo $[0, 1]$. Cuando más se aproxime el fitness ajustado de un individuo a 1 mayor será su bondad.

D. Fitness Normalizado: $n(i, t)$

$$s(i, t) = \begin{cases} r(i, t) & \text{minimización} \\ r_{\max} - r(i, t) & \text{maximización} \end{cases} \quad (3)$$

Los diferentes tipos de fitness vistos hasta ahora hacen referencia únicamente a la bondad del individuo en cuestión. El fitness normalizado introduce un nuevo aspecto: indica la bondad de una solución con respecto al resto de soluciones representadas en la población. Considerando una población de tamaño N , se obtiene la ecuación 4.

$$n(i, t) = \frac{\alpha(i, t)}{\sum_{k=1}^N \alpha(k, t)} \quad (4)$$

Al igual que el fitness ajustado, siempre tomará valores del intervalo [0,1], con mejores individuos cuanto más próximo este a la unidad. Pero a diferencia de lo anterior, un valor cercano a uno, no solo indica que ese individuo represente una buena solución al problema, sino que además es una solución mejor que las proporcionadas por el resto de la población. La suma de los valores del fitness normalizado de todos los individuos de una población dará siempre 1. Este tipo de ajuste es empleado en la mayoría de los métodos de selección proporcionales al fitness.

E.Sistema Híbrido

Un sistema híbrido en los sistemas eléctricos, utilizan múltiples fuentes de generación. Tal es el caso de los sistemas eléctricos aislados que utilizan energías renovables que son una opción emergente y técnicamente confiable para la provisión de energía eléctrica en estos casos. Los elementos que pueden componer el sistema híbrido son: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, turbina hidráulica, pila de combustible, tanque de hidrogeno y electrolizador, además de baterías, regulador de carga de las baterías, inversor (convertor DC/AC), rectificador (convertor AC/DC) y generador AC (DC: corriente continua).

Las cargas del sistema pueden ser: Cargas eléctricas en corriente alterna (AC): aparatos eléctricos que consumen energía eléctrica AC. Cargas eléctricas en DC: aparatos eléctricos que consumen energía eléctrica, cargas de Hidrógeno (producción de H₂ para consumo externo a la instalación, para alimentar vehículos eléctricos basados en pila de combustible), consumo de agua procedente de un depósito de abastecimiento, agua que será previamente bombeada por una electrobomba desde un pozo o río hasta el depósito.

F.Principales herramientas aplicables

Se puede incluir generador fotovoltaico, aerogeneradores, turbina hidroeléctrica, generador auxiliar (diesel, gasolina), inversor o inversor-cargador, baterías (plomo-ácido o litio), cargador y regulador de carga de las baterías, así como componentes del hidrógeno (electrolizador, tanque de hidrógeno y pila de combustible). Ithoga puede simular y optimizar sistemas de cualquier tamaño.

G.Descripción del Sistema Eléctrico Aplicación del Método a Optimizar

Este trabajo incluye la construcción de: dos estaciones de rebombeo en los Oleoductos de Cabrutica, seis tanques de almacenamiento para diluyente y crudo diluido, asimismo las conexiones a las instalaciones existentes de medición y fiscalización de crudo y bombeo.

