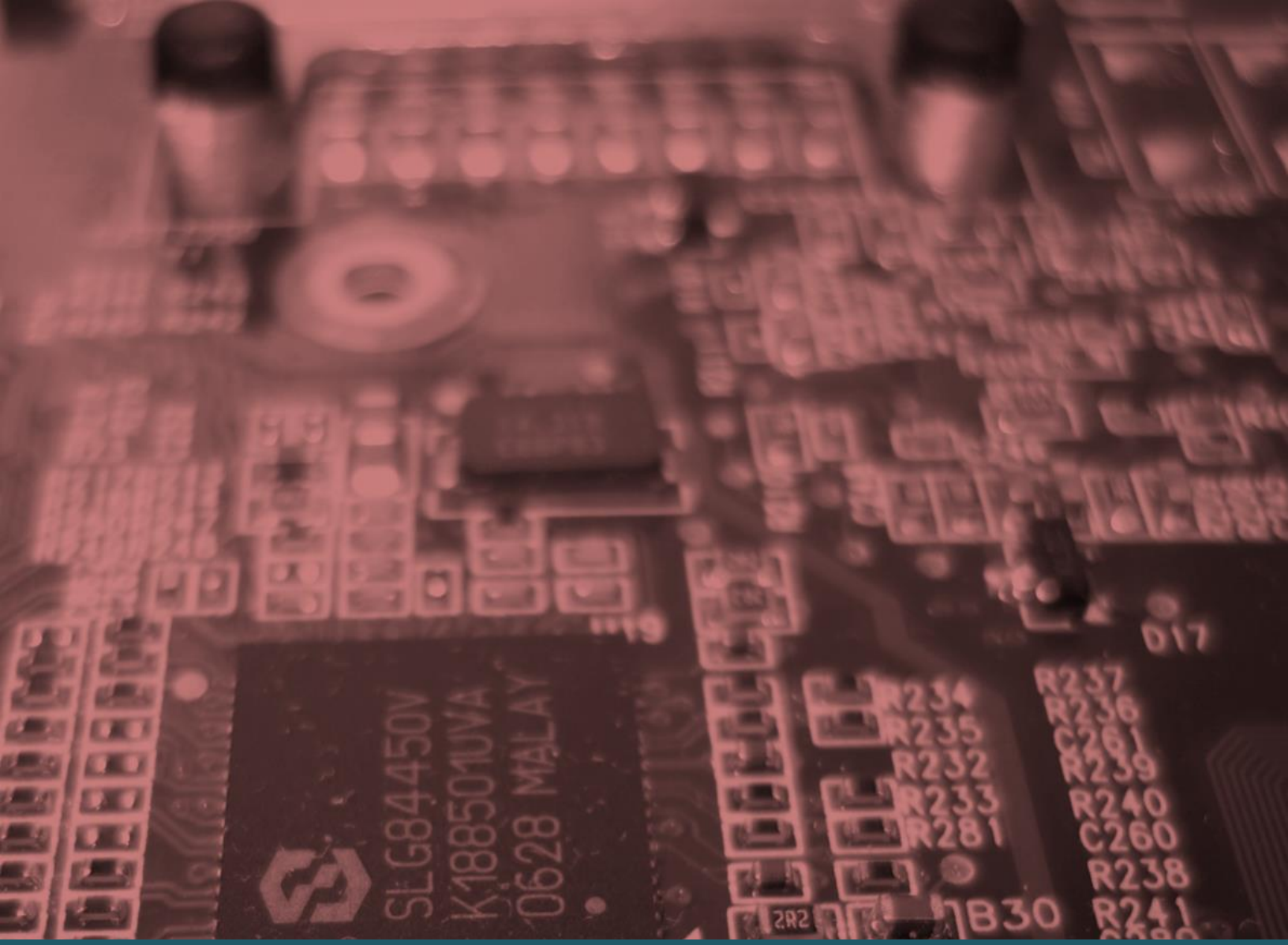


Guía de diseño de PCB con EAGLE

Introducción y recomendaciones generales

H. Torres-Ortega

HETPRO
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PROFESIONALES

"El trazo de pistas de manera eficiente es una tarea compleja, requiere destreza y paciencia."

Guía de diseño de PCB con EAGLE by Hector Torres is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

TABLA DE CONTENIDOS

TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB) 3

DEFINICIONES GENERALES PARA EL PCB 4

Esquemático *4*

Boardfile – Layout *4*

Pad en diseño *5*

Footprint – Landpattern *5*

Pad en el PCB *5*

Soldermask *6*

Silkscreen *6*

Stackup *6*

Net - Señal *7*

Via en diseño *8*

Via en PCB *8*

Layer *9*

REGLAS DE DISEÑO GENERALES 10

ETAPAS DE DISEÑO DE UN PROYECTO 12

DISEÑO DE UN PROYECTO 15

CREACIÓN DE BIBLIOTECAS 16

DISEÑO DEL DIAGRAMA ESQUEMATICO 34

DISEÑO DEL BOARDFILE 40

TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB)

Una tarjeta de circuito impreso o PCB (del inglés *printed circuit board*), es un dispositivo compuesto por trazas de material conductor laminado sobre una base no conductiva o material dieléctrico. La tarjeta se usa para realizar interconexiones entre los componentes pero presenta muchas ventajas sobre tarjetas de prototipo, como una superficie para montar los componentes, conexiones fijas, mayor inmunidad a ruido, menor probabilidad de fallas, entre otras.

El diseño de tarjetas de circuito impreso se considera un área en constante desarrollo ya que día con día los componentes aparecen con tamaños más pequeños, con mayor cantidad de pines y con frecuencias de reloj más altas. Diseñar un proyecto de manera profesional con dispositivos con nuevas tecnologías como *FPGAs*, *DSPs*, sensores digitales, y más componentes, requiere de conocer bien cuáles son las técnicas más efectivas, tener una buena experiencia y conocer bien cómo funcionan los programas de diseño.

El diseño de tarjetas de circuito impreso ha ido evolucionando desde la interconexión en donde se consideraba que para fines prácticos al cambiar el estado de una señal a través de un pin de un dispositivo, el cambio en el elemento receptor se percibía inmediatamente. Hoy en día las frecuencias de los dispositivo (en el orden de los Ghz, para algunos casos), como la cantidad de pines (más de 250 en algunos casos), y los tamaños reducidos de los PCBs (con trazas de hasta 4 milésimas de pulgadas de ancho), lo que genera una nueva familia de efectos en los diseños como desfase de señales, perdidas de transmisión, interferencia destructiva, reflexiones etc. Estos efectos no se pretenden analizar en esta guía más se recomienda revisarlos para futuros proyectos.

Existen diferentes formatos de salida para los programas de diseño de PCBs. Si la tarjeta es un prototipo de fabricación profesional se exporta el diseño en el formato RS-247X (también conocidos como archivos *gerber*). Si la tarjeta es para realizar un prototipo manual solamente es necesario realizar la impresión de las capas de cobre.

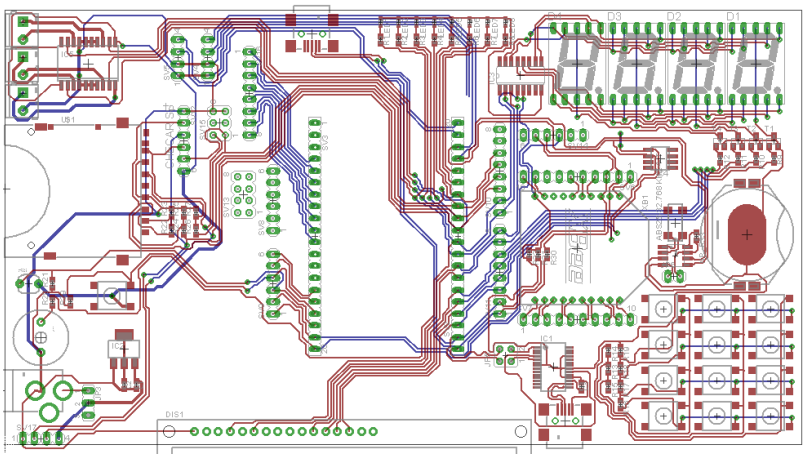


Figura 1.1. PCB de doble capa diseñada con el software EAGLE.

En la figura 1.1 se observa el diseño de un PCB en donde se pueden ver ambas capas de la tarjeta, en la mayoría de los casos estaremos limitados a trabajar con una o dos capas de conexiones, pero hoy en día hay procesos de manufactura que permiten más de 26 capas siendo 24 internas.

DEFINICIONES GENERALES PARA EL PCB

La siguiente lista de definiciones se escribe de manera introductoria a la terminología del diseño de tarjetas de circuito impreso, es altamente recomendable que se investigue con más detalle todas y cada una de ellas para poder tener un mejor entendimiento de los procesos de diseño de las PCBs.

Esquemático

El esquemático o diagrama esquemático, representa una visualización de las interconexiones de los elementos del circuito a realizar. Para los programas de diseño las conexiones se les conocen como Nets. Es recomendable realizar pruebas en una tarjeta de prototipos de ser posible para validar la funcionalidad del esquemático, o hacer uso de software de simulación como lo son aquellos derivados de SPICE.

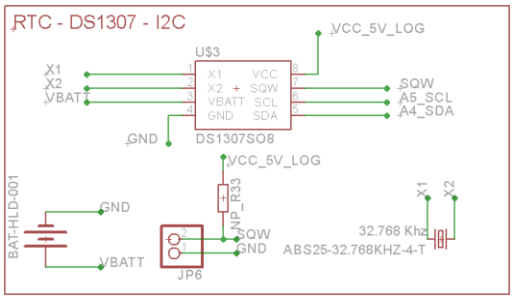


Figura 1.2. Diagrama esquemático para un reloj de tiempo real.

Boardfile – Layout

El *Boarfile* es el archivo en donde se realiza el diseño físico de la tarjeta. El diseño de la misma se le conoce como *Layout*. Se puede observar en la figura 1.1 el *boardfile*, que es el archivo en general, el *layout* del *boardfile* es la manera en que se trazaron las señales o pistas en la tarjeta. Estos conceptos van de la mano. Cuanto se habla del archivo se hace referencia al *boardfile* y cuando se habla del diseño en particular se hace referencia al *layout*.

Pad en diseño

El *pad* es la zona en la tarjeta o diseño de la misma donde se colocara el pin de algún componente, los *pads* suelen ser rectangulares para elementos de montaje superficial, y redondos para los componentes *through-hole* y *vías*. En el diseño el *pad* se suele representar de manera visual solamente como un elemento que parece ser que traspasa toda la PCB. En la figura 1.3 se observan algunos *pads* en diseño.

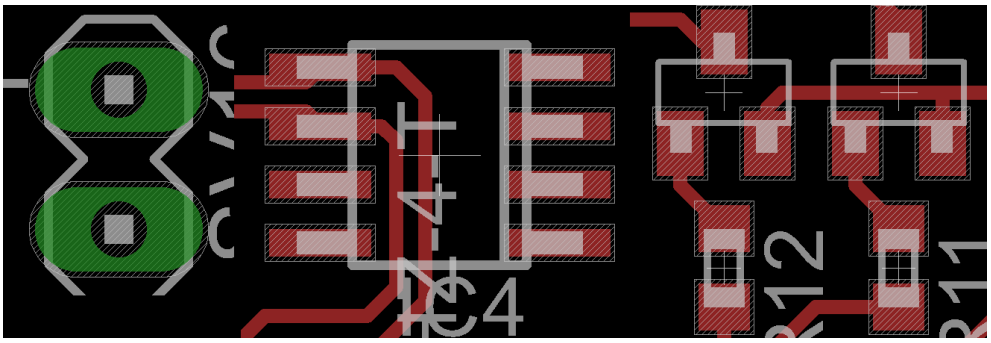


Figura 1.3. Pads para diferentes elementos (el pad se encuentra remarcado con las líneas diagonales).

Footprint – Landpattern

El *footprint* es diseño de los *pads* para un elemento en particular, existen estándares para diferentes empaquetados, como lo son, *SOIC*, *SSPO*, *TQFP*, *QFN*, etc. para circuitos integrados o SOT-23, 1206, 0603, etc. para otros componentes. En las hojas de datos de los dispositivos o componentes electrónicos los fabricantes suelen poner las dimensiones de los componentes con lo que se puede generar un *footprint* o en su defecto también hay unos que incluyen el diseño recomendado del *footprint*. Se puede observar en la figura 1.3 que el circuito integrado del centro recae dentro de los *pads* que se pusieron ahí para crear su *footprint* determinado para ese dispositivo. Ya que se manejan estándares ese *footprint* podría servir para todos los dispositivos que son del mismo empaquetado.

Pad en el PCB

En el PCB el *pad* es aquel elemento o segmento de cobre que conecta una net con un componente de montaje o de *through-hole*, así como conecta el *barrel* o centro de la *via* con la capa. Entre las características generales esta que los *pads* son el principal contacto entre las conexiones del PCB con el exterior a través de los *pads* se sueldan los componentes de montaje superficial y *through-hole*. El *soldermask* es una capa que cubre todo el PCB menos los *pads*, para finalmente ser estañados.

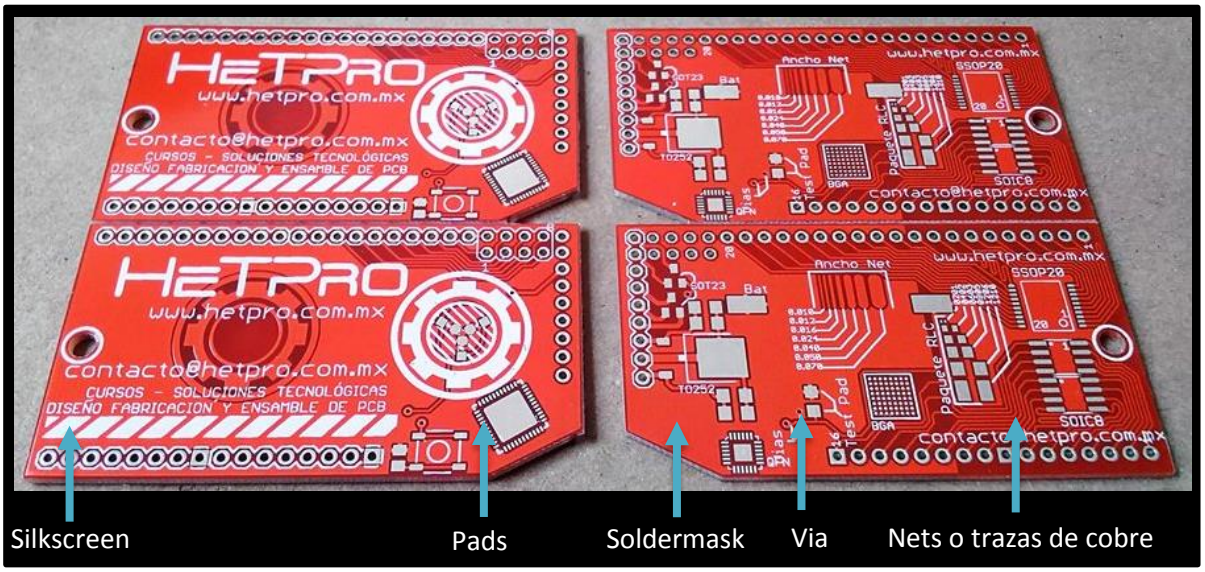


Figura 1.4. PCBs terminadas y fabricadas, se observan varias partes de las mismas.

Soldermask

El *soldermask* es la capa física semitransparente que cubre el PCB en las caras superior e inferior. El *soldermask* se pone sobre la PCB para evitar oxidación del cobre. El soldermask recubre toda la cara de la PCB a excepción de los *pads* y suele tener color verde, aunque puede ser de otros colores dependiendo del fabricante. En la mayoría de los programas de diseño el *soldermask* viene de la mano con los *pads* ya que a menos que se especifique lo contrario este es un negativo de la capa de *pads* (visto los *pads* desde el punto de vista del PCB).

Silkscreen

El *silkscreen* es una capa de serigrafía que sirve como indicador sobre la PCB, se recomienda imprimir el nombre del componente, el valor del componente, así como el contorno del componente. Aquí se puede imprimir texto con información como la revisión, diseñador, código de barras, etiquetas, licencias, marca, institución, entre otras cosas.

Stackup

El *Stackup* es la definición de las características generales de la PCB a realizar, como anchos de trazas para señales *diferenciales* o *single-ended*, ancho de PCB, material del conductor, material del dieléctrico o del núcleo (PCBs con mayor número de capas llevan un núcleo de material dieléctrico rígido y capas de resina de dieléctrico), entre otras características. Los programas de diseño de PCBs suelen tener opciones para declarar el *stackup* a pesar de que solo se recomienda hacerlo para tarjetas de alta velocidad y mayor a 4 capas. Para las PCBs de múltiples capas el

diseño del *stackup* se vuelve algo engorroso. La mayor cantidad de fabricantes tienen el servicio de diseñar el *stackup* con las características que el cliente desee.

Net - Señal

El concepto de Net es un concepto general para la señal a trazar sin importar desde que punto de vista se vea, ya sea en esquemático o en *layout*, o si esta trazado el segmento de cobre o no. Una Net por definición solo se limita a un segmento de una línea de comunicación, la misma está limitada por una conexión a un elemento sin importar si es pasivo o activo. El concepto resulta un poco abstracto por la carencia de una representación fija.

Net en esquemático.

Dentro de un diagrama esquemático en la mayoría de los programas y herramientas de diseño disponibles, la *net*, es limitada por un elemento activo o pasivo. La *net* tiene un nombre definido (ej. N$15, DATA_2, USB_R_P) por lo que no es indispensable realizar una conexión real o visual. Es posible etiquetar las *nets* y separar por segmentos el diagrama esquemático.

Rat

Una Rat no es más que una *net* en el *boardfile* que no se encuentra trazada por cobre. Una rat no tiene ancho ni un camino especifico. Es un vector que va de elemento a elemento y es definido por el software. El conjunto de *rats* que se encuentran en el *boardfile* antes de ser trazadas se le conoce como *ratsnets*.

Traza

El concepto más importante y con mayor peso dentro de lo que es una net, es la traza de cobre. Al realizar el *routeo* o el trazo de cobre para realizar la conexión de 2 elementos es posible controlar una gran cantidad de aspectos electromagnéticos y términos de una PCB. La geométrica y los espaciamientos con otras señales así como los materiales que se utilizan para el diseño y la fabricación de la PCB definen aspectos que determinan la calidad final de la señal.

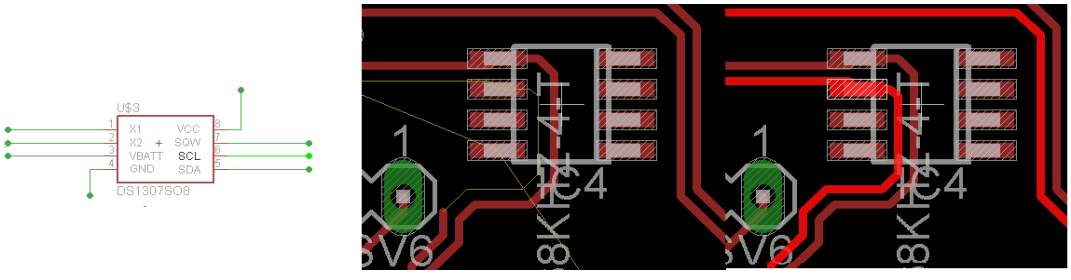


Figura 1.5. La misma Net representada en el diagrama esquemático, como rat y como traza.

