

APLICACIÓN DE UN PROGRAMA INFORMÁTICO PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

José María Maza Ortega
Pedro Luis Cruz Romero
Ángel Gaspar González Rodríguez
Manuel Burgos Payán
Manuel Casal Gómez-Caminero
Carlos Izquierdo Mitchell
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla

RESUMEN

En el presente artículo se describe un trabajo de innovación educativa basado en la aplicación de un paquete informático para el diseño y análisis de sistemas eléctricos industriales. La propuesta consiste en la aplicación del programa EDSA Power System Analysis Software como refuerzo a las prácticas tradicionales que complementan a las clases teóricas. Dicha innovación no se plantea como un elemento sustitutivo del método tradicional, sino como un apoyo al mismo, con el que se pueden estudiar casos más complejos.

ABSTRACT

In the present paper a work of educative innovation based on the application of a computer science package for the design and analysis of industrial power systems is described. The proposal consists on the application of EDSA Power System Analysis Software as a reinforcement to the traditional practices which complement to the theoretical classes. This innovation is not considered as a substitute element of the traditional method, but as a support to it, with which more complex cases can be studied.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el crecimiento de la utilización de los ordenadores como recurso didáctico, especialmente en el área de la Ingeniería Eléctrica, como apoyo tanto a las clases teóricas como de problemas y prácticas, es una realidad. Con el ordenador se pueden resolver problemas que sería impensable analizar "a mano", sirviendo, por tanto, como finalización del proceso de aprendizaje. Las clases teóricas exponen el problema y la forma en que se debería tratar, las de prácticas ilustran sencillas aplicaciones para aclarar las teóricas y con el ordenador se puede analizar un caso más real, en el que el alumno puede aplicar los conocimientos adquiridos previamente.

El diseño de la instalación eléctrica de una industria es un proceso complejo, con el que el alumno se va a tener que enfrentar posiblemente en un futuro profesional. El alumno estudia cada uno de los aspectos que hay que tener en cuenta para realizar el diseño de la instalación y los aplica a problemas sencillos. Sin embargo, también sería de utilidad que se enfrentara a un problema de mayor complejidad, más parecido a un caso real para poder aplicar los conocimientos extraídos tanto de las clases teóricas como prácticas. Los problemas reales son más complejos que los normalmente expuestos en las clases como ejemplos o aplicaciones de la teoría, por lo que abordarlos desde el mismo punto de vista, si bien es posible, en muchas ocasiones puede resultar complicado. La utilización del ordenador constituye una buena herramienta para estos problemas, sobre todo teniendo en cuenta la cantidad de programas comerciales de excelente calidad existentes en el mercado hoy en día. Si a esto se unen las extraordinarias capacidades gráficas que los programas actuales disponen para visualizar ciertos aspectos que serían complicados de reflejar tanto en clases teóricas como prácticas, hacen que el uso de herramientas de este tipo sea atractivo para el diseño de instalaciones eléctricas y, en general, para el área de conocimiento de la Ingeniería Eléctrica.

Entroncando con la proliferación del uso del ordenador en la docencia de la Ingeniería Eléctrica (Burgos, 1991; Burgos, 1993; Burgos, 2000), el objetivo del presente Proyecto de Innovación es introducir al alumno en el campo del diseño por ordenador de instalaciones eléctricas industriales. En particular, se pretende mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje de los alumnos mediante la creación de un módulo de diseño de instalaciones que sirva de complemento a las enseñanzas tanto de tipo teóricas como prácticas.

2. OBJETIVOS

La aplicación de esta innovación se realiza en la asignatura de Cálculo y Construcción de Máquinas Eléctricas del 5º curso de Ingeniería Industrial (Especialidad Eléctrica), aunque puede ser aplicada a otras asignaturas como Instalaciones y Medidas Eléctricas, 5º curso de Ingeniería Industrial (Especialidad Eléctrica). En esta asignatura se tratan aspectos fundamentales del diseño de las instalaciones eléctricas industriales tales como la compensación de reactiva y el dimensionado de los interruptores de potencia que deben actuar protegiendo a la instalación frente a posibles faltas de cortocircuito, lo que constituye el objeto de esta innovación. Como aplicación de la parte teórica, se propone a los alumnos una práctica de una instalación eléctrica real en la que deben reflejar los conocimientos adquiridos a este respecto, que debía ser realizada de la forma tradicional, sin el uso del ordenador.

