

DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS. UN ENFOQUE CRÍTICO

Pedro Luis Cruz Romero

Manuel Casal Gómez-Caminero

Manuel Burgos Payán

Ángel Gaspar González Rodríguez

José María Maza Ortega

Carlos Izquierdo Mitchell

Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla

Escuela Superior de Ingenieros

RESUMEN

Hoy día la práctica profesional en el ámbito de las instalaciones eléctricas no puede concebirse sin el auxilio de aplicaciones informáticas de cálculo y concepción de los diferentes elementos que las componen. Esta realidad no está suficientemente desarrollada en el ámbito del aula, donde la enseñanza de las instalaciones eléctricas se mantiene en gran medida fiel al esquema clásico. La actividad de innovación que se presenta pretende, por un lado, explorar las posibilidades de incorporar estas herramientas en el currículo de la asignatura y, por otro, despertar en el alumno de ingeniería el espíritu crítico y reflexivo acerca del alcance y las posibilidades que este tipo de programas tiene en el desarrollo de proyectos de instalaciones eléctricas.

ABSTRACT

Nowadays the professional practice in the electrical installations area can not be considered without the participation of calculation-and-design software of the facility components. This reality is not clearly developed in the classroom, where the teaching process in electrical installation relies greatly on the classical frame. The innovation activity shown here tries, by one hand, to explore the possibilities to incorporate these tools on the course curriculum, and by other hand, to awake on the engineering student the critical-and-reflexive point of view, in relation with the possibilities and constraints of this kind of software on the electrical installations projects development.

1. INTRODUCCIÓN

La confección de un proyecto técnico de instalaciones eléctricas de Media y Baja Tensión puede sintetizarse muy esquemáticamente en una primera fase en la que se diseña el trazado de la instalación (plano de montaje) y se fijan los equipos necesarios de maniobra, mando y protección (esquema unifilar), seguida por otra en la que se realizan cálculos eléctricos (corrientes eléctricas, caídas de tensión, potencias eléctricas, etc.) y mecánicos necesarios para definir los requisitos que han de cumplir los equipos a instalar, y por último la selección, a partir de catálogos, de los equipos previstos. Todo el proceso anterior ha de cumplir la reglamentación (reglamentos técnicos, normas, recomendaciones) que esté en vigor en el momento de la realización del proyecto. Para la mayoría de las

instalaciones eléctricas que exigen un proyecto previo, una buena parte del tiempo requerido para la realización del proyecto se emplea en la realización de una considerable cantidad de cálculos, así como la consulta de tablas y diagramas facilitados por los fabricantes de aparataje y equipo eléctrico. Este proceso puede simplificarse enormemente con el empleo de aplicaciones informáticas que, además, añaden otras facilidades, como la ayuda en el proceso de selección de aparataje, o la realización de la memoria escrita, planos, esquemas, tablas, y figuras. Esta simplificación ha hecho posible ampliar la variedad de proyectos de instalaciones industriales que un mismo profesional puede realizar, sin ser especialista en todos ellos.

Es por todo lo anterior que este tipo de aplicaciones ha alcanzado una gran popularidad en el sector de las oficinas de proyecto. Prueba de ello son las apariciones con relativa frecuencia de números monográficos en revistas especializadas (revista *Dyna*, abril 2001), artículos esporádicos (Rubio, 1997) así como la activa presencia del sector del *software* industrial en ferias y congresos (p.ej. MATELEC en Madrid). Estos programas son también empleados como base en la elaboración de manuales de referencia para la confección de proyectos (Sanz, 2000).

Para el curso académico 2000-01, aprovechando el cambio de plan de estudios de Ingeniería Industrial, los profesores implicados en la docencia de Instalaciones Eléctricas hemos creído oportuno iniciar un proceso de reflexión sobre el papel de la enseñanza de las instalaciones eléctricas en los tiempos actuales, así como el enfoque más apropiado para la futura actividad profesional de los egresados. Este ejercicio es aún más necesario cuando se analiza el perfil del alumno del nuevo Plan de Estudios. Se mantiene la asignatura para alumnos de la intensificación Electricidad, pero además se crea una nueva asignatura troncal que habrán de cursar alumnos de todas las intensificaciones (muy alejadas, en general, de los contenidos de la ingeniería eléctrica), y cuyos contenidos son completamente nuevos para ellos. Si a esto se le añaden las limitaciones de tiempo propias de las asignaturas cuatrimestrales, y que muchos de los alumnos no volverán a entrar en contacto con estos contenidos el resto de la carrera, es fácil comprender la necesidad de modificar el enfoque clásico de enseñanza por otro más dirigido hacia la práctica profesional, en el que se primen los contenidos de carácter práctico, máxime cuando la realización de proyectos de instalaciones eléctricas es una actividad cotidiana para muchos ingenieros industriales en su actividad profesional, con independencia de su especialidad o intensificación.