Via en diseño

La *vía* en el diseño se utiliza para transferir una traza o net entre diferentes capas, la misma tiene como parámetros de diseño el diámetro del *pad* y el diámetro de la perforación o *drill*. En el diseño la *via* se limita a las transiciones de capa pero en el PCB físico también se le conoce como *via* a la perforación en los componentes *through-hole*.

Via en PCB

La *vía* es comúnmente utilizada en PCBs para montaje de componentes *through-hole* o para interconectar líneas de transmisión en capas diferentes. Tradicionalmente los efectos de las vías para tarjetas *single-layer* y *multi-layer* (una capa o varias capas) son despreciados para los casos de frecuencias menores a las decenas de Mhz, para casos en los que supere los 100 Mhz se requiere tomar en cuenta las reglas de diseño bajo la integridad de señal.

Las vías consisten en un *barrel*, *pad* y *antipad*. El *Barrel* es un elemento en forma de tubo el cual es conductivo y llena las paredes de la perforación. El *Pad* conecta cada extremo del *barrel* a la capa deseada de la PCB este a su vez puede conectarse a un trazo de cobre, a un plano o dejarse sin conectar. El *Antipad* es el espacio sin cobre entre el *pad* y algún otro segmento de cobre que no pertenezca a la señal del *pad*.

Microvia

PCBs de alta densidad *multi-layer* pueden tener *microvias*, las cuales pueden ser *blind vias* o *burried vías*. La **Blind via** se encuentra expuesta solo de un lado de la tarjeta, esta *via* suele conectar de una capa externa a una capa interna, es por esto su nombre de *blind* o ciego, ya que no se ve a través de las capas externas, solo de una. La **Burried via** Conecta capas internas sin ser expuesta a la superficie, estas vías no tienen contacto con el exterior, representan aún más problemas de manufactura que la *blind via*, y solo se utilizan cuando son estrictamente necesarias.

Castellated vias

Las *castellated vias* es una características de las *vias* las cuales son posicionadas en la orilla de la PCB para que queden cortadas a la mitad, exponiendo el barril o *barrel* de la *via* para crear una perforación parcial con el propósito de acoplar PCBs de manera lateral, o montar PCBs sobre otras a manera de circuito impreso. Este tipo de vías se utilizan como los pines de una PCB para hacer uso de la misma como si fuese un circuito integrado el cual se puede montar sobre otra PCB. Este tipo de vías se utilizan en gran medida en componentes de comunicación inalámbrica, como módulos de *WiFi*, *Bluetooth*, *RF*, *GPRS*, etc.

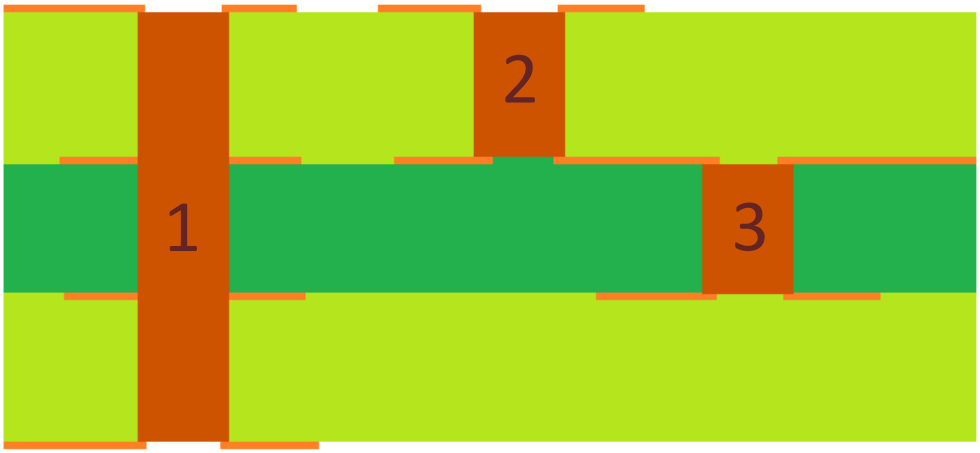


Figura 1.6. 1- Via through-hole, 2- Blind via 3- Burried via.

Layer

Capa de diseño la cual corresponde a un proceso en la fabricación del PCB. Las capas o *layers* de cobre se refieren a las capas que serán impresas en el PCB como trazas de cobre. Capas *names, values, place* corresponden a la serigrafía o *silkscreen* en el PCB. Existen capas de diseño que no se contemplan para la fabricación, entre las que se encuentran *docu, info* que sirven de apoyo en el diseño. Las capas de *drills, holes* indican las coordenadas y diámetros de las perforaciones. La capa *dimention* define el borde y geometría de la tarjeta. El nombre de las capas cambia para diferentes programas de diseño, por lo que es recomendable ver los manuales de dichos programas.

REGLAS DE DISEÑO GENERALES

A continuación se enlista una serie de reglas de diseño las cuales se recomienda de gran medida seguir en cada uno de los diseños que se realice, las reglas están organizadas sin seguir un orden de importancia.

- Siempre que sea posible evitar el uso de *vias* o transición de capas primordialmente si el trazo corresponde a una señal de alta velocidad. El uso de *vias* degrada las señales que se transmiten a través de la PCB, siempre se prefiere la menor cantidad de *vias* posibles en el diseño. Para diseños manuales también se recomienda la menor cantidad de *vias* lo que representa un menor número de perforaciones.

- Extremar precaución en señales de reloj de alta velocidad y dar preferencia a estas realizando los trazos primero de las señales con mayor frecuencia. Siempre las señales de los cristales, relojes, y buses de alta velocidad deben de ser trazadas primero para evitar que se realicen muchas transiciones de capas o rodeo de otras trazas.

- Remover algún *pad* o *via* que no se esté utilizando que haya quedado en el PCB. Si el diseño contiene un número considerable de componentes es probable que el trazo de las nets sea un proceso iterativo para ver qué camino es el mejor, esto puede llevar a dejar segmentos de nets (conocidos como *stubs*) o *vias* que no están conectadas a nada, esto genera reflexiones en la señal lo cual es indeseable.

- Para señales diferenciales las *vias* tienen que estar posicionadas geométricamente simétricas respecto al centro del trazo de las dos señales para evitar desfasamientos de fase.

- Menos *vias* en un trazo resultan en un menor *rise-time*. El *rise-time* es el tiempo en el que la señal cambia de un estado lógico bajo a un estado lógico alto.

- En los programas de diseño manejar un *grid* de 0.050 y 0.025 pulgadas para posicionamiento de componentes en el *boardfile*. Para realizar las trazas se recomienda bajar a 0.025 y 0.0125.

- Etiquetar todas las *Nets* que no estén directamente conectadas a un dispositivo. Asi como etiquetarlos bajo una nomenclatura que sea comprensible, por ejemplo, una señal de reloj de un circuito microcontrolador podría llamarse *MICROC_CLK_R* antes de la resistencia (si tuviese) y *MICROC_CLK* la que esté conectada al dispositivo.

- Asignar valores a todos los componentes de la tarjeta. Esto es altamente recomendable para la documentación y análisis del proyecto en general, también informar en el esquemático si el componente no será posicionado por el fabricante, esto se puede hacer a través de alguna leyenda en el esquemático o con el nombre ej. *R5_NP*.

- Mantener el trazo de las señales con ángulos de 45º, los ángulos rectos de 90º generan más ruido en la señal. Podrían trazarse las señales con curvas pero esto añade un mayor grado de trabajo en la tarjeta.

- En caso de utilizar más de una capa, tratar de mantener una para las señales de GND en donde estas se trazan hasta el último con la intención de mantener todas las señales en la capa inferior.

- Tomar en cuenta el ancho de las señales para el diseño. Si por la señal pasara una señal lógica de comunicación, I2C, SPI, UART, USB, el ancho de la señal puede ser el mínimo determinado por las limitaciones de diseño (suponiendo que para este caso sea mayor a 0.010 pulgadas). Para el caso de señales de potencia como en el caso de relevadores, transistores, buffers, controladores de motores, las señales que salen de esos dispositivos se recomienda cambiar el ancho de las señales (aproximadamente 0.020 a 0.050 pulgadas).

ETAPAS DE DISEÑO DE UN PROYECTO

En este capítulo se pretende enlistar de manera global las etapas de diseño para la realización de un proyecto en donde se requiera diseñar la PCB, solo se contempla en este texto las etapas correspondientes a la concepción de la idea y su conversión a diseño de PCB. De ser posible se recomienda que el lector ya tenga un entendimiento de la etapa de diseño de circuitos electrónicos así como si se interesa en los procesos de manufactura de PCB.

Como primera etapa de diseño se recomienda tener en mente el diseño que se piensa realizar. Ya que se tiene la idea o proyecto en mente es necesario realizar una serie de pasos recomendados por esta guía. A continuación se enlistan dichos pasos que en el siguiente capítulo se les dará seguimiento para la realización de un proyecto.

1. Tener un diagrama a bloques con una idea general de que es lo que se requiere desde el punto de vista físico. Es necesario aterrizar nuestras ideas con diagramas a bloques realizados para darnos un panorama del diseño general de la tarjeta. ¿Qué necesita la tarjeta?, ¿Se requiere conector USB?, ¿Conector de montaje o *dip*?, ¿Cuántas entradas y salidas digitales y/o analógicas requiero?

2. Si el sistema tiene restricciones de espaciamiento físico es necesario definir el tamaño de la tarjeta. Esto principalmente cuando el PCB se diseña para ser implementado dentro de algún empaque o caja. En este paso también es recomendable tener bien definida no solo el área si no el volumen de la tarjeta, ya que existen componentes que resultan ser muy altos como capacitores o transistores por ejemplo, así como otros que requieren disipadores como los reguladores de voltaje o drivers para motores, todas estas consideraciones se deben de tomar en cuenta en este paso.

3. Definir los puertos de entrada/salida que se necesitan para el sistema (conectores, terminales, puertos, etc.). Una vez que ya tiene el diagrama a bloques el definir los puertos de un microcontrolador, sistema mínimo, driver, circuito, resulta hasta cierto punto intuitivo, ya que se puede observar desde un punto de vista más global todo el proyecto. En este caso para tarjetas o proyectos que no tengan sistemas con varios puertos o dispositivos reconfigurables no tiene caso realizar este paso.

4. Realizar una simulación previa o prototipo para evaluar la funcionalidad del diseño esquemático. Se recomienda haber realizado una simulación de los elementos del sistema, existen varios programas de simulación que pueden ser de gran ayuda, como los basados en SPICE para elementos analógicos o ISIS Proteus para algunos de los sistemas digitales.

5. A manera de realizar una pre-validación del sistema electrónico, se recomienda de ser posible, armar una tarjeta de prototipos para realizar pruebas funcionales al proyecto.

6. Realizar una lista de componentes tomando principal interés en el aspecto físico del mismo. En el aspecto físico se refiere al empaquetado a utilizar para elementos pasivos (ej. 0603, 0805, 1206, etc…) y elementos activos (QFN, TQFT, DIP, SOIC, SSOP). El diseñador puede definir los tamaños de los dispositivos dependiendo de los requerimientos de potencia, espacio, manufactura, etc. que se tengan en el diseño del proyecto.

7. Tomar en cuenta las características eléctricas de los elementos, voltaje y corriente máximas, disipación de potencia, etc. Es necesario ver si los elementos que estamos utilizando van a soportar las corrientes que se puedan presentar, o a las temperaturas a las que se someterán. Principal atención con esto ya que existen dispositivos como los microcontroladores que están limitados a solo unidades de *miliampers* para cada pin y solo un par de cientos de *miliampers* para todo el dispositivo.

8. Revisar la biblioteca principal de dispositivos para verificar la existencia de los elementos a utilizar en el proyecto. Para el EAGLE da la opción de filtrar por componentes de montaje y además cualquier búsqueda se puede realizar con un comodín en el texto que es el asterisco, por lo que una búsqueda de un “LED” puede entregar una cantidad de resultados menor que una búsqueda de “LED*”.

9. Si la biblioteca tiene los elementos es recomendable realizar una lista de los elementos a utilizar, si no, identificar cuáles van a ser necesario crear o cuales se pueden sustituir por otros elementos, por ejemplo, un transistor NPN especifico, puede ser sustituido por otro con la misma distribución de pines, o alguna tarjeta externa puede ser sustituida por una tira de pines en el diseño.

10. Si la biblioteca no tiene el componente que el proyecto requiere es necesario crear el dispositivo a utilizar, creando el símbolo y el footprint (landpattern). En caso de ser necesario más adelante se describe como realizar esto a través del EAGLE.

11. Iniciar poniendo todos los elementos que se vayan a utilizar en el PCB (a excepción de que el proyecto sea demasiado grande, es necesario agrupar los elementos respecto al diagrama a bloques realizado).

12. Una vez colocado los elementos a utilizar, comenzar a realizar la conexión de los elementos en el esquemático y asignarles nombres a las nets. Recordando siempre visualizar el nombre de la *net*.

13. Una vez conectado el segmento que se requiere trazar, o de ser posible haber conectado todo el circuito, pasar a la ventana de la tarjeta para visualizar el archivo *boardfile*. Mas

adelante en la etapa de diseño se mencionan algunas actividades generales para optimizar un poco el esquemático entre las cuales se encuentran mostrar los valores de los elementos, organizar el esquemático y sus etiquetas, etc.

14. Si ya todos los elementos fueron insertados de manera previa, los mismos estarán alineados sobre la cuadricula o *grid* de 50 mils. Por lo que ya no tendremos que volver a insertar componentes, en caso de requerirlo, regresar al esquemático e insertarlos.

15. Comenzar a posicionar los elementos (mantener el grid de 50/25 mils) como mejor convenga para el trazo de la nets, recordando siempre dar prioridad a las nets con más restricciones de diseño. Para realizar esto basarse en las *rats* que aparecen en el *boardfile*.

16. 10- Una vez posicionado los dispositivos se puede bajar el grid (50/25 a 25/12.5 mils) aunque se recomienda para primeros diseños mantenerlo en el valor default.

17. Seleccionamos el ancho de la traza que vayamos a utilizar. Esto depende en gran medida de las restricciones que tiene la señal, así como de las limitaciones mecánicas del método de fabricación a utilizar. Este paso es necesario hacerlo cada que se requiera un cambio del grosor de la traza (ej. Con las Nets de GND suelen tomarse valores más anchos, especialmente si hay elementos que consuman más de 1W).

18. Comenzar a trazar la *Nets*, tomando en cuenta la dirección de la misma, esto lo podemos ver gracias a las *rats*. Recordando realizar trazos a 45º solamente.

19. Iterar los pasos 11 al 18 según sea conveniente por cualquier cambio que se haya realizado en esquemático o por que se requiera seguir otro camino de traza.

20. Una vez terminado es recomendable posicionar planos de GND (y de VCC si se puede) esto se hace seleccionando primero el espaciamiento entre las señales y el plano, con el comando *isolate*, un valor recomendado es mantenerlo arriba de los 12 mils.

21. Es recomendable darle una inspección visual al diseño, filtrando por capas (ej. Visualizar solo capas *Top*, *Pads*, *Vias* solamente, o visualizar solo la capa *Unruted*).

22. Antes de finalizar, es indispensable correr el DRC (*Design Rule Check*) antes de generar los archivos de fabricación.

DISEÑO DE UN PROYECTO

A manera de aplicar los pasos previamente mencionados se realizara una PCB de ejemplo, la cual consiste en un microcontrolador de la familia de Microchip PIC con algunos componentes del sistema mínimo y una conexión USB. Para este caso usaremos un dispositivo (símbolo y *footprint*) en EAGLE creado por nosotros.

En cuanto a la idea general del proyecto quedaría como el siguiente diagrama a bloques descrito en la figura 1, en donde se puede observar que ya se tiene definido un tamaño y una serie de puertos que se utilizaran para futuros proyectos y/o que se necesitan para alguna aplicación en específica. Es necesario también para este punto haber definido de una manera muy general que tipo de elementos pasivos y activos serán utilizados así como las capas que se requieren.

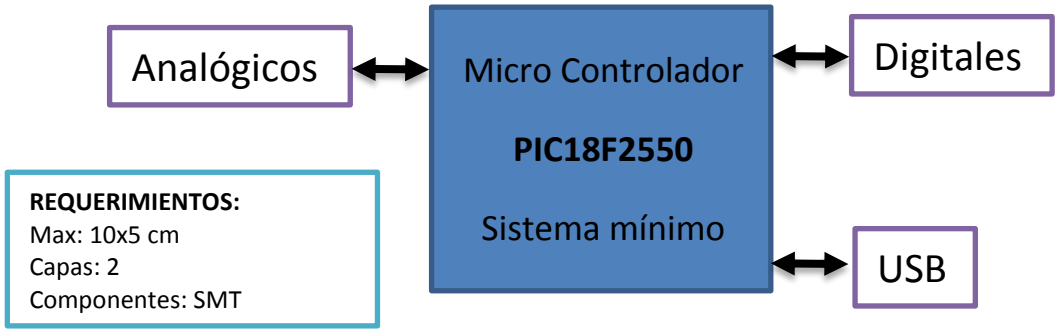


Figura 4.1. Diagrama a bloques del proyecto.

El dispositivo consta de un microcontrolador PIC18F2550 y su sistema mínimo de componentes (ver la hoja de datos para más información) así como el conector USB y una fila de conectores hembra. Como se observa en los requerimientos necesita ser de máximo 5x10 cm y tener un numero de capas de cobre menor de 2, así como usar componentes de montaje superficial (para este caso los pines se usaran como *through hole*).

El dispositivo está planeado para que sea útil en un proyecto donde se requiere adquirir datos de algún sensor analógico o digital (temperatura, humedad, presión) y visualizarlo en la computadora a través del puerto USB. Se utiliza solamente el conector USB conectado al microcontrolador y las entradas analógicas y pines digitales se mandan a conectores estándar de 2.54 mm de espaciamiento.

El diseño presentado es un diseño didáctico y no cumple con ciertas normas por lo que se utilizara solo como prototipo, es recomendable que una tarjeta como estas lleve un circuito de protección o fusible, asi como la posibilidad de utilizar alguna fuente externa para no usar solamente la energía proveniente del puerto USB de nuestra computadora.

Como el propósito de esta guía no es de ver métodos de simulación o realizar el prototipo real, saltaremos el paso número 2.

La lista de componentes para el dispositivo es la siguiente, nótese que se agregó la columna del tipo de empaquetado, la misma lista puede cambiar dependiendo los requerimientos del proyecto, pero se recomienda trabajar con una similar para proyectos de menos de 25 elementos. Es necesario reiterar que la siguiente lista es solo de planeación ya que los programas CAD de diseño de PCBs generan una lista de elementos con mayor cantidad de detalle, esta lista es también conocida como BOM (*Bill of Materials*).

Tabla 4.1. Lista de materiales a utilizar.