La innovación consiste en la introducción del ordenador en la realización de la práctica, con el uso de un programa comercial de diseño y análisis de instalaciones eléctricas industriales. Dentro de la gran variedad existente en el mercado de este tipo de

programas se ha elegido el EDSA Power System Analysis Software. La elección de este paquete informático se basa fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Da cobertura suficiente a los requisitos del trabajo. De hecho, el programa ofrece multitud de posibilidades al usuario, no sólo cálculo de corrientes de cortocircuito. Entre las más importantes cabe destacar: reparto de cargas equilibrado y desequilibrado, dimensionado de cables, arranque de motores, análisis de contingencias, análisis de armónicos, etc. Por otra parte, hay que tener presente que el programa está diseñado para aplicarse a redes radiales, que son las que habitualmente se encuentran en sistemas eléctricos industriales.

- Presenta un moderado umbral de aprendizaje. El programa propuesto se basa en un entorno gráfico de ventanas bastante estructurado, en el que los datos se introducen con comodidad. El modo de funcionamiento es el habitual para este tipo de programas. En primer lugar, se crea el esquema unifilar de la instalación que se desea analizar, mediante la selección en una ventana de los elementos que lo forman. Posteriormente, seleccionando cada uno de los componentes se especifican sus parámetros, que dependerán del tipo de análisis que se esté realizando. Por último, se indica el análisis que se quiere realizar así como los resultados que se desean obtener, ya sea de forma gráfica en pantalla o en un fichero de salida.

- La licencia universitaria del programa es completamente gratuita. El programa se instala en una red de ordenadores, en este caso en el Centro de Cálculo de la Escuela Superior de Ingenieros, permitiéndose la ejecución a 10 usuarios de forma simultánea.

El presentar un umbral de aprendizaje moderado es fundamental en un paquete informático con un pretendido uso didáctico, ya que de otra forma requeriría dedicar un tiempo de clase excesivo a su aprendizaje por parte de los alumnos, lo que reduciría enormemente su interés como herramienta didáctica.

Hay que destacar que el objetivo de la práctica no es la sustitución del método tradicional de cálculo, sino la comparación de éste con el desarrollado por ordenador. En este sentido, los alumnos deben resolver el problema mediante las dos formas indicadas, comparando los resultados finales de cada método y estableciendo las causas de las posibles discrepancias entre los mismos.

3. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES

Una vez expuestos en clase los fundamentos acerca de las cómo calcular las corrientes de cortocircuito que se pueden establecer en una instalación industrial, y de exponer algunos ejemplos sencillos para ilustrar la parte teórica, se propone al alumno un caso real, que deberá resolver con el método tradicional (Holland, 1945) y con la ayuda del programa comercial EDSA Power System Analysis.

Si bien la ayuda que dicho paquete informático incorpora es excelente, incluyendo videos comentados de cómo utilizar todas las herramientas del mismo, se programa una

clase práctica con ordenador en la que se describe al alumno las características principales del programa y el modo de funcionamiento en sus etapas fundamentales:

- Introducción del esquema unifilar.
- Introducción de las especificaciones de los componentes del esquema unifilar
- Configuración del tipo de análisis a realizar.

Una vez realizada la clase de presentación del programa, el alumno puede desarrollar el trabajo en el horario que le resulte más adecuado, pues existe una sala del Centro de Cálculo que se encuentra disponible a tal efecto.

La práctica finaliza con la entrega de una memoria, antes de la realización del examen de la asignatura, en la que se resuelve el problema planteado mediante los dos métodos propuestos, incluyéndose una comparación de resultados. Con la entrega antes de la realización del examen, se garantiza que el alumno ha tenido un contacto previo e intenso con esta parte de la asignatura, de importancia capital en la misma.

