



## **INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIAS AISLADOS**

(ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE OPERATION OF ISOLATED POWER SYSTEMS)

Armando Tovar  
[tovi61xd@gmail.com](mailto:tovi61xd@gmail.com)  
Corporación Eléctrica Nacional, S.A

### **RESUMEN**

Con el crecimiento exponencial de la tecnología y por la naturaleza de los sistemas de potencia, se requiere que el personal responsable de la operación cuente con las destrezas, aptitudes y experticias necesarias, adaptativas e incremental para la administración de las redes eléctricas. Por ello, mediante la presente investigación se planteó un cambio en la operación de redes eléctricas y desarrollar las herramientas necesarias en base a técnicas de inteligencia artificial con la finalidad de realizar una planeación, administración y operación de los sistemas de potencias de forma autónoma. Tuvo como objetivo principal desarrollar un Sistema de Control de Redes Eléctricas Basado en Inteligencia Artificial, más concretamente basado en un Sistema MultiAgentes (MAS) que realice las tareas del Operador del Sistema hasta el nivel de Distribución. La metodología empleada se fundamentó en tres etapas de desarrollo: estudio del arte y análisis de problema; diseño de la solución e implementación, y experimentación afinándose mediante las recomendaciones indicadas por S. D. J. McArthur, E. M. Davidson, V. M. Catterson, A. L. Dimeas, N. D. Hatziaargyriou, F. Ponci and T. Funabashi (2007),. Los resultados se circunscriben en un modelo practico de una red eléctrica bajo diferentes situaciones, verificando la interacción entre los diferentes agentes modelados y el complemento entre ellos, así como la vialidad de las decisiones tomadas mediante la organización de las pruebas en tres bloques fundamentales: el de programación, tiempo real y control de plataforma.

**Palabras Claves:** Inteligencia artificial, SEP, Multiagentes.

### **ABSTRACT**

With the exponential growth of technology and due to the nature of power systems, it is required that the person responsible for the operation has the necessary skills, aptitudes and expertise, adaptive and incremental for the administration of electrical networks. For this reason, through this research, a change in the operation of electrical networks is proposed and the development of the necessary tools based on artificial techniques in order to carry out planning, administration and operations of power systems autonomously. Its main objective is to develop a Level Electric Grid Control System Based on Artificial Intelligence, more specifically based on a MultiAgent System (MAS) that performs the tasks of the System Operator up to the



Distribution Operator. The methodology used is based on three stages of development, study of the art and problem analysis, solution design and implementation and experimentation, refining through the recommendations in the reference biography by S. D. J. McArthur, E. M. Davidson, V. M. Catterson, A. L. Dimeas, N. D. Hatzargyriou, F. Ponci and T. Funabashi (2007), . The results are circumscribed in a practical model of an electrical network under different situations, verifying the interaction between the different modeled agents and the complement between them, as well as the viability of the decisions made by organizing the tests into three fundamental blocks: that of scheduling, real time and platform control.

**Keywords:** Artificial intelligence, SEP, Multiagent

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de potencia es un conjunto de elementos interrelacionados cuyo objetivo en común es la transferencia de energía eléctrica al usuario final, sea residencial, comercial o industrial. Esta transferencia debe ser eficiente, confiable y segura. Este sistema está conformado por un conjunto de equipos de potencia que van desde la generación de la energía y transporte, hasta distribución al cliente final. Adicionalmente existen equipos para el control, supervisión y protección de todos los procesos descritos.

Estos sistemas de potencia son gestionados por conjunto de personas con tareas definidas conocidos como Operadores; su función principal radica en la predicción de la demanda de energía, programación en la generación, monitoreo en tiempo real de estado de la red (topología, mediciones de parámetros, y maniobras de equipos), con la finalidad de satisfacer la demanda prevista. A su vez, está encargada de evaluar los niveles de seguridad de la red, así como ajustar la operación para satisfacer la confiabilidad definida.

Según Hernández (2015) a nivel de control, estos operadores anteriormente se encontraban en contacto directo con los equipos de potencia, debido a las limitantes tecnológicas existente y a la gran variedad de parámetros a considerar. Con el incremento de la tecnología todos estos datos fueron concertándose en las unidades terminales remota, hasta el punto de poder gestionar en su totalidad las redes eléctricas desde un centro de control. A nivel de predicción y programación se utilizan herramientas clasistas independientes, complementándose con la experticia de los operadores en el análisis, todo estos desde un centro de control.

