



UNIVERSIDAD  
DE BURGOS

UNIVERSIDAD DE BURGOS

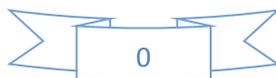
# Tecnología de Sistemas Electrónicos Manual de prácticas

---

(para modalidad no presencial)

José M. Cámara Nebreda (checam@ubu.es)

v 1.0



# Índice

---

Práctica 1 : Diseño manual.....	4
Esquema eléctrico propuesto.....	4
Huellas de los componentes.....	4
Reglas de diseño.....	5
Realización práctica.....	5
Entrega.....	7
Práctica 2 : Captura de esquemas.....	8
Instalación y configuración de Eagle.....	8
Creación de un esquema eléctrico.....	9
Realización práctica.....	12
Entrega.....	12
Práctica 3 : Diseño manual por ordenador.....	13
Diseño de placa a partir del esquema eléctrico.....	13
Modificación de los pads.....	15
Realización práctica.....	18
Entrega.....	18
Práctica 4 : Diseño manual por ordenador II.....	19
Ajuste del borde exterior de la placa.....	19
Inserción de un texto identificativo.....	20
Colocación de marcas de referencia exteriores.....	21
Inclusión de agujeros de montaje.....	21
Impresión del cliché de fabricación.....	22
Realización práctica.....	23
Entrega.....	23
Práctica 5 : Diseño automático.....	24
Reglas de diseño.....	24
Capas de rutado.....	25
Distancias.....	26
Anchura de las pistas.....	26



Tamaño de los pads.....	26
Preparación para el rutado. ....	27
Autorrutado.....	27
Realización práctica.....	28
Entrega. ....	28
Práctica 6 : Fabricación industrial. ....	29
Preparación de la placa.....	29
Envío de la placa.....	29
Comprobación de los resultados.....	30
Realización práctica.....	31
Entrega. ....	32
Práctica 7 : Selección de componentes.....	33
Lista de componentes. ....	33
Selección de componentes en el mercado. ....	33
Realización práctica.....	36
Entrega. ....	36
Práctica 8 : Documentación del proyecto. ....	37
Ficheros de diseño.....	37
Dcoumentación. ....	37
Archivos de fabricación. ....	39
Realización práctica.....	39
Entrega. ....	40

# Introducción

---

El objetivo de este curso es adentrarse en las técnicas de diseño y fabricación de placas de circuito impreso. Se trata de, a partir de un esquema eléctrico, llevar a cabo el diseño de la placa de circuito impreso. La placa debe ser fabricable en este caso a una y a dos caras. El proceso termina con la selección de los componentes y el cálculo del coste de los mismos.

Este curso está pensado para ser llevado a cabo sin presencia física en el laboratorio, pero no por ello se renuncia a que el alumno sea capaz de poner en funcionamiento real un circuito electrónico. Para llevarlo a cabo se plantean varias opciones. La que se considera por defecto en este manual es la de que el alumno envíe su diseño a fábrica para su posterior entrega como resultado de las prácticas. No obstante, también se le ofrece la posibilidad de que se acerque excepcionalmente al laboratorio para fabricar la placa y probarla o que la pueda realizar por sus propios medios.

Conviene señalar que no estamos en un curso de diseño del circuito electrónico, sino que ya se parte de un diseño válido. No se incluyen por tanto aspectos de cálculo y/o simulación.

Es importante tener en cuenta de que no se está presentando un manual de utilización de Eagle ni un curso de diseño y fabricación de PCB. Se trata de la parte práctica de una asignatura concreta, para la cual se han priorizado una serie de objetivos de aprendizaje. Su extensión debe ajustarse a los 3 créditos asignados a estas prácticas por lo que se ha tenido que prescindir de aspectos que pueden ser considerados relevantes. El desarrollo también se corresponde con las mencionadas circunstancias; se comienza con exposiciones muy detalladas del uso de las herramientas, detalle que se va perdiendo progresivamente para que sea el alumno el que busque algunas de las herramientas o soluciones que se mencionan.

## Práctica 1 : Diseño manual.

A pesar de que el trabajo de diseñar placas de circuito impreso se realiza habitualmente de una forma enteramente automatizada, vamos a realizar una introducción al diseño manual tradicional con el fin principal de adquirir un conocimiento de los problemas asociados a la resolución del layout de la placa. Como objetivo secundario fijaremos el de disponer de una solución propia ajustada a unas reglas de diseño muy estrictas que nos permitan la fabricación de la placa con medios muy limitados.

### Esquema eléctrico propuesto.

En este curso vamos a tratar de construir la placa de circuito impreso correspondiente al circuito de la Figura 1.1

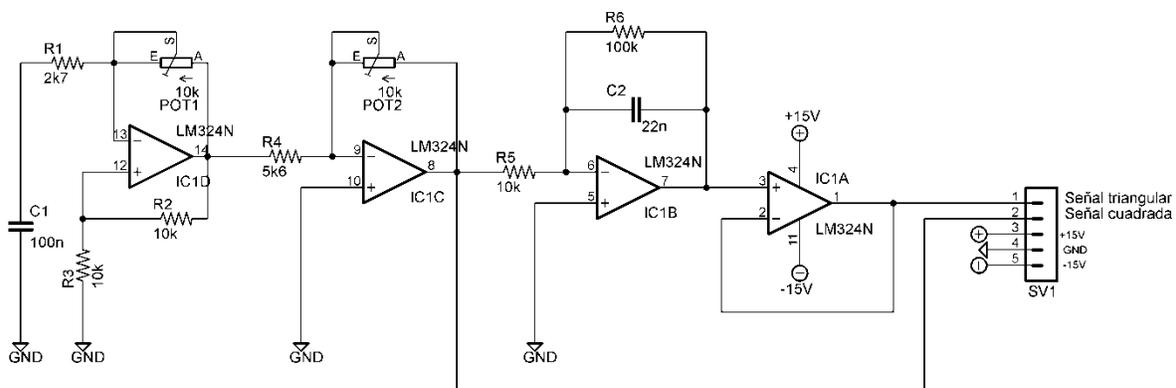


Figura 1.1

Se trata de un generador de formas de onda a cuya salida obtendremos una señal triangular y una señal cuadrada. Mediante sendos potenciómetros podremos modificar dinámicamente sus amplitudes y frecuencias.

### Huellas de los componentes.

Para poder realizar un diseño de la placa de circuito impreso debemos conocer las huellas, esto es, el número de puntos de soldadura, su forma y distancia, de cada uno de los componentes. En la Figura 1.2 podemos ver las huellas de aquellos que van a condicionar nuestro diseño.

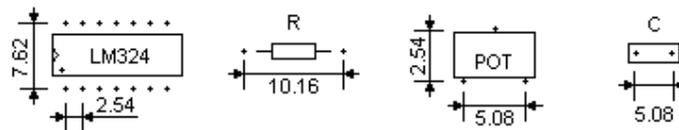


Figura 1.2

Las acotaciones se encuentran en milímetros. Se trata de valores decimales ya que la unidad básica es la décima de pulgada (2,54mm). El conector que figura en el esquema eléctrico no se corresponde con un componente real, sino que utilizaremos como tal una tira de pines estándar

cuya separación es de una décima de pulgada (la misma separación que encontramos entre las patillas del circuito integrado).

### Reglas de diseño.

En este curso vamos a trabajar con unas reglas de diseño alejadas de lo que marcaría la normativa de cálculo de anchura de pistas y separación entre ellas. El motivo es facilitar, llegado el caso, la fabricación de la placa resultante con medios modestos. Más adelante especificaremos con detalle estas reglas; en este momento nos vamos a limitar a detallar sus consecuencias a la hora de resolver la placa de forma manual:

- No se deberá pasar más de 3 pistas en paralelo por debajo del integrado (siendo recomendable pasar sólo 2).
- No pasar pistas entre las patillas del integrado.
- No pasar más de 4 pistas por debajo de una resistencia (siendo recomendable pasar sólo 3).
- No pasar más de 1 pista por debajo de un condensador.
- No pasar pistas entre las patillas de los potenciómetros.

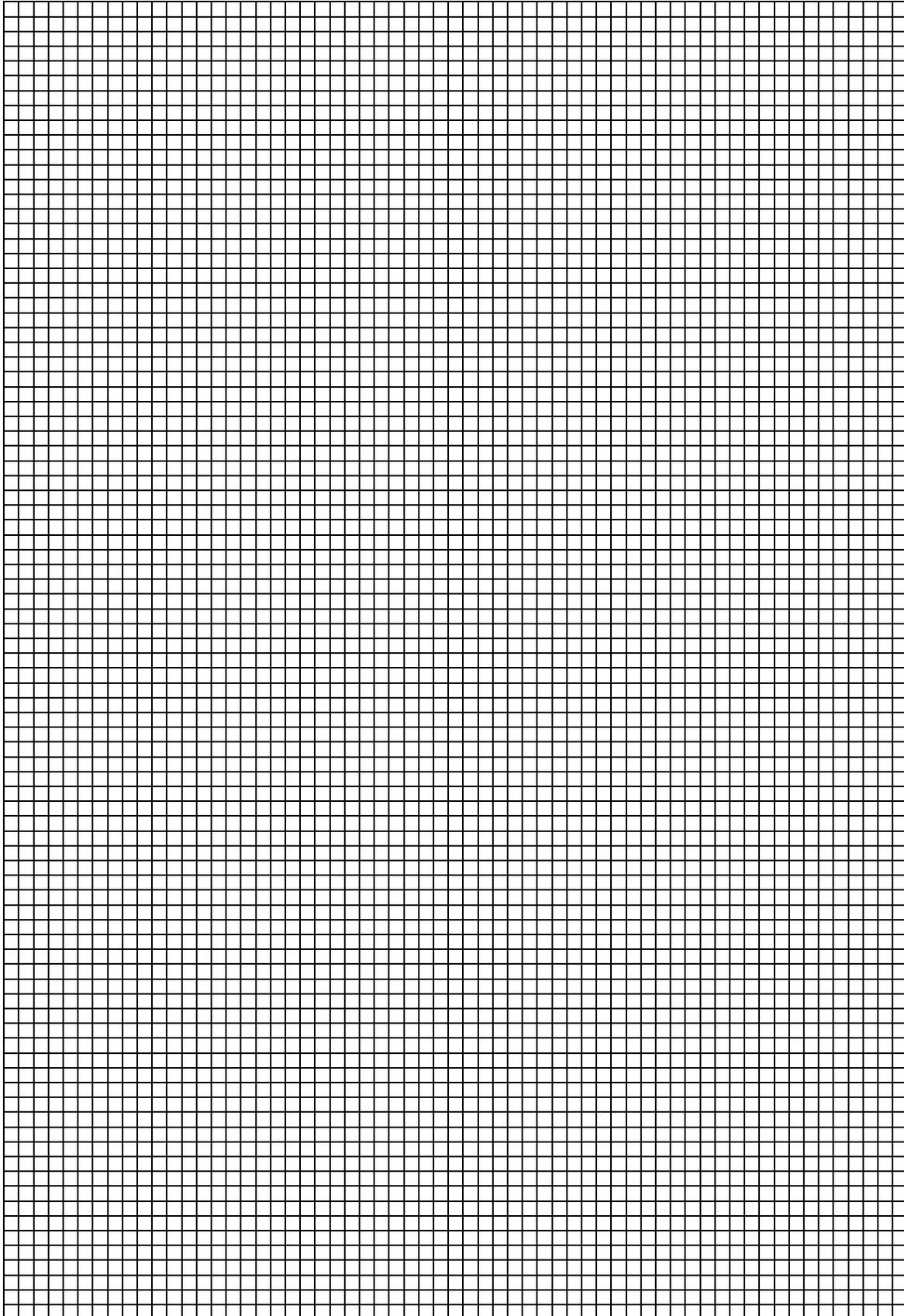
### Realización práctica.