4. EJEMPLO PROPUESTO

Se exponen a continuación los ejemplos que se han utilizado para el desarrollo de la práctica, así como los distintos pasos a seguir para el cálculo de las corrientes de cortocircuito mediante el programa comercial EDSA Power System Analysis. Las instalaciones propuestas se muestran en las figuras 1 y 2. El primer caso corresponde al esquema unifilar de una central eléctrica con tres generadores, dos transformadores que elevan la tensión de generación para proceder al transporte de la energía producida y un transformador de servicios auxiliares de dicha central. El objeto es calcular todos los interruptores de la instalación en función de las intensidades de cortocircuito que se pueden originar en este circuito.

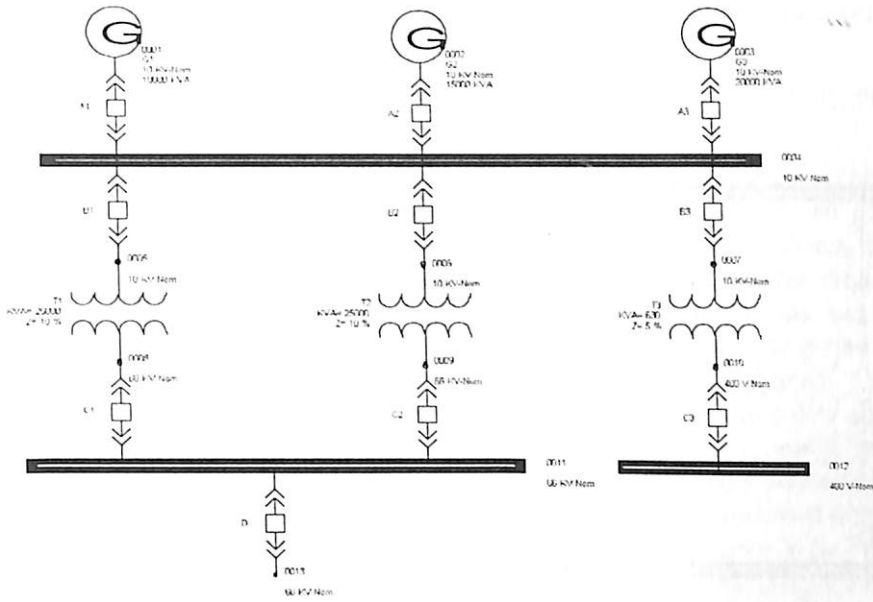


Figura 1. Esquema unifilar de una central eléctrica.