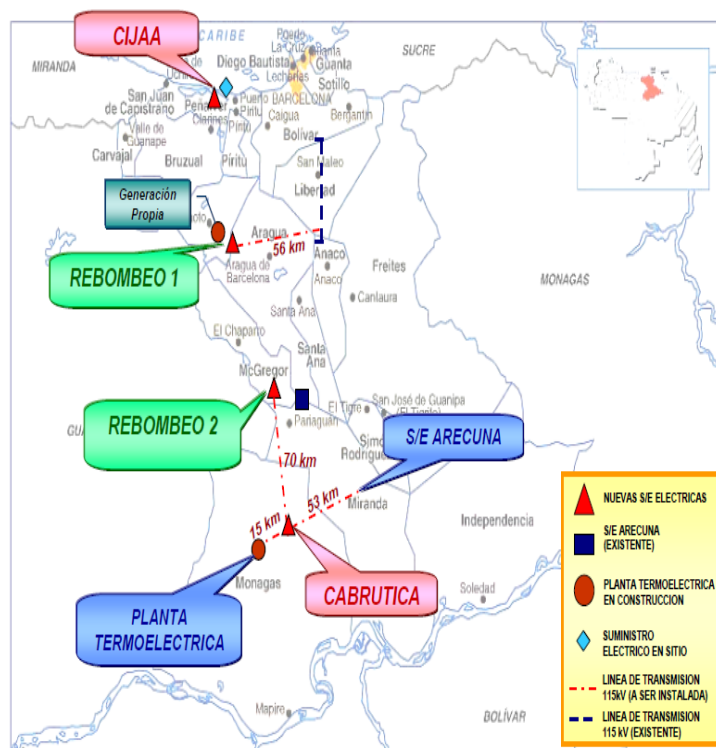


Fig. 1. Suministro Eléctrico.

H. Subestación eléctrica (S/E)

La estación de rebombeo I (Figura 1) comprende la incorporación de cinco (05) bombas principales de crudo diluido y cinco (05) de diluentes. La nueva S/E RBI (Aragua de Barcelona) 115/34.5/4.16 kV estará ubicada en la progresiva Km 70 aproximadamente, en el Municipio Aragua de Barcelona (Figura 2). Las coordenadas de ubicación son Norte: 1048433.878 y Este: 289614.842, para la puesta en servicio de la misma se requiere:

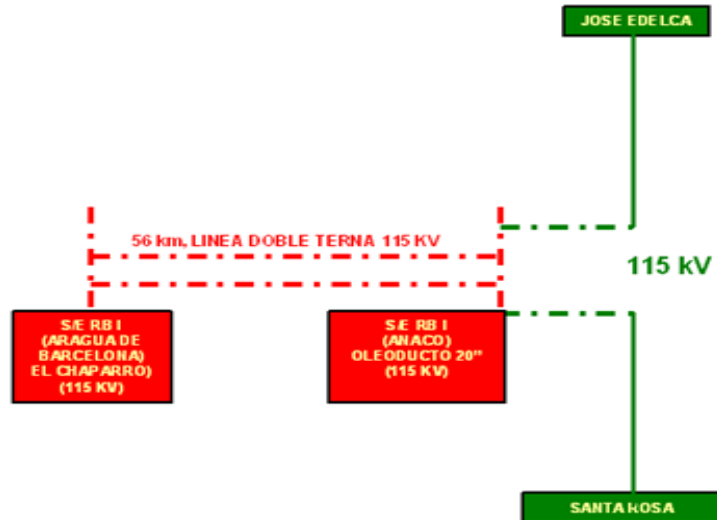


Fig. 2. Suministro Eléctrico para la Sub Estación RB I.

- Construcción de la S/E RBI con todo su equipamiento de protección e interconexión necesarios, configuración dos (2) anillos combinados en bajo perfil.
- Construcción de dos (02) salidas/llegadas de líneas provenientes de la línea de 115 KV.
- Construcción de dos (02) salidas/llegadas de líneas en 115 kV de reserva, para futura interconexión y/o anillar al sistema interconectado de la estatal petrolera, para aumentar confiabilidad en el sistema.
- Construcción de dos (02) salidas para transformación, los transformadores serán en 115/34.5 kV 75/100/125 MVA c/u.
- Instalación de dos (02) transformadores 34.5/4.16 kV 25 MVA c/u. Sistema de Distribución de Potencia de 34.5 Kv.
- La S/E estará conformada por Interruptores en 115 kV, Seccionadores doble apertura en 115 kV, seccionadores de apertura central en 115 kV, Transformadores de Potencial (TP) en 115 kV y pararrayos en 115 kV.

I. Alternativas de suministro eléctrico

Se prevé alimentar a la nueva Estación de Rebombeo de Aragua de Barcelona a través de una línea doble terna 115 kV proveniente de la futura Subestación de Rebombeo del Oleoducto de 20 pulgadas Palmichal-PTO-Morichal ubicada a 56 km de distancia de la misma, la cual será alimentada a su vez en 115 kV mediante la apertura de la línea de transmisión Jose-Santa Rosa.

J. Datos de la Demanda

Se toman en cuenta los servicios de aire acondicionado requeridos por la caseta de mando y la caseta de vigilancia, la misma es estimada utilizando factores de demanda en función del área que se requiere iluminar o acondicionar.

