



# II Simposio Nacional sobre AUTOMATICA EN LA INDUSTRIA

Organizado por el Comité Español de la IFAC



Editado por: M. SILVA  
Departamento de Automática  
E.T.S. Ingenieros Industriales, Zaragoza

ZARAGOZA, 14-16 Noviembre 1984

# INDICE POR SESIONES

## Sesiones plenarias

<b>Sistema de control centralizado en empresa eléctrica</b> ... ..	3
por don Francisco Javier ARRIOLA ARANA. Jefe del Departamento de Sistemas de Control de Energía de Iberduero. Bilbao.	
<b>Cuestiones de comportamiento dinámico en ingeniería eléctrica</b> ... ..	19
por don Javier ARACIL SANTONJA. Director del Departamento de Sistemas de Control de la ETSI Industriales de la Universidad de Sevilla.	
<b>Robot languages in the eighties</b> ... ..	35
por G. GINI. Dipartimento di Elettronica di Politecnico di Milano. y M. GINI. Department of Computer Science of the University of Minnesota Minneapolis.	

## «SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS DE POTENCIA»

—Proyecto SICL: Un sistema de control local, telecontrol y automatismos para subestaciones y centrales eléctricas. Ventosa, J.; Sánchez, M.; Casals, A.; Rivera, J.; Xampeny, J. ... ..	47
—Estrategias de participación de centrales térmicas en la regulación frecuencia-potencia. Basáñez, L.; Quevedo, J.; Riera, J.; Rivera, J. ... ..	55
—Sistema de telecontrol para redes de distribución de energía eléctrica en el rural. Mandado, E.; Fariña, J.; Bernárdez, J. ... ..	67
—Análisis experimental de un algoritmo numéricamente robusto para estimación del estado en sistemas eléctricos de potencia. Duato, J.; Albertos, P. ... ..	75
—Algoritmo topológico de observabilidad. Aplicación a una red eléctrica de 400 nudos. Crespo, A.; Albertos, P.; De la Puente, J. A.; Alvarez, C. ... ..	81
—Simulador de redes eléctricas. Camacho, E. F.; Franquelo, L. G.; Ferruz, J.; Salgueiro, J. M.; Dávila, B.; Expósito, A. ...	85
—Identificación paramétrica de sistemas de regulación de tensión en centrales hidroeléctricas «Case Study». Munilla, I.; Bertrán, E.; Herranz, L. ... ..	91
—Estudio de sistemas de regulación de frecuencia en centrales hidroeléctricas a partir de modelos experimentales. Bertrán, E.; Herranz, L.; Munilla, I. ... ..	99
—Diseño óptimo en sistemas de alimentación ininterrumpida monofásicos. Lorenzo, S.; Ruiz, J. M.; Delgado, V. ... ..	107
—Control con microprocesador de motores asincronos trifásicos. Albertos, P.; Duato, J.; Valiente, J. M. ... ..	113
—Ahorro energético en los accionamientos de potencia. Sanz, M. ... ..	119
—Puente inversor con transistores MOS de potencia para calentamiento inductivo. Pollán, T.; Roy, A.; Sanz, M. ... ..	127
—Control adaptativo del campo de colectores distribuidos de una planta solar. Rubio, F. R.; Camacho, E. F. ... ..	131

## «MODELOS Y SISTEMAS ROBOTIZADOS»

—Hacia la definición de un sistema de programación y control de robots. Montano, L.; Pardos, P.; Silva, M. ... ..	139
—Cooperación visión-robot en tareas de ensamblaje. Sanfeliú, A.; Torras, C. ... ..	147
—Sistema experimental de guiado de robots industriales por percepción visual. Costa, A.; Costa, J.; Llario, V. ... ..	155

## SIMULADOR DE REDES ELECTRICAS

E.F. Camacho, L.G. Franquelo, J. Ferruz, J.M. Saigueiro, B. Divila y A.G. Expósito

Dpto. de Automática y Electrónica  
E.T.S. Ingenieros Industriales  
Universidad de Sevilla

Resumen. Este artículo presenta un simulador de redes eléctricas para el entrenamiento de operadores de centros de control de las mismas. El simulador es el resultado de una primera fase de un proyecto de investigación de UNESA, e incorpora las funciones fundamentales para redes pequeñas. El simulador se ha implementado sobre un computador de 16 bits y dispone de dos consolas semigráficas para el instructor y operador desde donde se puede actuar sobre la red y seguir la evolución de la misma.