En esta práctica se pretende resolver la placa de circuito impreso correspondiente al generador de formas de onda propuesto. Para ello se ha de buscar un recorrido válido para todas las conexiones del circuito incluyendo el conector.

Restricciones y recomendaciones adicionales:

- Se va a realizar el rutado a una sola cara por lo que los recorridos (las pistas) no se pueden cruzar.
- El conector se debe situar en la periferia de la placa. No más de una pista (en paralelo) puede pasar entre él y el borde de la placa.
- No se permite alterar el orden de las patillas del conector.
- Es recomendable situar el componente más complejo (el circuito integrado) en el centro del diseño.

En primera instancia, se realizará un borrador sin escala de la placa resultante. Una vez resuelto el problema, se dibujarán las huellas de los componentes y las pistas que les unen a tamaño real. Para facilitar esta labor, en la página siguiente se dispone de una cuadrícula pulgamentrada sobre la que es más fácil ubicar los elementos. Recordar que, al ser las distancias entre patillas de los componentes múltiplos de una décima de pulgada, siempre van a poder ser ubicadas en intersecciones de la cuadrícula.



### Entrega.

Tras la realización de esta práctica se entregará un informe que estará integrado por dos elementos principales, además de todos los comentarios que se considere oportuno añadir:

- Borrador fuera de escala de la resolución del circuito.
- Diseño a tamaño real de la placa incluyendo las huellas de los componentes y las pistas que los unen.

En ambos casos son válidas las imágenes escaneadas de los diseños.

## Práctica 2 : Captura de esquemas.

El proceso de diseño de la placa comienza habitualmente por la introducción del esquema eléctrico del circuito en mediante una aplicación de captura de esquemas.

Existen numerosos paquetes de software que permiten la edición de esquemas, el diseño de la placa de circuito impreso e incluso la simulación. Algunos de ellos son gratuitos y otros son de pago. Cuestiones importantes que se deben tener en cuenta a la hora de elegir uno de ellos es que, además de proporcionarnos la funcionalidad adecuada, disponga de suficientes librerías de componentes y su uso esté ampliamente extendido para que nos facilite el intercambio de ficheros con otros usuarios. Estas cuestiones habitualmente las cumplen los programas de pago. En este curso nos hemos decantado por el uso de Eagle, aplicación propietaria de Cadsoft y por lo tanto de pago. Este programa dispone de una licencia “freeware” para uso educacional que no plantea ninguna limitación para los objetivos de este curso.

El presente documento hace referencia a la versión 7.2.0 de Eagle. Pido disculpas por adelantado si el equipo de Cadsoft es más rápido en la actualización de Eagle que yo en la de este manual de prácticas.

### Instalación y configuración de Eagle

Es posible obtener la versión más reciente de Eagle en la web de descargas del propietario:

<http://www.cadsoftusa.com/download-eagle/>

El proceso de instalación es trivial, por lo que no nos vamos a detener en él, simplemente recalcar que, al final del mismo, se nos interrogará sobre el tipo de licencia, a lo que podremos responder que queremos ejecutarlo como “freeware”.

Antes de comenzar puede ser interesante ajustar la ubicación por defecto de los proyectos que vayamos a crear. Para ello podemos entrar en el menú de opciones “Options” y ajustarlo como se muestra en la Figura 2.1.

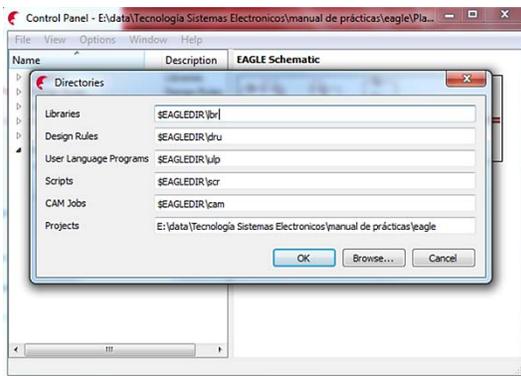


Figura 2.1

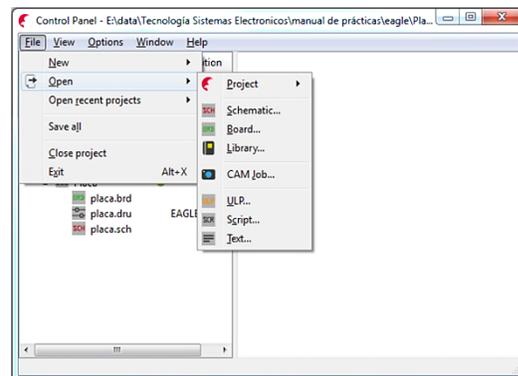


Figura 2.2

A continuación crearemos un nuevo proyecto a través del menú de fichero “File” en la opción “New”, como se muestra en la Figura 2.2.

Podremos asignarle un nombre al proyecto y, posteriormente, mediante un click derecho sobre el propio proyecto crear un nuevo esquema eléctrico: “New” -> “Schematic”. En ese momento se nos abrirá la ventana de trabajo para que podamos introducir el esquema eléctrico del circuito.

## Creación de un esquema eléctrico.

La creación de un esquema eléctrico lleva asociadas varias tareas:

- Localización de los componentes en las librerías.
- Ajuste de las propiedades de los componentes: huella, nombre, valor, etc.
- Cableado.

Comenzaremos por el componente más complejo de nuestro diseño: el amplificador operacional. A través del menú de edición “Edit” o mediante el icono de acceso rápido como se ve en la Figura 2.3, podemos activar la función de añadir un componente: “Add”.

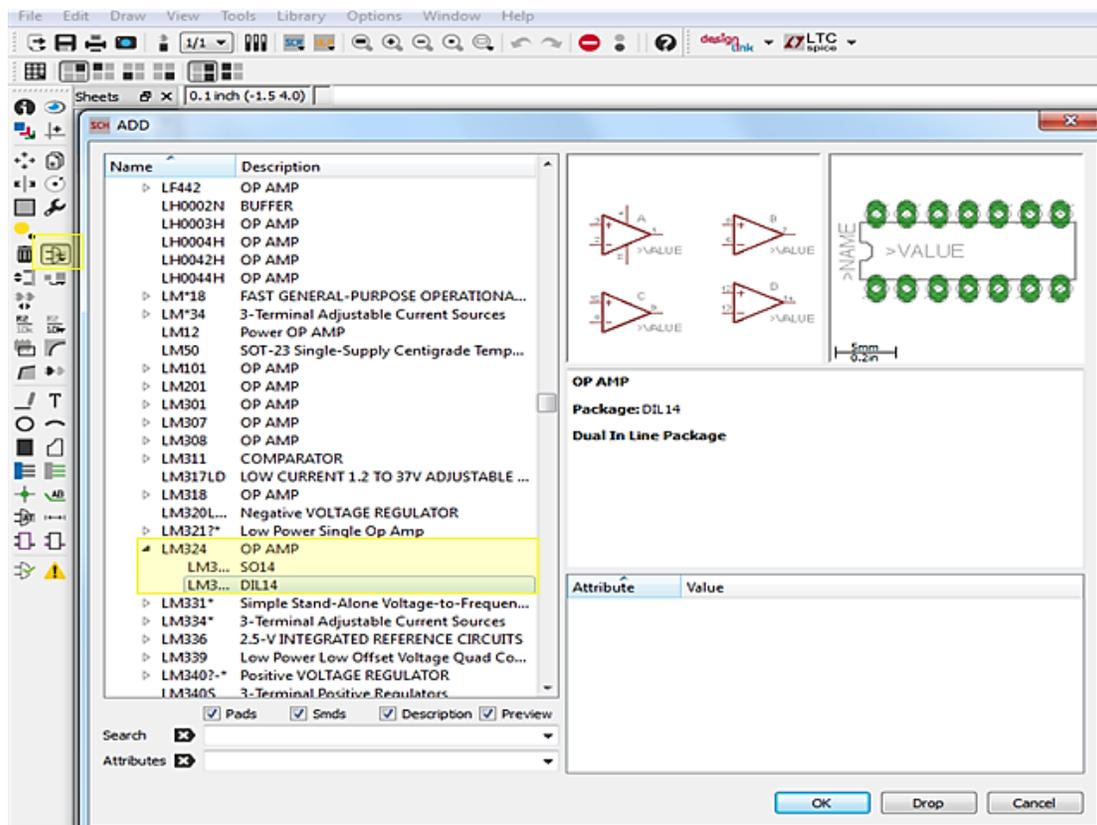


Figura 2.3

Nuestro amplificador se encuentra en la librería “linear”, en la que podemos encontrarlo con su nombre: LM324. No obstante, existen dos opciones bajo esta denominación, las cuales corresponden con otros tantos posibles encapsulados: uno para montaje superficial y otro para inserción. El nuestro será este último, denominado “DIL14”.

*Para incorporar el componente al esquema debemos hacer click en “OK”. Es importante recordar esto porque si hacemos click en la opción “Drop”, lo que conseguiremos es eliminar la librería completa. Si nos ha ocurrido esto, a través del menú “Library” → “Use”, podemos volver a incorporarla.*

A partir de ahí, cada vez que hagamos click en la hoja de trabajo nos va a aparecer una copia del amplificador operacional. En nuestro circuito pretendemos incorporar 4 amplificadores operacionales, que son exactamente los que se encuentran integrados en el LM324 de manera que con 4 clicks los tendremos todos en pantalla. Luego pulsaremos “Esc” para dejar de incorporar dispositivos. Todos ellos han de tener la referencia “IC1”, lo que indicaría que pertenecen al circuito integrado nº 1. Se distinguirán entre sí por las letras: A, B, C, D. Mediante la opción “Move” del menú de edición o su icono de acceso rápido, como se puede ver en la Figura 2.4, deberemos ubicar los 4 amplificadores en sus posiciones relativas finales, para respetar el orden de patillas establecido en nuestro circuito.

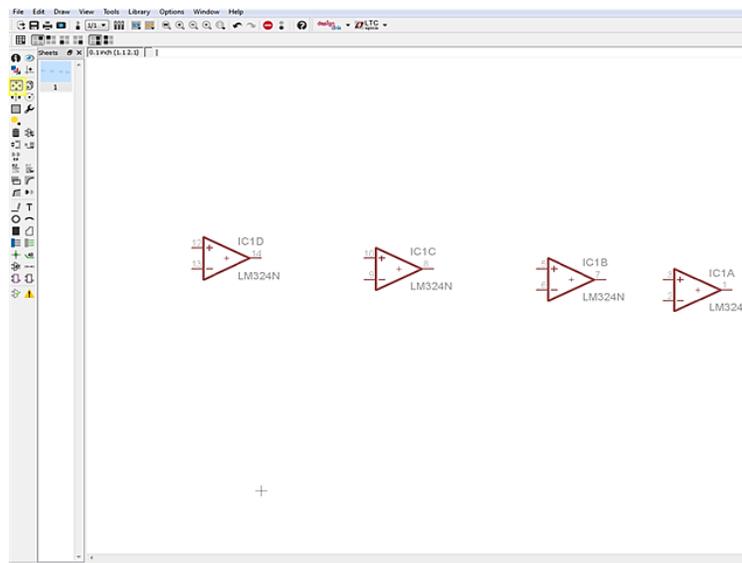


Figura 2.4

Los amplificadores operacionales no aparecen con su imagen definitiva aún. Podemos apreciar que, respecto al esquema de la práctica anterior, los amplificadores B, C y D aparecen con sus entradas invertidas. También vemos que ninguno de ellos dispone de los terminales de alimentación. Todas estas cuestiones y otras que afectarán a otros componentes encuentran solución en el menú contextual que aparece al hacer click derecho sobre un componente y que podemos ver en la Figura 2.5.