Uno de los principales objetivos del proceso de innovación iniciado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica es la incorporación de estas aplicaciones informáticas mediante la realización de prácticas en las que el alumno desarrolle un pequeño proyecto de instalación propuesto. Esta incorporación ha de estar sin embargo enmarcada en una modificación de contenidos y metodología, de manera que la integración de estas herramientas en el currículo se lleve a cabo de manera natural y completa, evitando en lo posible efectos adversos no previstos. Todo lo anterior puede resumirse en la siguiente pregunta: ¿Qué conocimientos previos se requieren para que un alumno pueda concebir correctamente una instalación eléctrica con el empleo de una aplicación informática?.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

La actividad que se presenta se enmarca en esta tarea de innovación, concibiéndose para cumplir dos objetivos básicos: incorporar, de manera experimental, las nuevas tecnologías al aula y despertar la conciencia crítica del alumno a la hora de su empleo. La actividad propuesta consistió en la selección de algunas de las principales aplicaciones comerciales de diseño de instalaciones eléctricas básicas y su empleo, por parte de los alumnos, en la realización de diversos proyectos, analizando posteriormente en grupo los resultados obtenidos.

Dado el carácter experimental de la innovación se decidió aplicar el presente curso a un grupo reducido de alumnos. Para ello se escogió la asignatura **Instalaciones y Medidas Eléctricas** (5º Curso de Ingeniería Industrial, Plan 64), con 13 alumnos matriculados. Sin embargo, para el próximo curso se pretende extender a la asignatura troncal **Instalaciones y Máquinas Eléctricas** (3º curso de Ingeniería Industrial, Plan 98), con lo que el número de alumnos implicados será mayor (aprox. 200).

La realización de la actividad se ha estructurado en tres fases: selección de las aplicaciones, prueba de los programas, y presentación de los resultados. Se desarrollan a continuación.

2.1. FASE I. SELECCIÓN DE LAS APLICACIONES

En esta fase el grupo de profesores implicados seleccionó una serie de aplicaciones comerciales cuya temática abarcaba la realización de proyectos de instalaciones comunes en Baja y Media Tensión. Se realizó previamente una recopilación de información sobre los programas comerciales existentes, observando que era conveniente distinguir dos tipos de aplicaciones:

- **Corporativas:** promovidas y difundidas por empresas fabricantes de equipos. Son de libre distribución y están concebidas para realizar el diseño de la instalación empleando exclusivamente equipos comercializados por el fabricante.
- **Independientes:** no están adscritas a ninguna firma en concreto, por lo que los equipos pueden seleccionarse a partir de características normalizadas o desde una tabla de fabricantes.

Dada la limitación en el número de alumnos, así como en las disponibilidades económicas, se ha seleccionado un grupo reducido de aplicaciones, con lo que forzosamente el análisis no es exhaustivo. Sin embargo, es suficiente para los objetivos planteados, por cuanto las aplicaciones escogidas tienen cierta popularidad en el sector, y pueden considerarse representativas. Se escogieron 3 aplicaciones independientes y 2 corporativas, tal como se muestran en la tabla 1.

Tipo	Nombre comercial	Empresa	Instalación
Corporativa	<i>Ecodial 3.15</i>	Schneider Electric	Instalaciones eléctricas de Baja Tensión
	<i>Ecocet 4</i>		Centros de Transformación de Media Tensión
Independiente	<i>Redatwin 4</i>	DmELECT	Redes de distribución en Alta Tensión
	<i>Cmbtwin 4</i>		Cálculo mecánico de líneas aéreas de Baja Tensión
	<i>Cmatwin 4</i>		Cálculo mecánico de líneas aéreas de Alta Tensión

Tabla I. Aplicaciones informáticas seleccionadas para la actividad

2.2. FASE II. PRUEBA DE LOS PROGRAMAS

En esta fase, cuya duración fue de 2 meses, se formaron 5 grupos de 2-3 alumnos, asignándoles un programa a cada uno. La tarea encomendada a cada grupo fue la siguiente:

- Recopilación de bibliografía, normas, reglamentos aplicables al tipo de instalación correspondiente.
- Resolución, con el empleo de la aplicación informática, de un problema de instalación que se les planteó, elaborando una memoria escrita del proyecto técnico.
- Elaboración de una memoria evaluadora de la aplicación informática.