### INTRODUCCION

El conocido apagón de Nueva York de 1977 (Wilson, 1978) puso de manifiesto la necesidad de entrenamiento para los operadores de los centros de control de redes eléctricas. Esta necesidad de entrenamiento fue una de las recomendaciones del IEEE Task Force (1977) que se reunió al efecto.

Desde entonces han aparecido en la literatura diversos trabajos describiendo simuladores de redes eléctricas con vistas al entrenamiento del personal de los centros de control, ver por ejemplo Rodmore (1982), Allan (1982), Walker (1982), Shiota (1983). La aparición de los simuladores se debe al hecho de que un operador debe estar preparado para reaccionar ante situaciones difíciles o de emergencia, que afortunadamente no se dan con frecuencia en los centros de control, por lo que es necesario un instrumento que le habitúe a tomar las decisiones más acertadas en esos instantes críticos.

En este artículo se presenta un simulador de redes eléctricas desarrollado con vistas al entrenamiento de operadores de los centros de control. El trabajo ha sido el resultado de la primera fase de uno de los planes de investigación de UNESA. Esta primera fase tenía como objetivo la evaluación de los requisitos informáticos y posibilidades de estos simuladores. Con objeto de realizar esta evaluación de forma más precisa se realizó un simulador programable de redes eléctricas con las funciones fundamentales. Este simulador ha sido implementado sobre un computador PDP-11/34 y aplicado a una pequeña red con siete subestaciones.

El simulador atiende simultáneamente a dos consolas, una de ellas para el puesto de mando del operador del centro, y la otra para el instructor, con algunas funciones reservadas a esta última.

El simulador muestra un mímico general de la red al comenzar la ejecución, tras pedir el período que se desea simular y el tiempo de simulación asociado.

El operador puede seleccionar una determinada subestación mediante cursor, y el simulador le muestra el diagrama unifilar correspondiente, junto a valores numéricos de variables de interés (tensiones, potencias, etc.). El operador puede actuar sobre estas últimas.

En el simulador actual se han tenido en cuenta las protecciones por sobrecarga de las líneas.

En el siguiente epígrafe se describe la situación actual. El apartado 3 describe el modelo utilizado, que al ser programable puede ser cambiado por otro más complejo.

El apartado 4 comenta los aspectos complementarios que deberán ser objeto de mayor estudio.

### SIMULADOR DESARROLLADO

El simulador de redes se halla implementado en un computador de 16 bits, un PDP-11/34, como ya se indicó anteriormente. La representación gráfica y diálogo con el usuario se realiza a través de terminales semigráficos del tipo VT 101. El computador está dotado de unidades de discos y sistema operativo RSX11M.

#### Software.

El conjunto de programas que componen el simulador, así como sus relaciones, se pueden ver en la figura 1.

Desde el punto de vista funcional podemos dividir los programas que constituyen el simulador en dos grupos: por una parte están aquellos que se ocupan de la representación

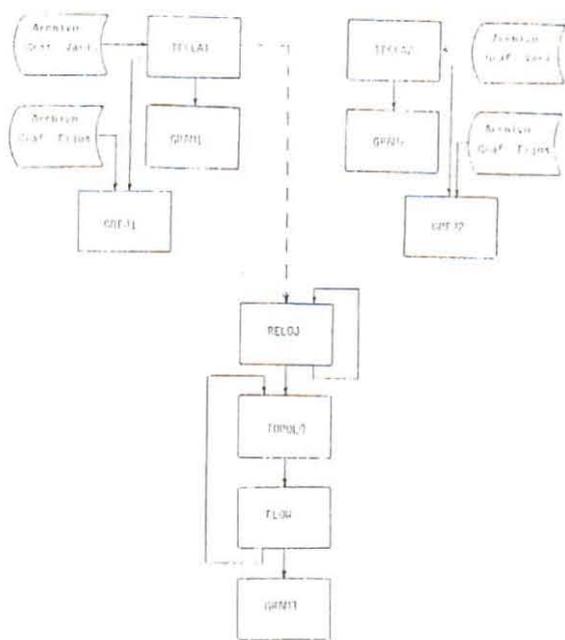


Fig. 1 Conexión de los programas

gráfica y el diálogo con el usuario; por otra tenemos los encargados del cálculo (secuenciamiento, topología, flujo de carga).