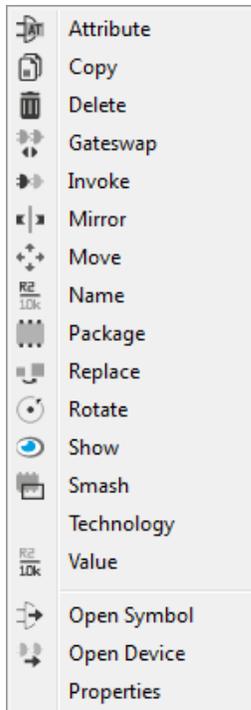


Figura 2.5

- *En el menú no encontramos un espejo vertical para invertir las entradas de los amplificadores, pero en su lugar podemos recurrir al espejo horizontal y realizar dos giros posteriormente.*
- *La aparición de los terminales de alimentación positiva y negativa en las patillas 4 y 11 respectivamente se consigue mediante la herramienta "Invoke".*
- *Los comandos "Name" y "Value" nos permiten editar el nombre y valor de los componentes.*
- *La herramienta "Smash" nos permite actuar separadamente sobre los distintos elementos asociados a un componente: símbolo, nombre, valor, etc. De esta forma podemos modificar la posición relativa del nombre y el símbolo, modificar tamaños y otras operaciones similares.*

Gracias a las operaciones vistas hasta el momento podemos llevar a cabo las operaciones que van a ser necesarias sobre los componentes que vamos a ir incorporando. Veamos ahora cómo localizar el resto de componentes. La Tabla 2-I nos muestra en qué librería y con qué referencia encontraremos cada uno.

COMPONENTE	LIBRERÍA	REFERENCIA
<b>Conector</b>	con-lstb	MA05-1
<b>Resistencia</b>	resistor / R-US_	R-US_0207/10
<b>Condensador</b>	resistor / C-EU	C-EU050-025X075
<b>Potenciómetro</b>	pot / TRIM_EU-	TRIM_EU-CA6H
<b>Símbolo alimentación +15V</b>	supply2	+15V
<b>Símbolo alimentación -15V</b>	supply2	-15V
<b>Símbolo GND</b>	supply2	GND

Tabla 2-I

Una vez ubicados todos los componentes y ajustados sus nombres y valores, podemos proceder a realizar las uniones eléctricas entre ellos. Utilizaremos dos herramientas disponibles en la aplicación: "wire" y "junction". Las vemos resaltadas en amarillo en la Figura 2.6.

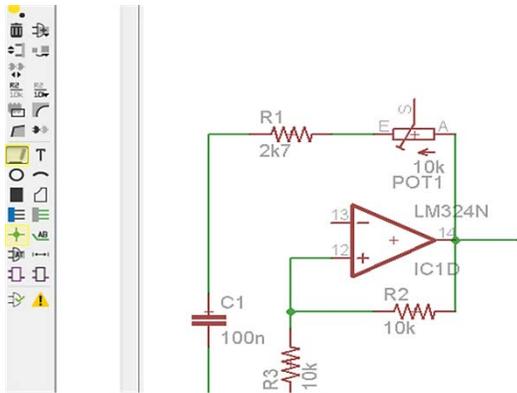


Figura 2.6

*El color verde que aparece por defecto se corresponde con el de la capa 91 ("Nets"). Si se quiere modificar, se puede hacer en el menú View -> Layer settings.*

Finalmente, mediante la herramienta de edición de texto, accesible a través del icono con una "T", podemos insertar texto libre. Podemos utilizarla para indicar las salidas correspondientes a las señales triangular y cuadrada.

### Realización práctica.

En esta práctica se deberá reconstruir el esquema eléctrico del circuito que se presentó en la Práctica 1, reproduciéndolo de la manera más fiel posible, no solo manteniendo sus características eléctricas, sino también su apariencia estética con el fin de practicar con las diferentes herramientas que se han mostrado hasta ahora.

### Entrega.

La práctica concluirá con la entrega del fichero correspondiente al esquema eléctrico del circuito junto con una hoja resumen en la que se reflejen los pasos realizados así como las posibles dificultades encontradas y cuantas sugerencias se consideren oportunas.

### Práctica 3 : Diseño manual por ordenador.

Este título, en apariencia contradictorio, viene a indicar que en esta práctica vamos a utilizar el ordenador como mera herramienta de dibujo. El diseñador va a tomar todas las decisiones acerca de la ubicación de los componentes y el trazado de las pistas y las va a materializar sobre la hoja de trabajo.

Para ello se partirá del esquema eléctrico introducido en la Práctica 2.

#### Diseño de placa a partir del esquema eléctrico.

Una vez finalizado el esquema eléctrico, podemos pasar directamente a la aplicación de diseño de placas de circuito impreso mediante el icono “Generate/switch to board”. En la Figura 3.1 lo podemos ver resaltado junto con la nueva ventana que se abre.

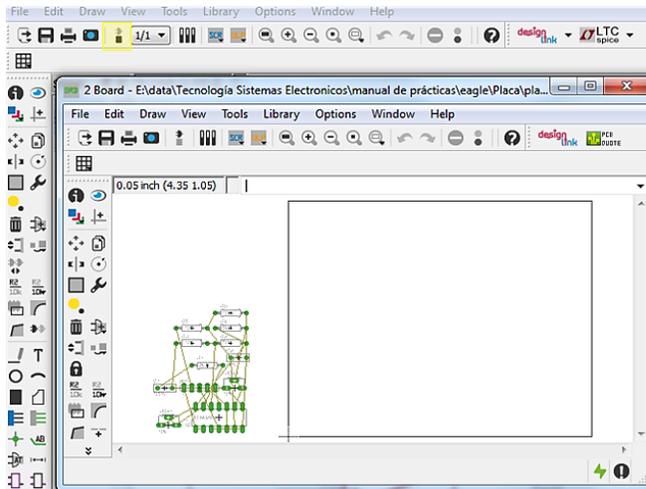


Figura 3.1

*La primera vez se nos pedirá confirmar la creación del fichero correspondiente a la placa. Una vez confirmado, se abrirá la aplicación de diseño en la que se podrán observar todos los componentes introducidos y las conexiones eléctricas entre ellos.*

Los componentes se encuentran inicialmente fuera de la zona de trabajo. Su traslado a su ubicación definitiva es muy sencillo ya que simplemente haciendo click sobre un componente, éste se desplazará con el ratón hasta que un nuevo click lo deposite en el lugar de la placa elegido como se muestra en la Figura 3.2. Un click derecho lo rotará antes de depositarlo.

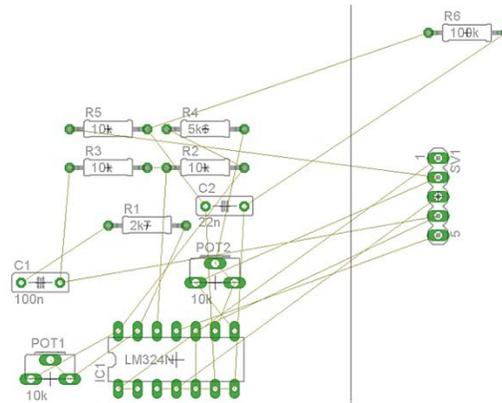


Figura 3.2

*Es importante asegurarse de que el estado de rotación del componente corresponde con el que tenía en el esquema eléctrico. De otro modo, el diseño de la placa nos parecerá imposible de reproducir.*

Cuando tengamos los componentes ubicados podremos pasar a trazar las pistas. En esta práctica vamos a proceder de forma manual. Para ello disponemos de dos iconos, como podemos ver en la Figura 3.3. Uno para trazar pistas y otro para borrarlas si el resultado no es el que esperábamos.

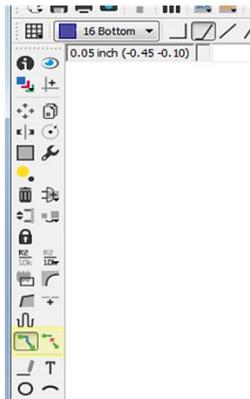


Figura 3.3

*En la parte superior observamos también que por defecto se encuentra activa la capa inferior de la placa "Bottom". Es precisamente por esta cara por la que pretendemos trazar las pistas en una tecnología de inserción como es el caso, por lo que no sería necesario modificar esta selección. Se podría no obstante modificar el color de esta capa si lo consideramos oportuno.*

Antes de comenzar a trazar las pistas debemos ajustar su anchura. Este tipo de consideraciones se encuentran reguladas por normativa (IPC 2221) y tienen su fundamento en aspectos eléctricos, como es la densidad de corriente que los conductores pueden soportar manteniendo su temperatura en unos determinados márgenes. En nuestro caso vamos a proceder a sobredimensionar considerablemente el diseño ya que la escasa corriente que va a circular por nuestros conductores nos llevaría a trazar pistas extremadamente delgadas; muy difíciles de fabricar con éxito si no se dispone de los medios adecuados.

En la Figura 3.4 observamos que, habiendo seleccionado la herramienta para trazar pistas, podemos ajustar la anchura "Width" de las mismas individualmente. Si lo hacemos antes de trazarlas, las tendremos directamente en el tamaño deseado.

*En nuestro diseño vamos a trabajar con pistas de 0.032 pulgadas (unos 0.8mm).*



Figura 3.4

En la Figura 3.4 podemos ver otras opciones asociadas al trazado de las pistas que nos pueden ser de utilidad. Eagle nos proporciona diversos estilos para trazar cambios de dirección en el recorrido de las pistas. Es recomendable, de cara al comportamiento electromagnético de la placa, que estos giros se realicen formando ángulos superiores a 90°.

### Modificación de los pads.

“Pad” es un término en inglés que en este ámbito hace referencia a cada uno de los elementos que forman parte de la huella de un componente. En tecnología de inserción están formados por un taladro pasante y la corona de cobre que se mantiene a su alrededor.

Los componentes llevan asociado un encapsulado estándar que define todos estos parámetros de forma correcta, sin embargo, en función sobre todo de los medios de fabricación, puede ser necesario hacer modificaciones. En nuestro caso vamos a tratar de agrandar la corona de cobre para que el proceso de taladrado manual no lo elimine totalmente.

Existen diversas formas de abordar esta cuestión en Eagle; nos decantaremos por crear unas nuevas huellas para cada componente en las que aparezcan estos cambios. Desde el panel de control de Eagle abriremos la librería en la que está la huella que vamos a modificar. Podemos verlo en la Figura 3.5.