La tabla I corresponde a los servicios auxiliares en corriente alterna requerido por los diferentes equipos y sistemas a ser implementados en las subestaciones. Los mismos han sido calculados utilizando valores típicos suministrados por fabricantes de equipos y sistemas.

Tabla I. Áreas auxiliares necesarias en las subestaciones.

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	DENSIDAD DE CARGA ASUMIDA (VA/m ²)	ESTIMADO DE CARGA (VA)	OBSERVACIONES
Subestación Eléctrica	14.400,00	2,5	36.000,0	Iluminación Exterior
Casa de Mando (Iluminación)	1.280,00	2,5	3.200,0	Iluminación Interior
Área de Transformadores	120,00	2,5	300,0	
Casa de Mando (Tomacorrientes)	1.280,00	5,0	6.400,0	Tomacorrientes
Caseta de Vigilancia	25,00	5,0	125,0	Iluminación Interior
Vialidad	480,00	1,0	480,0	
Área de reserva disponible	1.215,00	1,5	1.822,5	
Cuarto de Equipos Electricos (A/A Casa de Mando)	480,0	350,00	168.000,0	Aire Acondicionado
Cuarto de Control (A/A Casa de Mando)	400,0	300,00	120.000,0	
Área ADM/C-AT (A/A Casa de Mando)	400,0	150,00	60.000,0	
Caseta de Vigilancia (A/A)	20,0	150,00	3.000	Aire Acondicionado
TOTALES			399.328	

III.METODOLOGÍA

Cumpliendo con los lineamientos establecidos para el diseño de subestaciones eléctricas de la estatal petrolera de Venezuela establecidos en las normas N-252 Especificaciones Generales para el Diseño en Ingeniería Eléctrica IEEE 141 Recommended Practice for Electric Power Distribution for Plants y considerando la mejor opción que se ajuste a los requerimientos de confiabilidad para mejorar el sistema de distribución se presentan la siguiente alternativa mostrada a continuación.

Como premisa se considera la alternativa común a todas las instalaciones de bombeo y rebombes, la autogeneración mediante un Estudio de Factibilidad Eléctrica para la Estación RBI, en la que se recomienda la evaluación de generación propia en las áreas. Con esto se mejoraría los niveles de confiabilidad y calidad del sistema eléctrico a nivel 115 KV, que comprende un proyecto a desarrollar para su factibilidad de implantación y planificación del sistema de generación.

A.Ventajas de los algoritmos genéticos

Una de las principales ventajas de los AG: es un método que puede ser fácilmente aplicable a cualquier problema combinado. No es difícil aplicar una determinada codificación y obtener funciones de evaluación y de aptitud, aun cuando sea escaso el conocimiento del problema que se deba tratar.

Otros modelos de optimización como los algoritmos o métodos enumerativos pueden alcanzar el mínimo o máximo global del problema que se desea resolver, pero si el número de variables de control es muy elevado, entonces no son apropiados por los grandes recursos computacionales que requieren para su aplicación, siendo los tiempos de cálculos inaceptables para efectos prácticos.

Los AG se han aplicado a diversos casos de diseño óptimo de redes de distribución reales de dimensiones significativas, mucho mayores, aplicando los modelos de diseño óptimo mono-objetivo y multiobjetivo, los cuales contemplan una amplia variedad de aspectos relevantes del diseño. Permiten obtener soluciones satisfactorias al ser aplicados a problemas con un gran nivel de complejidad, y con tiempos de cálculo muy bajos.

IV.RESULTADOS

Para los valores de control del Algoritmo Genético se pueden encontrar en [2], donde han propuesto diversos rangos de población, tasa de cruce y tasa de mutación, que fueron tomados para esta investigación:

- Población: 100.
- Tasa de cruce: 90.
- Tasa de Mutación: 0,5% y 2%.

Con estos rangos establecidos y con máximo número de generaciones de 37 para el control del algoritmo se obtiene una generación a partir de la anterior por medio de los operadores de reproducción.

Se determinó que para una tasa de población en el orden de 100 generaciones se obtenían resultados satisfactorios en la investigación bajo estudio, dado de que los mejores individuos de la población representan soluciones suficientemente buenas para la resolución del problema, el tiempo del cálculo es satisfactorio al aumentar el número de generaciones que forman parte de la población. Se determinó que con el 95% de la población se obtiene una solución óptima.

