

# ASPECTOS NO SECUNDARIOS EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA ELECTRÓNICA: FIABILIDAD, CALIDAD, COMPORTAMIENTO TÉRMICO, SOLICITACIONES MECÁNICAS, E.M.I. UN ENFOQUE E.A.O. Y MULTIMEDIA

Plaza Alonso A., Moreno Muñoz A., Luna Rodríguez J., García Aznar J.  
Universidad de Córdoba  
Grupo de Investigación DEICA  
Departamento de Electrotecnia y Electrónica  
Avda Menéndez Pidal, s/n Apt. 519, 14071 Córdoba

Tfno: (957) 21 84 23

Fax: (91) 21 83 16

## RESUMEN

*Al diseñar un equipo electrónico, frecuentemente se da por terminado el proceso, una vez definido el esquema de principio y elegidos los componentes necesarios para el mismo, que son alojados generalmente en módulos y tarjetas de circuito impreso, diseñadas mediante programas informáticos que enfatizan el criterio geométrico y de cruzamiento de pistas sobre cualquier otro. Es necesario aplicar al diseño de Ingeniería Electrónica un enfoque finalista, de modo que se tomen en consideración criterios relacionados con el comportamiento térmico, vibraciones, fiabilidad, ingeniería humana y compatibilidad electromagnética de los equipos diseñados. Se describe un paquete multimedia, denominado MIDEE, que permite integrar los diferentes procesos de cálculo, comprobación y modificación de un modelo, de un modo interactivo, facilitando así la enseñanza y la aplicación de estas materias.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingeniero que diseña un Equipo Electrónico no puede fijarse únicamente como objetivo, la realización de un montaje sobremesa en el que las interacciones físicas entre los componentes, su comportamiento térmico, su reacción ante la aplicación de una vibración sinusoidal o aleatoria, no podrán ser analizados con exactitud, ya que desde el punto de vista geométrico y estructural, el diseño diferirá radicalmente de lo que sería un equipo real, industrial o comercial.

En la enseñanza de la Ingeniería Electrónica, resulta imprescindible transmitir al alumno, la preocupación de que no puede considerarse concluido el diseño de un conjunto electrónico hasta que no se conozca con precisión su estructura espacial y su disposición constructiva real, de modo que puedan ser tenidos en cuenta de un modo riguroso todos los aspectos relacionados con el diseño térmico de cada uno de los componentes del mismo, así como su comportamiento dinámico en caso de solicitaciones específicas, tales como vibraciones o choques.

Ambas facetas afectarán muy directamente al parámetro esencial que el Ingeniero de diseño debe tener presente: *la calidad* (entendida como conformidad con las especificaciones) y *la fiabilidad* del equipo diseñado. Los aspectos relacionados con la compatibilidad electromagnética del conjunto - recientemente regulados por ley - así como su interrelación con el operador son aspectos considerados frecuentemente como secundarios.

Para conseguir los objetivos indicados, proponemos dentro del Proyecto MIDEE (Metodología e Ingeniería de Diseño de Equipos Electrónicos) un método preciso, mediante fases sucesivas de *descomposición funcional, espacial y geográfica*, que conduce el diseño electrónico global de un modo ordenado y por etapas. El uso extensivo de herramientas de simulación por ordenador, permite avanzar en un análisis realista del equipo diseñado, facilitando al Ingeniero de Diseño una información abundante sobre el comportamiento finalista del mismo, desde los diferentes enfoques deseables.

## **2. HACIA UN ENFOQUE FINALISTA EN EL DISEÑO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS: LA NECESIDAD DE LA DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL, ESPACIAL Y GEOGRÁFICA.**

Las denominaciones que se aplican en la práctica a los elementos que forman parte de un equipo electrónico, responden más al uso que a un análisis riguroso que permita establecer una descomposición perfectamente definida y tenga en cuenta *tanto la separación en funciones como la descomposición geométrica o espacial de los elementos* en entidades de diferente naturaleza. Es frecuente hablar de tarjetas, módulos, cajas, jaulas, bastidores, cabinas, etc. sin definir cuáles son los límites a los que aplica cada una de ellas y *mezclando a menudo la función con el elemento que la realiza*. [1][3]

Una estrecha interrelación entre los procesos intelectuales de *descomposición funcional, espacial y geográfica* resulta imprescindible desde las primeras fases de diseño de un equipo. Es necesario definir cuanto antes, al menos en primera aproximación, las dimensiones físicas (volúmenes) donde aquel ha de integrarse, estableciendo la descomposición en elementos tales como módulos, cajones, bastidores, cabinas, etc. por motivos de facilidad de diseño, economía de fabricación y consideraciones dimensionales o de repetitividad, etc. Por otra parte, a lo largo de las reflexiones que hemos realizado en el Proyecto MIDEE se revela muy útil mantener y consolidar esta descomposición modular en entidades concretas de modo que el análisis térmico, de vibraciones, fiabilidad o compatibilidad electromagnética puedan efectuarse sobre estas entidades elementales, reagrupando los resultados a medida que se progresa en la estructura modular (en árbol) de la unidad o equipo.

Lógicamente, en un sistema que comprende miles de componentes, debe prestarse especial atención a la elaboración de un método que permita establecer para cualquier componente, subconjunto o conjunto una relación biunívoca y cierta entre los esquemas de principio o diagramas de cableado y la estructura equipo → unidad → conjunto → subconjunto, anteriormente descrita.

### 3. EL ENFOQUE MIDEE. LA DEFINICIÓN DEL MODELO INTEGRADO

El Proyecto MIDEE pretende integrar en una aplicación informática compleja, los recursos necesarios para realizar el diseño completo de un equipo electrónico, describiendo su descomposición espacial mediante un modelo 2D/3D, denominado *modelo integrado*, al que se encuentran asociados todos los parámetros físicos de cada componente permitiendo así un análisis del comportamiento térmico, efecto de la excitación por vibraciones sinusoidales o aleatorias, la evaluación de su ergonomía, fiabilidad y compatibilidad electromagnéticas. Figura 1.

