

memoria



Fotografía Mario Rios

Innovación en métodos computacionales en la Universidad los Andes

Hernando Durán^a

En 1967, se presentó en el *Winter Power Meeting* de la IEEE, en Nueva York, lo que constituyó tal vez el avance más importante en esa década respecto a métodos computacionales para calcular flujos de potencia en redes eléctricas de centenares de nodos y para resolver sistemas de ecuaciones lineales y no lineales de gran tamaño [1]. Hasta ese entonces, los flujos de carga más grandes que se podían resolver no pasaban de sistemas de decenas de nodos.

El origen de este avance fue, como siempre, una idea muy sencilla: utilizar el método de Newton (Newton-Raphson) —conocido y estudiado en textos de análisis numérico desde hacía mucho tiempo atrás, pero no usado antes para resolver sistemas de ecuaciones no lineales de gran tamaño— debido a que su aplicación requería primero poder resolver eficaz y eficientemente sistemas de gran número de ecuaciones lineales simultáneas utilizando el computador electrónico. Para lograr esto fue clave el hecho de que en una red de potencia eléctrica —como en muchos otros tipos de red un nodo (subestación)— está conectado sólo un

número pequeño de nodos vecinos, el cual usualmente se puede contar con los dedos de la mano, comparado con el número total bastante más grande de nodos de la red. Lo anterior, a su vez, implicaba ordenar, organizar y procesar la información correspondiente a esas ecuaciones e incógnitas con el fin de que, al utilizar el método más sencillo para resolver sistemas lineales de N ecuaciones con N incógnitas (conocido como eliminación gaussiana y que se enseña en el bachillerato), se realizase inteligentemente sin desperdiciar ni un ápice de la memoria, ni del tiempo del computador. Esto puede parecer completamente trivial hoy, pero hace poco más de cuarenta años no lo era.

Asistí a la presentación y discusión de este importante trabajo porque en ese mismo congreso presenté mi primera investigación [2], realizada durante el año anterior en la Universidad de los Andes por *motu* propio y en ratos libres, pues apenas se iniciaba el desarrollo de la cultura de la investigación en la Facultad de Ingeniería y aún no existían los presupuestos semilla para investigación que existen hoy.

^a Ingeniero eléctrico, Ph.D. Profesor titular jubilado, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Bogotá D.C. Colombia.

✉ hduran@uniandes.edu.co

El impacto de la novedosa aplicación del método de Newton al cálculo de los flujos de potencia fue reconocido por los asistentes el *Winter Power Meeting* de la IEEE de 1967 y durante muchos años después. Así mismo, al grupo de profesores del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes y a mí, personalmente, nos abrió nuevos horizontes de investigación.

En 1973 el Departamento de Ingeniería Eléctrica tuvo la oportunidad de celebrar el contrato “Operación Económica” con la Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica CORELCA [3]. Su objetivo era desarrollar e implementar un conjunto de herramientas de computador que ayudaran a los profesionales y al personal encargado de la planeación y operación del sistema de potencia eléctrica, de propiedad de CORELCA, a realizar las actividades de análisis de la red y de optimización de la generación de energía eléctrica en las diferentes plantas térmicas ubicadas en la región de la Costa Atlántica. Se desarrollaron e implementaron tres programas de computador: “Flujo de Carga”, “Flujo de Carga Óptimo” y “Selección de Unidades de Generación”.

El gerente de CORELCA en ese entonces, el ingeniero Antonio Pretelt Emiliani —egresado del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Uniandes, en el primer grupo que terminó todo el pregrado en Colombia— era consciente de la necesidad de modernizar la gestión técnica de las empresas del sector eléctrico colombiano y de introducir los novedosos métodos computacionales ofrecidos por los computadores electrónicos, los cuales se comenzaban a instalar en Colombia para llevar a cabo principalmente rutinas administrativas.

El programa de “Flujo de Carga”, desarrollado en la Universidad para CORELCA, introdujo la innovación descrita al comienzo de este artículo y constituyó, además, un claro avance con respecto a los programas comerciales de flujo de carga recién instalados en empresas (como la de Energía Eléctrica de Bogotá) y que, por su puesto, escapaban al alcance de lo reali-



Fotografía Mario Rios

zable por la consultoría colombiana en ese momento. Este logro se debió en gran parte a que la Facultad de Ingeniería cumplía en 1973 dos lustros de haber instalado el primer computador electrónico que hubo en una universidad colombiana. También, durante ese lapso se habían introducido los primeros cursos de programación de computadores y de métodos numéricos de computación y, por tanto, profesores, estudiantes y egresados estaban familiarizados con el uso del computador en aplicaciones de ingeniería [4].