La tasa de cruce influye en el tiempo del cálculo, el cual se incrementa al aumentar la misma. Se determinó que con una tasa de cruce del 90 % como el valor más adecuado, en vista de que con este se obtuvieron los mejores resultados, mejor convergencia del algoritmo y un menor tiempo de cálculo.

La tasa de mutación aporta carácter aleatorio en la búsqueda de soluciones, en la cual se visualizó en el estudio al observar que valores altos originan resultados no satisfactorios al predominar la búsqueda no dirigida frente a la dirigida. Los mejores resultados en el proyecto se originaron con una tasa de mutación de entre 0.5 y 2%, en vista de la influencia de este parámetro en el tiempo de ejecución del algoritmo, se determinó un valor del 1% como el más adecuado, con el cual se disminuye el tiempo del cálculo sin alterar la convergencia del programa.

La energía no servida máxima permitida influye en la restricción principal de energía que demandan la combinación de los componentes y que permite que el sistema autónomo sea capaz de suplir toda la demanda, se determinó que con un valor de 0,3% de la demanda anual de restricción se obtuvieron resultados aceptables, cubriendo la energía total demandada por las cargas.

En la estrategia de control se indica el tipo de seguimiento de demanda de energía y definir distintas variables de control para ser optimizadas, para la realización de esta investigación se tomó como estrategia el Seguimiento de la demanda [12] dando resultados satisfactorios, se incluyeron baterías y generador AC y la energía faltante en las cargas podrá ser suplida por estos equipos.

Caso 1 (Optimización mono-objetivo): Se corrió un total de 15903 casos, de la evolución del costo total de la mejor solución y de las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) equivalentes anuales del ciclo de vida para la mejor solución de cada generación. En este caso de las 15 generaciones evaluadas se obtuvieron los mejores resultados a partir de la tercera generación con un balance menor de Costo Total Neto y emisiones de CO₂ en un periodo de 25 años.

A. Solución óptima del sistema de distribución eléctrica

Se observa en las figuras 3, 4 y 5 la mejor solución óptima encontrada con los componentes del sistema y la actuación de la estrategia de control, costos de los distintos componentes del sistema híbrido, así como el balance de energía. En la misma se muestran los costos del periodo de estudio de 25 años, así como el costo a lo largo de la vida útil si en lugar del sistema híbrido toda la alimentación eléctrica proviniera exclusivamente de la red AC, así como el mantenimiento de los niveles de tensión de +/- 5% como se estipula en la norma petróleos de Venezuela N-206.

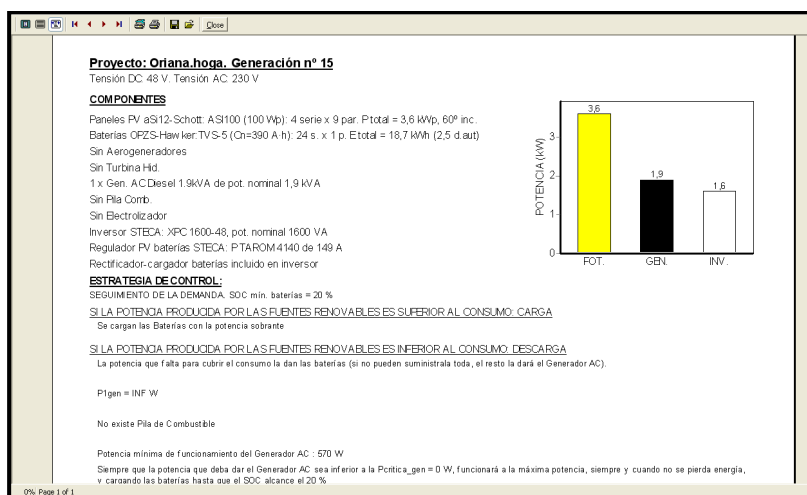


Fig. 3. Mejor solución encontrada (Componentes y estrategia de Control) para la Optimización Mono-objetivo.