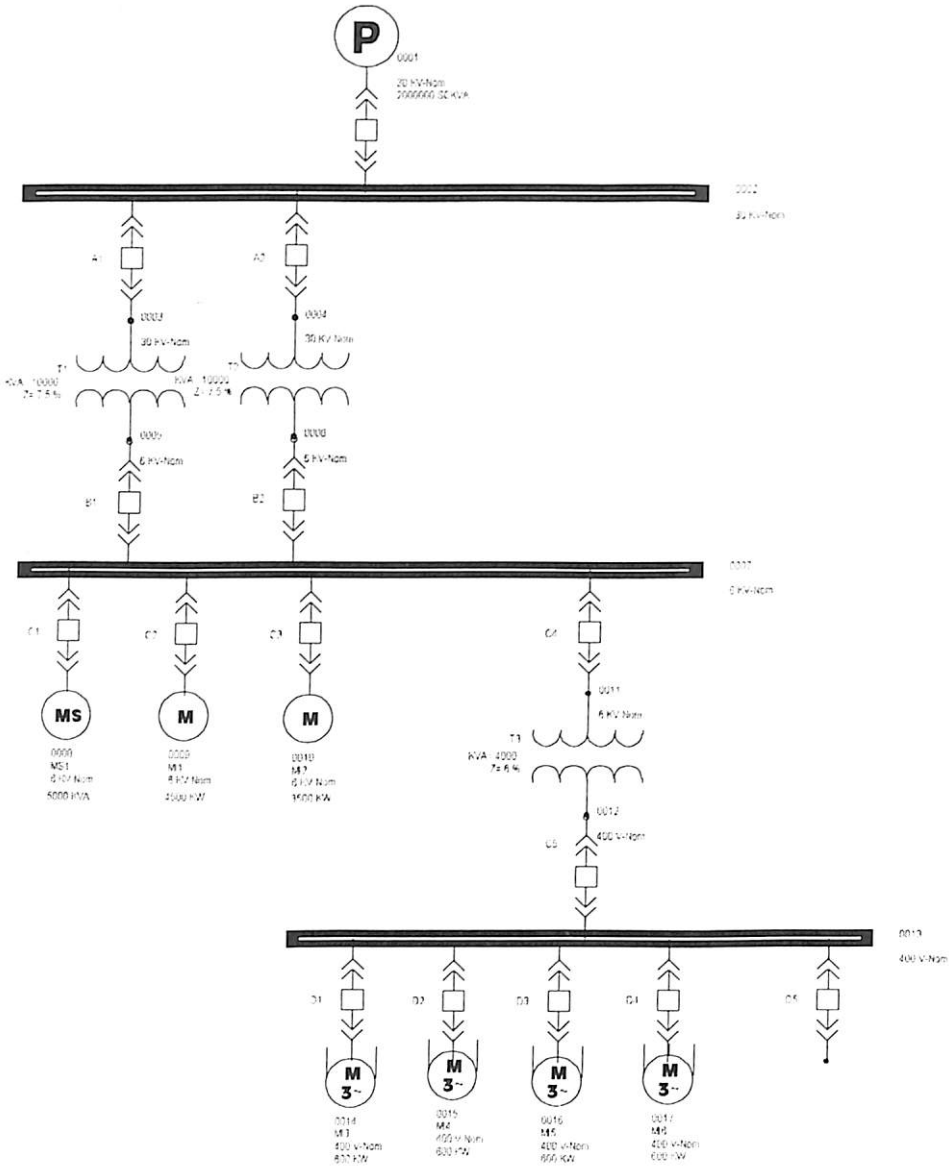


Figura 2. Esquema unifilar de una instalación industrial.

El segundo esquema unifilar (Figura 2) corresponde a una instalación industrial que se alimenta desde una red de distribución de 30 kV a través de un transformador que reduce la tensión hasta un nivel de 6 kV. En dicha barra se tienen instalados un motor síncrono que inyecta reactiva a la red y tres motores de inducción de media tensión, consumiendo las potencias que se indican en el esquema. Además, otro transformador reduce la tensión desde este nivel de 6 kV hasta 380 V alimentando a motores de

inducción y otras cargas de la instalación. El objetivo es el mismo que para el primer caso: dimensionar los interruptores automáticos de la instalación.

Para realizar ambos casos el método de proceder es idéntico, consistiendo en los siguientes pasos:

- Introducción del esquema unifilar. El programa utilizado divide a los componentes del esquema unifilar en dos clases: nudos y ramas. Los nudos son, en general, los elementos que absorben o ceden potencia a la red, tales como generadores, motores de inducción, motores síncronos, condensadores, etc. Las ramas son los elementos que unen a los nudos entre sí, como transformadores, interruptores, líneas, etc. Cada uno de estos elementos se puede seleccionar fácilmente en una paleta, para después disponerlos sobre la zona de la pantalla en la cual se realiza el esquema. La Figura 3 muestra la ventana sobre la que se dibuja el esquema unifilar y la paleta activa, en la parte izquierda de la figura, que en este caso corresponde a los nudos del sistema. Inicialmente se disponen los nudos, que luego se irán uniendo mediante las ramas correspondientes. Un nudo se identifica mediante un número, mientras que las ramas se nombran mediante los nudos extremos que unen. En el caso de la Figura 3, se pueden observar dos transformadores T1 y T2 que son ramas del sistema que conectan los nudos 3-5 y 4-6 respectivamente.