Comencemos con los primeros. Como ya se indicó anteriormente, el simulador consta de dos pantallas, una destinada a ser usada por el instructor y la otra por el operador. Son por lo tanto necesarios programas al servicio de uno y otro usuario, marcados con un 1 para el instructor, y con un 2 para el operador. Los programas TECLA están siempre instalados en memoria; se encargan de interpretar las órdenes emitidas a través de los terminales, modificar el estado del sistema y activar a otros programas de representación (GRAM, GRFJ). La diferencia fundamental entre TECLA1 y TECLA2 es que al operador no se le permite modificar ciertas funciones.

Los programas GRAM se encargan de representar el estado de los diversos puntos activos, es decir los puntos de la pantalla con información variable. Los GRFJ son activados cuando es necesario hacer que aparezca en la pantalla un determinado gráfico fijo.

Los programas de representación y diálogo reciben información de archivos, que definen diversas características de los gráficos existentes en pantalla. Los TECLA se encargan de leer, cuando es necesario, los ficheros donde se enumeran los diversos puntos activos y sus características. Los GRFJ acceden al ser activados al archivo donde se encuentra el gráfico fijo a representar.

Pasando al otro grupo de programas (de cálculo) es preciso hacer referencia al carácter cíclico de su funcionamiento. Cada cuatro segundos, TOPOLO estudia la topología de la red, calcula la matriz de admitancias y acti-

va a FLOW en caso necesario. FLOW resuelve las ecuaciones de flujo de carga, modifica el estado del sistema y activa a su vez a un programa perteneciente al grupo de representación: GRAM3. De esta manera aparecen en pantalla los valores actualizados asociados a cada uno de los puntos activos.

El programa RELOJ es el que realiza el secuenciamiento: cada cuatro segundos activa a TOPOLO, recomenzando así el ciclo de cálculo. Aparte de esto, RELOJ efectúa la variación automática de cargas, caso de que esté activada tal opción del sistema.

Modo de operación.

El modo de operación del sistema se describe en la figura 2. Previamente al comienzo de la experiencia, el instructor determinará el escenario que estime oportuno, en lo que se refiere a configuración de la red, curvas de carga y generación, así como actuación de las protecciones. Para posibilitar este cometido del instructor se dispondrá de un programa capaz de definir nuevos escenarios, editarlos y almacenarlos en memoria.

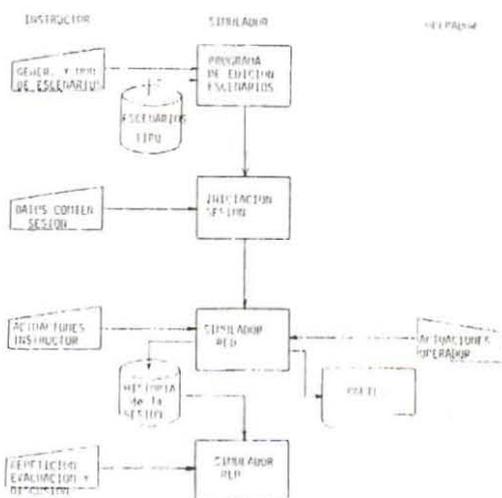


Fig. 2 Modo de operación del simulador

A continuación, el instructor seleccionará los tiempos de simulación mas convenientes, y dará comienzo la experiencia. El operador manejará la red simulada desde el otro terminal, bajo la vigilancia del instructor. El conjunto de la sesión podrá quedar almacenado en un dispositivo de memoria externa, donde se detallarán las acciones llevadas a cabo.

Esta última posibilidad permite realizar repeticiones de la experiencia, que el instructor podrá aprovechar para discutir con el operador las incidencias y maniobras llevadas a cabo, comentar sus consecuencias y corregir los errores. Para ello podrá imponer pausas en el proceso de simulación.

### EJEMPLO DE PRUEBA.

Para comprobar el funcionamiento del simulador se ha empleado una pequeña red con siete subestaciones (tres de baja y cuatro de alta), cuatro líneas, tres transformadores, tres generadores y siete cargas.