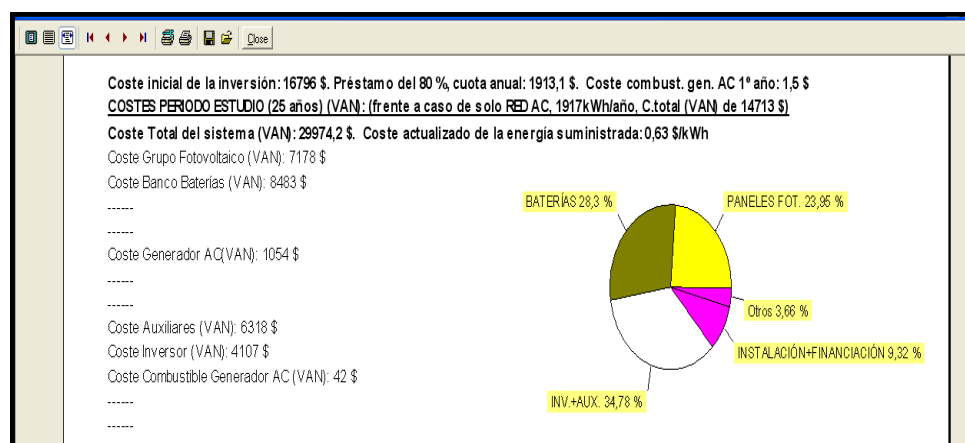


Fig. 4. Informe de la mejor solución encontrada para el costo inicial de la inversión.

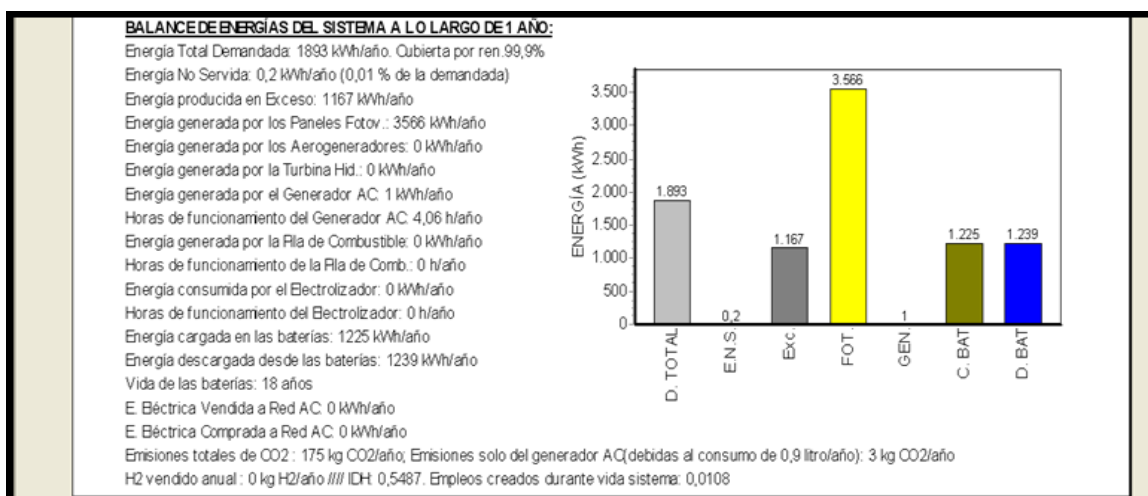


Fig. 5. Informe de la Mejor solución encontrada para el balance de energía del sistema.

Caso 2 (Optimización multiobjetivo): Se corrieron 15903 casos, el cual se refleja el pareto de las soluciones no dominadas entre el costo total de la mejor solución y de las emisiones de CO2 equivalentes anuales del ciclo de vida para la mejor solución de cada generación. En este caso de las generaciones evaluadas no se especifican los datos de la mejor solución, es decir, no se puede decir que una no dominada sea mejor que otra no dominada.

Para ambos casos de diseño óptimo, los componentes del sistema híbrido y de la estrategia de controles óptimos tanto para la subestación RBI y RBII estarán compuestas por un arreglo con:

- Paneles fotovoltaicos para la adecuación de la iluminación exterior y peatonal de la S/E.
- Banco de baterías para garantizar el funcionamiento en caso de emergencia, como una falla de la fuente normal de suministro eléctrico en CA de la carga instalada con una autonomía de 8 horas.
- Dos rectificadores cargadores para operar como un sistema de suministro de potencia de corriente continua en 125 VDC, e inversores con capacidad nominal de 1600 VA, el cual alimentará las cargas de los gabinetes de protección, medición y control, así como los servicios auxiliares DC de los Centros de Distribución de Potencia (CDP) y Centro de Control de Motores (CCM).
- Un Generador eléctrico AC con capacidad nominal de 2 KVA para suplir las cargas en 480 V, correspondiente a los Servicios Auxiliares de Corriente Alterna.