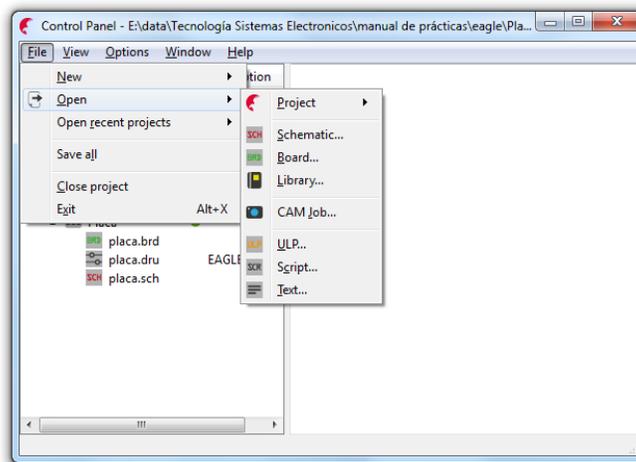


Figura 3.5

Más que modificar un encapsulado existente, es recomendable crear uno nuevo como se ve en la Figura 3.6.

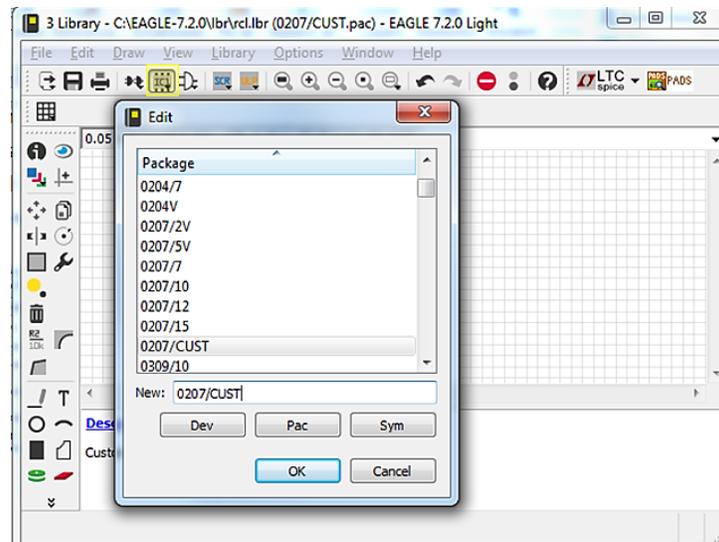


Figura 3.6

El nuevo encapsulado aparecerá vacío. Para no tener que crearlo desde el principio, es recomendable editar el encapsulado de partida y copiarlo íntegro en el nuevo. El proceso no es muy intuitivo, por lo que lo explicaremos sobre la Figura 3.7.

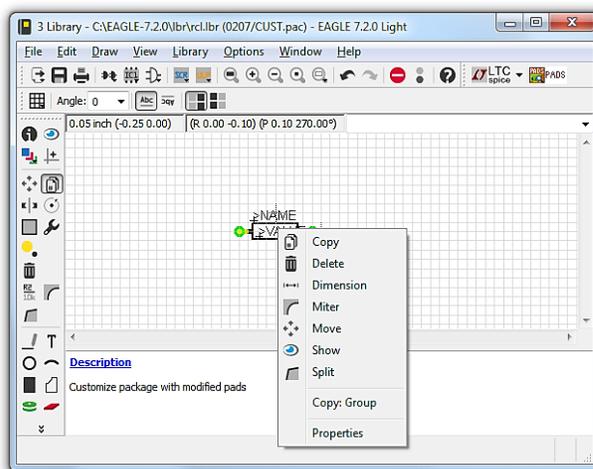


Figura 3.7

 La herramienta "group" nos permitirá seleccionar el encapsulado completo rodeándolo con el ratón manteniendo pulsado el click izdo.

 Seleccionamos la herramienta "copy". Un click derecho nos abre el menú en el que seleccionamos la opción "Copy: Group". En este momento tenemos el encapsulado en el portapapeles. Si abrimos el nuevo encapsulado, podremos copiarlo completo en él.

Es importante prestar atención a la posición relativa del nuevo encapsulado respecto al origen de coordenadas en la hoja. Para poder manipularlo posteriormente con facilidad en la placa, el componente debe estar sobre el origen.

Mediante la herramienta "Change" se puede modificar tanto el diámetro exterior de los pads ("Diameter") como el taladro interior ("Drill"). En la Figura 3.8 se pueden ver estas opciones. Una vez seleccionada una, se hará click individualmente sobre cada pad para hacer efectivo el cambio.

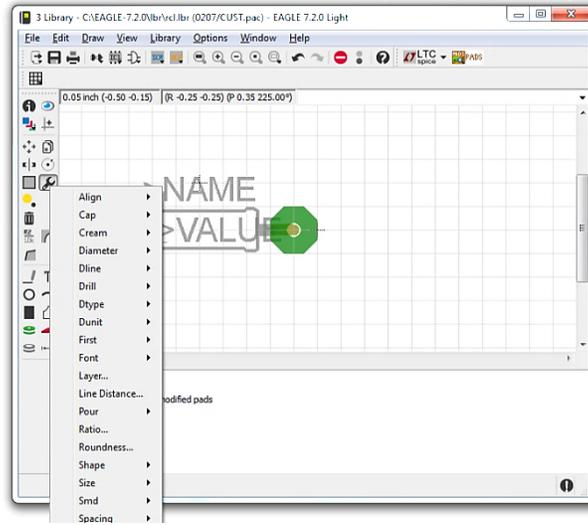


Figura 3.8

*En nuestro diseño vamos a ajustar todos los taladros interiores a 0.019", mientras que los diámetros exteriores de: resistencias, condensadores y potenciómetros los ajustaremos a 0.1". Este diámetro nos permite taladrar con cierta comodidad, pero no podemos mantenerlo en el circuito integrado y el conector porque provocaría un solapamiento de los pads. Para ellos ajustaremos a 0.076".*

Una vez guardada la nueva huella, ésta deberá ser asociada al componente para que aparezca en la lista de encapsulados disponibles para él. Dentro de la misma pantalla de edición de librería, se deberá seleccionar el componente y asignarle la nueva huella como se ve en la Figura 3.9.

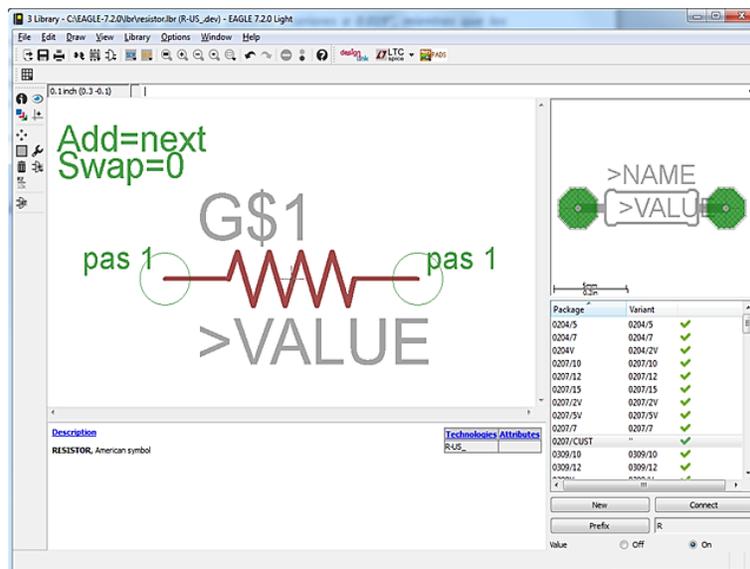


Figura 3.9

En el menú “Library” recurriremos a la opción “Update” para actualizar la librería. Posteriormente, desde el esquema eléctrico recurriremos a la herramienta “Change” -> “Package” para, tras seleccionar el componente, asociarle la nueva huella. Cuando regresemos al diseño de placa, la huella se habrá modificado.

Cuadro resumen de los pasos necesarios para crear una huella modificada:

Paso	Descripción	Observaciones
1	Abrir librería	Abrir la librería en la que está la huella a modificar
2	Crear nueva huella	En el icono “Package”, seleccionar “New” y darle nombre a la nueva huella.
3	Copiar huella	En el icono “Package”, seleccionar la huella que se va a modificar. Mediante la herramienta “Group” rodear la huella completa y ejecutar “Copy:Group”. Volver a la nueva huella y ejecutar el icono “Paste”.
4	Modificar pads	En el icono “Package” seleccionar “Drill”, ajustar el valor previsto y hacer click sobre cada pad. En el icono “Package” seleccionar “Diameter” y proceder igual.
5	Añadir huella	En el icono “Device” seleccionar el componente y añadir el nuevo encapsulado (“New”). Conectar los terminales copiando las conexiones del encapsulado original (“Copy from”).
6	Actualizar librería	Salvar los cambios y actualizar librería: “Library -> Update”.
7	Modificar huella	En el diseño de placa, en el icono “Change”, seleccionar “Package”

Tabla 3-I

### Realización práctica.

El objetivo de esta práctica es la transposición del esquema realizado en la Práctica 1 a la herramienta de diseño de placa de Eagle, de manera que el ordenador nos sirva como herramienta de dibujo para obtener una imagen de la placa de calidad suficiente para ser fabricada con medios modestos.

A partir del esquema eléctrico, se creará la placa. Se partirá de la lista de huellas y conexiones eléctricas configuradas. Se modificarán las huellas para cumplir con los tamaños de pads especificados en esta práctica y se trazarán las pistas ajustando su anchura a 0.8 mm.

Se pretende que el resultado final presente unas dimensiones adecuadas, por lo que habrá que procurar que los componentes se encuentren lo más próximos entre sí dejando espacio lógicamente para trazar las pistas que se tengan previstas entre ellos.

### Entrega.

La práctica concluirá con la entrega del fichero correspondiente diseño de la placa. Se adjuntará un informe en el que se describa el trabajo realizado y las dificultades encontradas.

## Práctica 4 : Diseño manual por ordenador II.

En la Práctica 3 se resolvieron los principales problemas relacionados con el diseño manual de la placa en el ordenador. Sin embargo la placa no se encuentra aún en situación de poder ser fabricada. Antes va a ser necesario realizar algunos ajustes y remates que vamos a ver en esta práctica.

Se van a realizar las siguientes tareas:

- Ajuste del borde exterior de la placa.
- Inserción de un texto identificativo.
- Colocación de marcas de referencia exteriores.
- Inclusión de agujeros de montaje.
- Impresión del cliché de fabricación.

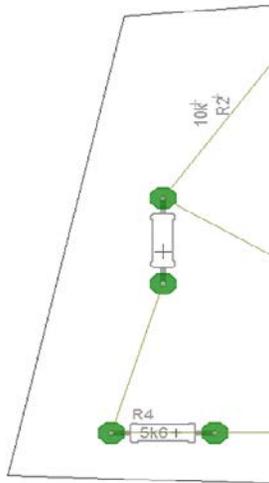
### Ajuste del borde exterior de la placa.

El borde exterior de la placa aparece por defecto como una delgada línea de color negro. A su izquierda se sitúan los componentes y sus conexiones cuando abrimos la placa por primera vez desde la aplicación de captura del esquema eléctrico. Posteriormente movemos los componentes a su interior y trabajamos ya en este ámbito.

El borde exterior sirve como frontera para el autorrutado de la placa y es, para cualquier otra operación su límite natural. Por este motivo va a ser necesario modificar sus dimensiones e incluso su forma. Se trata de trabajar en un espacio suficiente pero no excesivo.

Si se dispone de alguna restricción de tamaño para la placa, convendrá ajustar de entrada el tamaño del borde exterior para no superarlo en ningún caso. Si, como es nuestro caso, no es así, podemos ajustarlo una vez realizada la ubicación de los componentes y el trazado de las pistas. En el primer caso, sería necesario utilizar la herramienta “Dimension”  que veremos más adelante para poder ajustar las dimensiones exactas.