El proyecto MIDEE intenta proporcionar al profesor de Ingeniería Eléctrica un medio potente que permite al alumno:

- comprender los fenómenos - considerados a menudo como secundarios, pero esenciales - que acompañan al funcionamiento real de un equipo electrónico, mediante un *texto o libro electrónico* moderno, didáctico y que puede ser actualizado con la frecuencia deseable.
- poner en manos del alumno, medios de diseño y aprendizaje muy similares a los que encontrará en su vida profesional, pero con las simplificaciones pertinentes para lograr una gran agilidad en el planteamiento y resolución de "casos" mediante la *realización de experimentos y la simulación por ordenador* integrando eventualmente otras posibilidades tales como la *realización de laboratorios virtuales y la autoevaluación*. [2]

Es de notar, que solamente en los últimos años empiezan a aparecer tratados específicos como los de Steinberg (1988 y 1989), Harper (1991) o Matissoff (1990) que contemplan la mayor parte de los problemas mencionados en el título y que si bien los grandes fabricantes de Equipos Electrónicos disponen de su propias publicaciones internas sobre el tema, tan solo en los tratados de Harper y Pecht (1990) se aborda esta idea de diseño finalista, con un enfoque adecuado para su inclusión en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica.

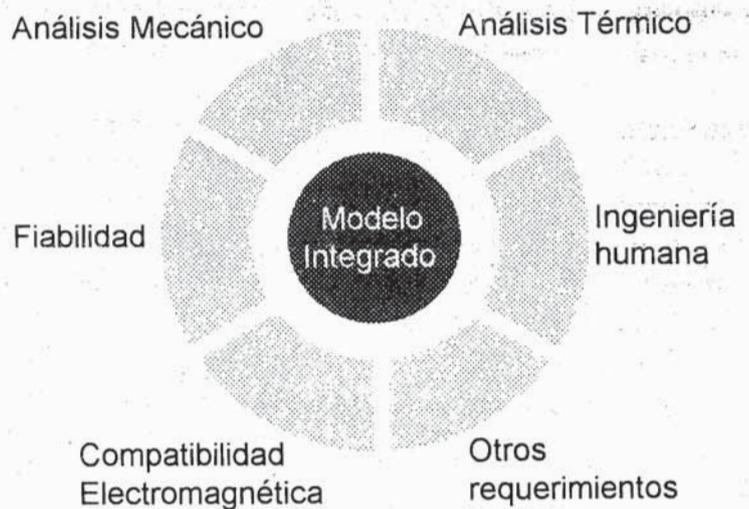


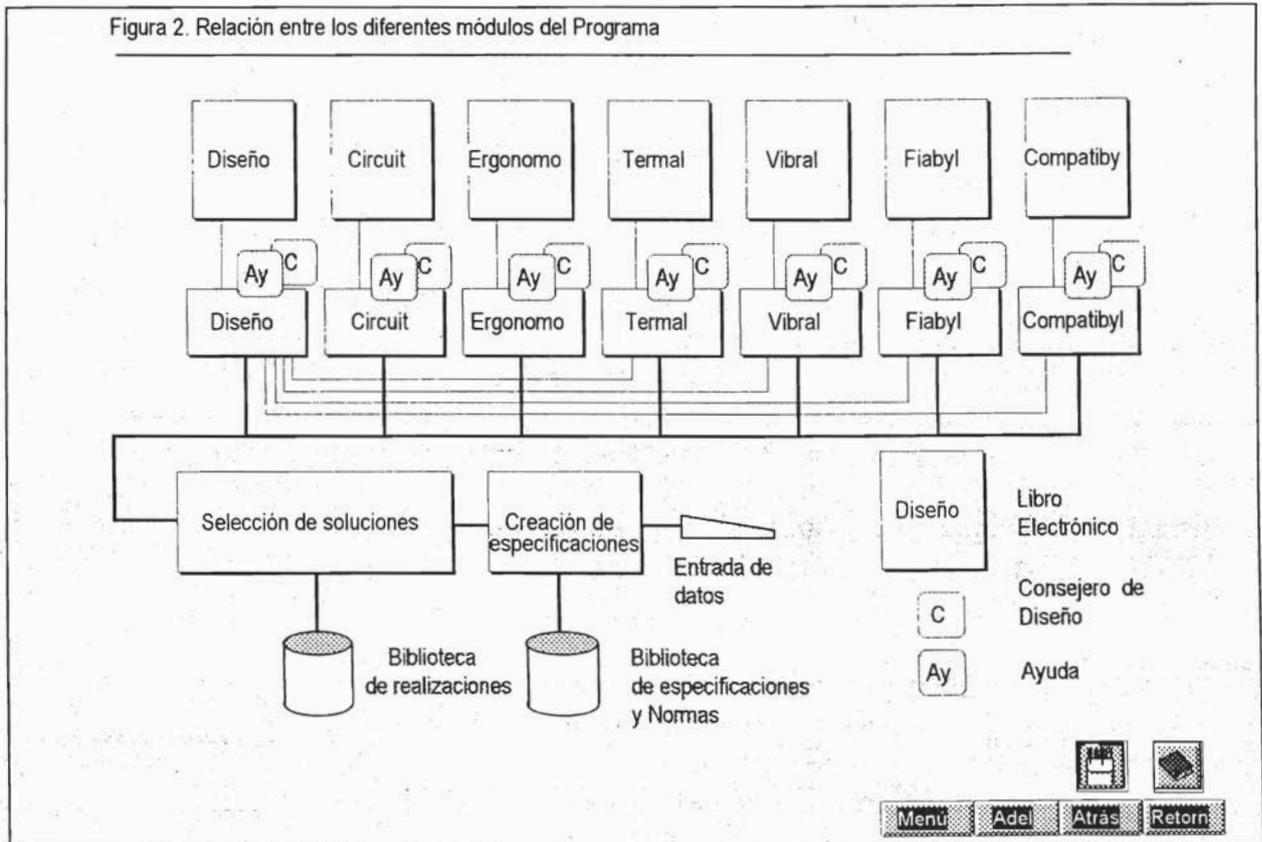
Figura 1. Estructura del programa MIDEE

El manejo de informaciones y programas de simulación y análisis de naturaleza diversa queda perfectamente integrado mediante una *herramienta o entorno multimedia* - el programa MIDEE - que permite pasar fácilmente de una aplicación a otra, conservando en todo momento la integridad de los parámetros relacionados con el *modelo* - parámetros de naturaleza, eléctrica, electrónica, mecánica, térmica o dimensional - lo que autoriza el análisis de aquél mediante diferentes *módulos de simulación*, retornando permanentemente al *módulo de diseño* la información necesaria para realizar las correcciones oportunas.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sobre la aplicación de entornos Multimedia a la enseñanza de la Electrónica pueden consultarse la Ref. [2] en la que se describen algunas reflexiones sobre soluciones Hypermedia de las que el Proyecto MIDEE forma parte.