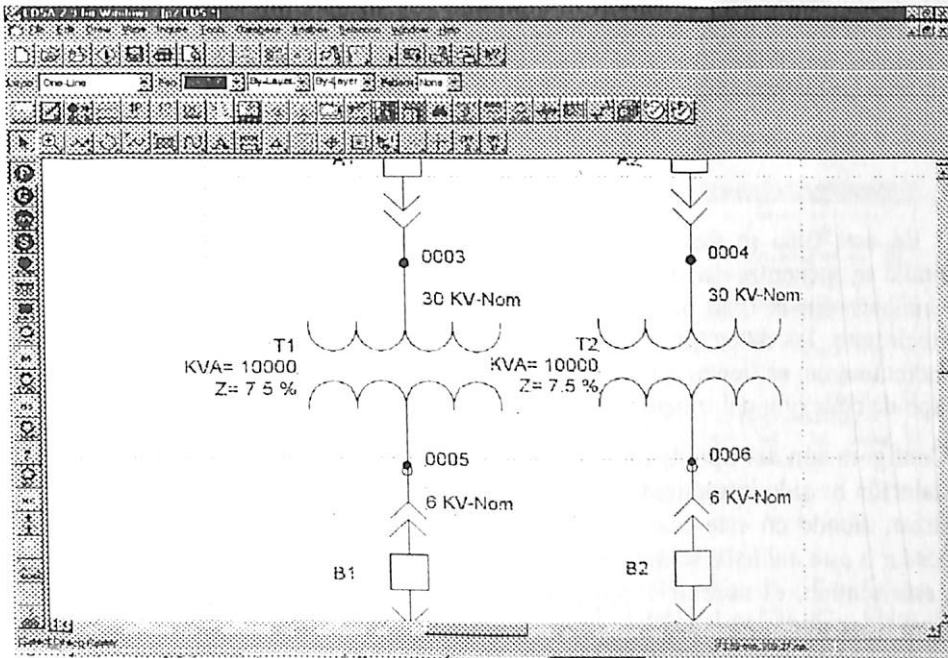


Figura 3. Introducción del esquema unifilar.

- Introducción de las especificaciones de los componentes del esquema unifilar. Cada uno de los componentes, tanto ramas como nudos, del esquema unifilar debe ser especificado según los valores particulares que se presentan en el problema propuesto. En este sentido, cuando se añade un elemento al esquema, se abre una ventana en la que el usuario puede seleccionar de entre una amplia base de datos el elemento que más se adecúa a su caso, para posteriormente particularizarlo completamente en una ventana como la mostrada en la Figura 4.

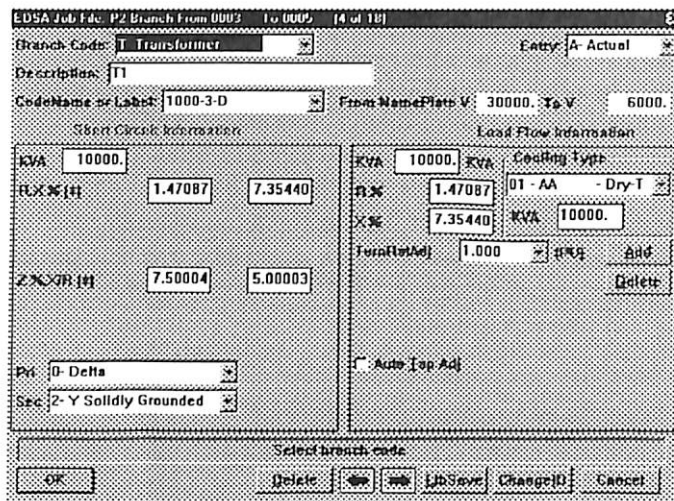


Figura 4. Especificación de los datos de un transformador.