El proceso consiste en seleccionar la herramienta “Move” y hacer click sobre cada una de las líneas del borde exterior para ajustar su posición individualmente como se puede ver en la Figura 4.1.



*Se pueden mover las líneas completas o girarlas respecto a uno de sus extremos. El objetivo es acercar el borde a los componentes y pistas del diseño sin hacer contacto con ellos.*

Figura 4.1

Para nuestro proceso de fabricación va a ser conveniente que el borde exterior forme parte del cliché que utilizaremos como máscara para la insolación de una placa sensibilizada. Por este motivo es también recomendable que tenga un grosor significativo. Vamos a ajustar sus líneas a un grosor equivalente al de una pista del circuito impreso, esto es 0.8 mm. Para ello, en la herramienta “Change” seleccionaremos “Width” -> 0.8128. Luego haremos click sobre las líneas del borde para modificar su grosor una a una.

### Inserción de un texto identificativo.

Mediante la herramienta “Text”  podemos introducir texto libre en nuestro diseño. No tiene efecto en el comportamiento del circuito pero si el objetivo es que aparezca en la placa en cobre como es el caso, hay que cuidar que no tenga contacto con ningún otro elemento de la misma. Si nos encontramos trabajando sobre la cara “Bottom” el texto que introduzcamos en la ventana que se abre al pulsar sobre la herramienta “Text” aparecerá invertido ya que la cara “Bottom” es la cara inferior de la placa y por lo tanto se observa desde abajo. Es correcto que aparezca así. Podemos verlo en la Figura 4.2.



Figura 4.2

Además de identificar la placa, el texto tiene una segunda función. El diseño que estamos realizando lo vamos a imprimir en un soporte transparente para que nos sirva de cliché en el proceso fotográfico de transferencia. Este cliché debe ser colocado en la posición correcta en la máquina insoladora, de lo contrario el resultado sería inservible. Al ser transparente es fácil

equivocarse de lado. El texto sería el único elemento inequívoco en este caso. Desde nuestra posición debemos seguir leyéndolo al revés si está destinado a aparecer en la cara inferior.

### Colocación de marcas de referencia exteriores.

A diferencia del borde exterior y el texto, que tienen utilidad tanto en un proceso de fabricación manual como industrial, las marcas de referencia exteriores son de utilidad tan solo en procesos manuales. El problema que han de resolver es la alineación entre la placa y el cliché dentro de la máquina insoladora. Cuando colocamos la placa sobre el cliché dejamos de verlo por lo que no es difícil que nos queden finalmente desalineados. El resultado es que conseguiremos una placa que funcionará perfectamente pero estará “torcida”, lo cual dista mucho de dar una sensación de calidad. Las marcas exteriores han de estar alineadas con el borde exterior de la placa y sobresalir de ella para seguir siendo visibles en la insoladora. En la Figura 4.3 podemos ver cómo sería el resultado en una de las esquinas. Es conveniente hacer lo mismo en las cuatro esquinas del borde exterior.

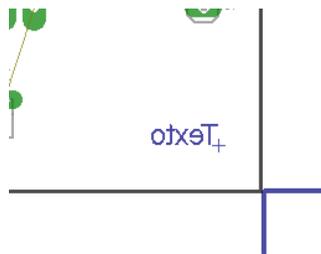


Figura 4.3

El grosor y longitud de las marcas no son críticos; no van a ser reproducidos en cobre al quedar fuera de las dimensiones de la placa.

La forma de realizar estas marcas es sencilla. Recurriremos a la herramienta “Wire”  y las dibujaremos como si estuviéramos añadiendo una pista de forma libre, es decir, sin conexión eléctrica previa. No importa que tengan contacto con el borde exterior, aunque no deben tenerlo con ningún elemento interior del diseño.

### Inclusión de agujeros de montaje.

Es habitual y recomendable prever el ensamblado posterior en el equipo de la placa que estamos a punto de fabricar. En muchos casos su fijación se realiza mediante tornillería convencional. Para que ello sea posible habrá que reservar espacio dentro de las dimensiones de la placa para realizar los taladros en los que se insertarán los tornillos. Existen dos formas de introducir estos agujeros de montaje en nuestro diseño. La herramienta propiamente dicha para ello es la que proporciona el icono “Hole”  y que nos permite definir un agujero de montaje allí donde hagamos click en nuestra placa. Posteriormente podemos utilizar la herramienta “Change” y hacer click derecho en el agujero para modificar su tamaño. Otra opción es emplear la herramienta “Circle” , que nos permite dibujar un círculo en cualquier parte del diseño. La Figura 4.4 nos muestra el resultado de

añadir un agujero de montaje. Junto a ella, la Figura 4.5 nos muestra un círculo que realizaría la misma función.

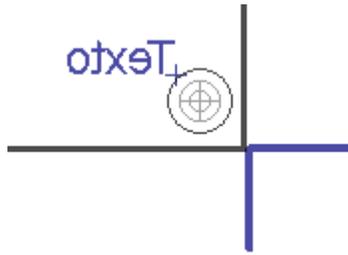


Figura 4.4

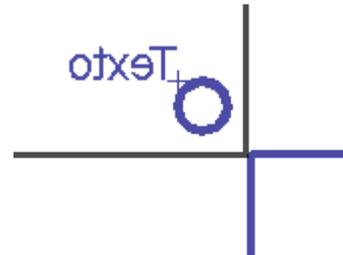


Figura 4.5

Para una fabricación manual, cualquiera de las dos opciones es igualmente válida, sin embargo, en un proceso industrial el resultado es totalmente distinto. El agujero de montaje declarado mediante la herramienta “Hole” se convertirá en un taladro no metalizado a través del cual podremos fijar nuestro tornillo. El objeto declarado mediante la herramienta “Circle” se convertirá en un círculo de cobre sin taladro alguno.

### Impresión del cliché de fabricación.

Para poder fabricar la placa por procedimientos manuales necesitamos disponer de su imagen a tamaño real en un soporte transparente en el que aparezca un diseño totalmente opaco. Esto lo podemos conseguir imprimiendo directamente sobre soporte transparente o fotocopiando en acetato una impresión previa en papel. En cualquier caso el resultado debe quedar totalmente limpio (cualquier suciedad va a salir en cobre) y con un trazo sólido. Es recomendable incluso que, para suplir la resolución finita de las impresoras, se superpongan dos clichés correctamente pegados entre sí y perfectamente alineados.

La herramienta “Layer settings” nos da acceso a la ventana “Display” como se muestra en la Figura 4.6. En ella podemos seleccionar las capas que queremos que sean visibles para su impresión. En nuestro caso seleccionaremos las capas: “Bottom” (pistas, texto, marcas exteriores y círculos), “Pads” y “Dimension” (borde exterior y agujero de montaje).

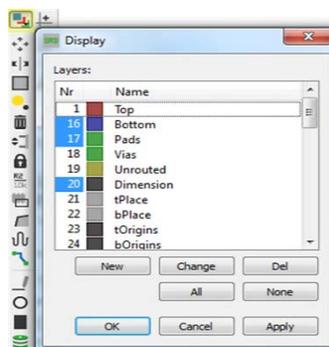


Figura 4.6

Para obtener el diseño impreso simplemente debemos utilizar la opción “File” -> “Print” como en cualquier otra aplicación. La ventana que se muestra en la Figura 4.7 refleja los ajustes recomendados que básicamente se reducen a marcar las opciones “Black” y “Solid”.

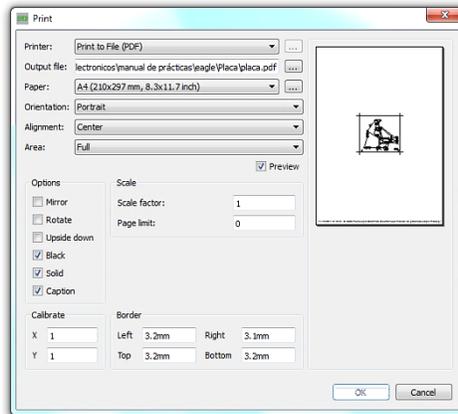


Figura 4.7

### Realización práctica.

En esta práctica vamos a finalizar el diseño de la placa destinada a su fabricación de forma manual en el laboratorio. Para ello vamos a incluir los diferentes elementos descritos en esta práctica:

- Ajustar el borde exterior de la placa al contorno final de la misma. El grosor de la línea será equivalente al de una pista al igual que su distancia a los elementos del circuito más próximos.
- Insertar un texto identificativo con un grosor y dimensiones adecuados para que sobreviva al ataque del ácido que eliminará el cobre sobrante. Entre 1.5 y 2.0 mm puede ser un tamaño adecuado.
- Colocar las marcas de referencia exteriores.
- Incluir los agujeros de montaje ya sea utilizando la herramienta “Hole” o la herramienta “Circle”. Ajustar su diámetro a 3mm.
- Seleccionar las capas para la impresión del conjunto e imprimir la placa. La imprimiremos a pdf para facilitar su entrega.

### Entrega.

La práctica concluirá con la entrega del fichero pdf correspondiente diseño final de la placa. Se adjuntará un informe en el que se describa el trabajo realizado y las dificultades encontradas.

## Práctica 5 : Diseño automático.

Hasta ahora nos hemos basado en las decisiones tomadas en la Práctica 1 para llevar a cabo la ubicación de componentes y el rutado de la placa. Este trabajo lo hemos dirigido a una fabricación manual mediante un proceso fotográfico de transferencia y atacado químico.

En esta práctica vamos a reorientar ambos aspectos, tanto la toma de decisiones como el proceso de fabricación previsto. En cuanto a la toma de decisiones vamos a mantener aquellas que se refieren a la distribución de los componentes, ya que Eagle no realiza un posicionado automático. El trazado de las pistas sí se hará de forma automática. Respecto al proceso de fabricación, vamos a asumir ya una fabricación industrial, en la que el resultado de nuestro diseño lo enviaremos a un fabricante de placas que nos devolverá el circuito impreso encargado. Esta cuestión va a influir en las reglas de diseño de la placa, tanto a nivel cuantitativo en los valores que damos al tamaño de los elementos, como a la forma en la que establecemos estas reglas.

Como se ha comentado en la Práctica 1, la anchura y separación de las pistas se normaliza en función de parámetros eléctricos. Por otra parte, los fabricantes nos van a plantear unos tamaños mínimos de los elementos a fabricar. De esta manera, nuestras reglas deberán atender a ambos requerimientos.

El punto de partida en esta práctica va a ser el esquema eléctrico creado en la Práctica 2. A partir de él vamos a realizar de nuevo el diseño de la placa utilizando técnicas, herramientas y reglas distintas.

### Reglas de diseño.

La primera cuestión que debemos abordar en el establecimiento de las reglas de diseño es el tamaño de los pads. En la Práctica 3 hemos visto cómo definir nuevas huellas para los componentes en las que los pads satisfagan las restricciones de nuestro proceso de fabricación. Asumiendo que cualquier fabricante va a ser capaz de trabajar con las huellas que los componentes seleccionados en nuestro diseño incluyen por defecto, vamos a devolvérselas antes de hacer ninguna otra cosa. Para ello basta con volver a seleccionar el encapsulado original en la aplicación de captura de esquemas.

El resto de reglas de diseño se van a ajustar ya en la aplicación de diseño de PCB. Para ello iremos al menú "Edit" -> "Design rules", que nos dará acceso a la ventana que se muestra en la Figura 5.1.