#### 4. EL MÓDULO GENERAL DE DISEÑO

Con la ayuda de la Figura 2. vamos a describir la relación de los diferentes elementos del programa entre sí. En el primer módulo se produce la *creación de la especificación* del equipo, a partir de lo que los anglosajones denominan "wish list". En este módulo son introducidos mediante teclado los requerimientos particulares del equipo o entidad que se diseña, con objeto de crear una *especificación funcional* lo mas detallada posible.



Se dispone en todo momento de una *especificación tipo* proporcionada por el propio programa y que puede ser manejada en modo interactivo. Resulta posible consultar simultáneamente y en tiempo real, tanto la relación de Normas que aplican a un equipo o categoría de equipos determinados, como un extracto de los principales capítulos o articulado de dichas Normas. Las especificaciones tipo y la información relativa a las Normas se almacenan en la base de datos denominada *Biblioteca de Especificaciones y Normas*.

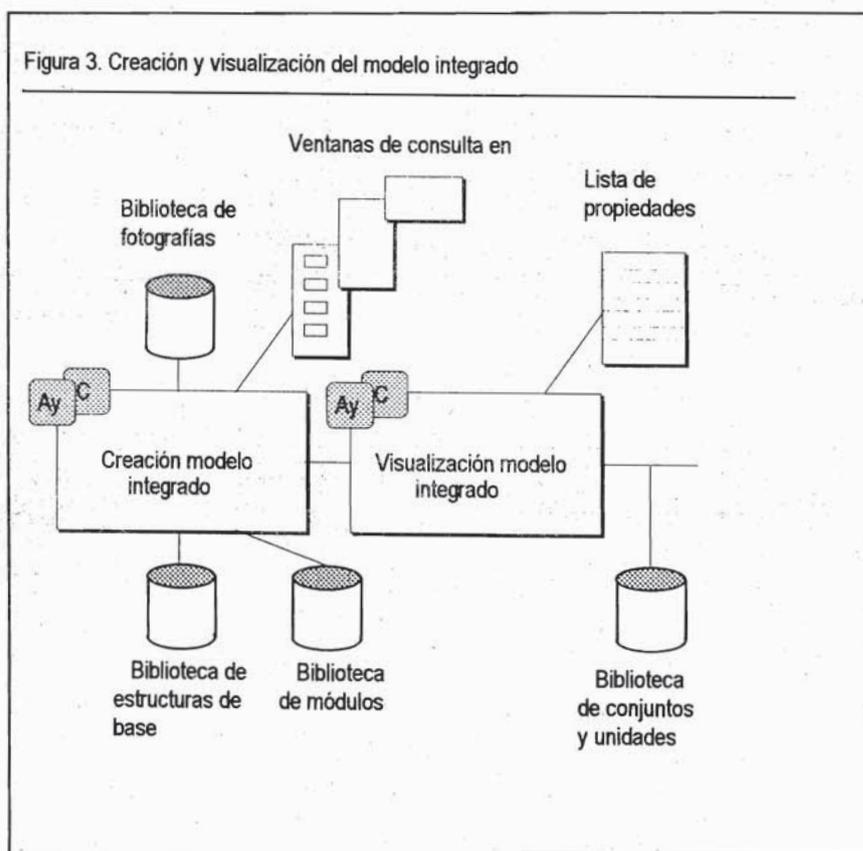
En una segunda etapa, se procede a la elección de la *solución constructiva global*, adecuada para la aplicación que se considere. Las soluciones habituales se encuentran almacenadas en la *Biblioteca de Realizaciones*, bajo forma de imágenes digitalizadas en blanco y negro o color, así como de planos de conjunto, generalmente vistas exteriores, en 2D/3D de diferentes soluciones que pueden ser tomadas en consideración en cada caso. De este modo, el usuario (el alumno) puede efectuar un rápido examen de ejemplos característicos, examinando las soluciones tecnológicas usuales en la Industria, acordes con los requerimientos de su especificación y mas en consonancia con el enfoque que el diseñador pretenda dar a su proyecto.

MIDEE permite crear indistintamente un circuito impreso, un subconjunto de diferente naturaleza, un conjunto o una unidad completa. Examinemos el proceso correspondiente a este caso.

La elección de la *solución constructiva global* deseada, permite seleccionar la estructura mas adecuada para contener el equipo: cofre, bastidor, cabina, pupitre, etc., entre una serie de elementos normalizados disponibles en una biblioteca especializada, denominada *Biblioteca de estructuras de base* (Figura 3). Para elegir el modelo adecuado, deberá tenerse en cuenta los requerimientos contenidos en la especificación así como una serie de criterios tales como:

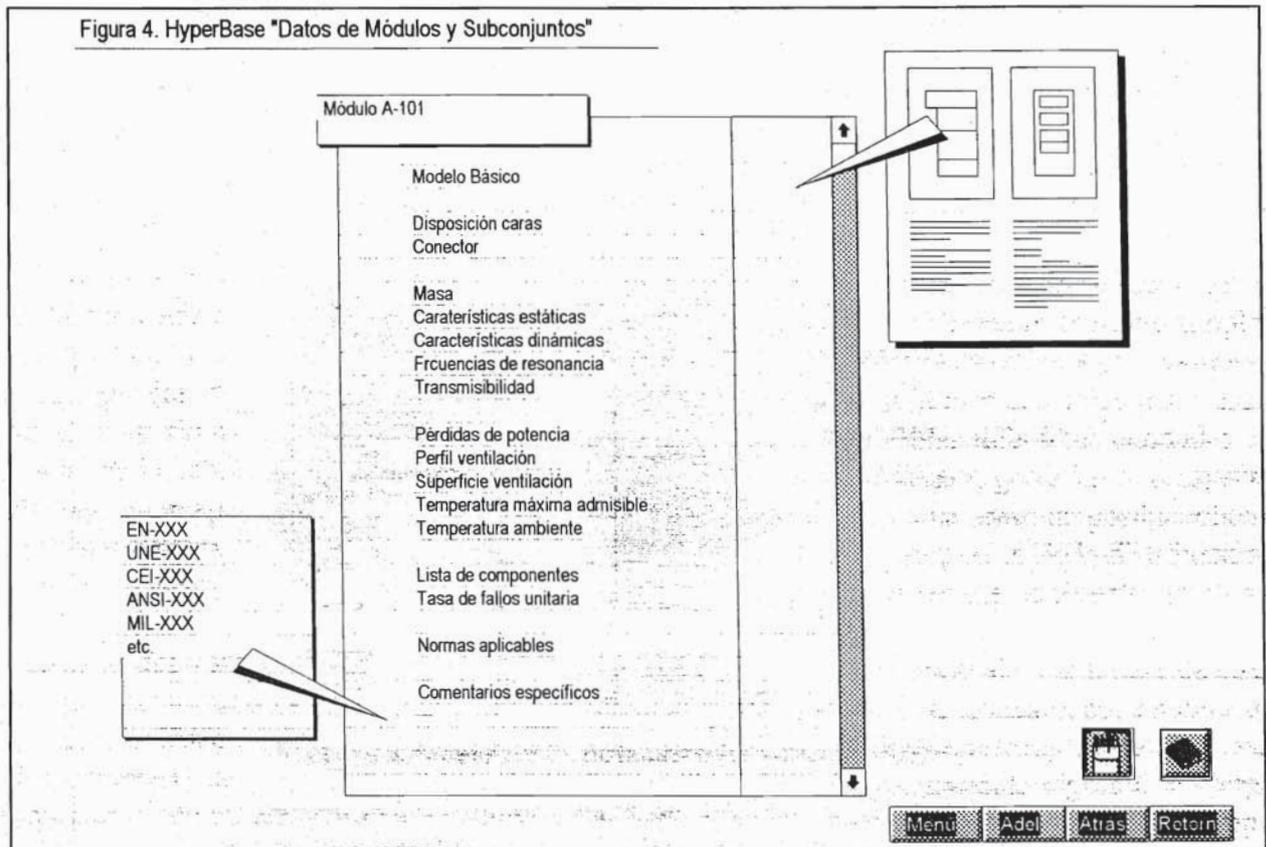
- solución tecnológica deseable
- dimensiones exteriores orientativas o volumen total necesario
- grado de protección según la Normas
- temperatura ambiente y modo de refrigeración previsible
- otros requerimientos adicionales mecánicos (vibraciones, choques, sísmicos), etc.