En este caso se tienen los datos de un transformador. Como puede verse, la pantalla se encuentra dividida en dos partes, con datos que se refieren a distintos tipos de análisis. En el caso propuesto, al estar interesados en calcular las corrientes de cortocircuito, los datos que se tienen que rellenar corresponden a la parte izquierda. Concretamente, se tienen que introducir la potencia, la impedancia de cortocircuito y el tipo de conexión del transformador.

- Configuración del tipo de análisis a realizar. Una vez que el esquema unifilar de la instalación ha sido introducido, se procede a configurar el tipo de análisis que se desea realizar, siendo en este caso el cálculo de las corrientes de cortocircuito. Antes de proceder a este análisis, se debe verificar que el esquema unifilar dibujado es correcto. En este sentido, es necesario comprobar que el circuito dibujado es conexo, es decir que no tiene nudos aislados, y que es radial, sin existencia de bucles. Si la prueba de conectividad es superada, entonces se puede comenzar la configuración del análisis de cortocircuito, en una ventana como la mostrada en la Figura 5. Esta ventana está dividida en dos mitades claramente diferenciadas. En la parte izquierda se recogen los

datos que se incluirán en el fichero de salida que genera esta aplicación. En este sentido, es interesante tener en dicho fichero la configuración del circuito y las matrices de impedancias expresadas en por unidad, ya que serán de utilidad para comprobar los resultados de la parte práctica realizada "a mano". Además, puede elegirse el tipo de falta entre trifásica, monofásica a tierra, entre fases y entre fases y tierra. En la mayor parte de las instalaciones, la peor falta, por ser la que mayores intensidades de cortocircuito conlleva, es la trifásica, por lo que será la elegida en este caso. En la parte derecha de la ventana de la Figura 5, se puede elegir las distintas normas a aplicar para el cálculo de cortocircuito. En este caso se elegirá la norma ANSI/IEEE. Por último, se observa que se pueden seleccionar diferentes intensidades en distintos intervalos de tiempo para incluir en el fichero de salida de datos. En general, las intensidades de cortocircuito pueden presentar además de la componente de alterna, una componente de continua. La suma de ambas recibe el nombre de componente asimétrica. Además, conforme transcurre el tiempo, las impedancias que presentan los distintos elementos del sistema, en particular las máquinas rotativas, varían por lo que también lo harán las intensidades de cortocircuito. Por estos motivos, en la selección de las intensidades de cortocircuito a incluir en el fichero de salida, se dan todas las que se muestran en la Figura 5. Por otra parte, y en relación con la variación de impedancia de las máquinas rotativas, se puede ajustar el valor que éstas presentan durante los distintos intervalos de un cortocircuito para los diferentes tipos de máquinas, en una ventana como la mostrada en la Figura 6. Una vez finalizada la configuración se procede a ejecutar el análisis de cortocircuito. Del fichero de datos de salida se obtienen los valores de intensidades necesarios para dimensionar los interruptores automáticos que protegen a la instalación.

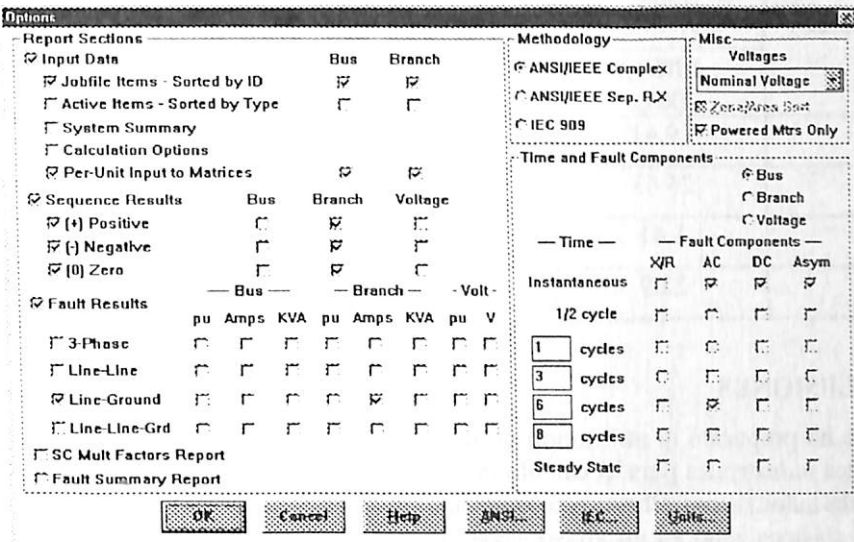


Figura 5. Configuración del tipo de análisis de cortocircuito a analizar.