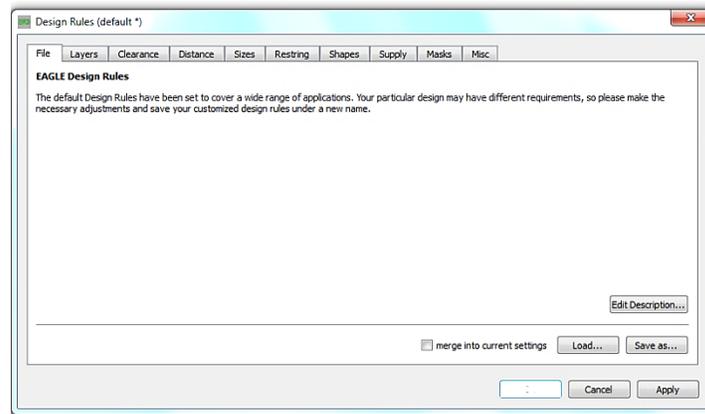


Figura 5.1

En la ventana encontramos varias pestañas. Vamos a trabajar con las siguientes:

- Layers: para ajustar las caras de rutado.
- Clearance: para ajustar la distancia entre pistas.
- Sizes: para ajustar la anchura de las pistas.
- Restricting: para ajustar el tamaño de los pads.

### Capas de rutado.

Por defecto Eagle va a ajustar dos caras de rutado: “Top” y “Bottom”. La pestaña “Layers” nos permite eliminar una de las dos para poder rutar a una cara.

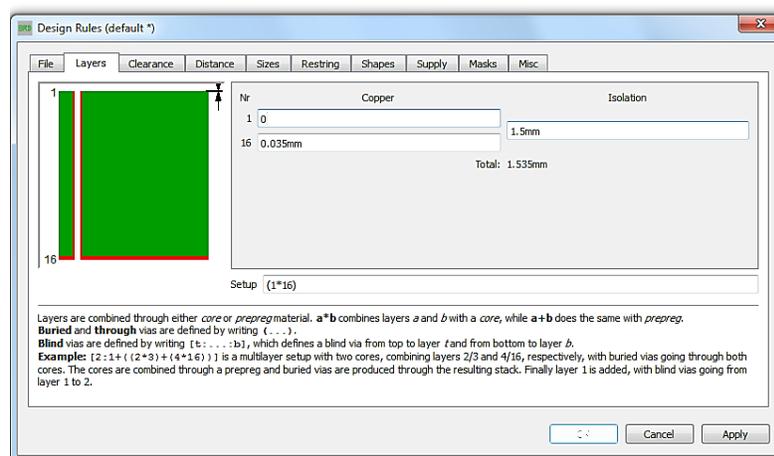


Figura 5.2

Si ajustamos el grosor de la capa de cobre en la cara “Top” (Nr. 1) a cero como se ve en la Figura 5.2, la cara “Bottom” será la que quede para realizar el rutado. El grosor de la capa de cobre adquiere el valor por defecto de 0.035 mm, es decir, 35 micras, que es el grosor ciertamente más común.

## Distancias.

Dado que los valores derivados del tipo de señales que van a circular por nuestra placa son muy bajos y que no tenemos un fabricante concreto al que dirigarnos, vamos a tratar de establecer unos valores razonables para anchura de pistas y para distancias entre ellas. Tomaremos por convenio el valor de 0.4 mm (aprox. 16 mils) para ambas.

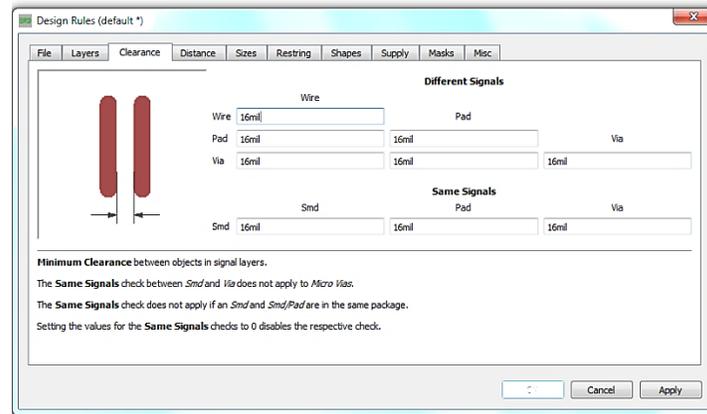


Figura 5.3

En la Figura 5.3 hemos sustituido todos los ajustes, cuyo valor por defecto era de 8 mils, por 16 mils. Muchos de ellos no tienen aplicación en nuestro caso particular no obstante.

## Anchura de las pistas.

Siguiendo el mismo criterio que hemos empleado para definir la distancia entre pistas, ajustaremos su anchura a 16mils como se ve en la Figura 5.4.

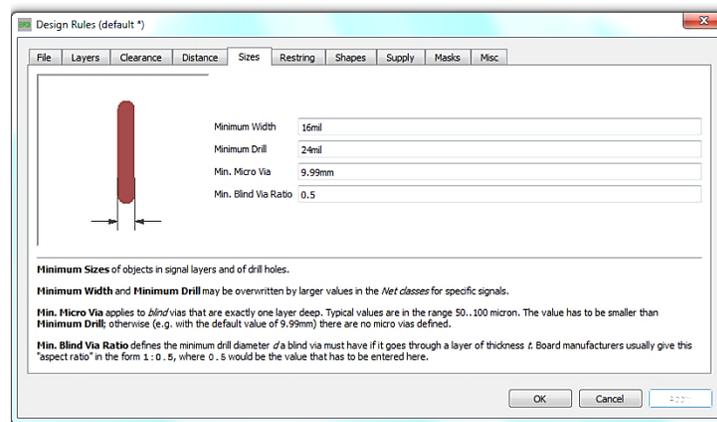


Figura 5.4

## Tamaño de los pads.

En la Figura 5.5 vemos el contenido de la pestaña en la que se define el tamaño de los pads. Éste se determina como porcentaje del diámetro de su taladro interior. El ajuste por defecto señala un

25% del mismo con unos límites inferior y superior de 10 y 20 mils respectivamente. Estos valores resultan apropiados para esta parte de nuestro trabajo, por lo que los dejaremos inalterados.



Figura 5.5

## Preparación para el rutado.

Como se señaló en la Práctica 4, el autorrutado va a necesitar de la definición del borde exterior de la placa para delimitar el área permitida para el rutado de las pistas de circuito impreso. En muchas ocasiones el destino final del circuito condiciona sus dimensiones, las cuales a su vez determinarían el borde exterior. En nuestro caso no es así, por lo que plantearemos un borde exterior que proporcione cierta amplitud para el rutado teniendo en cuenta que posteriormente lo podríamos reducir.

Ya se ha explicado cómo operar con el borde exterior, por lo que no se va a insistir en este momento. Igualmente se ha explicado cómo situar los agujeros de montaje, que también es recomendable que se posicionen de forma previa al rutado.

Las marcas exteriores que se mencionaban también en la Práctica 4 no van a ser necesarias, ni en este momento ni posteriormente, ya que la fabricación industrial no las requiere.

## Autorrutado.

Una vez realizados los ajustes de las reglas de diseño y definida el área de rutado podemos proceder a ordenar el rutado. Para ello recurriremos al icono que nos da acceso al autorouter y que nos abre la ventana que vemos en la Figura 5.6.



Figura 5.6

*En la parte izquierda de la ventana vemos que las caras de rutado se pueden seleccionar independientemente de lo que se haya establecido en la pestaña “Layers”.*

*El autorouter incluye diversas opciones de configuración. No es nuestro objetivo entrar en sus características, por lo que vamos a mantener los ajustes por defecto.*

Seleccionaremos la opción “Continue” y en la ventana que se abre haremos click en “Start”. La placa quedará rutada de forma completa. En caso contrario, deberemos mover algún componente para facilitar el trazado de las pistas.

### Realización práctica.

En esta práctica se pretende realizar el rutado automático de la placa de circuito impreso siguiendo los pasos descritos en los apartados anteriores. El objetivo es el rutado completo de la placa a una y a dos caras. Obviamente, el rutado a dos caras va a exigir volver a habilitar la cara “Top” en la pestaña “Layers” de la Figura 5.2. También va a ser necesario habilitar esta cara en la ventana de configuración del autorouter.

Antes de realizar un nuevo rutado será necesario deshacer el anterior. Esto se puede hacer de una forma muy rápida si, después de seleccionar la herramienta de borrado de pistas “Ripup” , hacemos click en la herramienta “Go”  que se activa en la parte superior.

### Entrega.

La práctica concluye con la entrega de un informe en el que aparezcan las imágenes de los dos rutados solicitados junto con los pasos realizados y las dificultades encontradas.

## Práctica 6 : Fabricación industrial.

Hasta ahora hemos diferenciado dos formas de trabajar con nuestro diseño condicionadas por la tecnología de fabricación. Cuando vamos a fabricar con los medios de que disponemos en el laboratorio debemos definir unas reglas de diseño claramente sobredimensionadas para facilitar el proceso artesanal. No es esta la forma habitual de trabajar del profesional del diseño electrónico. Lo usual es que la placa diseñada sea enviada a un fabricante para que la someta a un proceso industrial. En tal caso, las reglas de diseño serán más realistas dentro de las posibilidades tecnológicas del fabricante. Por este motivo, en la Práctica 5 hemos definido unas reglas más relajadas.

En caso de que se requiera trabajar con reglas muy estrictas, lo cual generalmente equivale a elementos y distancias muy pequeños, habrá que comprobar las restricciones tecnológicas del fabricante.

En esta práctica vamos a ver cómo preparar una placa para ser enviada a fábrica y cómo realizar este proceso.

### Preparación de la placa.

En la Práctica 5 hemos visto cómo obtener una placa terminada mediante un proceso de rutado automático. Hemos establecido unas reglas de diseño que van a poder ser admitidas sin dificultad por cualquier fabricante. Partiremos de ese resultado en esta práctica.

En cuanto a si utilizar el rutado a una cara o a dos, no vamos a tomar una decisión definitiva. Los fabricantes de PCB nos van a dar un presupuesto que varía principalmente en función del número de capas y el tamaño de la placa, además de otros aspectos. La placa rutada a doble cara se puede hacer más pequeña que la rutada a una sola cara, pero no siempre esto nos va a permitir entrar en un segmento de menor coste. Dejaremos que el alumno elija el fabricante y decida cuál de los dos diseños le proporciona un coste menor.

### Envío de la placa.

Los fabricantes nos van a demandar una información completa sobre la placa. Las aplicaciones de desarrollo como Eagle generan esa información de manera automática. Los formatos son diversos, pero la inmensa mayoría de los fabricantes nos van pedir lo siguiente:

- Un fichero Gerber habitualmente en formato RS-274X en el que se describen las diferentes capas que forman la placa. En él se van a encontrar los movimientos necesarios para el trazado de las pistas, los pads, la serigrafía, etc.
- Un fichero en formato Excellon en el que se detalla la posición y diámetro de los taladros.

En la Figura 6.1 podemos ver la herramienta CAM que nos da acceso a la ventana de configuración para seleccionar el tipo de documentación de salida que queremos generar. En el menú "File" seleccionaremos "Open -> Job". Entre los trabajos que nos aparecen por defecto seleccionaremos

“gerb274x.cam”. Conviene notar que el formato Extended Gerber (RS-274X) aparece referenciado como dispositivo de salida. Esto es así por razones históricas.