Sin embargo, con el tamaño y complejidad de la red incrementándose constantemente, las exigencias sobre los operadores comienzan a ser considerables. Zhabelova y Vyatkin(2012) indica que esto se debe a un incremento constante de disponibilidad de la red por parte del consumidor, aumento de restricciones económicas y la introducción de nuevas tecnologías como redes inteligentes y de generación distribuida. Frente a esto es necesario que se complemente este sistema de gestión y control de la red eléctrica.

Se debe proponer un cambio en la operación de redes eléctricas y desarrollar las herramientas necesarias en base a técnicas de inteligencia artificial, garantizando el



cumplimiento de los requisitos fundamentales de estos sistemas, es decir, que sea distribuible, abierto, escalable, autónomo, robusto y preciso.

## METODOLOGÍA

Para hacer frente a esta problemática la metodología aplicada en trabajos de esta índole incluye los siguientes pasos:

- Estudio del Arte y análisis del problema.
- Diseño de la solución.
- Implementación y experimentación.

Con respecto al paso inicial, consiste en estudiar el estado actual de conocimiento del problema, profundizando en los sistemas eléctricas, problemáticas, proyecciones, requerimientos y la identificación de casos de usos. Para el diseño de la solución en primer lugar se identifica las hipótesis como base del diseño, posteriormente asignar las tareas identificadas a tipos de agentes, funcionalidades necesarias a la interacción entre ellos; con todo eso conocido se diseña la solución software adecuada. Por último, se realiza una serie de ensayos con el objetivo de validar la capacidad de la solución realizada, y hacer frente a problemas planteados validando los requisitos iniciales. Para S. D. J. McArthur, E. M. Davidson, V. M. Catterson, A. L. Dimeas, N. D. Hatziargyriou, F. Ponci and T. Funabashi (2007), no existe la metodología ideal, por lo que frecuentemente son mezcladas en relaciones simbióticas, cuya validez viene definida por el paradigma científico en que se situó bajo los argumentos. Se identificaron las pruebas a realizar mediante tres bloques principales:

**Bloque de programación:** en él se generaron las consignas de todas las variables de control discriminadas en la investigación con la finalidad de hacer cumplir los objetivos planteado, se analizaron de forma individual a otros bloques, por la constitución del mismo, puesto que la interacción se ve delimitada por las repeticiones de cálculo cada cierto periodo en caso de una eventualidad en la red segun Abouheaf, Haesaert, y Lewis (2014). Estos ensayos se han dividido en dos grupos de estudios independiente de los algoritmos perteneciente a cada agente, y el comportamiento conjunto de los agentes para diferentes situaciones de análisis.

**Bloque de Tiempo real:** cuya finalidad es mantener los valores de las variables según las consignas generadas por el bloque de programación, así como la toma de decisiones adecuadas en caso de alguna violación de restricciones. Las pruebas de este bloque se limitan en simular casos de usos planteados previamente y determinar si la reacción del sistema cumple con los requisitos establecidos. Es necesario un simulador que imite el comportamiento de una red permitiendo generar diferentes eventos.

**Bloque de Control de Plataforma:** Se ensayarán a partir de casos de uso, los distintos comportamientos implementados bajo plataforma multi agente definidas por Navarro y Julián (2000), resaltando las condiciones que debería cumplir la plataforma desde el ámbito operativo, expuesto anteriormente, y así validar el control autónomo de la misma.



## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente trabajo se modelaron los elementos necesarios para los diferentes algoritmos implementados, es decir, modelo de flujo de potencia, modelo dinámico simplificado de generadores y relés de deslastre de carga, curvas de coste de las unidades generadoras, históricos de demanda. Para ello se utilizó un modelo real como referencia de red, el de la isla de Gran Canaria definido por Hernández (2015). De la misma forma se desarrolló un simulador dentro de la plataforma como un agente adicional, con condiciones de interacción, permitiendo publicar y modificar consignas mediante una interfaz gráfica; con la finalidad de simular los distintos escenarios

### Asignación de unidades

La efectividad del algoritmo de asignación de unidades se valida comparándolo con el caso de estudio con el óptimo global. Esto se hace mediante un método de exploración sistemático, generando todas las condiciones posibles y descartando por orden de vialidad; comparándolo con el del algoritmo y analizando sus ventajas. Para los diferentes periodos, el algoritmo selecciona de manera correcta las unidades necesarias como se puede observar en las tablas del siguiente caso:

Tabla 1: *Resultado de asignación de unidades*

Grupo\Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda	534	455	416	381	356	341	337	338	364	437	480
P. max	652	586	512	512	438	438	438	438	512	586	586
Reserva	117	131	96.1	131	82.2	96.5	101	100	148	149	106
Reserva requ.	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2

Fuente: Hernández (2015)

Tabla 1: (Cont...)