Dispositivo	Nombre	Valor	Empaquetado
Microcontrolador	PIC18F2550	N/A	SOIC
Conector USB	MiniUSB	N/A	SMT
Resistencias	R	Varios	1206
Capacitores	c	Varios	1206
Conectores	J	N/A	N/A

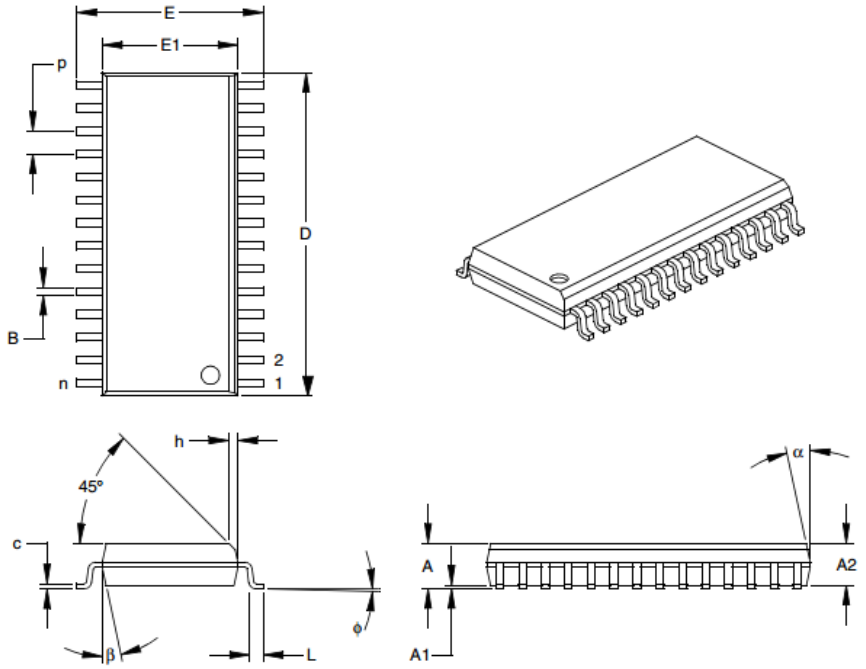
CREACIÓN DE BIBLIOTECAS

Asumiendo que las bibliotecas del software que se esté utilizando (en este caso Eagle), no incluya el dispositivo que necesitamos es necesario diseñarlo. Para eso como primera etapa vamos a descargar la hoja de datos del dispositivo, y vamos a buscar el footprint o dimensiones del empaquetado que vamos a utilizar, en este caso el SOIC. La gran mayoría de dispositivos electrónicos tienen las medidas físicas del componente y/o el footprint recomendado para ser implementado en el diseño del PCB en la hoja de datos.

En la figura 2 se muestra el diseño del empaquetado físico para el dispositivo a realizar. Primero que nada se identifican las unidades de medida, para este caso tenemos pulgadas y milímetros, en este ejemplo nos basaremos en las pulgadas. Una vez detectada la unidad de medida el segundo paso es identificar las dimensiones que más nos interesan para el diseño de la PCB.

Las medidas más importantes son **E** y **E1** para la separación entre los *pads* de un lado del circuito con el otro, **B** la cual nos da una idea de que tan ancho debe ser el *pad*, usualmente un poco más que el ancho del *pin*, **L** que da una idea de la superficie de contacto del *pin* con el *pad*, y por ultimo **p** que nos dará el *pitch* o distancia de centro a centro del *pad*.

28-Lead Plastic Small Outline (SO) – Wide, 300 mil Body (SOIC)



Units		INCHES*			MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n		28			28	
Pitch	p		.050			1.27	
Overall Height	A	.093	.099	.104	2.36	2.50	2.64
Molded Package Thickness	A2	.088	.091	.094	2.24	2.31	2.39
Standoff §	A1	.004	.008	.012	0.10	0.20	0.30
Overall Width	E	.394	.407	.420	10.01	10.34	10.67
Molded Package Width	E1	.288	.295	.299	7.32	7.49	7.59
Overall Length	D	.695	.704	.712	17.65	17.87	18.08
Chamfer Distance	h	.010	.020	.029	0.25	0.50	0.74
Foot Length	L	.016	.033	.050	0.41	0.84	1.27
Foot Angle Top	ϕ	0	4	8	0	4	8
Lead Thickness	c	.009	.011	.013	0.23	0.28	0.33
Lead Width	B	.014	.017	.020	0.36	0.42	0.51
Mold Draft Angle Top	α	0	12	15	0	12	15
Mold Draft Angle Bottom	β	0	12	15	0	12	15

* Controlling Parameter
§ Significant Characteristic
Notes:
Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.
JEDEC Equivalent: MS-013
Drawing No. C04-052

Figura 4.2. Dimensiones del empaquetado SOIC para el PIC18F2550.

Con las medidas previamente mencionadas es posible diseñar un patrón de *pads* para el circuito integrado. Para hacer esto en el programa vamos a *File-New-Library* como se muestra a continuación en la figura 3.

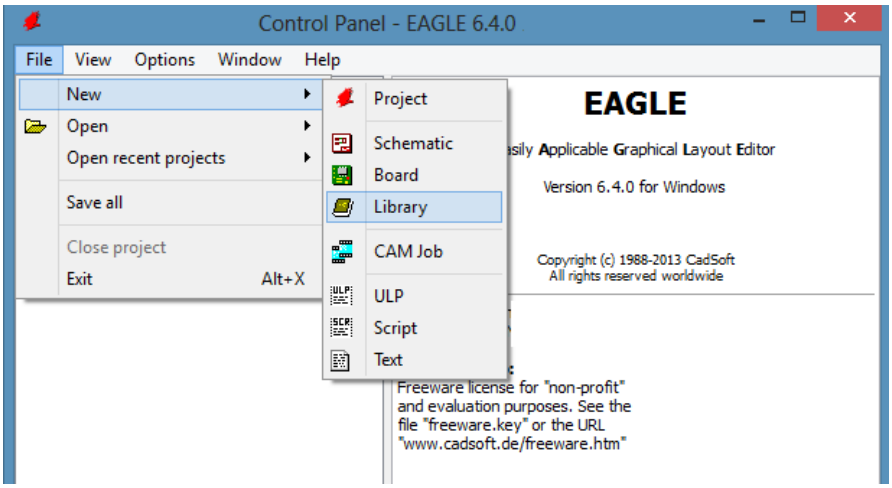


Figura 4.3. Panel de control de EAGLE.

En la ventana que aparece tendrá en el menú de herramientas los siguientes 3 botones que se muestran en la figura 4:



Figura 4.4. Herramientas de diseño.

En donde corresponden en orden de aparición a:

***Device*:** Este botón corresponde a la edición del dispositivo general, es la unión del símbolo y del empaquetado, y aquí se define la relación que tendrán los *pads* del empaquetado con las conexiones del símbolo.

***Package**:* Esta instrucción sirve para habilitar la ventana de diseño del empaquetado del circuito, se refiere al diseño del *footprint* en donde se montara el circuito en el PCB. Para este proceso es necesario buscar en la hoja de datos las dimensiones físicas del dispositivo.

***Symbol*:** Esta instrucción sirve para habilitar la ventana de diseño del símbolo del circuito, el diseño de este no está limitado con muchas restricciones por lo que podemos agregar o descartar pines así como agruparlos para representar mejor el dispositivo en el esquemático.

Para comenzar se diseñara el símbolo, para esto, es necesario conocer el nombre de los pines, si no se tienen a la mano, es recomendable recurrir a la hoja de datos para observar cómo es que están distribuidos los pines con los nombres asignados por el fabricante.

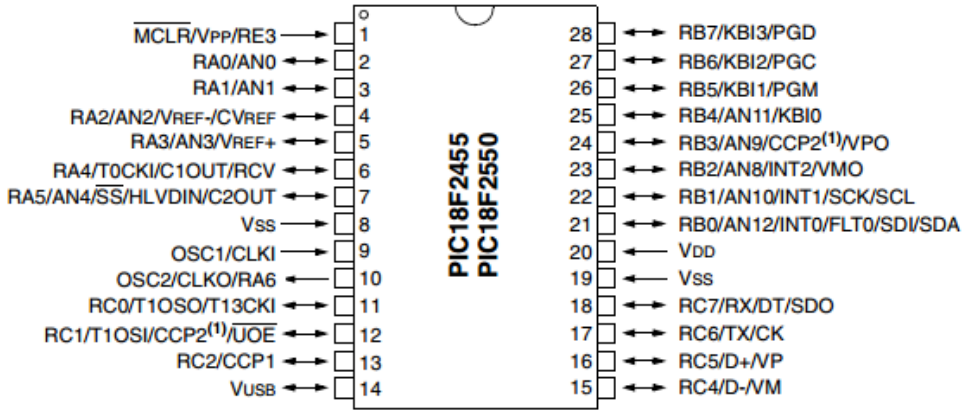


Figura 4.5. PIC18F2550 y su distribución de pines.

Para comenzar se presiona en el botón de *symbol* y se le asigna el nombre que corresponda al símbolo, para este caso se pondrá la matricula del circuito y le damos clic en ok. Para el diseño de otros dispositivos el *symbol* puede llevar el nombre de DIODE, RES, o algo más genérico, ya que es más fácil identificarlos de esa manera o incluso reutilizarlos para otros dispositivos.

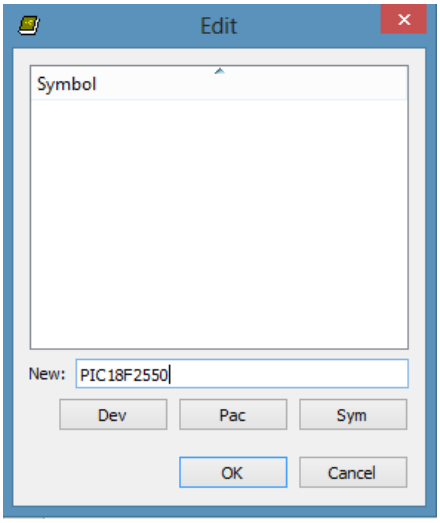


Figura 4.6. Nombre del símbolo.

Con la herramienta *Wire* se traza un rectángulo (no importa el tamaño se puede ajustar después). El rectángulo servirá como una representación del cuerpo principal del circuito. Se recomienda trazar el cuadro alrededor del centro marcado por una cruz, ya que este identificara el centro del símbolo una vez se pase al diseño del dispositivo. Al presionar el botón derecho del mouse el tipo de traza cambiara, lo que resulta muy práctico para diseño de símbolos irregulares.

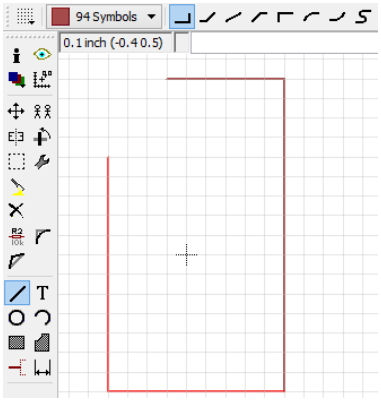


Figura 4.7. Diseño del rectángulo de referencia para el símbolo.

Una vez realizado el rectángulo, se insertan los 28 pines necesarios para el dispositivo. Se selecciona la herramienta de *Pin* (se puede observar en la parte inferior izquierda en la figura 7). Se insertan los pines en el diseño del símbolo a gusto del diseñador, es recomendable que la punta que no es entrada/salida marcada como una línea roja, este en contacto con el recuadro previamente realizado. Como recomendación general se recomienda ir insertando los pines respecto a la numeración del fabricante ej. En este caso se insertaron los pines de la parte superior izquierda primero para terminar con la parte superior derecha como se muestra en la figura 8.

Una vez se hayan insertado los pines, se toma la herramienta *Select* y se selecciona la mitad del dispositivo, tomando todos los pines de un solo lado, posteriormente se toma la herramienta *Move* y se le da clic derecho sobre cualquier espacio libre en el diseño y se selecciona *Move Group* esto nos ayuda a darle forma al dispositivo, de igual manera es posible mover elementos de manera independiente.

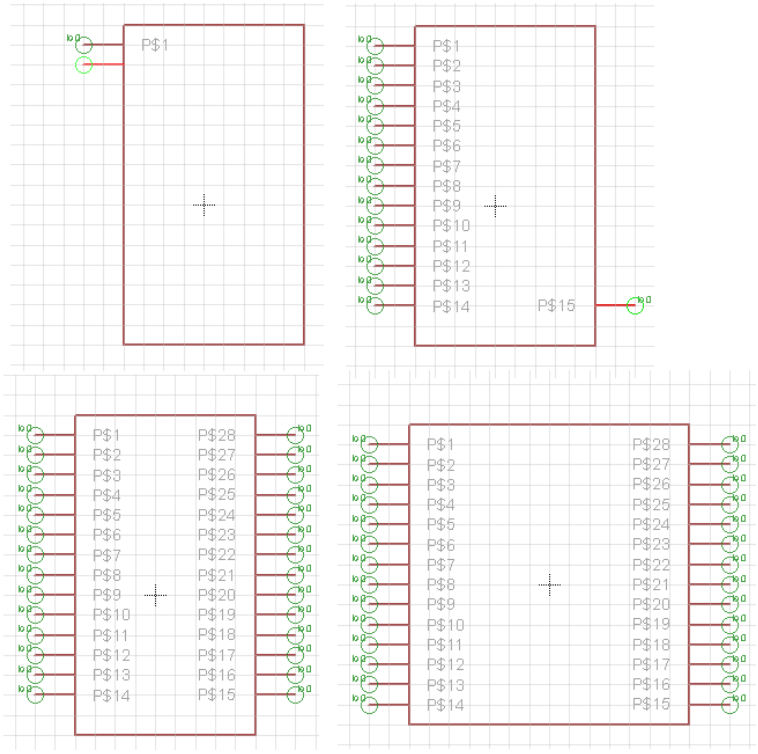


Figura 4.8. Insertar pines al diseño y realizar arreglos del símbolo.

Para asignar una leyenda de los nombre de los pines al símbolo es necesario nombrar cada *pin*. Se toma la herramienta *Name* y al darle clic en cada pin se asignara un nombre al mismo. El nombre puede depender del diseño, y puede ser cualquiera que el diseñador recomiende apropiado, se recomienda mantener los nombres lo más similar a la hoja de datos como sea posible.

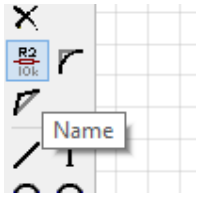


Figura 4.9. Herramienta nombrar.

Se observa en la figura 10 cómo se realizaron algunos cambios en la estructura general del diseño final así como cabe señalara dos puntos importantes:

Los pines se movieron de lugar después de haber sido colocados, por lo que el número de pin se mantiene ej. El pin VDD es el 1, el pin VUSB es el 14.

Para los circuitos integrados o dispositivos que tengan más de un pin asignado a una misma conexión como en este caso el pin GND es necesario asignar un símbolo de @ para indicar que es la misma conexión, el arroba va previo a un número que incrementa según los pines, ej. GND@1, GND@2, etc.

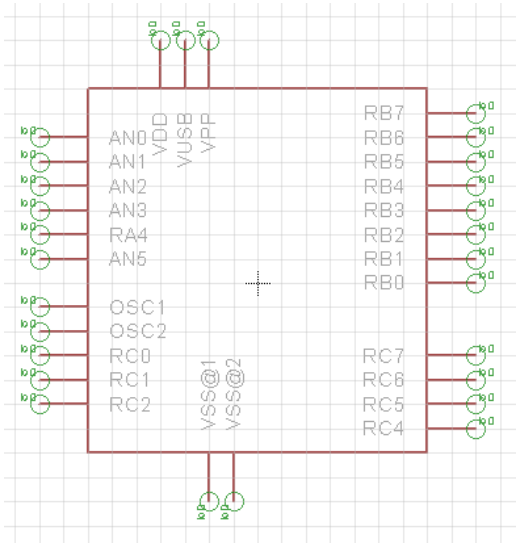


Figura 4.10. Símbolo del circuito integrado.

Se asignan las etiquetas para nombre y valor del dispositivo, para hacer esto se selecciona la herramienta de texto marcada por un icono con una T, y se escribe el texto “>NAME” y se

cambia la capa a *95 Names* y se inserta, se aplica igual para ">VAULE" en la capa *96 Values*, como se observa en la figura 11.

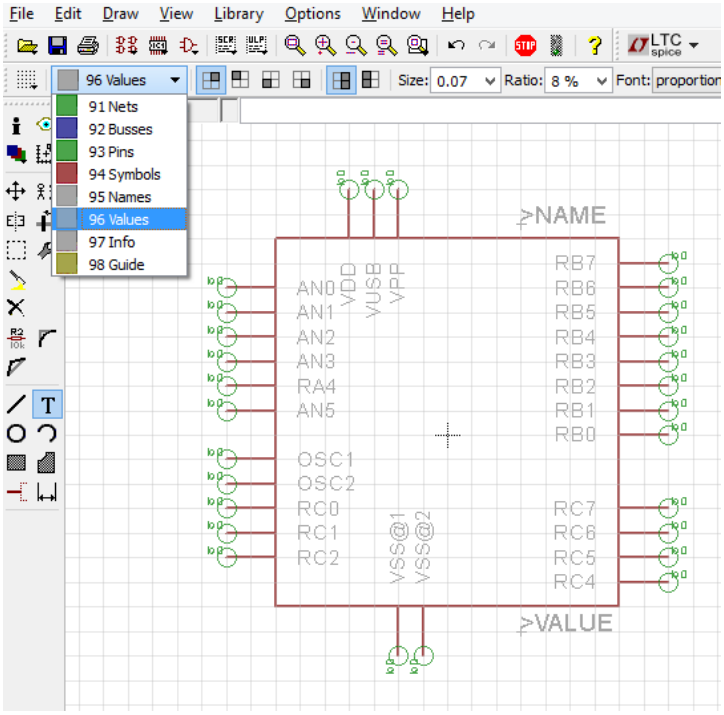


Figura 4.11. Asignación de nombre y valor.

El símbolo está terminado, se recomienda guardar el mismo. Dado que esta biblioteca es nueva preguntara donde se requiere guardar y con qué nombre. Es recomendable guardar la biblioteca en una carpeta aparte así como guardar las revisiones de la misma. Para este caso particular se guardara en el directorio de las demás bibliotecas de EAGLE.

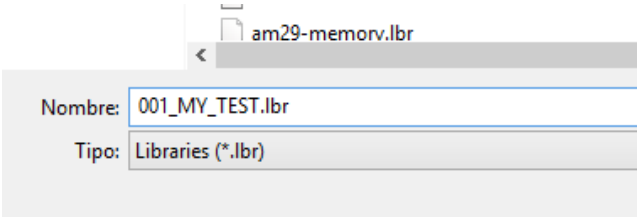


Figura 4.12. Guardar la librería.

Se prosigue a trabajar en el diseño del *footprint* para el empaquetado del dispositivo. Se selecciona el botón de *Package* para que el programa habilite la ventana de diseño de footprints, se inserta el nombre y se le da clic en ok. Primero que nada es necesario definir el *Grid* que se va a utilizar así como preferentemente seleccionar *Display: on* y *Style: Lines* en la herramienta *Grid* como se puede observar en las figuras 13 y 14. Se recomienda mantener los valores default a menos de que se requiera realizar cambios manuales al diseño.

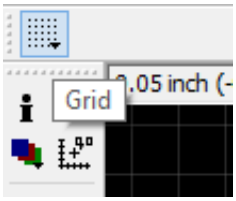


Figura 4.13. Herramienta Grid.

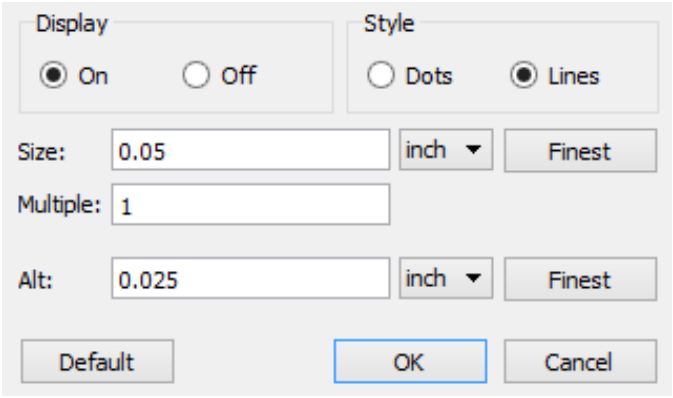


Figura 4.14. Menú de Grid.