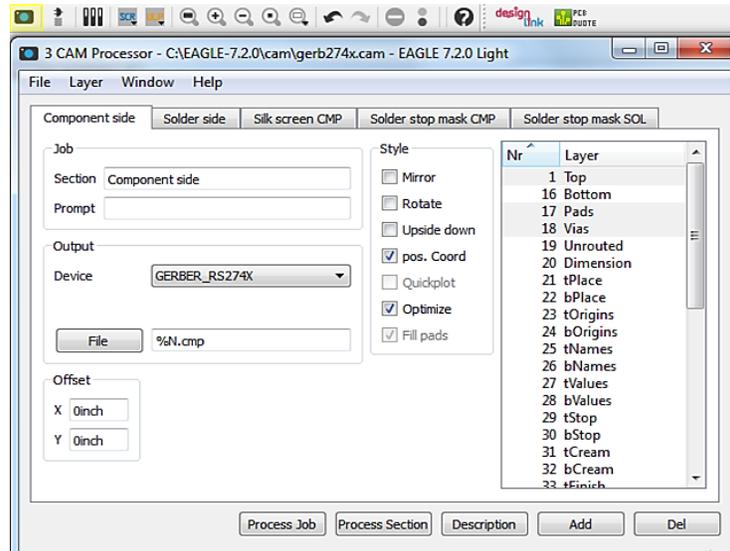


Figura 6.1

Veremos que en la parte derecha de la ventana aparecen preseleccionadas varias capas del diseño para incluir en el Gerber. Podemos modificar la selección, pero normalmente será la adecuada. Eso sí, la capa “Top” deberá estar o no seleccionada en función de que el rutado sea a doble cara o a simple cara. Pulsaremos “Proces Job”.

Para generar el fichero Excellon de taladros, el procedimiento es el mismo sustituyendo el trabajo anterior por “excellon.cam”.

Después de procesar ambos trabajos, nos encontraremos con 5 ficheros generados por el trabajo Gerber y 2 generados por el trabajo Excellon como podemos ver en la Tabla 6-I.

Fichero	Generado por...	Contenido
%N.cmp	Gerber	Cara de componentes
%N.sol	Gerber	Cara de soldadura
%N.plc	Gerber	Serigrafía de la cara de componentes
%N.stc	Gerber	Máscara de soldadura de la cara de componentes
%N.sts	Gerber	Máscara de soldadura de la cara de soldadura
%N.drd	Excellon	Fichero de taladros
%N.dri	Excellon	Fichero de información para el fabricante

Tabla 6-I

### Comprobación de los resultados.

Antes de enviar los ficheros a fábrica conviene verificarlos. Para ello podemos utilizar un editor de Gerber. Existen editores gratuitos e incluso on-line, por ejemplo:

<http://www.gerber-viewer.com/>



## Entrega.

Como resultado de esta práctica se entregarán los ficheros generados, la placa fabricada y un informe detallando los pasos realizados y las dificultades encontradas. En este informe se incluirá la referencia de la empresa elegida para fabricar la placa y una valoración del servicio recibido en términos de:

- Calidad del resultado (de 1 a 5).
- Rapidez de la entrega (de 1 a 5).
- Precio (abusivo, excesivo, razonable, barato, muy barato).
- Sistema de pago.

## Práctica 7 : Selección de componentes.

Una vez fabricada la placa de circuito impreso, nos quedan algunas tareas para completar el trabajo. En lo que se refiere a su utilización, debemos todavía realizar la selección de los componentes y su soldadura. La selección de componentes no es una labor trivial. Nosotros la hemos situado cerca del final del proceso y, dada la simplicidad de nuestro diseño, no hay problema en hacerlo así. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la selección y el diseño avanzan en paralelo. Es necesario conocer qué componentes se van a utilizar para poder seleccionar su encapsulado y disponer de la huella correcta en el diseño de la placa. Habrá que conocer si vamos a trabajar con encapsulados de inserción o de montaje superficial. En muchas ocasiones el tipo de encapsulado que nosotros preferimos no está disponible en el mercado o no en el plazo que necesitamos.

### Lista de componentes.

La selección de componentes comienza, obviamente, por el conocimiento de qué componentes necesitamos. Dado que hemos decidido relegar esta tarea para el final del proceso, tenemos también la ventaja de poder disponer de las herramientas que nos proporciona Eagle para facilitar esta tarea. Concretamente, la herramienta de edición de esquemas nos permite obtener una lista de los componentes empleados en nuestro diseño. Para generarla iremos al menú “File” -> “Export” -> “BOM”. Se nos abrirá la ventana que vemos en la Figura 7.1.

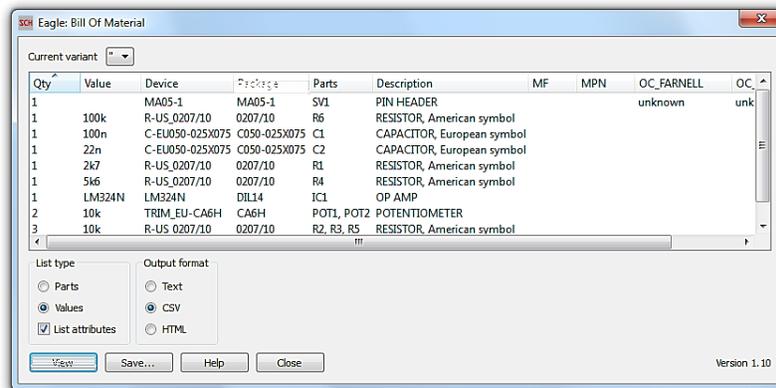


Figura 7.1

La opción por defecto es la de lista de componentes “Parts”, pero cambiaremos la selección a “Values” que nos va a ser más útil. Posteriormente guardamos el resultado en un fichero de texto mediante el botón “Save”. ES recomendable guardarlo en formato CSV para facilitar su posterior tratamiento como hoja de cálculo. La lista de atributos activada por defecto podemos mantenerla o ignorarla; nosotros incluiremos nuestros propios atributos después.

### Selección de componentes en el mercado.

Una vez que disponemos de la lista de componentes necesarios para nuestra placa, vamos a ver la forma de obtenerlos en el mercado. Empezaremos por crear una hoja de cálculo a partir de la lista

anterior. Podemos abrir directamente el fichero de salida .csv por ejemplo en Microsoft Excell. Le vamos a añadir una serie de columnas de atributos:

- Referencia de distribuidor 1 (RS-Online).
- Referencia de distribuidor 2 (Farnell).
- Precio de cada uno.

Farnell y RS son dos distribuidores a escala global que nos podrán proporcionar la gran mayoría de los componentes que busquemos. Vamos a tratar de localizar los componentes de nuestro diseño en ambos y anotar las referencias en la hoja de cálculo. Anotaremos el precio más bajo que en negrita. Veremos el caso de nuestra resistencia de 10k a modo de ejemplo.

En primer lugar entraremos en la web de Farnell ([www.farnel.com](http://www.farnel.com)) y seleccionaremos nuestro país. En la ventana de búsqueda introduciremos “resistencia”. El motor de búsqueda nos planteará múltiples sugerencias. Nos quedaremos con la opción asociada a resistencias de taladros pasantes. Esta selección nos dará acceso a una página en la que podemos precisar, como se ve en la Figura 7.2, para llegar al modelo más adecuado aplicando diversos filtros:

- Fabricante
- Valor nominal
- Potencia
- Tipo de resistencia
- Etc



Rango de Producto	Resistencia	Potencia Nominal	Tolerancia de Resistencia	Tipo de Resistencia	Ter
<input type="checkbox"/> - (443) <input type="checkbox"/> BI TECHNOLOGIES - BPC Series (25) <input type="checkbox"/> BI TECHNOLOGIES - BPR Series (5) <input type="checkbox"/> BI TECHNOLOGIES - MHP100 Series (7) <input type="checkbox"/> BI TECHNOLOGIES - MHP140 Series (1)	<input type="checkbox"/> 0ohm (6) <input type="checkbox"/> 0.001ohm (2) <input type="checkbox"/> 0.002ohm (2) <input type="checkbox"/> 0.004ohm (1) <input type="checkbox"/> 0.005ohm (15)	<input type="checkbox"/> - (2) <input type="checkbox"/> 50mW (7) <input type="checkbox"/> 100mW (19) <input type="checkbox"/> 125mW (723) <input type="checkbox"/> 200mW (10)	<input type="checkbox"/> - (3) <input type="checkbox"/> ± 0.005 % (2) <input type="checkbox"/> ± 0.005% (10) <input type="checkbox"/> ± 0.01% (50) <input type="checkbox"/> ± 0.02% (7)	<input type="checkbox"/> - (16) <input type="checkbox"/> 2010 [Métrica 5025] (4) <input type="checkbox"/> 4525 [Métrica 11464] (1) <input type="checkbox"/> Axial Leaded (5331) <input type="checkbox"/> Cargado Axialmente (7207)	<input type="checkbox"/>
Seleccionar un mín. <input type="text"/> Seleccionar un máx. <input type="text"/>	Seleccionar un mín. <input type="text"/> Seleccionar un máx. <input type="text"/>	Seleccionar un mín. <input type="text"/> Seleccionar un máx. <input type="text"/>	Seleccionar un mín. <input type="text"/> Seleccionar un máx. <input type="text"/>	Seleccionar un mín. <input type="text"/> Seleccionar un máx. <input type="text"/>	Sele <input type="text"/> Sele <input type="text"/>

Figura 7.2

Obviamente, nuestro primer criterio es el valor de la resistencia, 10k. Si seleccionamos “Mostrar resultados” veremos que éste no es un gran filtro ya que la mayoría de fabricantes van a proporcionar este valor tan común en diversos valores de potencia nominal, diferentes tecnologías, etc.

Nuestro siguiente criterio debería ser la potencia. En nuestro trabajo hasta ahora no nos hemos ocupado de determinar valores de corrientes, tensiones y potencias, ya que en esta asignatura no tratamos esas cuestiones. En este momento deberemos hacer uso de la información de diseño del circuito o de su simulación. Para centrarnos en nuestra misión añadiremos simplemente que la corriente que va a circular por nuestros componentes va a ser muy pequeña, al tiempo que hemos seleccionado un encapsulado que nos permite insertar resistencias desde la más baja potencia

hasta resistencias de película de aproximadamente 1W. Descartaremos por el momento las de menos de 250mW y de más de 500mW.

En lo que se refiere a la tolerancia, nuestro diseño no es muy exigente, por lo que vamos a aplicar un filtro por tipo de resistencia en su lugar. Seleccionaremos resistencias de película de carbón (“Carbon flim”) que son de bajo coste y proporcionan unas prestaciones adecuadas a nuestro uso.

Los resultados proporcionados por el motor de búsqueda pueden variar a lo largo del tiempo pero seguramente este filtro ya ha centrado mucho o totalmente la búsqueda. Farnell nos ofrece, en el momento en que se ha redactado este documento, resistencias de película de carbón de 10k, 500mW, 350V y tolerancia del 5%, a un coste unitario de 0,006 €. El código Farnell de este producto es “1127905”.

El proceso de trabajo en la web de RS-Online (<http://es.rs-online.com>) es muy similar al caso de Farnell, por lo que nos ahorraremos los detalles. En este caso la búsqueda nos da otro valor de resistencia distinto al pedido, pero hay que tener en cuenta que las resistencias se fabrican en series que abarcan un amplio rango de valores. El precio unitario que nos proporciona este distribuidor es de 0,025 € para un pedido de 10 unidades. Esto es muy superior al anterior, pero lo anotaremos igualmente. Su referencia es 707-8091.