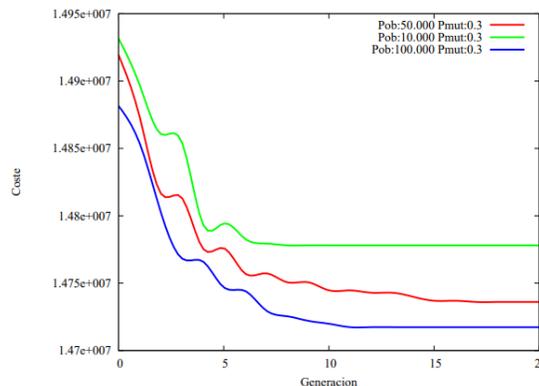
Grupo\Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda	516	544	529	518	524	508	487	480	513	547	627	632
P. max	652	652	652	652	652	652	586	586	652	652	735	735
Reserva	136	107	123	134	128	144	98.9	106	139	105	107	103
Reserva requ.	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	83.2	83.2

Fuente: Hernández (2015)

### Despacho de cargas

En este punto el algoritmo es capaz distribuir las potencias generadas por los distintos grupos. Esta solución fue implementada con base en los algoritmos genéticos, para predecir el comportamiento de la población, bajo diferentes combinaciones de ajuste de los operadores genéticos y tamaño de la población logrando encontrar la más adecuado, en la siguiente figura se puede observar una rápida convergencia del método, así como los mejores resultados para poblaciones de gran tamaño. Descubiertos los parámetros deseados se estudia el resultado final. Se puede observar que es resultado tiene poco margen de maniobras, también que la tendencia del algoritmo es maximizar las unidades de muy bajo coste. La restricción del 95% de la reserva se reparte de forma proporcionada entre los grupos.

Figura 1. Convergencia del algoritmo genético modificando el tamaño de la población.



Fuente: Hernández (2015)



Tabla : *Despacho de carga*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19.5	19.5	17.6	19.5	19.5	16	19.5	19.5	19.5	19.2	19.5	19.5
19.5	19.5	19.5	18.1	19.5	18	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
70.5	70.1	67.5	70.5	70.5	65.8	67.4	66.7	70.5	65.2	70.5	70.5
70.5	70.5	69.8	70.5	70.5	68.4	68.7	70.5	70.5	70.5	70.5	70.5
21.4	22.4	21.7	21.4	22.6	21.3	21.6	21.5	21.3	21.8	21.6	21.7
21.2	22.4	21.7	21.4	22.6	21.3	21.6	21.5	21.3	21.8	21.4	21.7
59.7	61.3	62.6	51.3	65.3	65.3	53.2	53.2	40.8	45.6	51.3	65.3
53.6	48	65.3	52.2	65.3	65.3	65.3	65.3	65.3	43.9	65.3	65.3
65.9	62.9	70.3	56.2	0	0	0	0	35	63.7	70.4	29.4
70.4	58.1	0	0	0	0	0	0	0	66.3	70.4	70.4
62.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62.1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Hernández (2015)

Tabla 2 (Cont...)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
19.5	19.5	17.6	19.5	19.5	16	19.5	19.5	19.5	19.2	19.5	19.5
19.5	19.5	19.5	18.1	19.5	18	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
70.5	70.1	67.5	70.5	70.5	65.8	67.4	66.7	70.5	65.2	70.5	70.5
70.5	70.5	69.8	70.5	70.5	68.4	68.7	70.5	70.5	70.5	70.5	70.5
21.4	22.4	21.7	21.4	22.6	21.3	21.6	21.5	21.3	21.8	21.6	21.7
21.2	22.4	21.7	21.4	22.6	21.3	21.6	21.5	21.3	21.8	21.4	21.7
59.7	61.3	62.6	51.3	65.3	65.3	53.2	53.2	40.8	45.6	51.3	65.3
53.6	48	65.3	52.2	65.3	65.3	65.3	65.3	65.3	43.9	65.3	65.3
65.9	62.9	70.3	56.2	0	0	0	0	35	63.7	70.4	29.4
70.4	58.1	0	0	0	0	0	0	0	66.3	70.4	70.4
62.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62.1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Hernández (2015)

### Evaluadores-Correctores

De acuerdo al tipo de violación el algoritmo tiene un comportamiento específico. Durante la ejecución de violaciones en N se comparan los flujos de potencias con los valores máximos permitidos por cada elemento. Para el caso simulado con

mínima tensión en 5 nudos, el agente evaluador calcula una pérdida de 212.48MW de demanda y el correcto modifica las consignas de tensión de los generadores, corrigiendo las violaciones.