Antes de comenzar es necesario tener en cuenta el tamaño del pin, haciendo referencia a la figura 2 en done se observa las medidas para el ancho están definidas por **B**, el largo está definido por **(E-E1)/2** y la separación entre los pines es de centro a centro de **p**. y de hilera de pines izquierda a derecha de centro a centro es **E1** mas la mitad de lo largo del pin de cada lado.

Para crear el *pad* donde se posicionaran los pines de manera individual se selecciona la herramienta *Change* que se aprecia como una llave de tuercas y se selecciona SMD, se seleccionan los tres elementos para definir el tamaño del pin y se introduce el valor de “0.022 x 0.080”. Cabe destacar que es un valor sugerido nótese que no corresponde exactamente con los valores de los pines, footprint es un poco más ancho y considerablemente más largo, esto para facilitar el poner los dispositivos de montaje en la tarjeta.

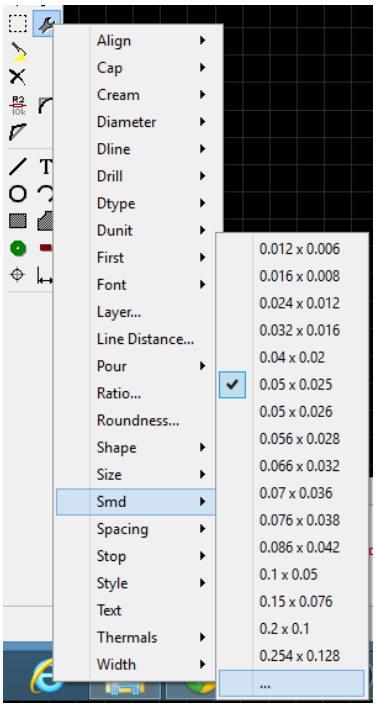


Figura 4.15. Cambio a un pad con tamaño especifico.

Una vez se tiene definido el tamaño del *pad*, hay varias formas de posicionar los mismo, la más común es cambiando el *grid* al espaciamiento entre *pin* y *pin* correspondiente a **p** y poner los *pines de manera manual*, lamentablemente el *grid* nos limita a trabajar con los dos ejes con el mismo espaciamiento y se vuelve algo engorroso, a pesar de que con más practica puede ser una opción más rápida. Para este caso se tomara en cuenta la posibilidad de introducir comando a través del programa, lo que se busca es encontrar los centros de cada uno de los *pads* respecto al centro del dispositivo para insertar los *pads* de manera de coordenadas.

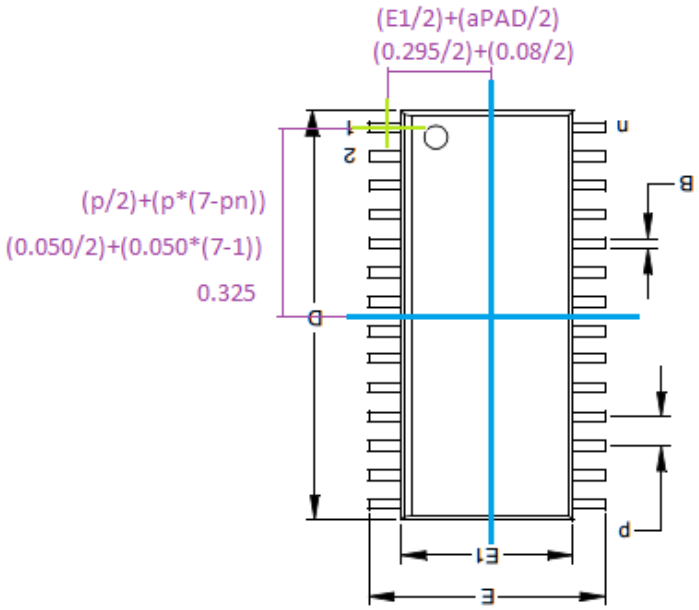


Figura 4.16. Funciones para obtener las medidas de los centros de pads respecto al centro del dispositivo.

Como se muestra en la figura 16, se observa qué relación hay entre la distancia entre pines, la geometría de los mismos y el número de pines, en donde es posible obtener una tabla como la que se muestra a continuación que relacione el centro de cada *pad* con el centro del dispositivo. En la tabla inferior se puede observar que solamente se está cambiando para un eje el número del pin (1, 2, 3… 14) y para el otro eje el signo (+ o -).

Tabla 4.2. Función para encontrar las coordenadas del centro de cada pin respecto al centro del dispositivo.

	Izquierda		**Derecha**	
Arriba	(0.050/2)+(0.050*(7-1))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-1))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-2))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-2))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-3))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-3))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-4))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-4))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-5))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-5))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-6))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-6))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-7))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-7))	(0.295/2)+(0.08/2)
Abajo	(0.050/2)+(0.050*(7-8))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-8))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-9))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-9))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-10))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-10))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-11))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-11))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-12))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-12))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-13))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-13))	(0.295/2)+(0.08/2)
	(0.050/2)+(0.050*(7-14))	-((0.295/2)+(0.08/2))	(0.050/2)+(0.050*(7-14))	(0.295/2)+(0.08/2)

A continuación se presenta la tabla resuelta, la cual está en valores de pulgadas, la misma tabla se puede hacer en milímetros.

Tabla 4.3. Solución para la tabla 2, ejes coordenados para cada pin.

0.3250	-0,1875	0.3250	0,1875
0.2750	-0,1875	0.2750	0,1875
0.2250	-0,1875	0.2250	0,1875
0.1750	-0,1875	0.1750	0,1875
0.1250	-0,1875	0.1250	0,1875
0.0750	-0,1875	0.0750	0,1875
0.0250	-0,1875	0.0250	0,1875
-0.0250	-0,1875	-0.0250	0,1875
-0.0750	-0,1875	-0.0750	0,1875
-0.1250	-0,1875	-0.1250	0,1875
-0.1750	-0,1875	-0.1750	0,1875
-0.2250	-0,1875	-0.2250	0,1875
-0.2750	-0,1875	-0.2750	0,1875
-0.3250	-0,1875	-0.3250	0,1875

Cabe destacar, que la agrupación de los datos en la tabla se realiza conforme al acomodo de los pines, esto no es necesario pero ayuda a no generar confusiones futuras. La nomenclatura a utilizar en las instrucciones de EAGLE es la siguiente:

(-0.1875 0.3250) (-0.1875 0.2750) (-0.1875 0.2250) (-0.1875 0.1750) (-0.1875 0.1250) (-0.1875 0.0750) (-0.1875 0.0250) (-0.1875 -0.0250) (-0.1875 -0.0750) (-0.1875 -0.1250) (-0.1875 -0.1750) (-0.1875 -0.2250) (-0.1875 -0.2750) (-0.1875 -0.3250) (0.1875 -0.3250) (0.1875 -0.2750) (0.1875 -0.2250) (0.1875 -0.1750)(0.1875 -0.1250) (0.1875 -0.0750) (0.1875 -0.0250) (0.1875 0.0250) (0.1875 0.0750)(0.1875 0.1250) (0.1875 0.1750) (0.1875 0.2250) (0.1875 0.2750) (0.1875 0.3250)

Para poder insertar lo *pads* con las instrucciones previas, damos clic en la herramienta SMD la cual nos selecciona el *pad* con el tamaño que previamente habíamos configurado, escribimos la instrucción y se le da *enter*. Automáticamente el sistema posiciona los *pads* en las coordenadas introducidas como se observa en la siguiente figura.

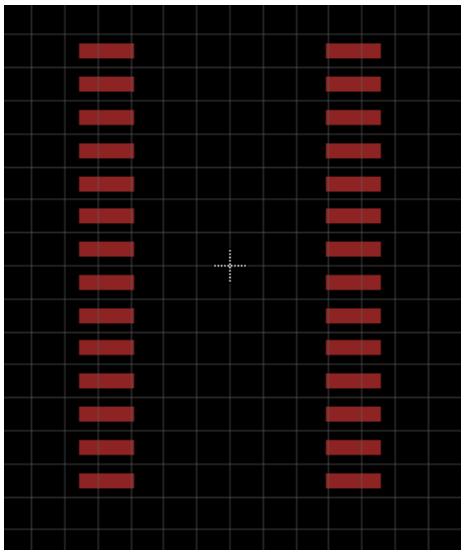


Figura 4.17. Pads del dispositivo.

Se aplica la misma lógica para dibujar el *outline* o contorno del dispositivo, en este caso solo se necesitan los 4 puntos extremos del dispositivo. Hay que resaltar la necesidad de escribir los puntos en el diseño alrededor ya que si se ponen de manera aleatoria el resultado no será un rectángulo. Como se observa en el desarrollo en la parte inferior coordenadas a obtener son las mismas solo que con los cambios de signo correspondientes a la posición (arriba-izquierda, abajo-izquierda, abajo-derecha, arriba-derecha).

E1*D
0.295*0.704
(-0.295/2 0.704/2) (0.295/2 0.704/2) (0.295/2 -0.704/2) (-0.295/2 -0.704/2)
(-0.1475 0.352) (0.1475 0.352) (0.1475 -0.352) (-0.1475 -0.352)

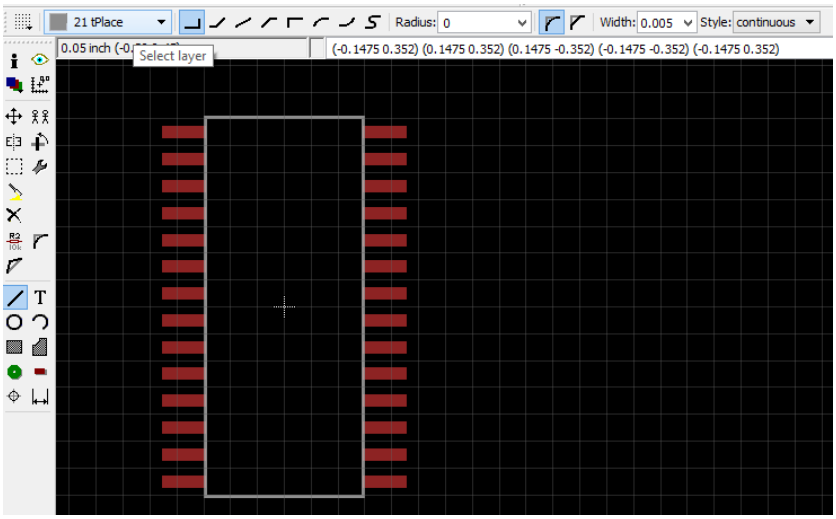


Figura 4.18. Dibujo del contorno del dispositivo.

Por último se realizara la misma dinámica para dibujar los pines como referencia de diseño, cabe destacar que para el proceso de fabricación este siguiente paso no se verá reflejado de ninguna manera, solamente es como referencia de diseño pero se recomienda realizar este último paso. Vamos a extraer las dimensiones de los pines y generar un rectángulo con la instrucción *Rect* el cual se dibujara sobre diseño. Vamos a tomar el diseño con el centro del pin como referencia y las instrucciones quedarían como se muestra a continuación. Para este caso vamos a utilizar la capa "51 tDocu", capa que como se mencionaba no corresponde ni al silkscreen ni a ninguna parte física.

LARGO DEL PIN = (E-E1)/2
ANCHO DEL PIN = B
(0.056 0.017)
(0.028 0.0085) (-0.028 -0.0085)

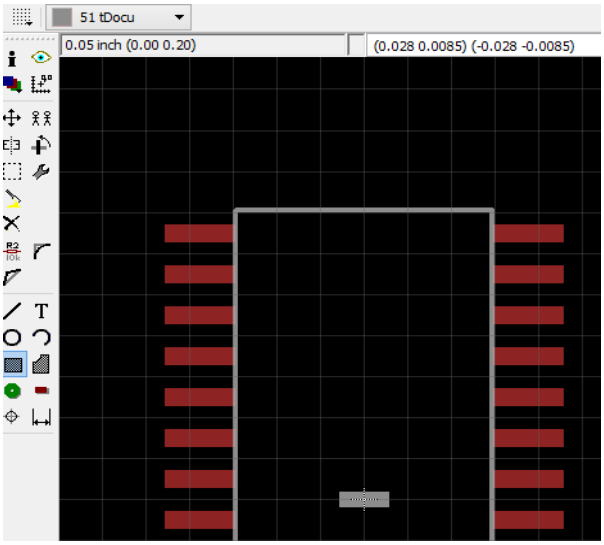


Figura 4.19. Pines del dispositivo.

Se posiciona los pines como se muestra en la siguiente figura. Para este caso, como los pines solamente son de referencia y el *grid* se encuentra alineado con el dispositivo (nótese como todos los *pads* recaen en el centro del grid que es de 0.050 pulgadas y el alternativo es de 0.025), por lo que pondremos el primer pin en el primer pad, recordando presionar el botón ALT para que se active el *grid* alterno.

Se copiara el pin recién generado y colocado con el botón *Copy* y se inserta en el siguiente *pad*, este proceso se repetirá para todos los pines, en este caso no importa como sean insertados. El resultado se muestra en la figura 20.

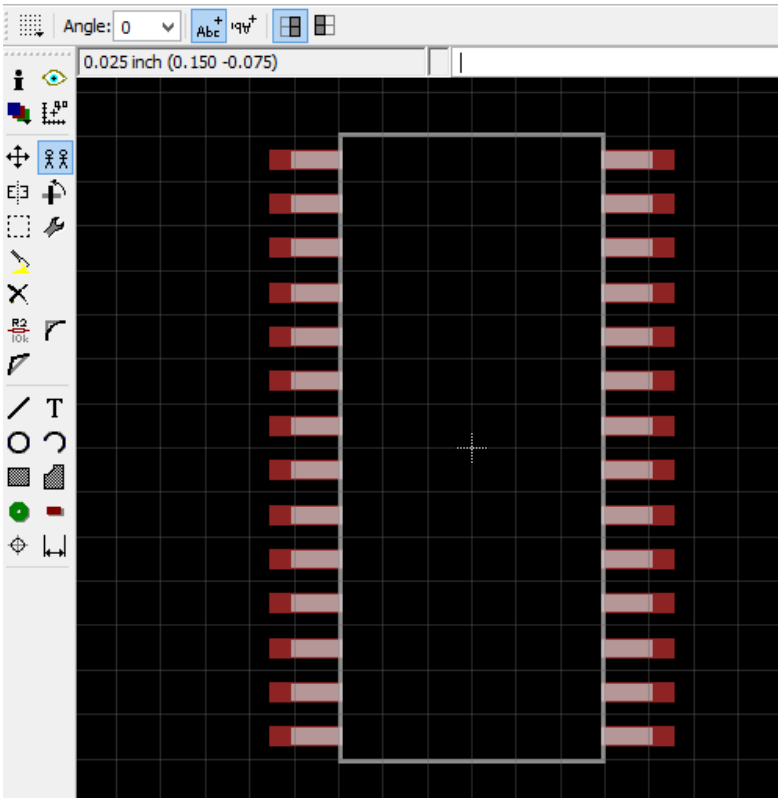


Figura 4.20. Pines del dispositivo sobre los pads.

Se copiara el pin recién generado y colocado con el botón *Copy* y se inserta en el siguiente *pad*, este proceso se repetirá para todos los pines, en este caso no importa como sean insertados.

Para identificar una vez que se mande a fabricar la tarjeta como es que el circuito estará orientado, es recomendado insertar un identificador, en este caso y para los circuitos integrados se recomienda utilizar un punto (la mayoría de los circuitos integrados de montaje superficial incluyen este punto grabado en bajo relieve o con serigrafía, los tipo *dip* suelen tener una muesca en un extremo).

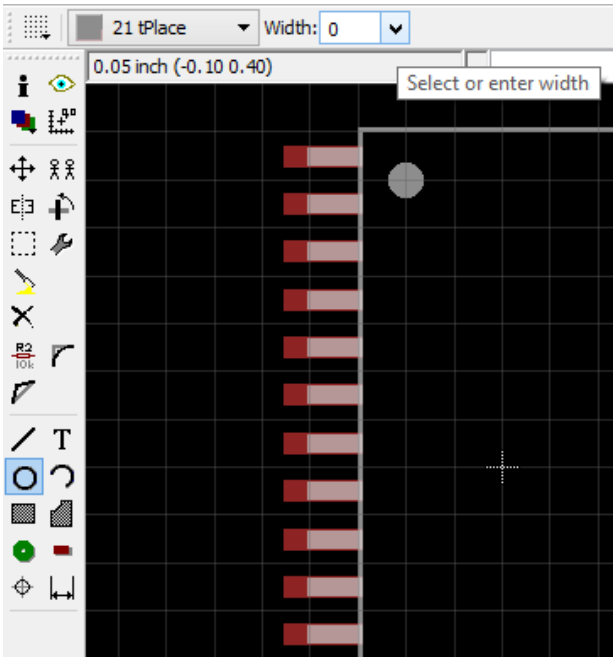


Figura 4.21. Punto de referencia para la colocación del dispositivo.

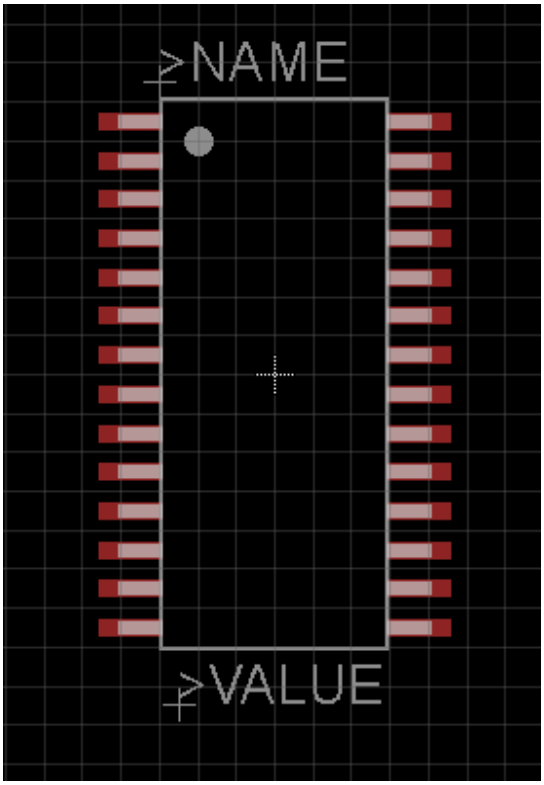


Figura 4.22. Asignar nombre y valor para el dispositivo.

Al igual que en el diseño de los símbolos es necesario incluir la definición del nombre y del valor, se hará de la misma manera insertando en las capas de *Names* y *Values*.

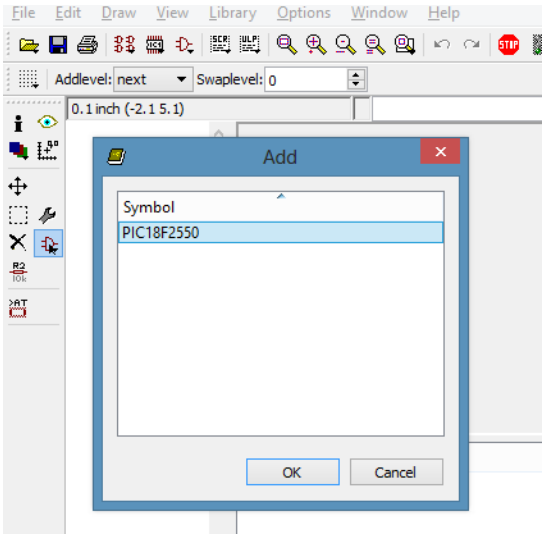


Figura 4.23. Añadir un símbolo.