Con los resultados obtenidos, la potencia producida por las fuentes renovables y para suplir el consumo de las cargas en media tensión, la distribución eléctrica sería suplido por un turbo-generador de 115/34,5 con capacidad de 4x5 MW para la autogeneración con filosofía de transmisión (interconexión con otros sistemas) de tipo "TPC" (configuración de barras en anillo combinado, que consiste en un anillo sencillo con conexión reforzada entre dos circuitos opuestos) para las cargas correspondientes a la sala de rebombes en 4,16 KV en la subestación eléctrica

RBI Aragua de Barcelona. Con una vida útil de 25 años, esto de acuerdo con lo estipulado en la norma petróleos de Venezuela N-205 en la que se estipula que la vida útil de los turbo-generadores no deben ser menores a 20 años y con un periodo operacional antes del primer mantenimiento mayor de 5 años, con frecuencia y factor de variación en la tensión de salida de +/- 5% de la tensión nominal.

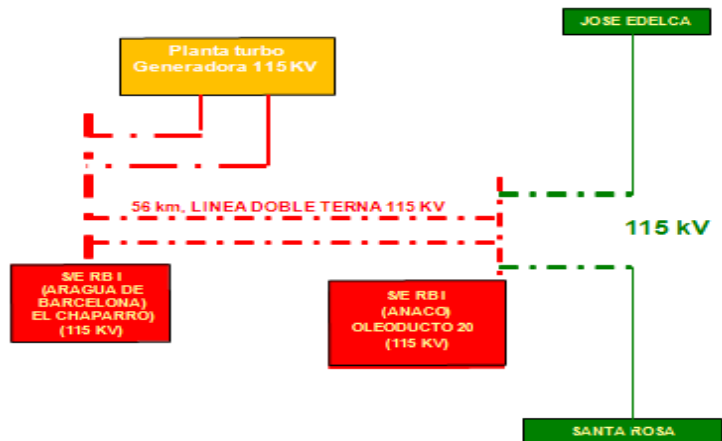


Figura 6. Solución propuesta de Suministro de Energía Eléctrica Sub Estación RB I.

Para garantizar mayor confiabilidad en las operaciones de la S/E Aragua de Barcelona se construyó una línea de transmisión doble terna de 20 KM en 115 KV desde la planta turbogeneradora.

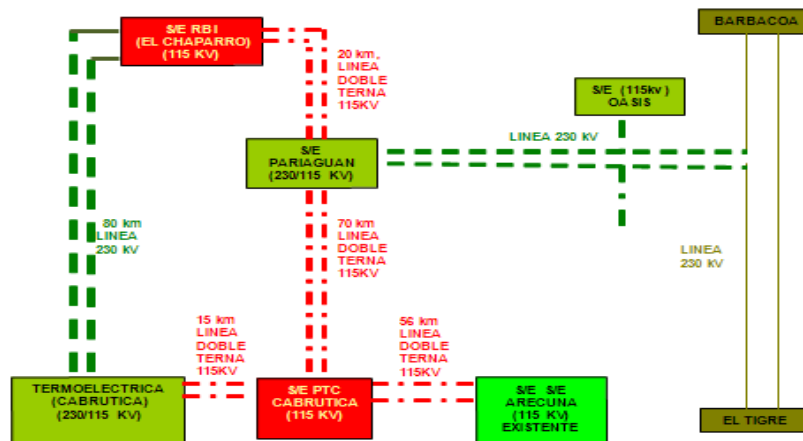


Fig.7. Propuesta para el suministro de Energía Eléctrica Sub Estación RB II.

Para garantizar una mayor confiabilidad en las operaciones de la subestación se realizó la construcción de una línea de transmisión doble terna de 80 KM en 115 KV desde la planta termoeléctrica hasta la nueva subestación eléctrica chaparro (S/E RBII), con esta nueva línea se alimentará las cargas del rebombeo en 4,16 KV y cubrirá la demanda total de la nueva subestación eléctrica (12 MW) y la subestación eléctrica Paria Guán (34 MW).