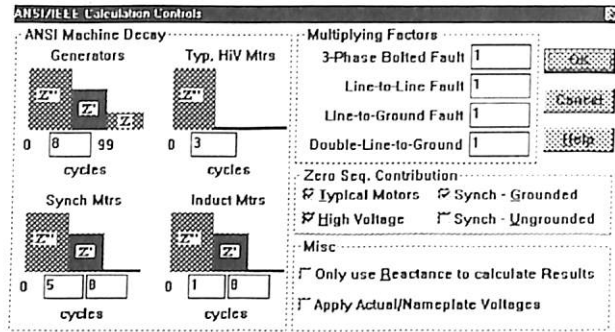


Figura 6. Configuración del valor de las impedancias de las máquinas durante el cortocircuito.

Por último, y a modo de ejemplo, se exponen en la Tabla 1 la comparación de las intensidades de cortocircuito calculadas por el programa informático y por el método tradicional de algunos interruptores automáticos del esquema unifilar de la Figura 1.

Tabla 1. Comparación de los resultados de los métodos aplicados.

Interruptor	Tradicional		EDSA Power System Analysis	
	Intensidad		Intensidad	
	Alterna (kA)	Asimétrica (kA)	Alterna (kA)	Asimétrica (kA)
A1	19.41	31.05	19.41	33.61
B1	26.63	42.62	26.61	46.10
C1	1.41	2.26	1.05	1.82
D	2.09	3.35	2.10	3.68

5. CONCLUSIONES

Se ha propuesto la utilización de un programa comercial de diseño y análisis de instalaciones industriales para el cálculo de corrientes de cortocircuito y dimensionado de interruptores automáticos. El proceso propuesto no se basa en la sustitución de los métodos de cálculo clásicos, sino en un apoyo a los mismos, a la misma vez que se corrobora su validez. En este sentido, la introducción de programas informáticos en el área de la

Ingeniería Eléctrica aporta innumerables ventajas desde el punto de vista didáctico, si bien no pueden ser nunca sustitutivos de los métodos clásicos de cálculo, en los que el alumno aplica de forma directa las técnicas que ha aprendido en las clases teóricas. Por otra parte, poner al alumno en contacto con programas comerciales con los que puede enfrentarse en su futuro profesional, no solo es de utilidad, sino que constituye un acicate para la realización de la innovación propuesta por parte del alumnado. En este sentido, se puede afirmar que la utilización del ordenador junto con el planteamiento de problemas prácticos reales constituye un buen recurso didáctico, que no sólo motiva al alumno en la realización de las innovaciones propuestas, sino que le ayudan a adquirir una visión más amplia de la parte de la asignatura a la cual se dedica dicha innovación.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS, M., (1991). Mejora de una práctica de laboratorio utilizando un ordenador. **I Congreso Internacional sobre Calidad de Enseñanza Universitaria**, 26-35.
- BURGOS, M., CASAL, M., IZQUIERDO, C.(1993). Mejora de una práctica sobre máquinas de inducción utilizando un ordenador. **Revista de Enseñanza Universitaria**, 5, 57-67.
- BURGOS, M., GONZÁLEZ A.G., CASAL M., CRUZ P., MAZA J.M^a, IZQUIERDO C. (2000). Introducción a la simulación con PSCAD. **II Jornadas Andaluzas de Calidad en la Enseñanza Universitaria**, 1, 447-461.
- HOLLAND, W.A. (1945). Cálculo de capacidades de ruptura. **Electrical Contrating**. EDSA Realease 2.95: User's Guide.