Se procede a generar el dispositivo o *Device*, se asigna un nombre determinado, en este caso se usó PIC18F2550_SOIC.

Una vez dentro de la ventana de *Device*, se importara el símbolo previamente diseñado, el cual tiene por nombre PIC18F2550. Una vez cargado se posiciona el símbolo en el centro de la ventana.

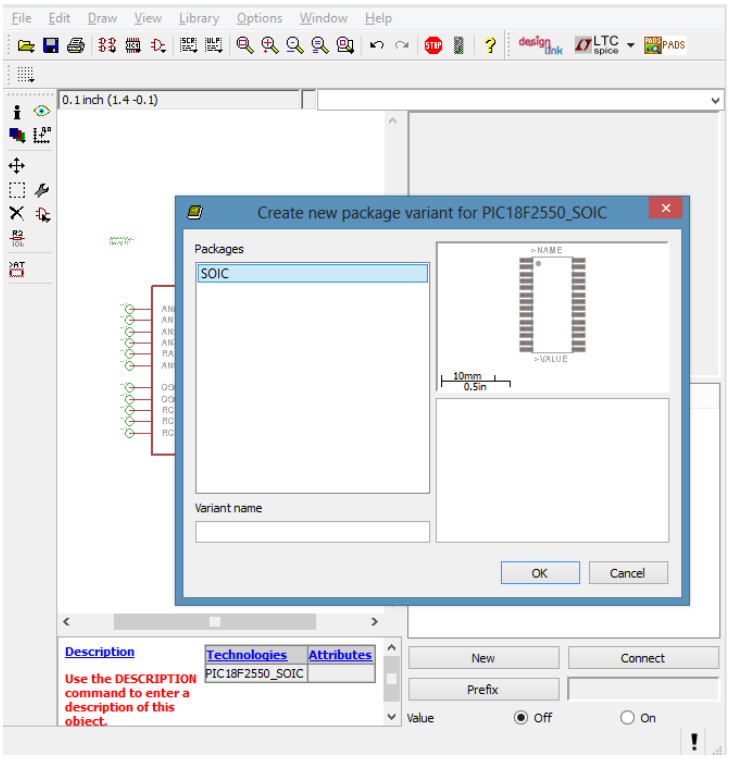


Figura 4.24. Añadir un empaquetado.

El *footprint* se carga al presionar el botón new. Aparecerá una ventana con todos los empaquetados diseñados en la librería actúa, (en este caso solo aparece uno), seleccionamos el empaquetado y le damos clic en ok.

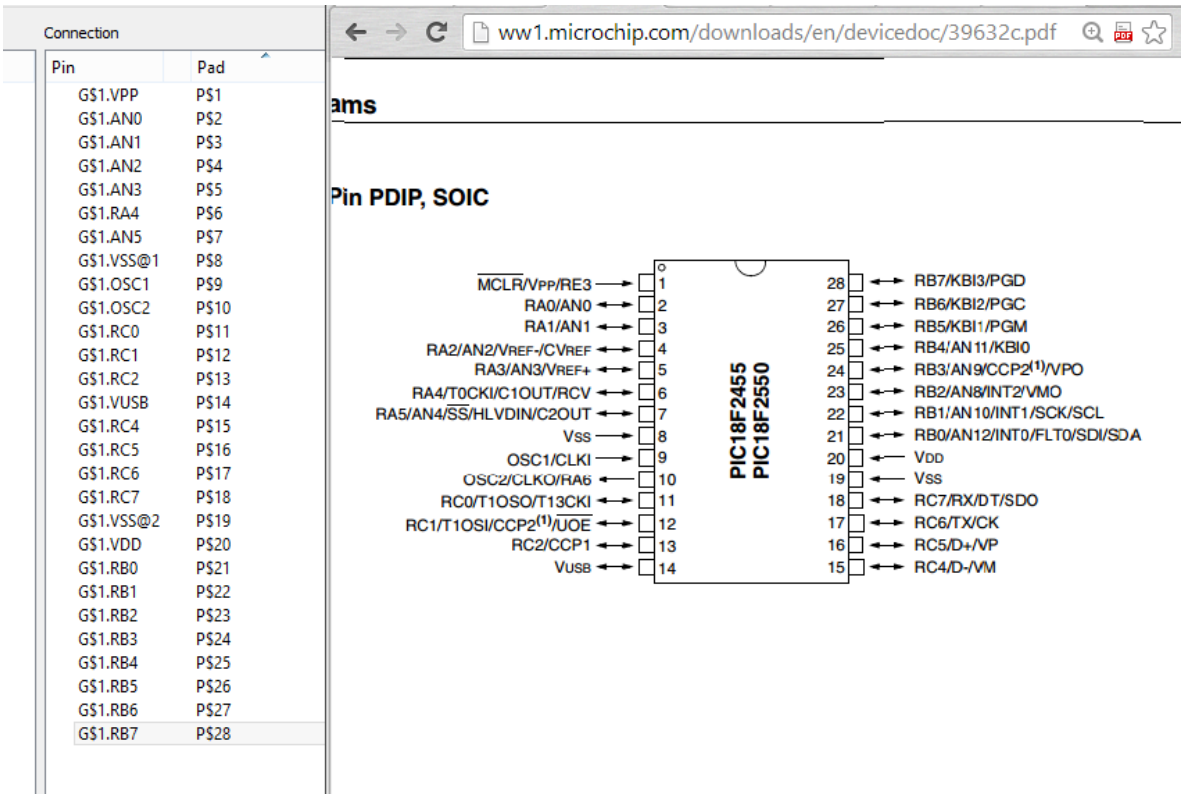


Figura 4.25. Relación final de pads con pines (izquierda) Configuración de pines (derecha).

Presionamos el botón *Connect* para que aparezca la ventana de conexiones. Se observa que en una columna aparece la lista de los pines asignados al símbolo y en la otra columna se observa los pines nombrados en el diseño del *footprint*, los cuales se dejaron con los nombres por defecto.

Con ayuda de la hoja de datos se realizara la conexión pin con *pad* del dispositivo. En este caso particular, por ejemplo, el *pin* 1 se observa en la hoja de datos que corresponde al VPP, entonces el P$1 se conecta con el G$1.VPP, y así sucesivamente.

Importante recalcar que en este momento se puede apreciar la relación de haber posicionado los pines en el diseño del footprint con orden de aparición igual a la numeración de los mismos. En caso de no haberlo hecho de esta manera se recomienda renombrar los pines en la ventana del diseño del empaquetado.

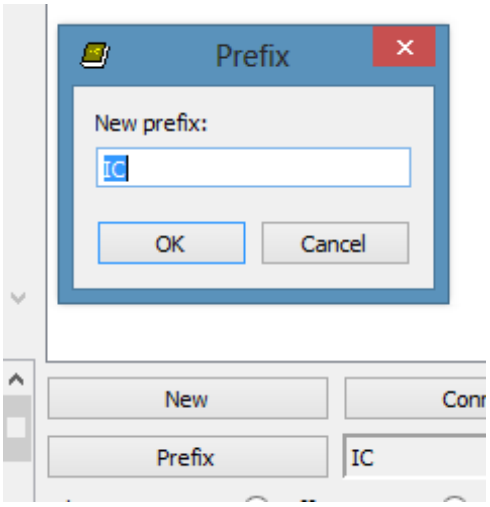


Figura 4.26. Prefijo del dispositivo.

Por último se recomienda poner el Prefijo del dispositivo creado, en este caso como es un circuito integrado se le pondrá IC, para una resistencia seria R, para un capacitor seria C, y asi.

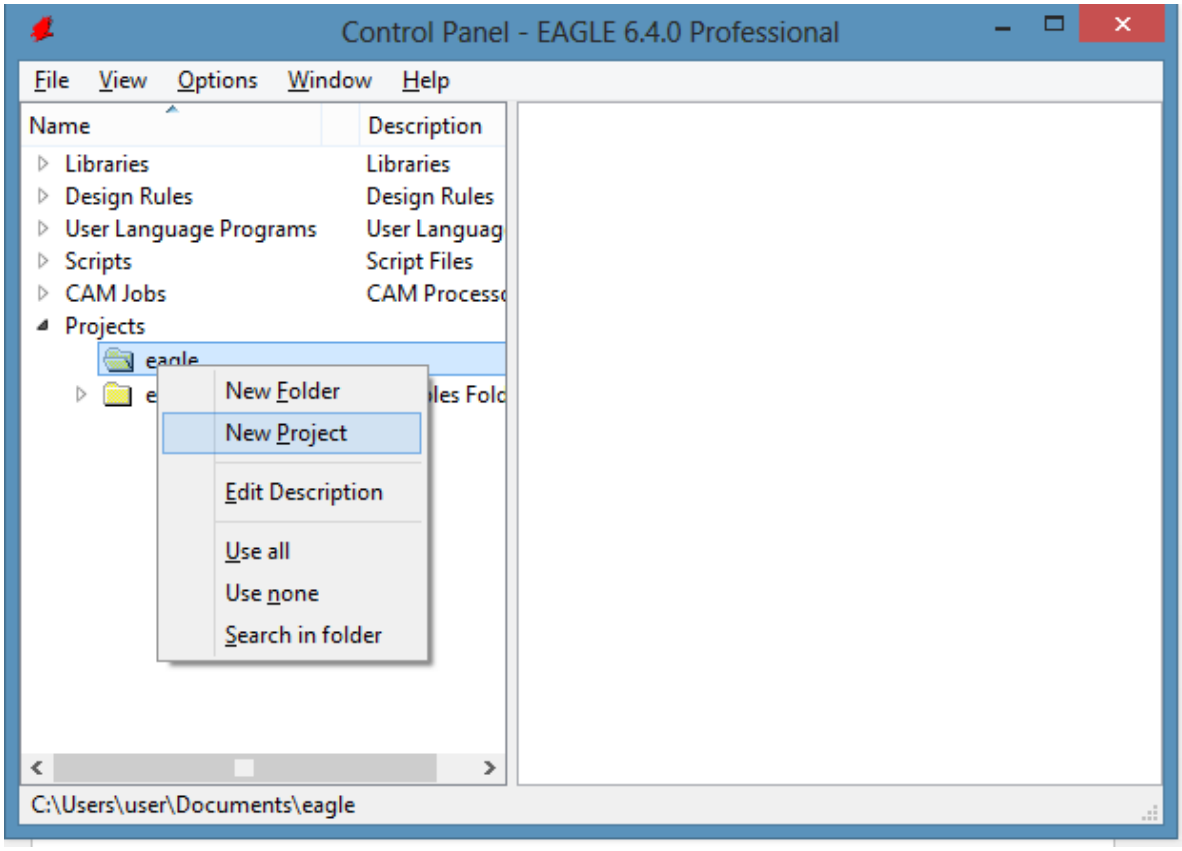


Figura 4.27. Crear nuevo proyecto.

Para comenzar el proyecto, se crea un nuevo proyecto en la carpeta definida dado clic derecho en *New Project*. Ya en la carpeta del proyecto generado damos clic derecho y seleccionamos new Schematic.

DISEÑO DEL DIAGRAMA ESQUEMATICO

En la ventana de diseño de esquemático la primea actividad a realizar es de añadir al diseño los elementos que se vayan a utilizar (o los que se tengan planeados hasta este momento en el planteamiento del proyecto).

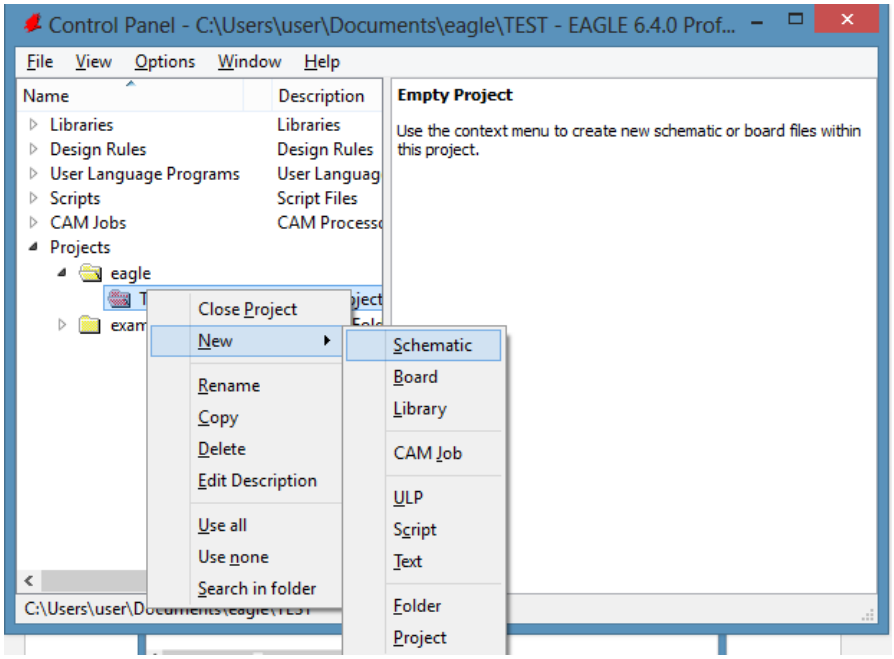


Figura 4.28. Crear nuevo esquemático.

Si se va a utilizar una nueva biblioteca es necesario añadirla al sistema, en este caso seleccionamos el botón *Use library* que abre una ventana del navegador del sistema operativo en donde se selecciona la biblioteca que se quiera añadir, en este caso, la que se acaba de crear.

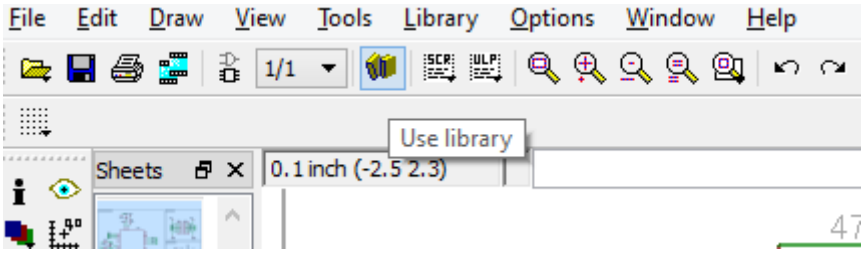


Figura 29. Añadir bibliotecas.

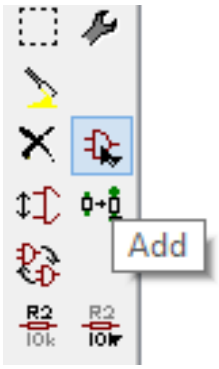


Figura 4.30. Herramienta para añadir componentes al esquemático.

Para añadir un dispositivo se presiona el botón *Add* en donde saldrá la lista de las bibliotecas y dispositivos disponibles.

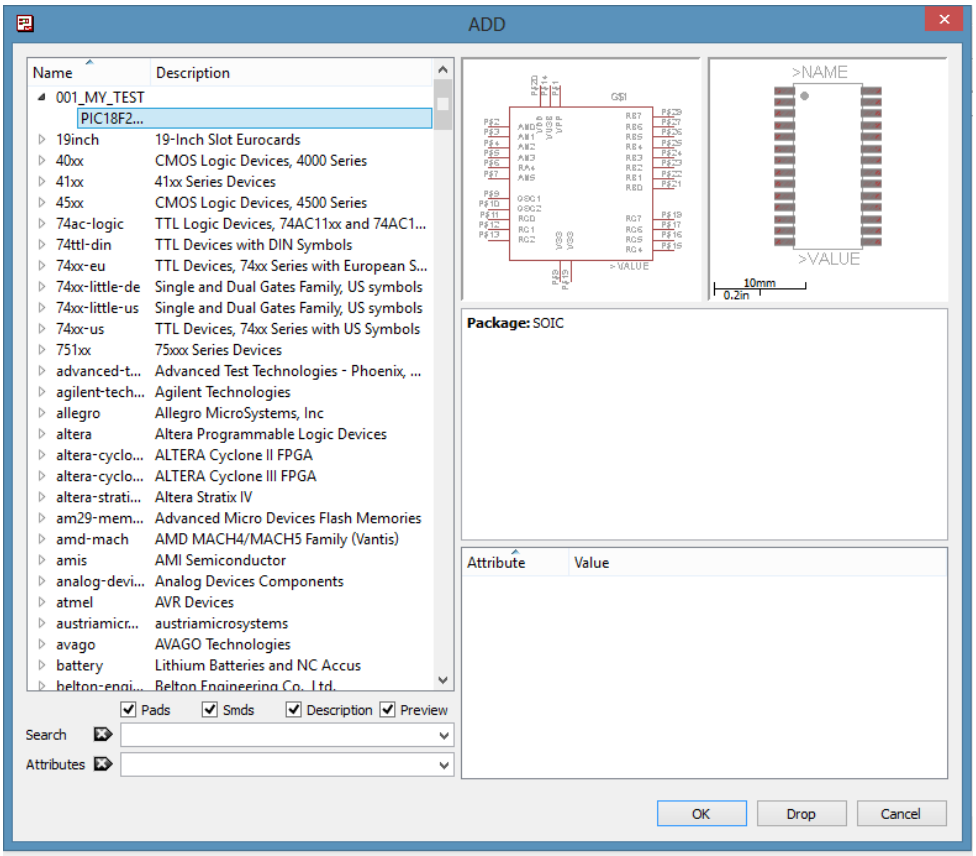


Figura 4.31. Añadir componentes.

Como se describió previamente el planteamiento del problema los componentes que se necesitan son los siguientes, en la tabla aparece el nombre con el que se pueden encontrar en las bibliotecas que EAGLE tiene por defecto. En la Tabla 4 se puede encontrar los nombres en el EAGLE.

Tabla 4.4. Nombre de los componentes en EAGLE.

Dispositivo	Nombre
Microcontrolador	PIC18F2550_SOICSOIC
Pines	PINHD-1X6
Conector USB	MINI-USB-32005-201
Cristal de cuarzo	CRYSTALHC49U-V
Capacitor	C-EUC1206
Resistencia	R-EU_R1206

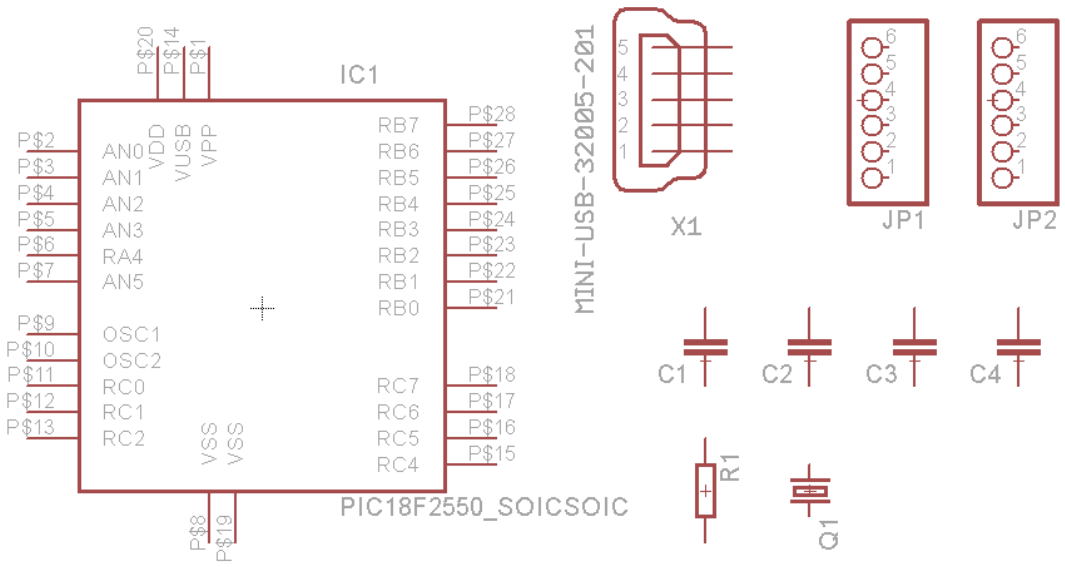


Figura 4.32. Componentes en el esquemático.