La elaboración del modelo se realiza de un modo interactivo mediante una serie de ventanas desplegadas, tal como se muestra en la Figura 3., efectuando sucesivamente la selección de las particularidades relacionadas con cada uno de los criterios mencionados. Realizada esta selección, el programa resume los parámetros y accesorios elegidos, solicita conformidad del usuario y despliega en pantalla el plano - con ciertas simplificaciones - de la estructura que satisface en primera aproximación los requerimientos especificados. Este plano comprende generalmente alzado, perfil y planta, así como una sección normal a la cara principal del elemento, imprescindible para el estudio ulterior de los trayectos de ventilación. Este plano se obtiene mediante una aplicación especializada de *CAD*, a la que se asocia una base de datos o *Biblioteca de Conjuntos y Unidades*.



Podemos iniciar ahora la creación del *modelo integrado*. Es suficiente para ello, establecer una lista de los conjuntos y subconjuntos previstos (materializados en chasis, cajones, módulos y submódulos) en los que se integrarán las diferentes funciones del equipo. Estos elementos se encuentran disponibles en la base de datos *Biblioteca de Módulos y Subconjuntos*, Figura 4. Cada uno de ellos puede ser elegido manual o automáticamente (introduciendo los requeri-

mientos específicos) y aparece en pantalla como un icono móvil que puede ser alojado en el lugar conveniente de la estructura de base. La virtud esencial del procedimiento consiste en que al incorporar en el plano los diferentes conjuntos y subconjuntos, para formar entidades de mayor rango, sus características eléctricas y mecánicas, tales como pérdidas totales en los componentes, tasas de fallos, emisión electromagnética, transmisibilidad, etc., resultan igualmente incorporadas y acumuladas a las de los demás elementos asociados, quedando almacenadas finalmente para cada equipo o conjunto en la *Biblioteca de Conjuntos y Unidades*.



Se va componiendo así un modelo en 2D/3D en el que los objetos subconjuntos, se incorporan dinámicamente en entidades denominadas conjuntos y estas a su vez se agrupan en unidades completas. Disponemos pues de un modelo tridimensional, orientable alrededor de cualquiera de sus ejes en el que al igual que el arquitecto puede diseñar un edificio y "entrar" después mediante un programa de realidad virtual en cada uno de los recintos del edificio así construido, el Ingeniero Electrónico puede examinar cada uno de los objetos que forman su equipo, partiendo del subconjunto mas elemental hasta la unidad mas compleja.

Se ha transformado el diagrama funcional en su equivalente real, mediante la *dualidad subconjunto→módulo, conjunto→cajón, equipo→cabina*. Obviamente existen múltiples variantes en las disposiciones constructivas, no siempre normalizables y que requieren un tratamiento específico.

Como ya hemos indicado, a cada subconjunto se ha asociado inicialmente, además de sus características dimensionales otra serie de parámetros, necesarios para que ulteriormente sea posible un análisis completo del modelo integrado de conjunto o equipo. Algunas de estas características son:

- dimensiones detalladas de cada elemento,
- superficie externa,
- peso o masa de cada componente,
- m.d.i. según 1, 2 o 3 ejes,
- impedancia térmica,
- otras constantes térmicas (emisividad, número de Colburn, etc.),
- detalle de los elementos mecánicos de fijación,
- stressor de cada componente,
- fiabilidad, tasa de fallos o MTBF,
- etc.

A lo largo de todo este proceso, que dista mucho de ser totalmente automático, el Ingeniero Electrónico, deberá realizar un análisis permanente del modelo, con un enfoque crítico, tratando de acostumbrarse a pensar "mas allá", a reflexionar sobre las fases que en este enfoque finalista, aún le quedan por recorrer y en particular en los aspectos de diseño térmico, mecánico, ergonómico o de susceptibilidad electromagnética. En otras palabras el diseño inicial se realiza siguiendo las *reglas del arte*, reglas que han de ser comunicadas al usuario o alumno. MIDEE provee diferentes ayudas "on line" que gracias al enfoque multimedia se encuentran disponibles permanentemente y pueden ser requeridas desde cualquier punto del programa.