El programa de “Flujo de Carga usando el método de Newton”, desarrollado por Tinney y Hart, ingenieros de la Bonneville Power Administration (BPA) de Estados Unidos, se comercializó más tarde y su uso se extendió rápidamente. En 1975 llegó a Colombia, traído por el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica ICEL, entre otras empresas.

Por su parte, el “Flujo de Carga Óptimo” es un programa que les da la opción a los operadores de minimizar el costo total de operación. En el caso de CORELCA, se minimiza el costo de las diferentes centrales térmicas, al escoger las unidades más eficientes en términos del costo de combustible y tipo de tecnología de generación (carbón, ACPM o gas)

para asignarles su generación, teniendo en cuenta los límites operativos de todo el sistema (niveles de tensión, ratesos de los aparatos eléctricos, etc.) y las pérdidas de potencia eléctrica por disipación de calor en las líneas y en los transformadores.

Este programa fue también innovador. Los métodos que se utilizaban para resolverlo entonces eran usualmente métodos de gradiente que no permitían aplicarlo eficazmente en sistemas grandes. Con base en la experiencia lograda al desarrollar el programa de “Flujo de Carga”, se decidió utilizar el método de Newton para resolver el nuevo sistema de ecuaciones al que daba lugar el flujo óptimo, con excelentes resultados, aun cuando no se utilizó en sistemas eléctricos grandes. Los resultados de este desarrollo se presentaron en la conferencia del *Power Industry Computer Applications* PICA de 1973. El método de Newton para resolver el problema de flujo óptimo se convirtió años más tarde en el método más eficaz de resolver el flujo óptimo [5].

Finalmente, el programa de “Selección de Unidades de Generación” elaboró tablas dinámicas para cada hora de selección de las unidades de generación de las plantas térmicas, de acuerdo a su estado: apagada, banqueada, rodando sin carga o en línea con carga. Lo anterior, con el objeto de minimizar los costos totales de operación en todo el día, sin tener en cuenta la red eléctrica ni las pérdidas, pero considerando la variación de la demanda total en cada hora –los costos de producción de energía (combustibles), los costos y tiempos de encendido (ya que en las plantas a carbón es necesario realizar un proceso costoso de encendido de las calderas de varias horas), las características de las unidades y el estado inicial de las unidades (pues el costo y el tiempo de encendido dependen del número de horas que la unidad ha estado apagada)–. En la programación de esta función se aplicaron varias técnicas de programación dinámica.

En la ejecución de este proyecto participaron, además del autor de esta Memoria, varios profesores del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universi-

dad de los Andes de ese entonces: Álvaro Maldonado, Germán Cavalier y Renato Céspedes.

La Universidad de los Andes al realizar hace cerca de cuarenta años el proyecto de “Operación Económica” se convirtió en pionera en Colombia en la investigación y aplicación de métodos de computación electrónica, aplicados a la operación de sistemas eléctricos de potencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **W. F. Tinney and C. E. Hart.**
“Power Flow Solution by Newton’s Method”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. Vol. PAS-86, November 1967.
- [2] **H. Durán.**
“Optimum Number, Location and Size of Shunt Capacitors in Radial Distribution Feeders A Dynamic Programming Approach”. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-87, September 1968
- [3] “Operación Económica de un Sistema de Potencia”.
Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. 25 Años, Vol. I: Informe Final, Vol. II: Selección de Unidades, Vol. III: Despacho Económico. Bogotá: DIE 73-001, 1973.
- [4] **J.C. Aristizábal.**
“Del 650 al 360: los primeros computadores de la Facultad de Ingeniería”. *Revista de Ingeniería*. Vol. 20, Noviembre de 2004
- [5] **H. Durán.**
“A Simplex-like Method for Solving the Optimum Power Flow Problem”. *Proceedings of the 8th Power Industry Computer Applications Conference*, PICA 1973.
- [6] **D.I. Sun, B. Ashley, B. Brewer, A. Hughes, W.F. Tinney.**
“Optimal Power Flow by Newton Approach”. *Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, October 1984.