Al posicionar los componentes se recomienda agrupar los mismos cerca de donde serán conectados, en los programas de diseño más complejos con número de componentes alto, se suele usar un parámetro que define el área donde serán colocados, por ejemplo, en una tarjeta madre que tiene 250 capacitores 100 se asignan a el microcoprocesador, 100 al PCH, y 50 para otras zonas. En el diseño propuesto solamente se agruparan de manera visual, como se puede observar en la Figura 32.

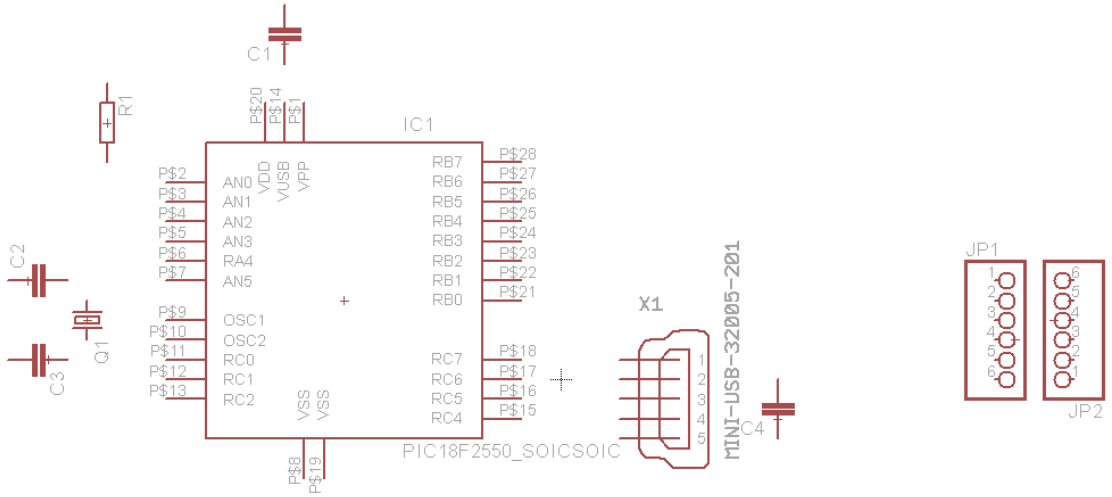


Figura 4.33. Componentes en el esquemático ordenados según se crea conveniente.

Para realizar la conexión de los elementos es necesario realizarlo con la herramienta *Wire*, en donde seleccionamos un extremo del pin y llevamos la *net* hasta el componente que se desea conectar.

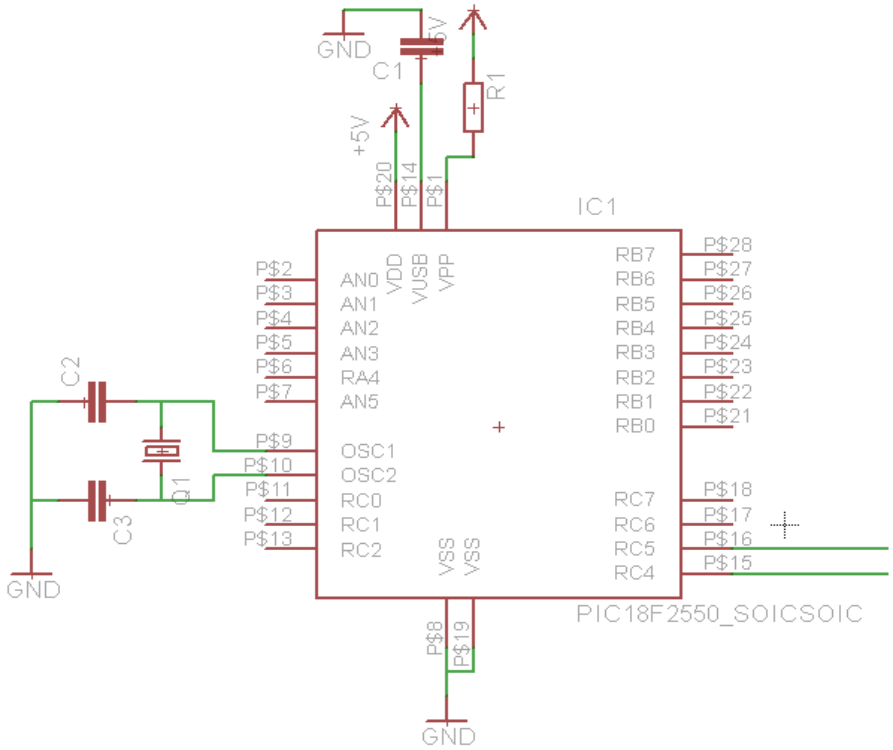


Figura 4.34. Conexiones en el micro controlador como sistema mínimo.

En la figura 34 se observa cómo es que quedan los componentes conectados y como es que se fueron posicionando.

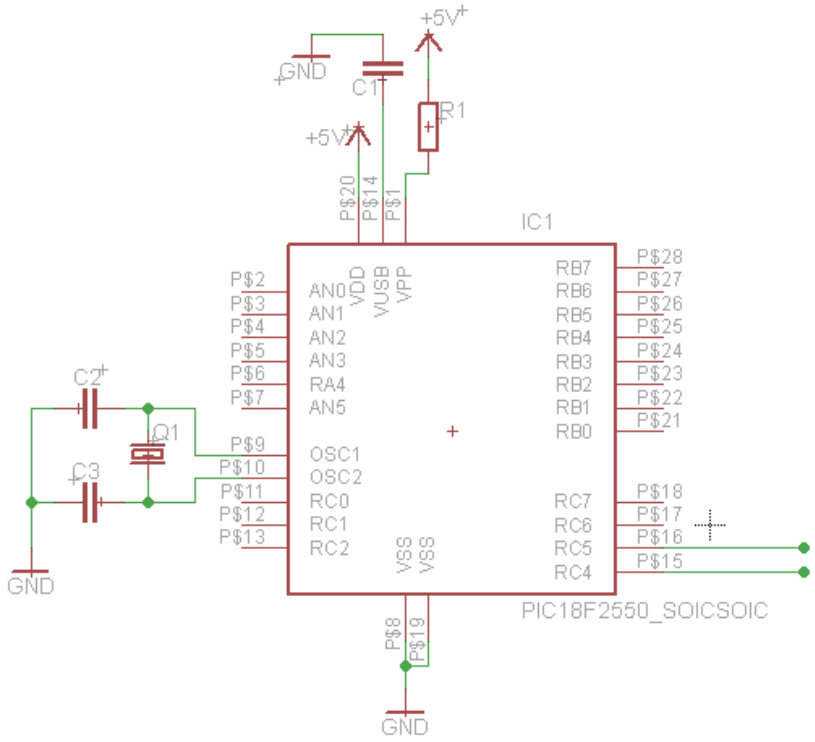


Figura 4.35. Asignación de valores para los componentes.

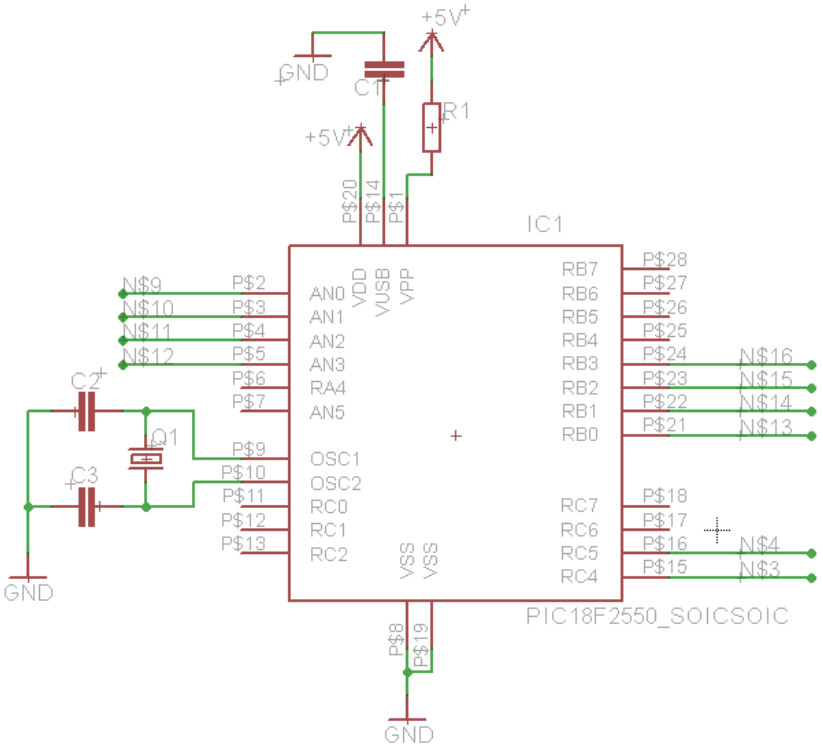


Figura 4.36. Reacomodo de etiquetas para los nombres y valores.

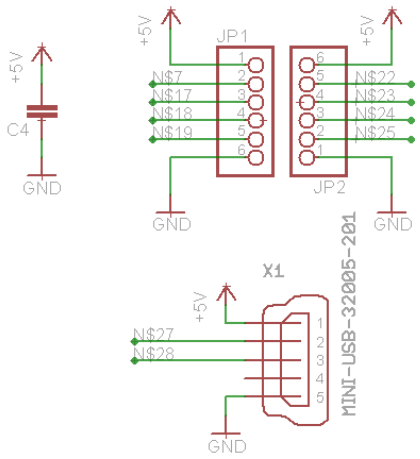


Figura 4.37. Conexiones para conectores.

En las figuras 33 a 37 se observa el proceso de detalle de la creación del esquemático. Se recomienda observar y seguir los pasos que se observan en las figuras en donde se aprecia que se realizan las conexiones y se agrupan los componentes, así como se muestran los valores en el esquemático, para esto es necesario usar la herramienta *values* y si se requiere cambiar algún nombre con la herramienta *names.*

Para poder mover un nombre o valor de algún componente es necesario previamente seleccionar el mismo con la herramienta *smash.* También se puede seleccionar todos los elementos del esquemático y con el clic derecho sobre una parte del esquemático dar *smash all*.

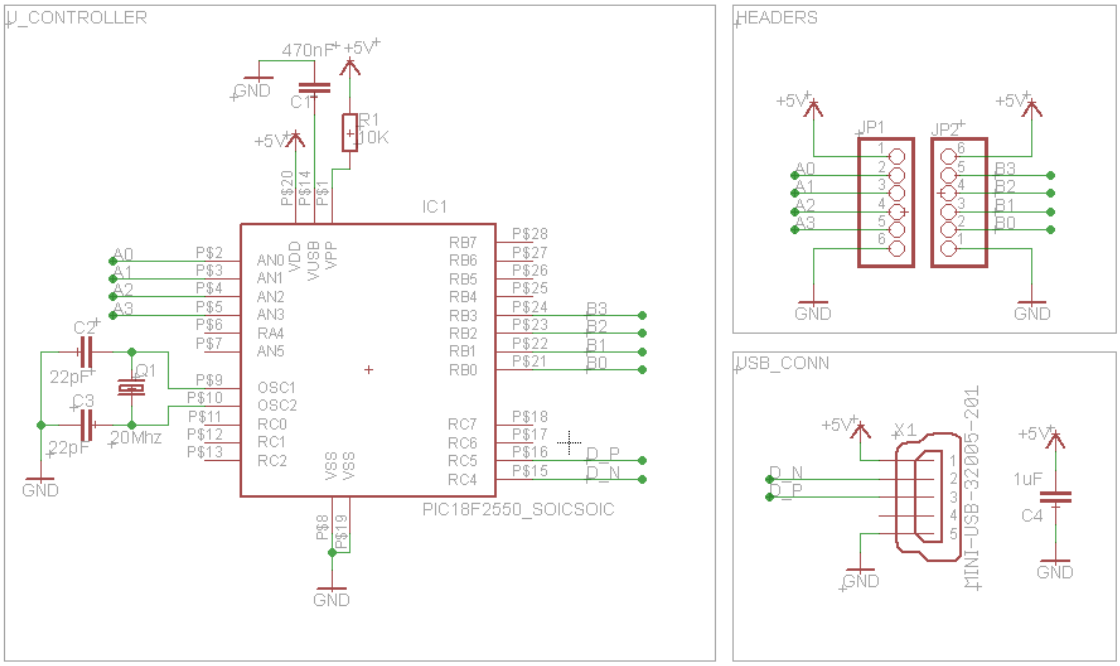


Figura 4.38. Esquemático del proyecto.

DISEÑO DEL BOARDFILE

Se procede a abrir la ventana para el diseño del esquemático dando en la opción *file- switch to board*. La ventana de diseño aparecerá con los componentes colocados de manera automática en el archivo como se observa en la figura 39.

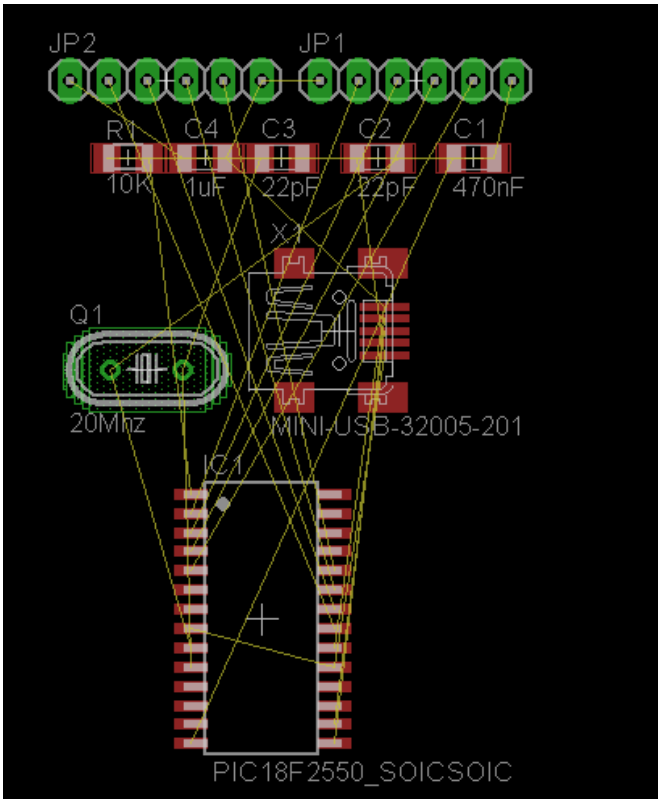


Figura 4.39. Elementos en el archivo de diseño de la tarjeta.

Para el diseño de boardfile, es necesario repasar que significa cada capa, ya que el diseño dependerá de visualizar o esconder varias capas en el programa. Esto se puede realizar seleccionando la opción *view- layer settings…* Se describen algunas de las más importantes a continuacion:

Top: Muestra los trazos de cobre en la PCB desde la vista superior, aquí se observan los pads de los elementos smt insertados y las trazas realizadas por el diseñador.

Bottom: Al igual que el top, esta capa muestra el diseño de cobre sobre el PCB pero de la parte inferior. Los componentes SMT que hayan sido insertados se pueden pasar a la parte inferior con la herramienta mirror.

Pads: Muestra el circulo de cobre que se encuentra alrededor de los componentes troug hole. A pesar de que los componentes tienen pads no se muestran en esta capa solo los

que corresponden a componentes trough hole. La forma de estos pads vienen desde la biblioteca no se pueden modificar en el editor.

Vias: Muestra el *pad* de la *via* insertada en el diseño, estas pueden cambiar de diámetro del pad o de la perforación asi como la forma (cuadrada, octagonal, redonda) dentro del mismo editor del boardfile.

Unrouted: Muestra las rats del diseño, aquellas nets que no han sido trazadas.

Dimension: Muestra el tamaño y forma de la tarjeta.

tPlace/***bPlace***: Muestra el diseño que se imprimirá en la tarjeta con serigrafía una vez se manufacture.

tOrigins/***bOrigins***: Muestra el centro del elemento, es necesario mostrar esta capa para seleccionar/mover el dispositivo.

tNamex/***bNames***: Muestra el nombre de los elementos.

tValues/bValues: Muestra el valor de los elementos.

tDocu/bDocu: Solo se usa como referencia de diseño, aquí se insertan los pines de los elementos u otros elementos que no se requiere que se impriman pero se consideran importante considerar para el diseño.

Se procede a realizar un reacomodo de los elementos, siempre tomando en cuenta las rats las cuales nos darán una idea de cuál es la mejor opción de acomodo, se puede refrescar las rats seleccionándose la herramienta *Tools- Ratsnest.* En la figura 40 se puede observar una agrupación definida la cual se considera que según lo que muestran las *rats* es una opción viable para realizar las trazas de una manera limpia y ordenada.

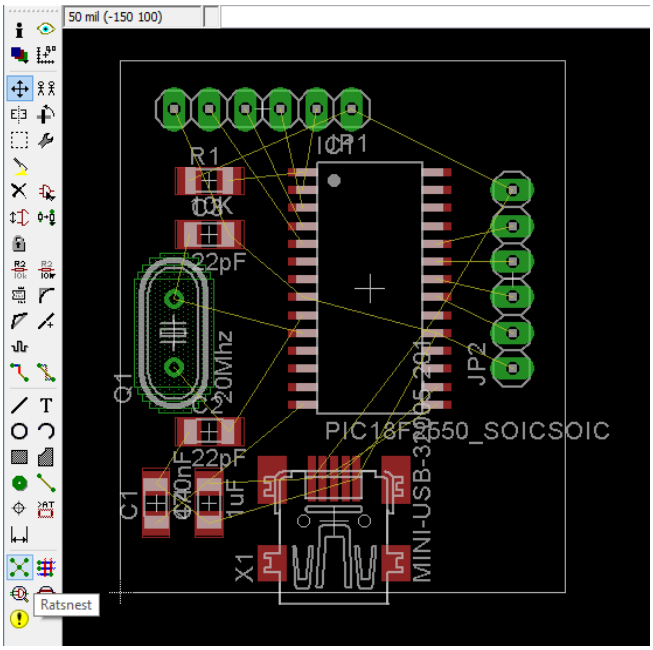


Figura 4.40. Agrupación de los elementos en la tarjeta (placing).

Antes de comenzar a realizar alguna traza es recomendable seleccionar el ancho de la misma, esto puede depender de varios factores como de requerimientos de impedancias, limitaciones por procesos de manufactura, etc. Para este diseño se considera una traza de 0.010 pulgadas, pero se recomienda que si la PCB se realizara de manera casera se eleve el número a por lo menos 0.016 pulgadas (con practica es posible realizar PCBs caseras con anchos de 0.010 pulgadas).

Posteriormente se recomienda seleccionar el *grid,* para este caso seleccionamos 0.050 y 0.0125 como secundario y se seleccionó el tipo de visualización del grid por líneas. Es importante recalcar que el grid secundario se selecciona mientras se mantenga presionado el botón de ALT.