- *Libro electrónico.* Como su nombre indica comprende una serie de *Tópicos* a los que se puede acceder vía *Índice de Tópicos* para consulta inmediata, o bien siguiendo el camino de *Temas o Lecciones estructurados* y que constituyen un verdadero Curso condensado sobre *Diseño de Equipos Electrónicos*. El conjunto de *Libros Electrónicos* reciben la designación de CIDEE. Para la elaboración de estos *Textos Electrónicos* se ha utilizado la potente herramienta de desarrollo de hipertexto bajo Windows, que utiliza Microsoft en sus propias aplicaciones para la realización de Tutorials y Ayudas.<sup>2</sup>
- *Consejero interactivo.* Comprende una serie de recomendaciones sobre la forma de manejar el módulo *Diseño*, así como consejos sobre la elección de la solución tecnológica mas adecuada, las alternativas existentes a la misma, la disposición de los subconjuntos y conjuntos dentro del bastidor o cabina, etc. Es un compendio de las *reglas del arte para el diseño de equipos electrónicos* que puede ser requerido por el usuario en cualquier momento pero que también *avisa* espontáneamente a este, si está tomando decisiones erróneas al diseñar el equipo (por ejemplo valores de temperatura fuera de márgenes, selección inadecuada de componentes, etc.), actuando como un verdadero programa de inteligencia artificial. Las recomendaciones aparecen instantáneamente en pantalla bien a la demanda del usuario o bien como advertencia necesaria.
- *Ayuda*, que aporta en pantalla la información habitual en este tipo de programas hypermedia, para permitir al usuario que se enfrenta al mismo por vez primera, utilizarlo de un modo correcto, resolviendo las dudas que pudieran aparecer.
- Como en otros programas hypermedia interactivos se dispone de botones para efectuar la navegación *Adelante*, *Atrás*, *Menú Principal* del módulo (del que se puede pasar al Menú Principal de MIDEE), *Historia de la Navegación* realizada y *Retorno* (al origen, después de un salto en la navegación).

<sup>2</sup> Se trata del programa *Microsoft Multimedia Viewer, V. 2.0* de reciente aparición, que permite realizar un hipertexto con excelentes medios de navegación, historia de los nodos examinados, etc.

Se dispone así de un entorno hypermedia, interactivo, que permite realizar rápidamente un avance del diseño, basándose en, la experiencia y *reglas del arte*. Sin embargo no es posible, simplemente por intuición o basándose en estas reglas, a menudo empíricas y no escritas, diseñar un equipo electrónico realmente profesional.

MIDEE provee una serie de módulos, basados en la utilización hypermedia de ciertos programas comerciales, convenientemente adaptados a su integración en el conjunto, así como la utilización de bases de datos comunes, incluyendo los filtros adecuados para modificar la presentación de los datos. Incluye igualmente otras aplicaciones especialmente programadas para la correspondiente función que se les asigna en el entorno general. Este conjunto de Módulos recibe el nombre de SIDEE. Las limitaciones de espacio no permiten una descripción minuciosa de cada uno de ellos. Sin embargo mencionaremos brevemente los mas interesantes.

## 5. ANÁLISIS TÉRMICO DEL MODELO INTEGRADO

El Ingeniero de diseño de equipos eléctricos y electrónicos debe entender que todos los procesos electrónicos, tanto de tratamiento de la información como de electrónica de potencia, dan lugar a fenómenos disipativos. Si no se prevé alguna disposición constructiva adecuada para la evacuación de las pérdidas de potencia generadas en los equipos, su transformación en calor dará lugar a elevaciones de temperatura internas que *perjudiquen el buen funcionamiento, disminuyan la fiabilidad o provoquen la destrucción de ciertos componentes sensibles*.

La solución universalmente adoptada es la de canalizar y extraer las pérdidas generadas hasta el exterior de la cabina, cofre o caja, etc. manteniendo así la temperatura interna de estos o de los componentes montados en su interior dentro de los límites especificados por el fabricante. Observemos que el proceso no da lugar a la disipación de las pérdidas, sino que simplemente las transfiere de un recinto de dimensiones reducidas, a un recinto de dimensiones mayores. La temperatura de este recinto es lo que denominamos *temperatura ambiente*.

El Ingeniero debe ser pues capaz de considerar en su diseño dos tipos de problemas: la transferencia de las pérdidas desde el componente o subconjunto hasta el exterior de la cabina y el efecto que esta transferencia produce sobre la temperatura del recinto en que aquella se encuentra. Figura 5.

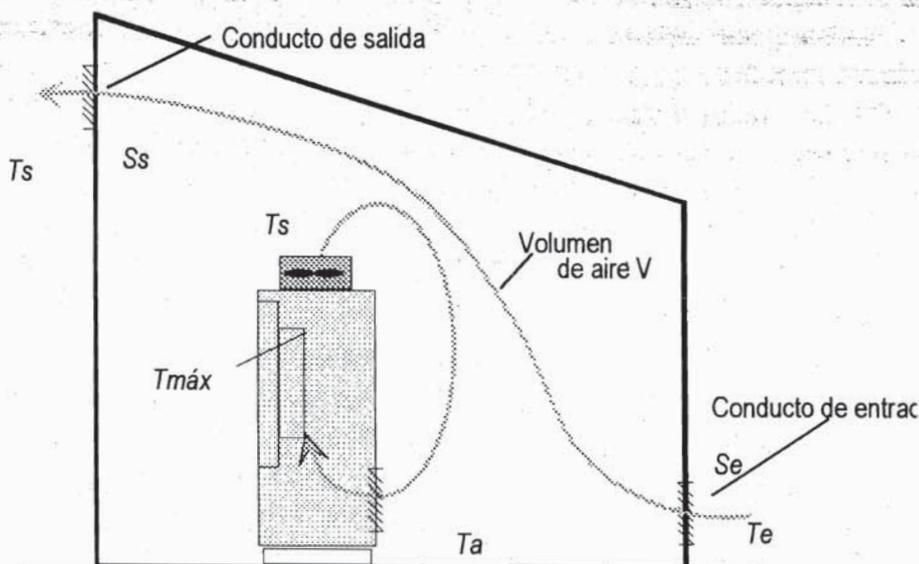


Figura 5. Transferencia de calor entre un equipo electrónico y el ambiente

La *Base de Datos de Componentes Electrónicos* permite al diseñador disponer de las pérdidas de potencia de cada componente, integrándolas progresiva y automáticamente para obtener la disipación total de una entidad determinada, subconjunto, conjunto o cabina, dato asociado a

cada entidad y que está disponible en las bibliotecas correspondientes. El método de cálculo de la elevación de temperatura en los diferentes puntos de un equipo es un problema complejo, cuyos fundamentos físicos, metodología de cálculo y consecuencias para la fiabilidad del equipo que se diseña, deben ser perfectamente comprendidas por el usuario. Las nociones de transmisión de calor en un equipo, por radiación, conducción, convección o cambio de estado, son comprensibles de un modo relativamente simple. Sin embargo en el momento en que se trata de pasar a un cálculo minucioso del calentamiento en el punto mas desfavorable, la complicación del procedimiento es importante ya que para abordar el modo de evacuación de calor, resulta necesario definir claramente el modo de refrigeración, natural o forzada, la geometría de los trayectos de ventilación, así como la naturaleza del medio ambiente. En las referencias [3], [4] [5] y [6] se muestra hasta que punto el cálculo manual resulta complejo.