Con la recopilación de documentación se pretendió incrementar el conocimiento en el terreno de la reglamentación, aspecto fundamental en el diseño de instalaciones eléctricas. La resolución de un problema de instalación concreto les permitía familiarizarse con el programa, tanto en el aspecto de posibilidades técnicas, como de estructuración en menús, ayuda, contenido de la memoria, calidad de gráficos, etc. Con la memoria evaluadora se buscó permitir al alumno aportar sus hallazgos originales. Para hacer más homogéneo el proceso evaluador, y ayudar a los alumnos en el análisis crítico, se les plantearon unas cuestiones específicas que por su interés se reproducen en la tabla II, y que fueron concebidas para responder a una serie de preguntas básicas, indicadas también en la tabla. Para contrastar algunos de los resultados del cálculo se les pidió a los grupos la resolución manual de una parte específica de la instalación (caídas de tensión máximas en un conductor, características de un contactor, resolución de un cruzamiento entre dos líneas aéreas, comprobación si un apoyo está ahorcado, etc.). En las cuestiones marcadas con (0-10) se les pidió una calificación entre cero y diez.

Relativas a la facilidad en el manejo del programa, así como la calidad de los resultados	C1	¿Son claras las indicaciones/menús que aparecen durante la realización del proyecto? (0-10)
	C2	¿Están completos los manuales de ayuda? (0-10)
	C3	¿Creéis que sin el trabajo recopilatorio previo habría sido imposible completar el proyecto?
	C4	¿Creéis que el programa está pensado para especialistas en este tipo de instalaciones? (0-10)
	C5	¿Existen indicaciones que orientan en el proceso de diseño de la instalación? (0-10)
	C6	En caso de seleccionar el proyectista un elemento no apropiado, ¿existe algún aviso en dicho sentido? (0-10)
	C7	¿Es el programa quien escoge los elementos más adecuados en función de los datos de entrada? (0-10)
	C8	¿Muestra el programa alguna aclaración adicional sobre las características de los equipos? (0-10)
	C9	¿Es suficiente el programa para realizar el proyecto de la instalación?
	C10	¿Incluye el programa la elaboración de la memoria técnica?
	C11	En caso de que la respuesta a C10 sea positiva, ¿es completa la memoria? (0-10)
Relativas a la flexibilidad del programa	C12	¿Has detectado si algún equipo existente en el mercado no está incluido en el programa?
	C13	¿Es posible ampliar las bases de datos de equipos?
	C14	¿Es posible sustituir los elementos sugeridos por el programa por otros? (0-10)
Relativas al procedimiento de cálculo empleado	C15	¿Existe indicación clara de los procedimientos de cálculo empleados en las distintas fases del proyecto? (0-10)
	C16	¿Es posible justificar todos los cálculos y reproducirlos de forma manual? (0-10)
	C17	¿Es posible modificar de manera parcial el procedimiento de cálculo? (0-10)
Relativas al cumplimiento de reglamentos y normas aplicables en vigor	C18	¿Hay indicación clara de las normas que se siguen para la realización del proyecto? (0-10)
	C19	En caso de tomar el proyectista alguna decisión que contradice una norma o reglamento en vigor ¿se muestra algún tipo de advertencia? (0-10)
	C20	¿Has encontrado algún resultado en el que no se cumpla alguna norma?

Tabla II. Cuestionario de evaluación de las aplicaciones

2.3. FASE III. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Una vez completados los trabajos, fueron presentados en clase. El esquema de cada presentación fue el siguiente:

- Presentación de la aplicación informática.
- Presentación de las principales conclusiones, discusión y puesta en común.

La actividad finalizó con la realización de una encuesta a los alumnos en la que básicamente se les pedía su opinión sobre la actividad realizada (contenido, metodología de trabajo, duración, dificultad), así como sobre la conveniencia o no de incorporar aplicaciones de este tipo a las actividades cotidianas del aula. La duración de cada presentación fue de 2 horas por grupo.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla III se muestran resumidas las respuestas al cuestionario de la tabla II, elaboradas por los distintos grupos de trabajo.

Cuestión	<i>Cmbtwin 4</i>	<i>Cmatwin 4</i>	<i>Redatwin 4</i>	<i>Ecodial 3.15</i>	<i>Ecocet 4</i>
C1	7	7	6	6	8
C2	9	8	7	6	8
C3	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
C4	7	7	8	7	4
C5	0	4	3	8	9
C6	8	8	8	9	5
C7	0	5	6	9	3
C8	8	7	5	4	6
C9	NO	NO	NO	NO	SÍ
C10	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
C11	8	8	5	5	9
C12	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
C13	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
C14	8	7	9	9	7
C15	7	5	5	4	4
C16	9	7	5	4	9
C17	0	0	5	5	2
C18	4	4	7	8	8
C19	4	4	4	8	8
C20	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla III. Resumen de las contestaciones al cuestionario de la tabla II

Podemos sintetizar el contenido de la tabla III en los siguientes puntos, obtenidos tras la puesta en común:

- Los programas analizados permiten obtener resultados útiles al instante, una vez introducidas las características principales de la instalación.
- No obstante lo anterior, es imprescindible una preparación previa (sin ser necesario llegar al nivel de especialista) en la que se incluyan como aspectos principales los siguientes:
 - o Objetivos del proyecto de la instalación de que se trate.
 - o Parámetros de cálculo necesarios.
 - o Características principales de los elementos de la instalación a dimensionar.
- No se considera imprescindible el conocimiento puntual de la formulación empleadas durante el cálculo. A pesar de esto, desde un punto de vista legal, el proyectista es el único responsable de los cálculos, por lo que los resultados deben ser revisados y comprobada su coherencia.
- La preparación previa es insuficiente con la documentación de ayuda que se acompaña, ya que ésta última está, lógicamente, concebida para profesionales. No obstante, los manuales de ayuda son imprescindibles para aclarar la organización funcional del programa, así como ante la aparición de términos y conceptos que en la jerga de la profesión pueden tener significados ligeramente distintos. En general el contenido que se incluye en los manuales es claro y bien organizado.
- Se ha observado una diferencia importante en relación al diseño. Los programas *Ecodial* y *Ecocet* permiten realizar el diseño completo de la instalación con una participación pequeña del proyectista en la selección de componentes. Los otros tres programas requieren una mayor presencia del operador en la toma de decisiones.
- Con independencia de lo anterior, en todos los programas se observa una gran flexibilidad en el diseño, de manera que el proyectista puede escoger otro elemento distinto al propuesto por el programa. En caso de una inadecuada elección, el programa avisa con algún mensaje (esto último está más desarrollado en *Ecodial*).
- Los programas generan una memoria escrita que permite acelerar el proceso de redacción del documento proyecto. Dicha memoria es, sin embargo, insuficiente para los requerimientos exigidos, debido en gran medida a que los programas seleccionados realizan el diseño de una parte de la instalación.
- Los reglamentos técnicos que afectan al diseño de la instalación se citan, incluso a nivel de artículo. Sin embargo, normas técnicas que también le afectan son citadas genéricamente (p.ej. Normas UNE), sin precisar la norma concreta.

4. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que recomendable incorporar al aula aplicaciones informáticas de diseño de instalaciones eléctricas. No obstante, dado que estas aplicaciones parten de un nivel de conocimientos mínimo, es imprescindible previamente conocer los principales aspectos a considerar en el diseño de este tipo de instalaciones: cálculos eléctricos y mecánicos básicos, función, tipos, y características de diseño de los elementos que componen la instalación, conocimientos

básicos para saber interpretar planos y esquemas, y por último principales documentos que componen la memoria del proyecto. De esta manera se consigue acelerar el proceso de aprendizaje y actualizarlo con las herramientas que el alumno empleará en su ejercicio profesional, todo ello sin pérdida de calidad en la enseñanza.

En relación a la encuesta entregada a los alumnos, se observa claramente una actitud altamente positiva al uso de este tipo de herramientas, que según su opinión, les permite conocer de una manera más realista y completa los principales aspectos que involucra una instalación eléctrica, sin perder excesivo tiempo en cálculos farragosos y repetitivos que pueden hacerles perder la perspectiva de conjunto del problema que han de resolver.

5. REFERENCIAS

- RUBIO, M.C. (1997). Oleada de programas, **Técnica Industrial**, 224, 8-12.
- SANZ, J.L., TOLEDANO, J.C. (2000). **Proyectos para el Desarrollo de Instalaciones Eléctricas de Distribución**. Madrid, Paraninfo
- SCHNEIDER ELECTRIC ESPAÑA (1998). Ecodial 3.15: Programa de ayuda a la concepción de instalaciones eléctricas BT (<http://www.schneiderelectric.es>).
- SCHNEIDER ELECTRIC ESPAÑA (2000). ECOcet 4.0: Programa de concepción de proyectos de centros de transformación MT (<http://www.schneiderelectric.es>).
- dmELECT (1997). CMBTWIN 4: Cálculo mecánico de líneas eléctricas aéreas BT (sop-tec@dmselect.com).
- dmELECT (1997). CMATWIN 4: Cálculo mecánico de líneas eléctricas aéreas AT (sop-tec@dmselect.com).
- dmELECT (1997). REDATWIN 4: Cálculo de redes eléctricas de distribución malladas y/o ramificadas AT (sop-tec@dmselect.com).

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Vicerrectorado de Calidad y Nuevas Tecnologías de la Universidad de Sevilla por la financiación de este trabajo mediante la concesión de una ayuda en el marco de la Convocatoria de Ayudas a la Docencia para la Innovación para el curso 2000/01.