Aunque la red escogida es pequeña, permite analizar la mayor parte de los problemas que estos simuladores presentan. Se decidió utilizar esta red para evitar en un principio los problemas de capacidad de memoria y tiempo que daría una red real con unas cien subestaciones, ya que lo que se pretendía con el ejemplo era comprobar el funcionamiento del esquema del simulador, mientras que las posibles mejoras de los programas de cara a los problemas de tiempo y memoria se estudiaron independientemente.

El esquema general de la red es el representado en la figura 3. Como puede observarse se trata de un esquema simplificado de la red que no muestra los estados de los interruptores y seccionadores de las distintas subestaciones.

Los mímicos correspondientes a los embarrados pueden verse en las figuras 4 y 5. Para las subestaciones de alta (1, 2, 4, y 6) se adoptó un esquema de doble barra y para las de baja (3, 5, y 7) esquema de doble barra partida.

Al ejecutar los programas se parte de unos datos que serán fijos durante todo el proceso y otros que son simplemente valores iniciales, pero que se pueden cambiar desde las pantallas. Los datos fijos corresponden a los parámetros de las líneas (resistencia, inductancia, conductancia y susceptancia por unidad de longitud), los parámetros de los transformadores (resistencia, inductancia, y relación de transformación), y los límites de potencia reactiva de los generadores. Los valores iniciales que se proporcionan son las tensiones y las potencias activas de los generadores, las potencias activa y reactiva de las cargas, y el estado de interruptores y seccionadores. Los datos que se proporcionan están almacenados en un fichero, y son los siguientes:

LINEAS						
Subestaciones	R	X	G	B		
2 4	0.015	0.092	0.	0.0905		
1 4	0.023	0.138	0.	0.1355		
2 6	0.023	0.138	0.	0.1355		
1 6	0.015	0.092	0.	0.0905		

### TRANSFORMADORES

Subestaciones	R	X	RT
7 2	0.0012	0.015	1.
4 3	0.001	0.012	1.
5 6	0.002	0.024	1.

### GENERADORES

Subestación	P	Q <sub>máx</sub>	Q <sub>mín</sub>	V
7	*	10.	-10.	1.
5	2.	1.4	-1.	1.05
3	3.	4.	-3.	1.05

\* El generador de la subestación 7 será normalmente el de referencia (slack).

Con este ejemplo se han hecho operaciones como desconectar una línea, alimentar dos líneas independientemente a través de las dos barras de una subestación, o aislar una subestación y el simulador ha respondido adecuadamente.

### CONCLUSIONES

Se ha descrito la primera fase de un proyecto consistente en la realización de un simulador de redes eléctricas con vistas al entrenamiento de operadores de los centros de control de las mismas. En esta primera fase se ha realizado un simulador con las funciones fundamentales y aplicable a redes de dimensiones reducidas. Estas limitaciones vienen impuestas por la capacidad de memoria y potencia de cálculo del computador sobre el que se ha implementado. Utilizando las mejores técnicas conocidas para resolver el flujo de carga (desacoplo, matrices vacías, ordenación óptima) se necesitan más de 7 segundos para resolver el problema de un sistema con 100 barras. Esto implicaría tiempos de refresco de información superiores a los normales en los centros de control.

Como desarrollo futuro de este trabajo está previsto en fases sucesivas implementar el simulador sobre un computador de mayor potencia de cálculo, así como la incorporación de aspectos dinámicos y funciones complementarias como las de determinación de equivalentes externos, introducción de escenarios en forma interactiva, etc.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su mas sincero agradecimiento a la Compañía Sevillana de Electricidad, así como a Jose Carlos Serrano, Luis Perez Carrera y Javier Alonso por sus sugerencias y comentarios.

## REFERENCIAS.

- Allan, R.N. y otros.(1982). Reliability evaluation of distribution systems using graphic-based interactive computational methods. IEEE Trans on PAS, vol 101, n.1, pp 212-218.
- IEEE Task Force.(1977). The problems of operator training. IEEE PES Summer Meeting. Proc. Mexico City.
- Rodmore R. y otros(1982). An advanced dispatcher training simulator. IEEE Trans. on PAS, vol 101,n.1, pp 17-23.
- Shiota H. y otros(1983). Development of training simulator for power system

operators. IEEE Trans. on PAS, vol 102, n.10, pp 3439-3445.