Tabla 3: *Respuesta del agente corrector*

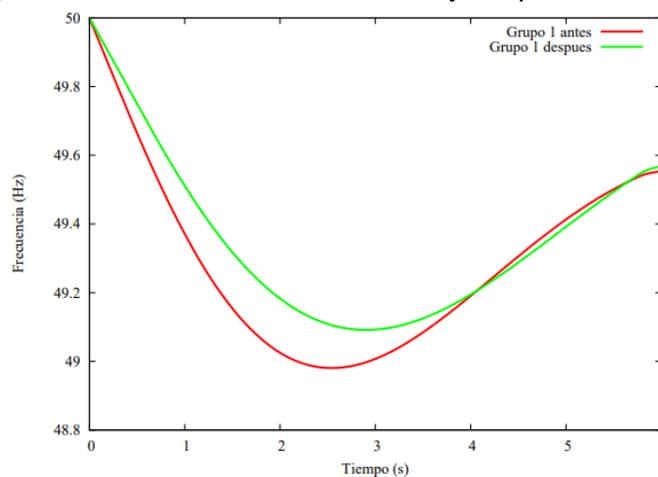
Grupos	V post	V pre
G1	1.0576315	1.05
G2	1.1337787	1.05
G3	1.1824753	1.05
G4	1.036628	1.05
G5	1.1686625	1.05
G6	0.9332421	1.05
G7	1.1722713	1.05
G8	1.0650558	1.05
G9	0.919476	1.05
G10	1.164223	1.05
G11	1.0153818	1.05
G12	1.1185716	1.05
G13	1.078217	1.05

Fuente: Hernández (2015)

### Deslaste de carga

Para este caso se plantea el caso de un valle con menos inercia. En la siguiente figura se muestra la oscilación de frecuencia de un grupo antes y después de la corrección. Con la finalidad de minimizar la cantidad de carga perdida, el algoritmo reduce la consigna de potencia del grupo de riesgo, distribuyendo sobre el resto. con esa modificación no se produce un deslaste y solo se incrementaría un cose del solo 0,85%.

Figura 2. Estado de frecuencia antes y después de la corrección.



Fuente: Hernández (2015)



## CONCLUSIÓN

Se logro comprobar la viabilidad de las variables de control adaptativa, así como el mecanismo correctivo de los métodos de programación aplicados para redes eléctricas reales, es decir, la operación de redes eléctricas se rigue por una programación precisa de las variables de control a tiempo real. A demás se ha mostro los casos comunes en los que se pueda utilizar la red para probar el bloque de programación.

En todas las situaciones simuladas se pudo observar que la independencia de los agentes y protocolos de interacción arroja buenos resultados, en otras palabras, el subdividir el problema complejo para resolver cada objetivo con el empleo se multiagente es adaptativo al tipo de situación.

Para los diferentes escenarios provocados, el agente tomo decisiones concretas para todos los casos posibles y observó el comportamiento en toda la situación, realizando su facilidad y rapidez de convergencia, es decir, estos sistemas son basado en conocimientos y para la toma de decisiones se puede basar en valores cualitativos como la elección de la variable de control. Es necesario realizar el aporte de este trabajo centrado en la toma de decisiones, ligada a una información precisa de entrada frente a una amplia gama de situaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abouheaf, M.I., Haesaert, S., Wei-, L., y Lewis, F.L. (2014). Approximate and reinforcement learning techniques to solve non-convex economic dispatch problems. In Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD), 2014 11th International, 1–8.
- McArthur, S.D.J., Davidson, E.M., Catterson, V.M., Dimeas, A.L., Hatziargyriou, N.D., Ponci, F. y Funabashi, T. (2007). Multi-agent systems for power engineering applications - part II: Technologies, standards, and tools for building multi-agent systems. Power Systems, IEEE Transactions en, 22, 1753–1759
- McArthur, S.D.J., Davidson, E.M., Catterson, V.M., Dimeas, A.L., Hatziargyriou, N.D., Ponci, F. y Funabashi, T. (2007), "Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications — Part I: Concepts , Approaches , and Technical Challenges," Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 22, No. 4, 2007, pp. 1743-1752. doi:10.1109/TPWRS.2007.908471.
- Navarro, V. J. B., & Julián, V. (2000). Agentes Inteligentes: el siguiente paso en la Inteligencia Artificial: el siguiente paso en la Inteligencia Artificial. Novática: Revista de la Asociación de Técnicos de Informática, (145), 95.
- Padrón Hernández, S. (2015). Inteligencia artificial en la operación de redes eléctricas: aplicación a sistemas aislados. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria, España.



Zhabelova, G. y Vyatkin, V. (2012). Multiagent smart grid automation architecture based on iec 61850/61499 intelligent logical nodes. Industrial Electronics, IEEE Transactions en, 59(5), 2351–2362.