La simulación realizada por el módulo "Termal" permite simplificar y acelerar este proceso, ya que partiendo de los datos relativos a las pérdidas de las diferentes entidades y de su situación geométrica o espacial en la cabina, resulta posible obtener un mapa térmico de la distribución de temperatura en diferentes puntos de la misma, o la visualización de las zonas isotermas de una tarjeta de circuito impreso o de un subconjunto que contenga elementos disipativos, como se esboza en la Figura 6. Es importante notar que la elevación de temperatura de un elemento en un equipo, puede ser debida a las pérdidas propias del mismo o al efecto inducido por conducción o radiación desde otros elementos vecinos. Evidentemente un diseño adecuado del equipo debe tomar en consideración estas circunstancias.

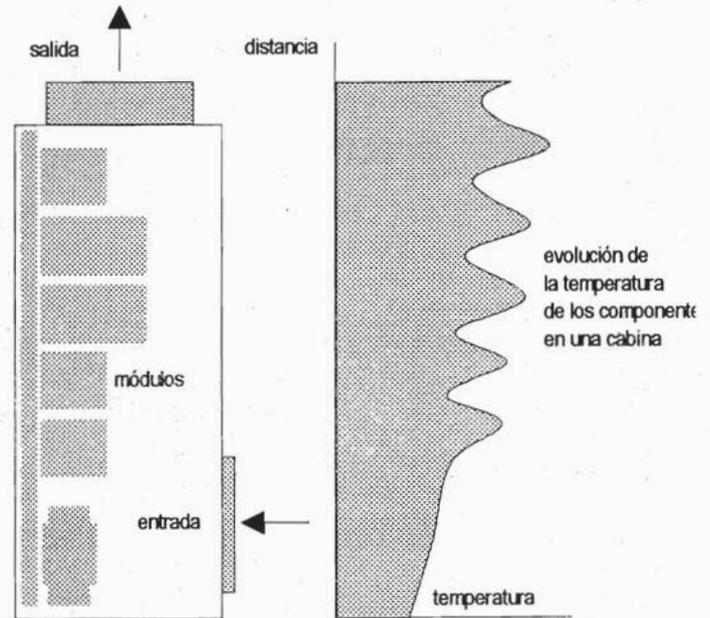


Figura 6. Visualización de la elevación de temperatura

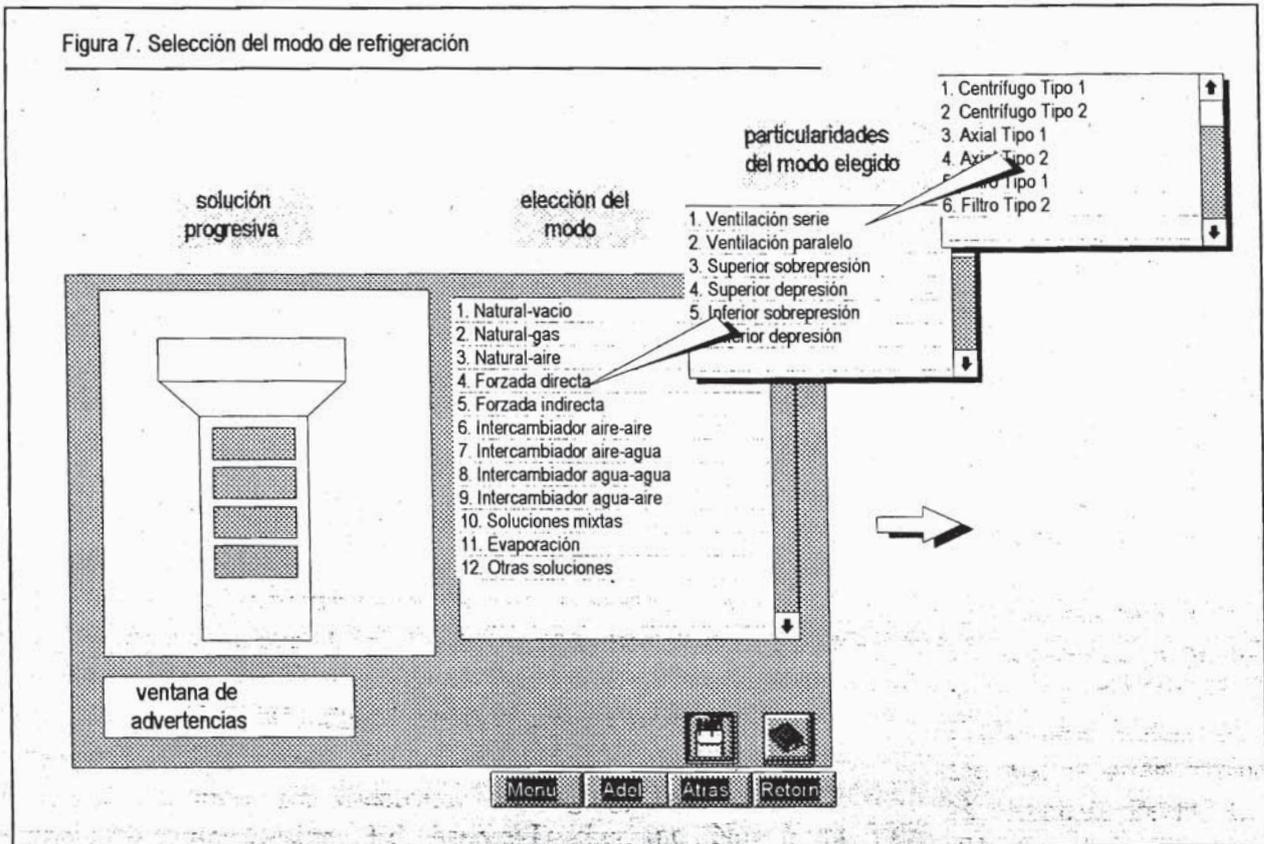
El usuario debe entender perfectamente los diferentes modos de refrigeración posibles así como los criterios para la elección de cada uno de ellos. El *Texto Electrónico* asociado al módulo *Termal* viene en su ayuda, describiendo paso a paso los conceptos esenciales de la transmisión de calor y su aplicación a las configuraciones usuales en un equipo electrónico. La elección del modo de refrigeración y de los accesorios necesarios, resulta guiada por el programa según se muestra en la Figura 7.