V.CONCLUSIONES

Se ha obtenido la evaluación con un sistema híbrido aplicando los Algoritmos Genéticos indicando los aportes dentro del diseño y la optimización de sistemas de distribución eléctrica. Los Algoritmos Genéticos son una técnica metaheurística en cuyo proceso de optimización está involucrada la aleatoriedad, que es capaz de encontrar el óptimo o una buena respuesta muy cercana a esta, sujeto a un correcto ajuste de sus factores. Esto significa que en diferentes corridas el programa no necesariamente llega a la misma respuesta. A continuación, se presenta los

resultados y aportes:

Se obtuvo un algoritmo principal con la configuración óptima de diversos componentes: paneles fotovoltaicos, baterías, generador AC, pila de combustible e inversor, que en el caso de la optimización mono-objetivo se logró la minimización de costes totales del sistema a lo largo de su vida útil.

Para cada configuración de componentes que proporciona el algoritmo principal, la estrategia de control o combinación de variables de control, más adecuada para minimizar los costos (mediante el algoritmo secundario).

Se alcanzó un balance de energía del sistema a lo largo de un año con una demanda cubierta de casi 100%, con un porcentaje de energía no servida de un 0,01% de la demanda.

Se determinó que con el arreglo se generó un bajo porcentaje de emisiones de CO₂ y un Costo neto bajo a partir de la tercera generación hasta la 15, dando por concluido que a partir de la tercera generación se recogieron los mejores resultados.

El algoritmo desarrollado plantea la posibilidad bajo la estrategia de control de demanda de cargar el banco de baterías al ser la demanda de las fuentes renovables superior a la carga.

Se realizó el diseño óptimo del sistema de distribución eléctrica mediante la aplicación de algoritmos Genéticos Multi-objetivo, basado en el concepto de dominancia de Pareto. En ella se consideraron dos objetivos: costos totales del sistema y emisiones de CO₂ sujeto a las restricciones planteadas, comparando así mismo los resultados de diseño óptimo mono-objetivo y multiobjetivo correspondientes. El tiempo de ejecución del proyecto fue menor con la incorporación de los Algoritmos Genéticos en comparación con algún otro método de evaluación.

Los algoritmos genéticos constituyen el paradigma más completo de los que presenta la computación evolutiva. Permiten resolver problemas con poco esfuerzo computacional, especialmente en los casos en que otros métodos fallan o suponen unos requerimientos computacionales excesivos. Utilizan una población de individuos, los cuales evolucionan al ser sometidos a una serie de transformaciones mediante unos determinados operadores. Se emulan los procesos de selección natural y de reproducción presentes en la naturaleza, siendo los individuos más fuertes los que sobreviven y procrean a lo largo de la ejecución del algoritmo.

REFERENCIAS

- [1] D. F. Pinzón, «Diseño óptimo de Sistemas de Distribución,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014.
- [2] F. A. Mendoza Lameda, «Diseño multiobjetivo y multietapa de sistemas de distribución de energía eléctrica aplicando algoritmos evolutivos,» Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2010.
- [3] L. Miró Hernández y R. Vizcón Toledo, «Sistema Híbrido Propuesto Para la Generación de Electricidad en un Policlínico,» Revista Avanzada Científica, vol. 9, n° 2, pp. 50-56, 2006.
- [4] J. Lagunas M., C. Ortega S. y P. Caratozzolo M., «Control supervisorio para sistemas híbridos de generación eléctrica basado en lógica difusa,» Boletín UE, Monterrey, 2005.
- [5] J. L. Bernal Agustín, «Aplicación de algoritmos genéticos al diseño óptimo de sistemas de distribución de energía eléctrica,» Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 1998.
- [6] V. Miranda, J. V. Ranito y L. Proenca, «Genetic Algorithms in Optimal Multistage Distribution Network Planning,» IEEE, Porto, 1994.
- [7] I. Ramirez-Rosado y J. Dominguez-Navarro, «Computer Aided Desing of Power Distribution Systems: Multiobjective Mathematical Simulations,» International Journal of Power and Energy Systems, vol. 19, n° 4, pp. 1801 - 1810, 2004.