Para las tarjetas a diseñar que contengan trazos de señales diferenciales se trazan de manera conjunta, si se necesita seleccionar características especiales de impedancia y geometrías es necesario revisar las opciones para señales diferenciales en el programa. En este caso se trazan las señales con las opciones por defecto como se observa en la figura 41. Para hacer esto es necesario seleccionar la opcion *Route* que está representada por una línea roja con puntos verdes en los extremos. Una vez seleccionada la herramienta se le da clic sobre el pad o rat a trazar y automáticamente se genera la traza, la misma que con cada clic se fija al diseño, el tipo de curva a seguir se selecciona cuando la traza esta activa con el clic derecho. Para este caso seleccionamos las vueltas de 45º. Para finalizar se busca llegar sin tocar ningún otro pad o traza hasta el otro extremo.

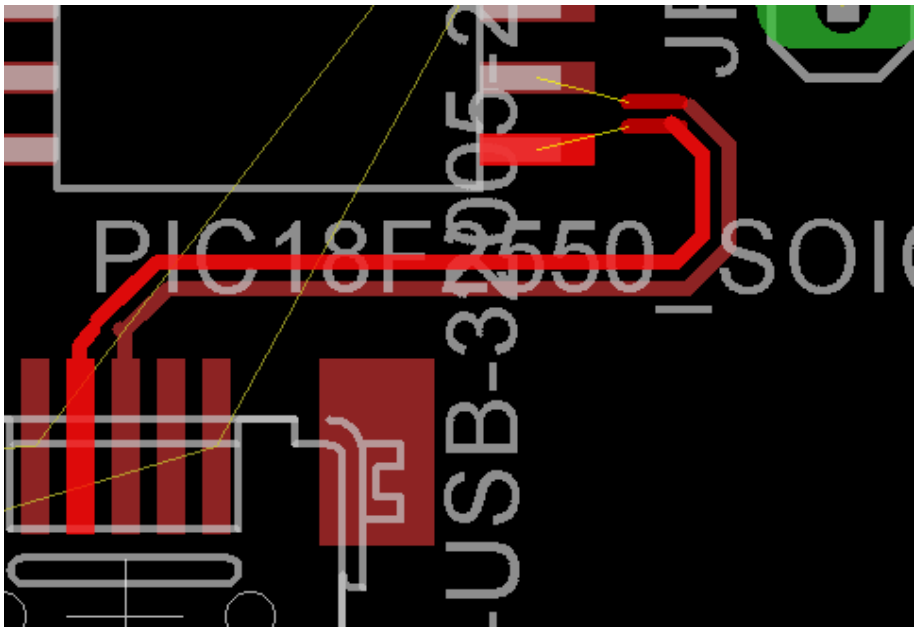


Figura 4.41. Trazo de señales diferenciales (USB).

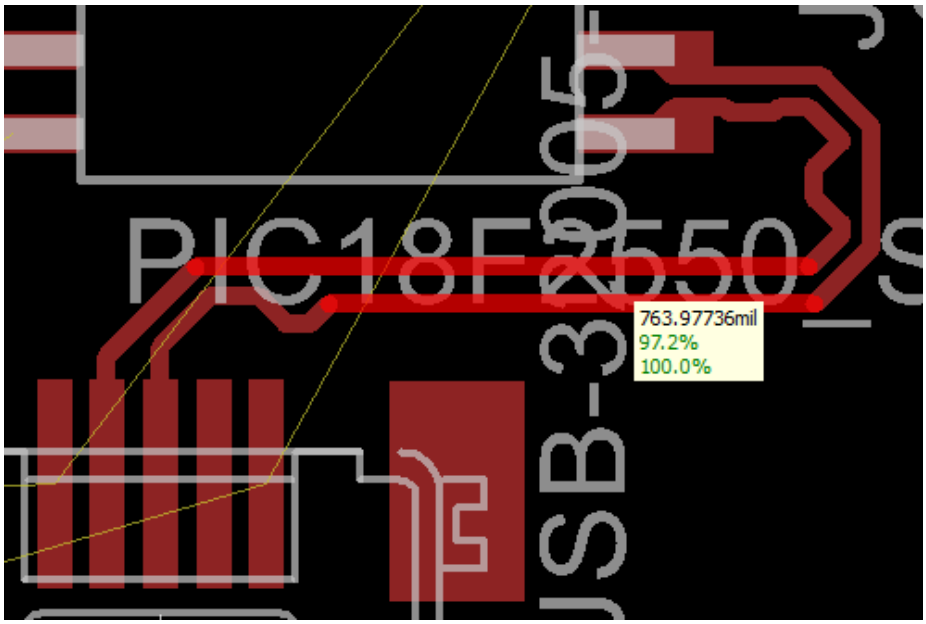


Figura 4.42. Ajuste de señal diferencial (USB).

Para las señales diferenciales se puede medir la diferencia de fase con la herramienta *Meander* en caso de que haya quedado muy desfasado es recomendable realizar un ajuste en alguna net, para borrar una net trazada se puede eliminar por segmentos con la herramienta *Edit-Ripup* dándole click en la net a borrar. Se observa en la figura 42 que se realizaron pequeños ajustes a una de las trazas para evitar desfasamiento de fase.

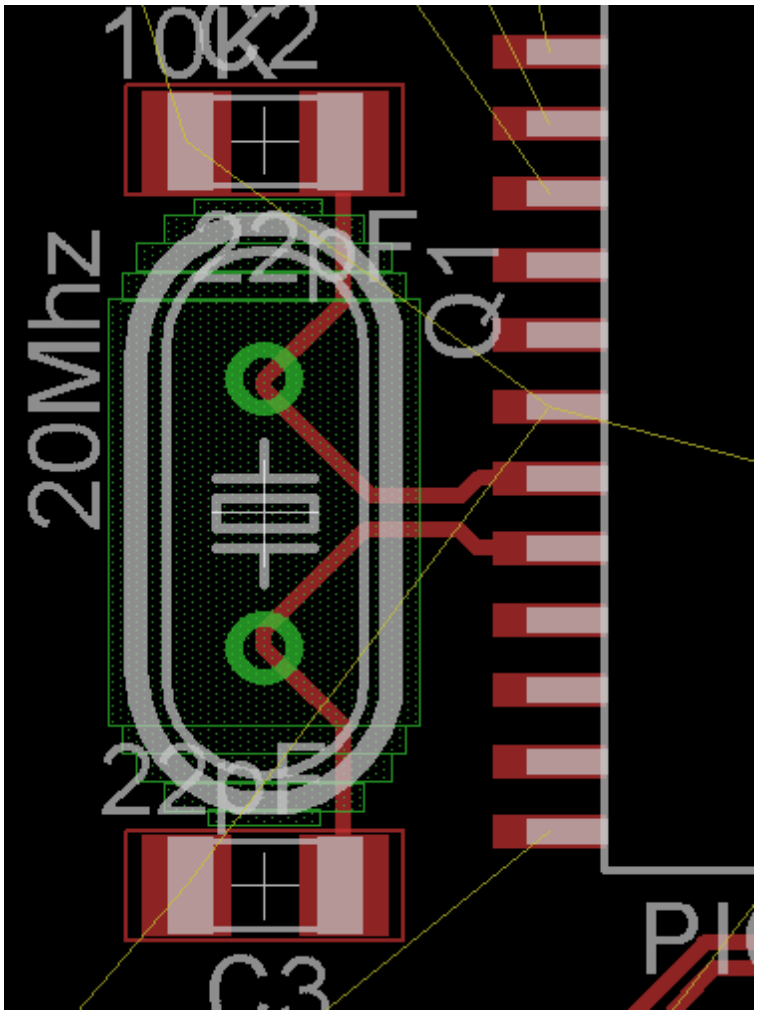


Figura 4.43. Trazas para el cristal.

Se procede el trazo de la nets del cristal, se recomienda que las trazas sean geométricas para mantener las mismas distancias de los pines del cristal a los pads del microcontrolador. En este caso que se está utilizando una PCB de 2 capas cabe destacar que el pin del cristal tiene pads por ambos lados de la tarjeta por lo que puede ser trazado desde cualquier capa.

Se trazan las demás señales que corresponden a elementos pasivos y las señales analógicas y digitales del circuito, por recomendación se dejan al último las señales de VCC y GND, a continuación se presenta en la figura 44 la tarjeta totalmente trazada a excepción de las nets de VCC y GND. Se puede observar que para este caso no se requiere ninguna transición de capa. En caso de requerir una transición es posible cambiar de capa a través de una vía, más adelante se explicara cómo realizar el cambio de capa.

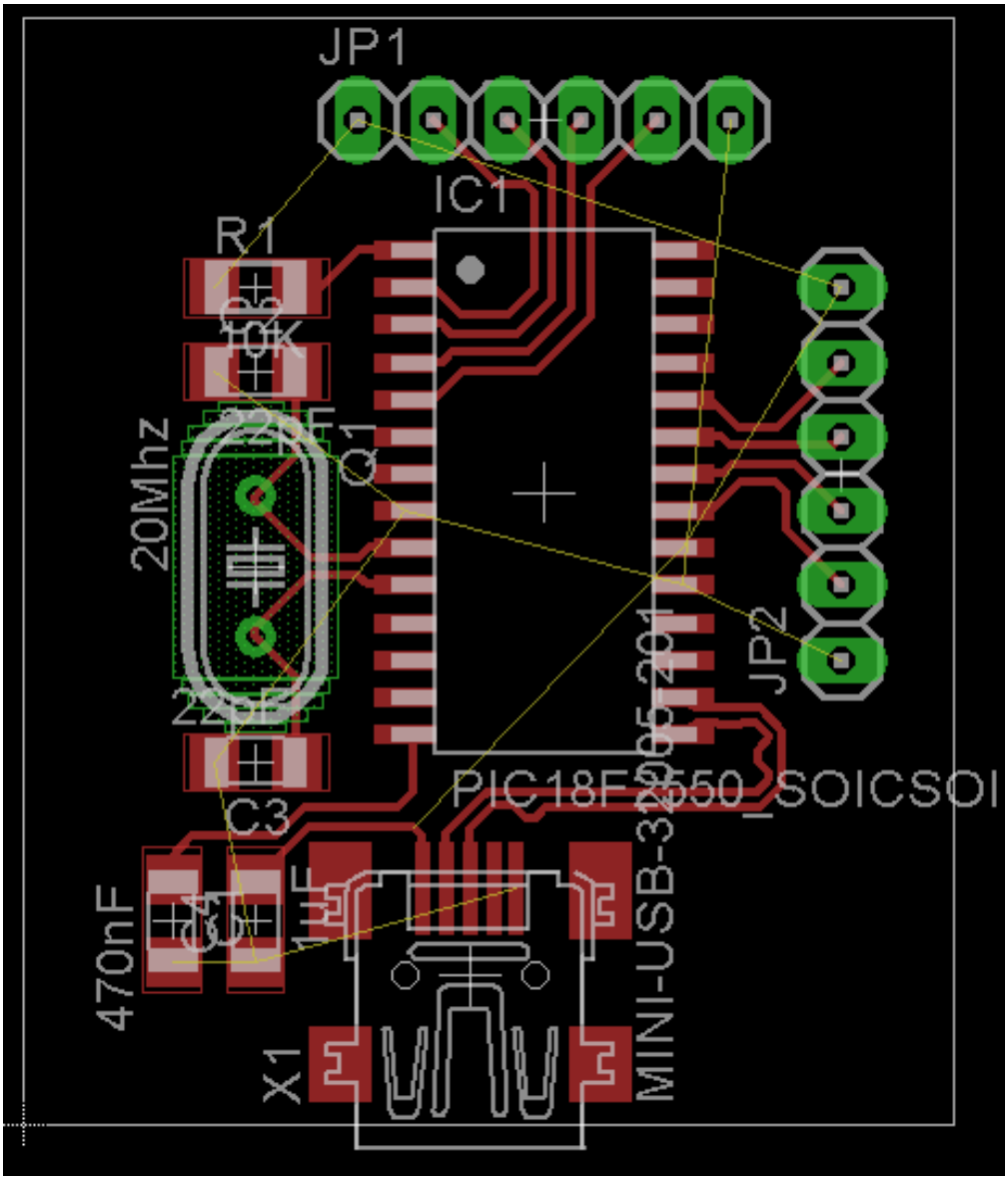


Figura 4.44. Trazo de entradas analógicas, pines digitales y componentes pasivos.

Para realizar los trazos de VCC se recomienda incrementar el ancho de la pista, para este caso se selecciona un ancho de 0.024 pulgadas, se puede observar el camino de la traza seguido en la tarjeta en la figura 45.

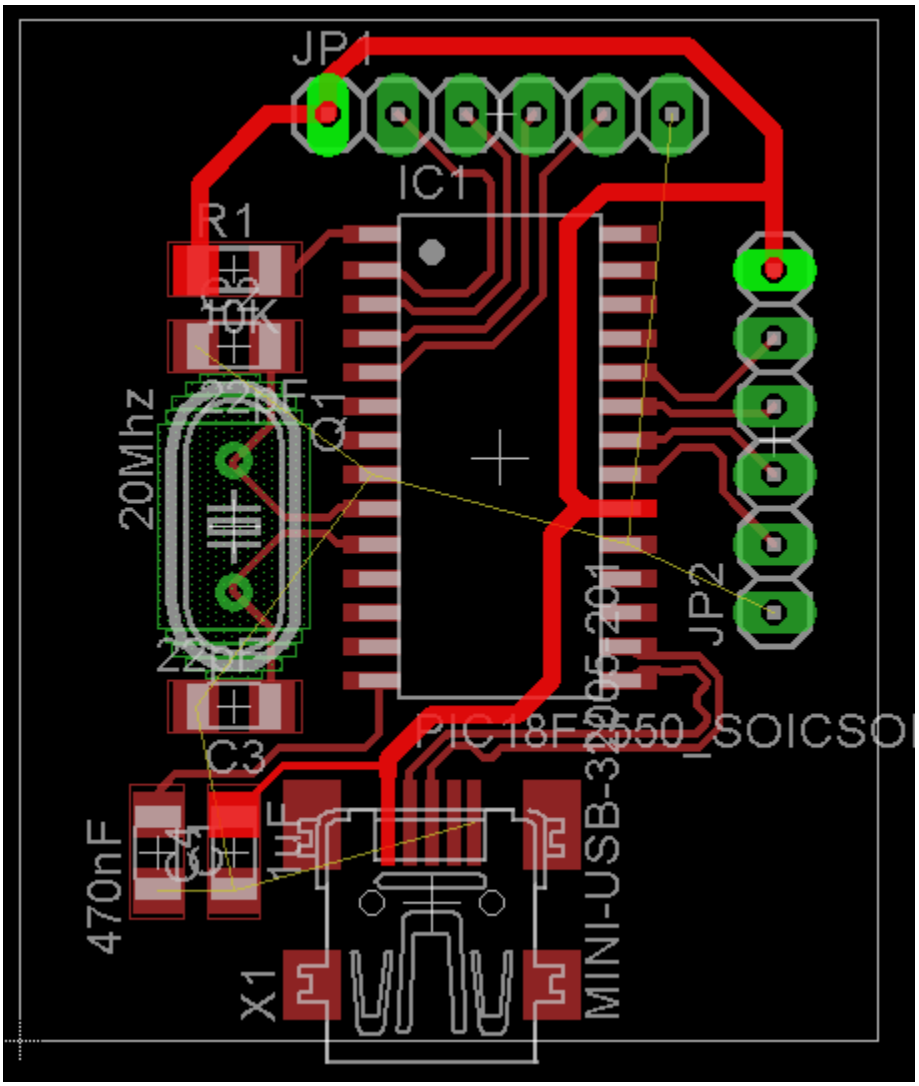


Figura 4.45. Trazo de Vcc.

La ultima net a trazar es GND, la cual como se puede observar en la figura 46 hay algunos puntos en los que es imposible llegar de un punto a otro sin la necesidad de realizar un "brinco" o realizar una transición de capa. En la figura 46 se observa seleccionada las nets de GND.

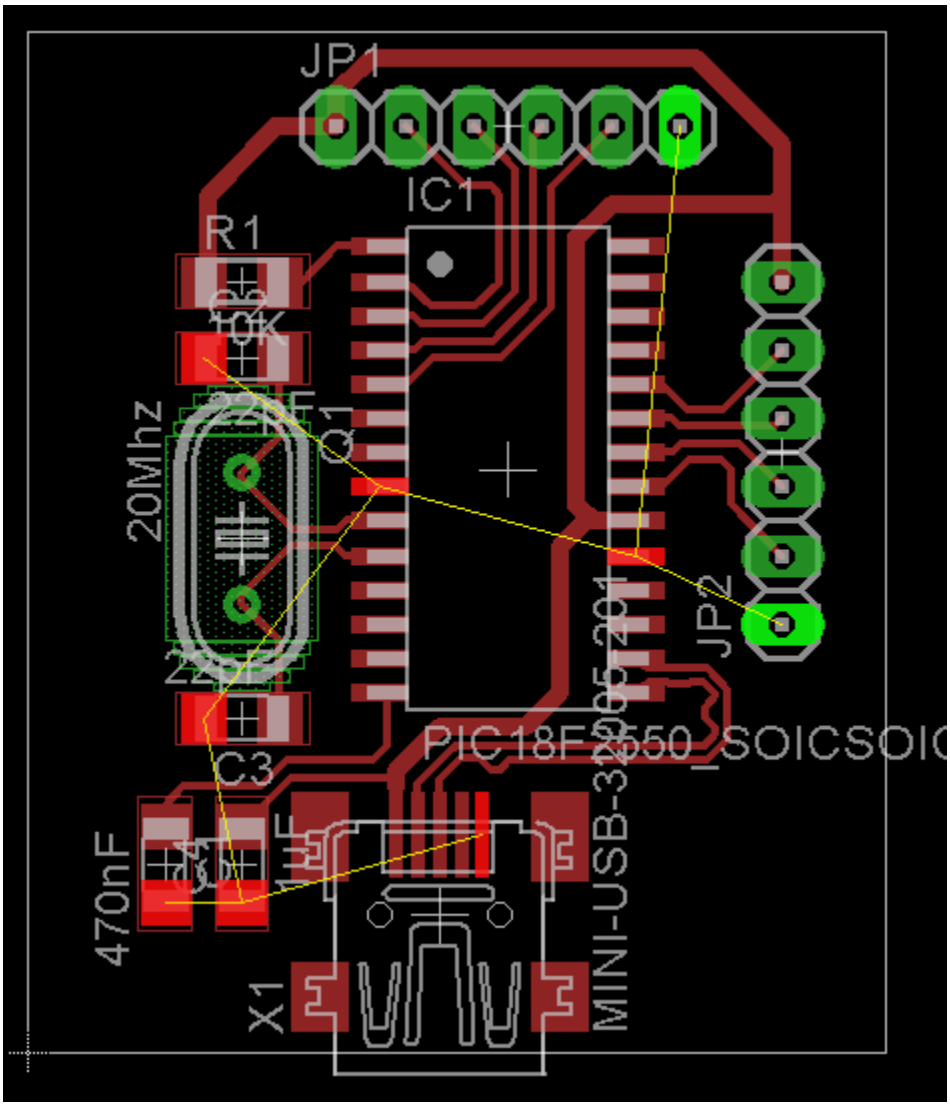


Figura 4.46. Rats de GND.

Para realizar las trazas de GND se insertara una via para cambiar de capa y procurando que todas las señales de GND se vayan a la capa de bottom. Para esto se tiene que comenzar a trazar la señal correspondiente y una vez que se deje un segmento de traza fijo en el diseño a una distancia mayor a 0.025 pulgadas se selecciona una capa en el menú de capas como se observa en la figura 47 (atención con no presionar la tecla ESC para que la net siga activa), se selecciona la capa de bottom (color azul por defecto) y se prosigue a insertar un segmento de traza. Al realizar el cambio de capa y trazar un segmento en la segunda capa se insertara de manera automática una via en el diseño. El procedimiento debe de dar como resultado lo que se observa en la figura 48.