Los medios adicionales previstos permitirán en un próximas versiones obtener no solamente la temperatura en algunos puntos críticos, sino bajo forma de mapa continuo en el que se muestren las curvas térmicas de nivel enseudocolor.

## 6. ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y CHOQUES DEL MODELO INTEGRADO

Los equipos eléctricos o electrónicos y en general los equipos industriales, pueden encontrarse sometidos a sollicitaciones mecánicas caracterizadas por un amplio espectro de frecuencias y

Figura 7. Selección del modo de refrigeración



niveles de aceleración. Puede afirmarse sin lugar a duda que cualquier equipo se verá sometido a tales solicitaciones en un momento u otro de su vida. No basta con que indiquemos al usuario que un componente de dimensiones importantes no debe ser fijado mediante conexiones rígidas a un circuito, sino que hay que hacerle comprender que el circuito impreso se va a comportar como una *placa vibrante* y que sean cuales sean las precauciones de fijación que adoptemos, vibrará siempre. Las modificaciones en el modo de fijación, es decir las condiciones en los límites, afectarán únicamente al modo de vibración. La existencia de una placa deformable sobre la que se fija el componente impondrá un desplazamiento relativo inevitable entre el circuito y el componente y por ende un problema de esfuerzo exagerado o fatiga sobre las conexiones soldadas. [7]

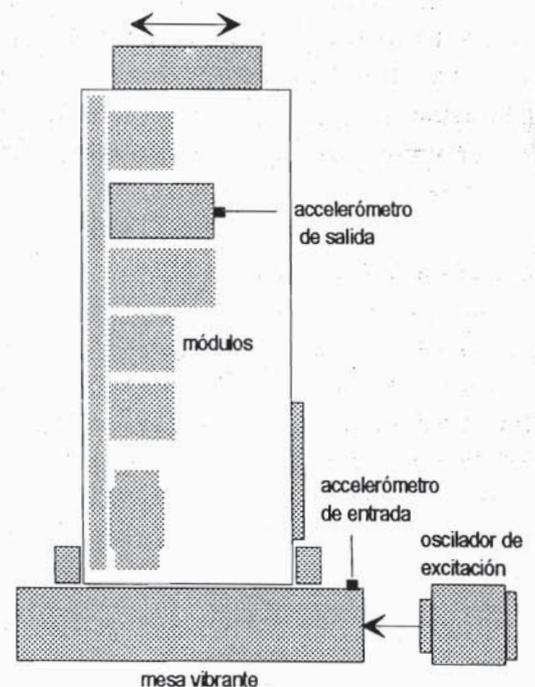
En principio las vibraciones o choques pueden presentarse *durante el proceso de fabricación de los subconjuntos, conjuntos o equipos, durante el transporte, montaje o bien durante el funcionamiento de los mismos*, como consecuencia de la instalación en máquinas o vehículos móviles (equipos de tracción eléctrica, equipos para puentes grúa, etc.) o en las inmediaciones de máquinas rotativas o de elementos generadores de vibraciones mecánicas. Todos estos fenómenos mecánicos, vibraciones o choques, pueden ocasionar ya sea de un modo inmediato o por la aparición de procesos de fatiga, fallos de muy diversa naturaleza en un equipo eléctrico o electrónico: rotura de fijaciones, rotura de conductores, agrietamiento de elementos aislantes cristalinos, cizallamiento de soldaduras en circuitos impresos, etc.

Los conceptos relacionados con la fatiga en los componentes electrónicos han sido ampliamente estudiados en la literatura especializada [7] [8]. Se admite que la fatiga es la *repetición de un ciclo de esfuerzos* que si se produjera aisladamente desarrollaría en los materiales objeto del ensayo, solicitaciones muy inferiores a las correspondientes a su límite elástico o a su carga de ruptura. Sin embargo la aplicación reiterada del mismo ciclo (como ocurre en el caso de vibra-

ciones mantenidas) produce en cierto modo una acumulación o integración de la energía, originándose al cabo de un número elevado de ciclos, la ruptura o destrucción del elemento por fatiga. El número de ciclos necesario para que dicho fallo se produzca se conoce como *duración de vida por fatiga*. Es interesante establecer la relación entre el "nivel de sollicitación" aplicado al elemento o componente y el número de ciclos necesarios  $N_f$  para que se produzca el fallo, es decir lo que pudiera definirse como "duración de vida". Lógicamente cuanto mayor sea el esfuerzo (de cualquier naturaleza) aplicado, menor número de ciclos serán necesarios. Al límite, si se sobrepasa la carga estática de ruptura, esta *se producirá desde el primer ciclo*. Por el contrario si se reduce la sollicitación aplicada, a partir de un cierto valor no se producirá ruptura envejecimiento o destrucción por muy elevado que sea el número de ciclos. Nos encontramos en una *zona de seguridad absoluta*. Si se representan en coordenadas logarítmicas los pares de valores obtenidos, se puede establecer una correlación exponencial que en este sistema de coordenadas aparece como una línea recta lo que facilita el análisis matemático.

El estudio del comportamiento de una entidad determinada en una cabina sometida a vibración, sinusoidal o aleatoria, requiere el conocimiento de las propiedades mecánicas de la entidad, masa, m.d.i., frecuencia de resonancia, comportamiento elástico. Requiere igualmente una definición precisa de la situación de la entidad en el interior de la estructura - cabina, bastidor - que la alberga y de la *transmisibilidad* entre el punto de aplicación de la excitación y el módulo o entidad que se analiza. La *transmisibilidad* puede ser calculada o estimada. *Vibral*, programa de simulación incorporado al entorno multimedia *MIDEE*, permite visualizar en pantalla esta situación relativa de los puntos de aplicación de la excitación, de las características de esta excitación (sinusoidal o aleatoria) así como de sus frecuencia y nivel de aceleración. Del análisis previo realizado en el módulo *Diseño* puede deducirse la transmisibilidad del sistema entre los puntos de aplicación y de análisis y por ende los esfuerzos transmitidos a la entidad objeto de análisis. Esta simulación realizada por *Vibral* permite obtener un conocimiento claro del comportamiento de cada elemento, realizando un análisis sucesivo de cada uno de los conjuntos o subconjuntos que forman parte de un equipo.