Con estos datos, nuestra hoja de cálculo va quedando como se ve en la Figura 7.3.

Qty	Value	Device	Package	Parts	Description	Farnell	Price	RS-Online	Price
1		MA05-1	MA05-1	SV1	PIN HEADER				
1	100k	R-US_0207/10	0207/10	R6	RESISTOR, American symbol				
1	100n	C-EU050-025X075	C050-025X07	C1	CAPACITOR, European symbol				
3	10k	R-US_0207/10	0207/10	R2, R3, R5	RESISTOR, American symbol	1127905	0,006	707-8091	0,025
2	10k	TRIM_EU-CA6H	CA6H	POT1, POT2	POTENTIOMETER				
1	22n	C-EU050-025X075	C050-025X07	C2	CAPACITOR, European symbol				
1	2k7	R-US_0207/10	0207/10	R1	RESISTOR, American symbol				
1	5k6	R-US_0207/10	0207/10	R4	RESISTOR, American symbol				
1	LM324N	LM324N	DIL14	IC1	OP AMP				
						<b>Total</b>		<b>Total</b>	

Figura 7.3

De cara a la decisión final sobre dónde lanzar nuestro pedido hay que tener en cuenta que, para una placa tan económica como la nuestra, no conviene mezclar distribuidores ya que los costes de envío van a ser superiores a los de los componentes encargados. Lo adecuado en este caso será decantarse por el distribuidor cuya suma de precios sea inferior, aunque siempre teniendo en cuenta que los costes de envío, que serán diferentes en cada caso, pueden decantar la balanza del lado opuesto.

Dejaremos al alumno la tarea de completar la hoja de cálculo, no sin antes proporcionar algunas directrices:

- Abrir la hoja de características del componente para asegurarse de que el encapsulado y la huella coinciden con los que hemos previsto en nuestro diseño. Esto es especialmente importante en el caso de los potenciómetros, los condensadores y el conector. Si no son

los adecuados, va a ser imposible soldarlos a la placa. No perderlo de vista tampoco en el caso del circuito integrado que ha de proporcionar el encapsulado de inserción DIP.

- En el caso de los condensadores vigilar especialmente que sean sin polaridad.
- Aunque la huella coincida, prestar atención a las características del encapsulado. No es imprescindible que corresponda exactamente con el que tenemos previsto, pero debe tener unas dimensiones que hagan que no colisione con los componentes próximos.

### Realización práctica.

En esta práctica el objetivo es realizar la selección de componentes a nivel comercial, determinar su coste individual y el coste del conjunto. Se han proporcionado las referencias de dos distribuidores; el alumno puede acudir a ellos o elegir otros, indicando en tal caso cuáles son los elegidos. Al menos se deben proporcionar dos precios para cada componente.

### Entrega.

En esta práctica se entregará un informe en el que se incluya la hoja de cálculo (embebida o en fichero aparte) en la que se detallan los componentes de la placa y sus características en formato análogo al de la Figura 7.3, así como un relato de los pasos realizados y aspectos más relevantes a señalar.

## Práctica 8 : Documentación del proyecto.

Para finalizar correctamente nuestro trabajo, lo adecuado es generar una buena documentación que sirva a otras personas para continuarlo o retomarlo. Hay que tener en cuenta que, al igual que en esta asignatura nos hemos desentendido de todo lo que tiene que ver con cálculo y simulación del circuito propuesto, un eventual departamento de compras por ejemplo, se va a desentender de nuestro trabajo de diseño y se va a limitar a encargar aquello que le hemos especificado. Igualmente nos puede suceder que el diseño tenga que ser retomado en el futuro para realizar alguna modificación. Por todo ello, la documentación debe ser completa, clara y ordenada.

En esta práctica vamos a ver qué documentación debemos proporcionar y cómo generarla.

### Ficheros de diseño.

A estas alturas de nuestro trabajo, en la carpeta de proyecto habrán aparecido multitud de ficheros. ¿Cuáles de ellos son realmente necesarios para almacenar y recuperar nuestro proyecto? Son 3:

- eagle.epf: almacena información de carácter general sobre el proyecto.
- sch: es el fichero en el que se encuentra el esquema eléctrico.
- brd: almacena el diseño de la placa de circuito impreso.

Si queremos crear un nuevo proyecto a partir del anterior, deberemos copiar los ficheros .sch y .brd en la carpeta del nuevo proyecto vacío una vez creado éste. Cerraremos el proyecto y al volver a abrirlo nos preguntará si queremos incorporar el archivo .sch. Aceptaremos esta opción. Al crear el nuevo proyecto se habrá generado automáticamente un fichero eagle.epf en su carpeta.

### Documentación.

En la Práctica 7 hemos visto uno de los apartados de la documentación del proyecto más relevantes: la lista de materiales. Esta lista se ha de incluir en la documentación del proyecto, ya sea directamente o con la información añadida que hayamos considerado relevante. En nuestro caso estamos almacenando referencias de proveedores y precios.

Otro aspecto que contribuye a una mejor documentación del proyecto es la posibilidad de acotarlo. Mediante la herramienta de diseño de PCB podemos insertar las medidas reales de los elementos que consideremos oportunos. Habitualmente nos interesará acotar las dimensiones externas de la placa. Mediante la herramienta “Dimension” que ya veíamos en la Práctica 4 al referirnos al borde exterior de la placa, podemos añadir las cotas que consideremos oportunas. En la Figura 8.1 se puede ver la placa acotada en sus dimensiones, vertical y horizontal.

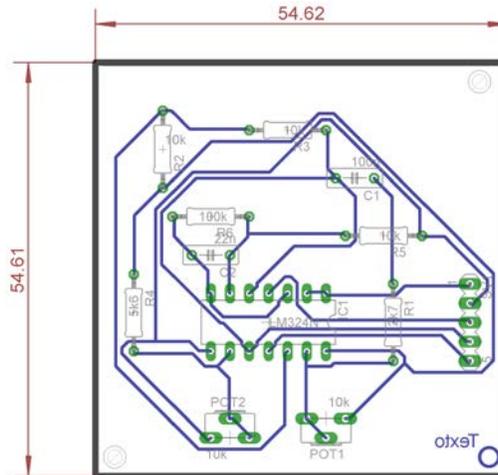


Figura 8.1

Conviene notar que las dimensiones se asocian a una capa determinada. En la Figura 8.1, se ha utilizado la cara “Top”. En caso de acotar la placa por la cara “Bottom”, las cotas se verían invertidas.

A través del menú “File -> Export -> Image” accedemos a la ventana “Export Image” que vemos en la Figura 8.2.

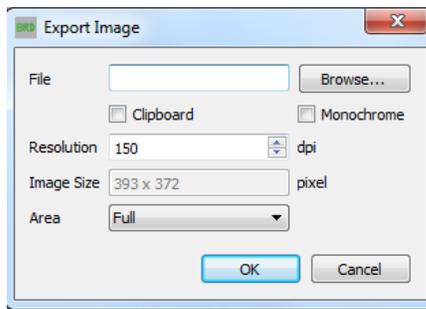


Figura 8.2

*Podemos incrementar o decrementar la resolución, guardarla en blanco y negro (“monochrome”), o copiar la imagen al portapapeles (“Clipboard”).*

Para nuestro trabajo, tanto la opción de salvarla a fichero, como la de copia en el portapapeles pueden ser válidas. La Figura 8.1 ha sido obtenida mediante la selección de opciones por defecto, incrementando la resolución a 600 dpi.

Eagle proporciona también una herramienta para obtener datos estadísticos sobre el diseño que hemos llevado a cabo. Podemos acceder a ella a través del menú “Tools -> Statistics”, que nos da acceso a la ventana que vemos en la Figura 8.3.

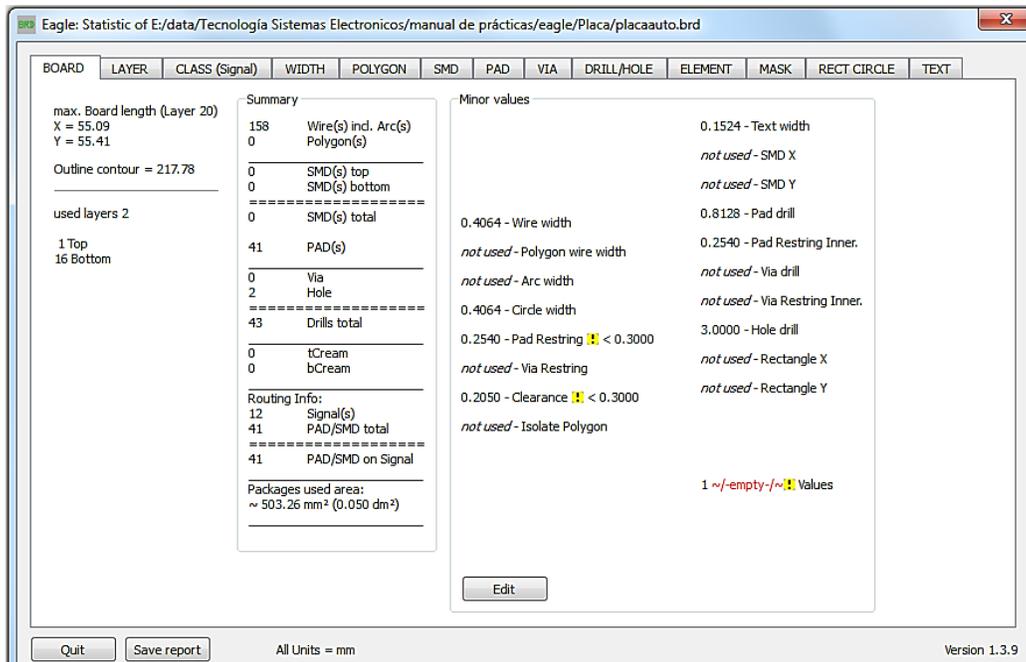


Figura 8.3

La información que se proporciona en las diferentes pestañas de la Figura 8.3 puede ser almacenada en un fichero de texto con extensión .rep, mediante la opción “Save report”. La utilidad de estos datos estadísticos está abierta a las necesidades del usuario. Permite realizar valoraciones comparativas entre diferentes soluciones, examinar la complejidad de la placa, establecer su densidad de componentes, etc.

### Archivos de fabricación.

En la práctica vimos cómo generar la información necesaria para poder enviar la placa a fábrica. Los archivos que se han de incluir aparecen relacionados en la Tabla 6-I, por lo que no vamos a insistir más en este apartado.

### Realización práctica.

En esta práctica se pretende generar toda la documentación relevante asociada al proyecto de diseño que se ha llevado a cabo en las prácticas anteriores. Como hemos visto, esta tarea incluye tres tipos de aspectos:

- Archivos de diseño.
- Documentación.
- Ficheros de fabricación.

Algunos de estos elementos se han generado en prácticas anteriores, por lo que solamente será necesario recopilarlos. Otros habrá que generarlos en este momento.

## Entrega.

Al finalizar la práctica se hará entrega de un archivo comprimido en el que se incluyan tres carpetas:

- Carpeta “Diseño”: en la que se encuentren los archivos de diseño de la placa generados en las prácticas anteriores: esquema, diseño manual, diseño automático a simple cara y diseño automático a doble cara.
- Carpeta “Documentación”: en la que se encuentre la hoja de cálculo de componentes, las imágenes de los distintos diseños de placa: manual y automático a simple y doble cara en formato .png, el informe de datos estadísticos.
- Carpeta “Fabricación”: en la que se encuentren los ficheros que permiten el envío a fábrica de la placa.