Walker L.M. y otros(1982). Dispatch operator training program. IEEE Trans. on PAS, vol 101, n.9, pp 3342-3348.

Wilson G.L. y P. Zarakas(1978). Anatomy of a blackout. IEEE Spectrum, feb, pp 39-46.

## SUMMARY

This paper presents a dispatch operator training simulator. The simulator is the result of a first stage of an UNESA research project, and incorporates the main functions for small electrical networks.

The simulator has been implemented on a 16 bit minicomputer and handles two semigraphic consoles. One of them for the instructor and the other for the operator. The state of the network is represented graphically on the consoles and operations on the network can be done with the keyboards attached to the consoles.

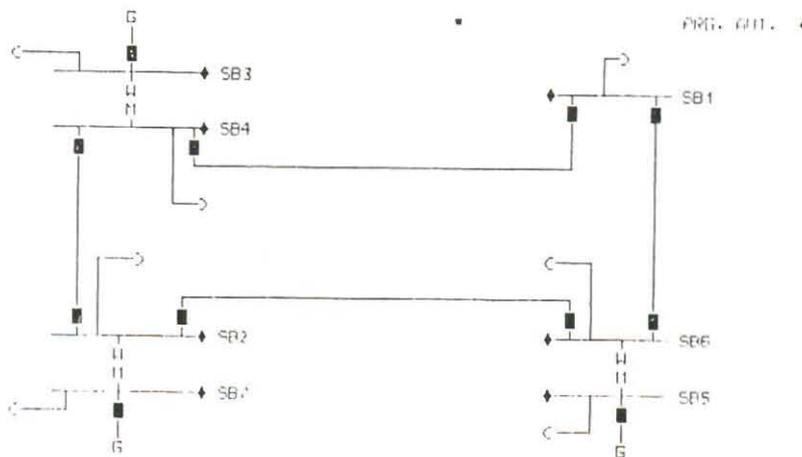


Fig. 3 Esquema general de la red

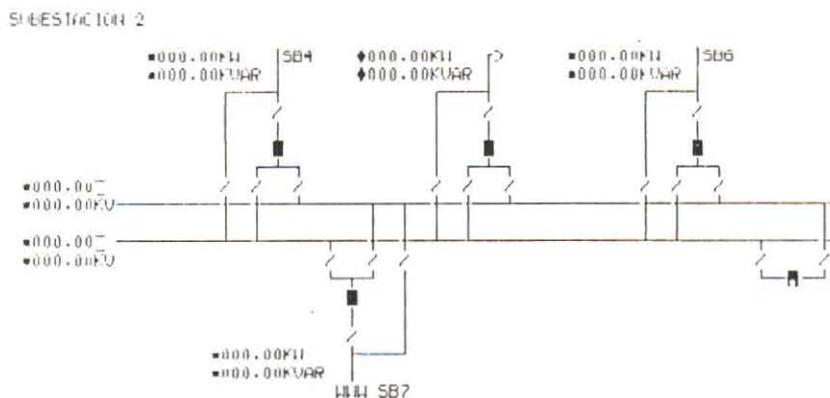


Fig. 4 Embarrado de alta

Fig. 5 Embarrado de baja

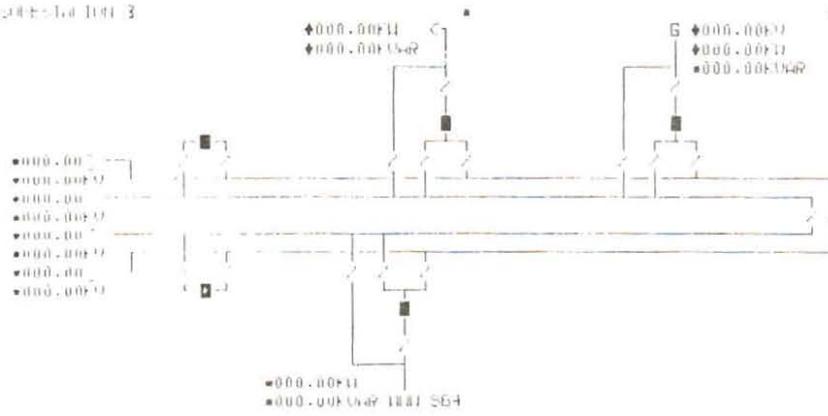


Fig. 5 Embarrado de baja