El programa simula el ensayo real y permite detectar valores de sollicitación incompatibles con la especificación del equipo. Las modificaciones necesaria pueden ser realizadas directamente en el módulo de *Diseño*, procediendo posteriormente a una nueva verificación. Como en el caso de los demás módulos descritos, se dispone en todo momento del *Texto Electrónico*, que permite la consulta puntual o el estudio programado, así como de la *Ayuda* y guía del *Consejero Interactivo*.



**Figura 8. Ensayo de vibraciones en un equipo electrónico**

## 7. OTROS MÓDULOS DEL ENTORNO MIDEE: FIABYL (PARA EL ESTUDIO DE LA FIABILIDAD) Y COMPATIBYL (PARA EL ANÁLISIS DE LA E.M.I.)

De lo expuesto se comprende cual es el proceso seguido para la utilización de los diferentes módulos del entorno *MIDEE*. Además de los descritos, se dispone de otros módulos adicionales que permiten simular o analizar las siguientes funciones del *modelo integrado*.

*Fiabyl*, es una aplicación diseñada para analizar, a partir de la tasa de fallos de cada uno de los componentes la probabilidad de que cada entidad (subconjunto, conjunto o unidad) sea capaz de realizar la función especificada durante un intervalo de tiempo determinado, es decir su *fiabilidad*. La determinación de la fiabilidad y el proceso de su optimización se realiza utilizando los modelos conocidos de *predicción de fiabilidad*. Se ha orientado el desarrollo de esta aplicación, introduciendo los modernos conceptos de *stressor* y *susceptibilidad* como medio avanzado para predecir y optimizar la fiabilidad de una entidad. [8]. Se define el *stressor*, por Brombacher, como una entidad física que influencia la duración de vida de un componente o circuito. El mecanismo de fallo se define entonces como el *proceso de degradación física de un componente electrónico influenciado por uno o mas stressors*.

*Compatibyl*. Partiendo de la geometría del modelo integrado y de los parámetros asociados permite realizar un análisis completo de compatibilidad electromagnética, tanto desde el punto de vista de generación de interferencias por cada una de las entidades alojadas en una cabina como por la unidad en su conjunto. Al disponer de todos los parámetros dimensionales, estructurales y físicos de cada una de las entidades incorporadas al diseño, resulta posible simular la influencia que sobre ellas ejerce una perturbación electromagnética recibida, es decir analizar la susceptibilidad del modelo integrado a la aparición de influencias electromagnéticas. [9]

*Ergonomo*. En todo diseño de equipo electrónico, aparecen problemas relacionados con la interacción o interfaz entre el hombre - el usuario - y el equipo. [3][9]. No puede darse por terminado un diseño sin que se hallan analizado sistemáticamente estas peculiaridades. El módulo *Ergonomo* mediante las ayudas inmediatas que incorpora, facilita la realización de un diseño que permita la integración satisfactoria del hombre y del equipo electrónico, buscando la máxima comodidad y simplicidad de manejo así como rapidez y seguridad en las operaciones de mantenimiento y reparación.

Fundamentalmente *Ergonomo* incluye una Base de Datos interactiva con las reglas de diseño aplicables a cada caso, tales como distancia entre dispositivos, evaluación de los mismos para una función determinada, evaluación de las señales sonoras generadas por el equipo, métodos de codificación de los dispositivos de mando (forma, color, tamaño, función, situación, etiquetado, etc.) lo que facilita enormemente la verificación del diseño y su adecuación al usuario.

La estructura de *Texto Electrónico* asociado a cada uno de estos módulos, existencia de la *Ayuda* y del *Consejero de Diseño* son similares a las anteriormente descritas.

## 8. CONCLUSIÓN.

La integración alrededor de un entorno multimedia - *MIDEE* - de una serie de programas específicos permite realizar un diseño interactivo de un equipo electrónico. Aprovechando ciertas aplicaciones existentes en el mercado y creando otras específicas integradas en un entorno

multimedia, aporta un enfoque finalista al diseño de equipos electrónicos, no limitándolo a su funcionalidad sino también a su fiabilidad (funcionalidad en el tiempo), bajo solicitaciones eléctricas o mecánicas (stressors) y a sus relaciones con el entorno humano o con el medio electromagnético de interferencias emitidas o recibidas. Asociado a cada proceso existe un *Texto Electrónico* utilizable en la creación de *Cursos de Especialización*, así como las *Ayudas* y *Consejos de Diseño* que la herramienta multimedia permite multiplicar sin pérdida de claridad en la navegación o en la interrelación entre aplicaciones. Es un proyecto de gran envergadura - en particular por la necesidad de creación de amplias bases de datos - que se extenderá, perfeccionándose, en el futuro.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Charles A. Harper. "Electronic Packaging and Interconnection Handbook", Ed. McGraw-Hill, Inc, New York, 1991
- [2] A. Moreno Muñoz y otros, "Hyperelectrónica: Sistema Hypermedia para la Enseñanza de la Electrónica", Comunicación presentada al *TAAE-94, I Congreso sobre Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, Madrid, Julio 1994
- [3] Bernard S. Matisoff, P.E. CMfgE, "Handbook of Electronics Packaging", De. Van Nostrand Reinold, New York, 1990, 2ª edición
- [4] Michael Pecht, CALCE (Center for Electronic Packaging, University of Maryland), "Handbook for Electronic Packaging Design", Ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 1991
- [5] A.F.Mills, "Heat Transfert", University of California, Los Angeles, Edit. Irwin, Boston 1992
- [6] Dave S. Steinberg, "Cooling Techniques for Electronic Equipment", J.Wiley & Sons, New York, 1991 J.Wiley & Sons, New York, 1988
- [7] Dave S. Steinberg, "Vibration Analysis for Electronic Equipment", J.Wiley & Sons, New York, 1988
- [8] A. C. Brombacher, "Reliability by Dessign, CAE Techniques for Electronic Components and Systems", J.Wiley & Sons, New York, 1992
- [9] Jakob Nielsen, "Usability Engineering", Academic Press, Inc., Boston, 1993
- [10] J. E. Vila Aresté y P. García Vicente de Vera. "Compatibilidad electromagnética en equipos de telecomunicaciones", *Mundo Electrónico*, nº 224/225, Pág 60-69, Enero/Febrero 1992.
- [11] A. Plaza Alonso y otros, "Curso de Ingeniería de Diseño de Equipos Eléctricos y Electrónicos", Curso propio de especialización de la Universidad de Córdoba, E.U.P., Módulos I al VIII, Córdoba, 1993-1994