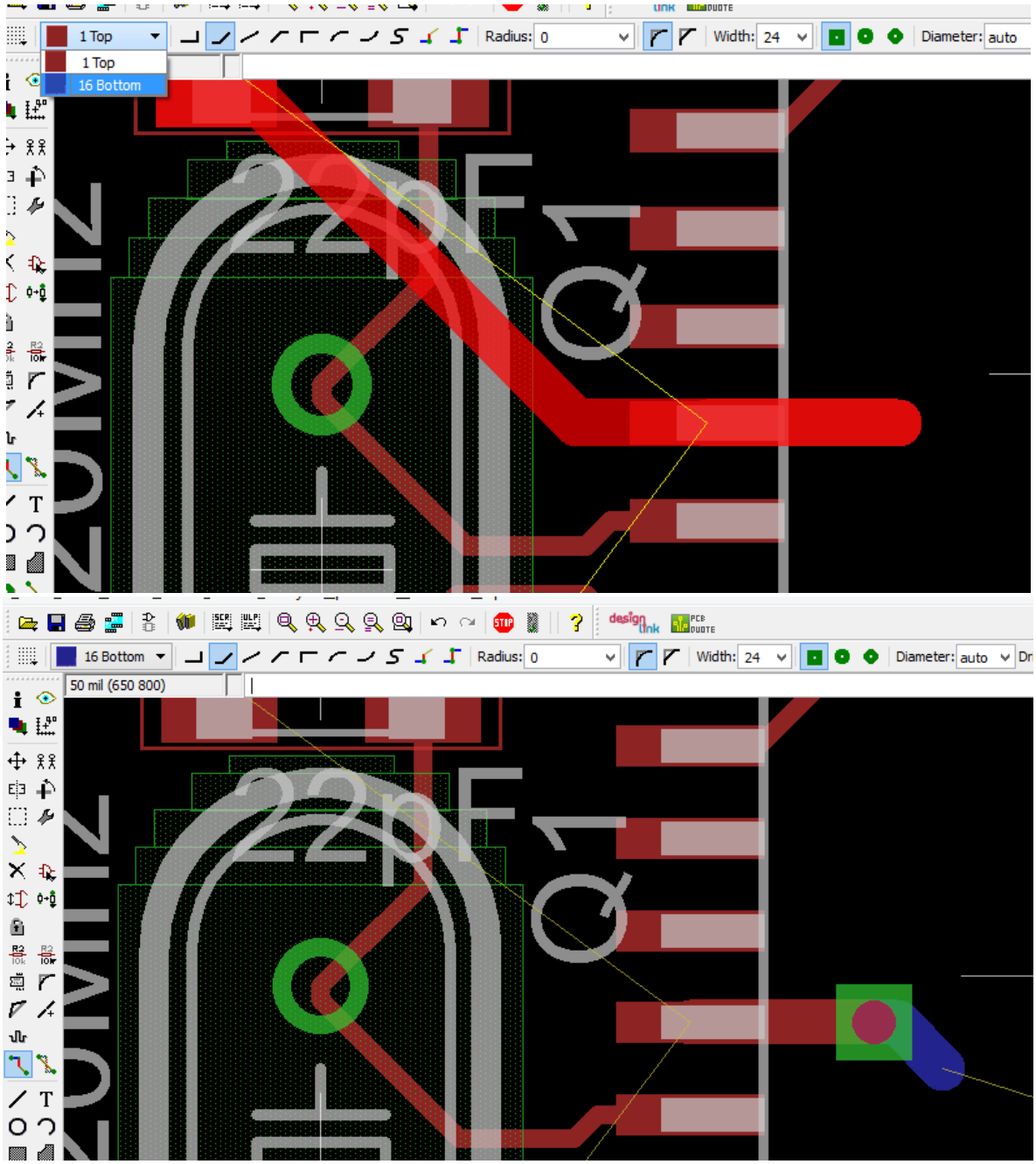


Figura 4.47. Insertar vias.

Si se requiere cambiar el tipo de via, en este caso específico “el pad de la via” es necesario seleccionar las opciones de configuración marcado con el botón de la llave de tuercas, seleccionar *Shape* y seleccionar la forma que se requiera, para este caso un octágono.

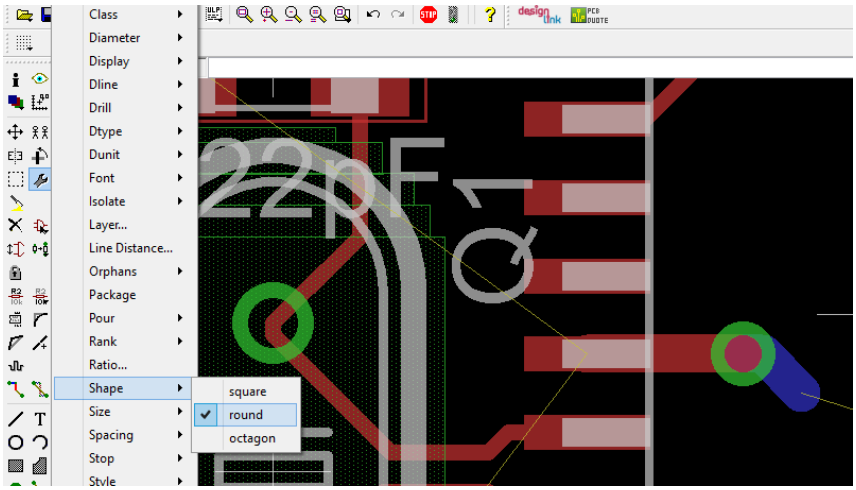


Figura 4.48. Cambiar vías a redondas

Se repite el mismo paso (a excepción de seleccionar el tipo de vía ya que queda configurado) para cada pin con una señal de GND, esto para poder conectarlos en la capa inferior. En la figura 49 se observa cómo es que se llevaron todas las señales de GND a la otra capa y una vez en esta se procede a realizar los trazos correspondientes.

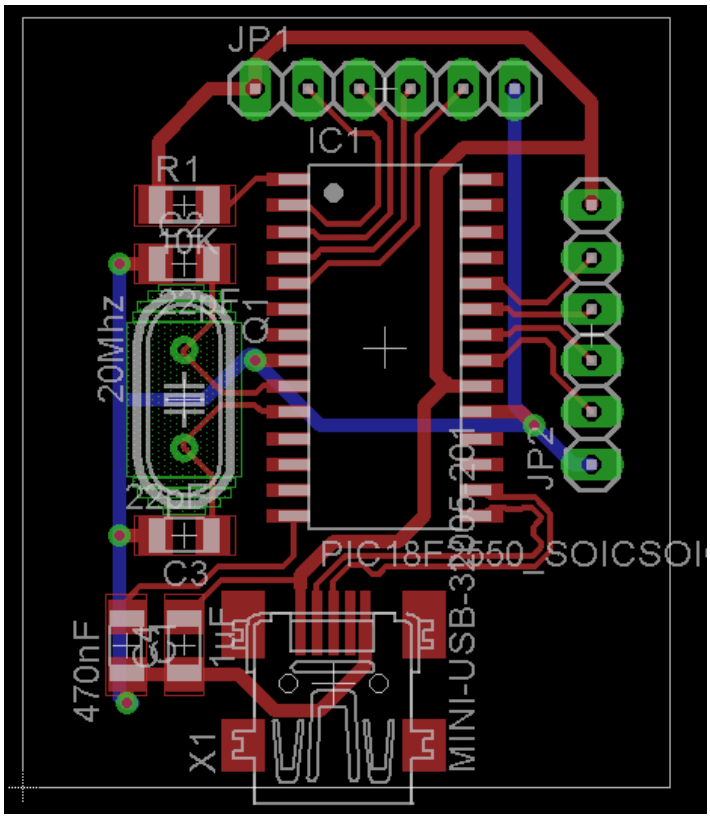


Figura 4.49. Trazas de GND.

Se recomienda antes del siguiente paso realizar un reacomodo del nombre y valores de los elementos en la tarjeta, principalmente si se va a realizar manufactura con serigrafía, tomando principal interés en evitar que este texto se sobreponga sobre *pads* o *vías*. El proceso se realiza de la misma manera que en el esquemático, es necesario aplicar *smash* (se puede realizar seleccionando todos los dispositivos y seleccionado con clic derecho *Smash all*). Se procede a acomodar las leyendas de texto o borrarlas si no se requieren. En la figura 51 se puede observar el texto ya acomodado.

Por último se recomienda insertar planos para las señales de VCC y GND, para esto de manera previa es indispensable seleccionar primero la distancia entre el plano a generar y cualquier otra señal, en este caso se cambia con la herramienta *isolate* seleccionando un valor recomendado de por lo menos 16 mils o 0.016 pulgadas, como se observa en la figura 50. También es recomendable cambiar el ancho de las pistas, seleccionar un ancho de 0 para la siguiente instrucción.

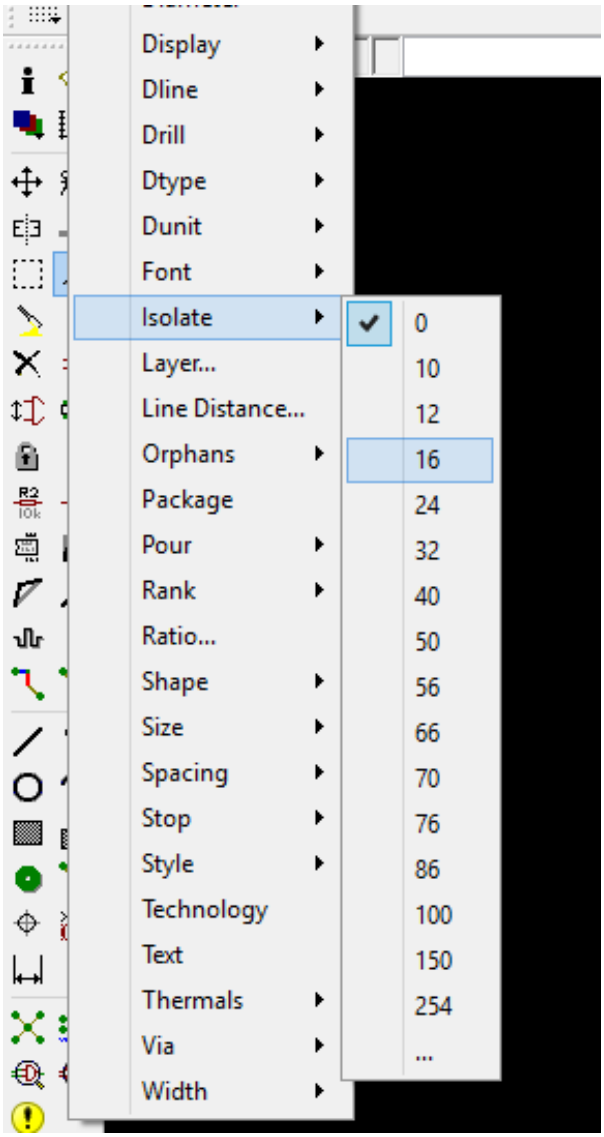


Figura 4.50. Selección entre el ancho de los planos con las trazas.

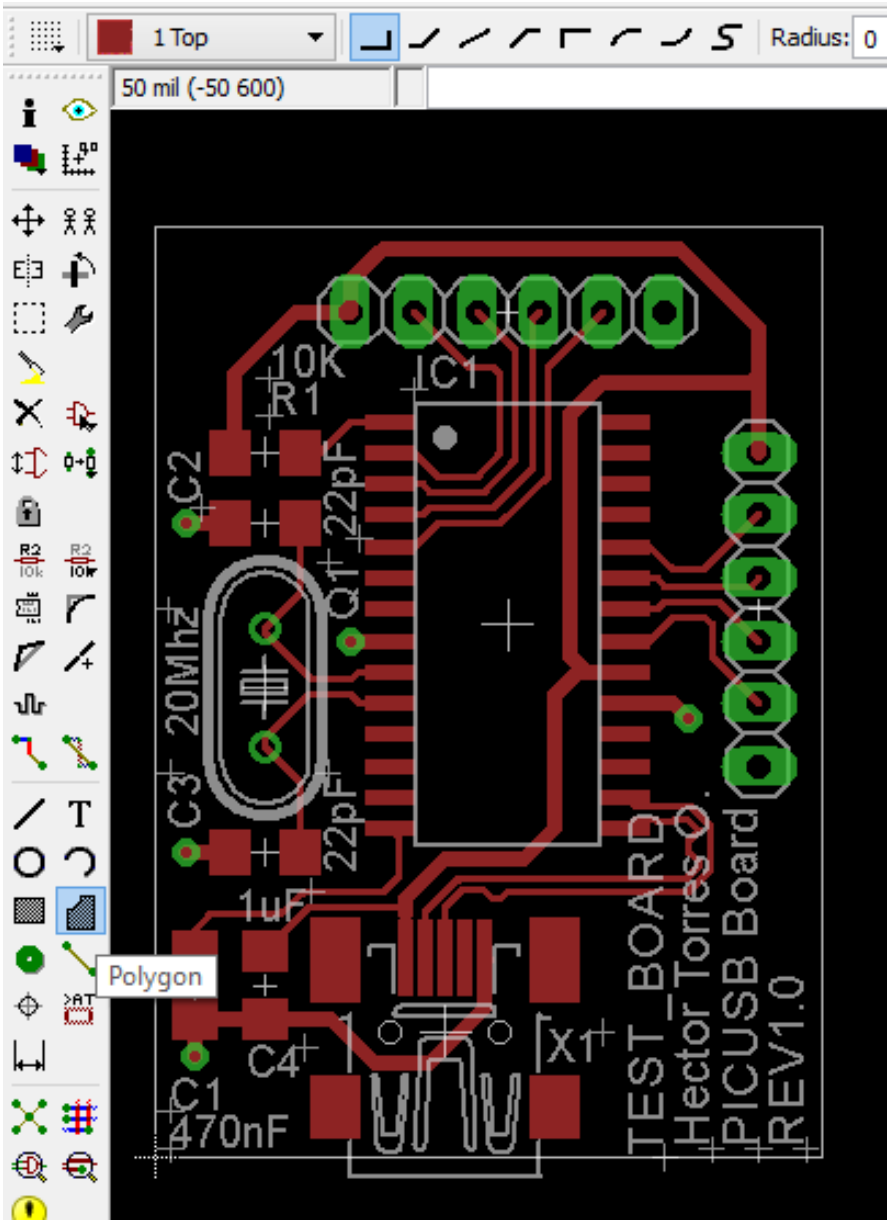


Figura 4.51. Herramienta de polígonos para creación de planos.

Con la herramienta *Polygon* se traza un recuadro siguiendo la línea de dimensiones que define la forma de la tarjeta. El polígono re realiza para las capas que se estén utilizando, en este caso top y *bottom*. Una vez trazado el polígono se define el nombre del mismo, al hacer esto se busca que los polígonos se conviertan en planos para señales que así lo requieran, en este caso se usara el plano de la capa superior para VCC y el de la capa inferior GND. Para indicar que un plano en específico se convierta en parte de una señal, basta con nombrar el mismo plano con la herramienta *Name* con el mismo nombre que la señal lo requiera.

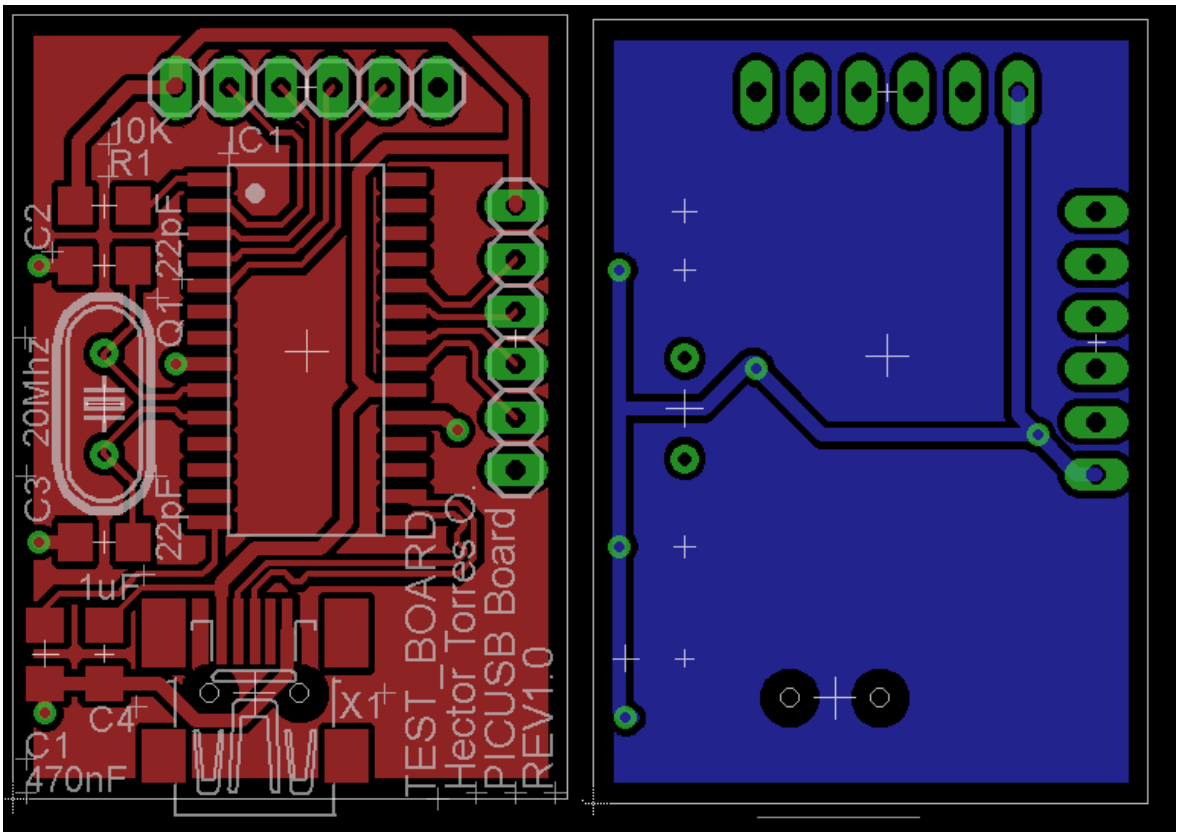


Figura 4.52. Planos sobre las caras de la PCB.

En la figura 54 se observa en la primera parte la capa superior con el polígono ya renombrado como la net correspondiente a VCC en donde se observa que el polígono se integra con la señal de VCC, se observa cómo es que los segmentos de plano que quedan independientes son borrados por el programa, esto se puede cambiar con *Change – Orphans – On/Off*, se recomienda verificar que este en *off*. La distancia del plano con las trazas y pads está definida por la herramienta *Isolate* que se declaró previamente. En la figura se observa también que ya que la capa de *bottom* quedo totalmente cubierta del plano de cobre, las únicas señales que había en esta capa eran correspondientes a GND por lo que se integraron con el plano, nótese como hay pads y vías que hacen contacto con el plano y otras que no, que corresponden a otras señales.

En la figura 54 en la parte derecha se observa la PCB ya terminada, antes de mandarla a fabricar o realizar la PCB es recomendable realizar una revisión con el DRC, el cual es una herramienta de validación que proporciona el software. Una vez listo el diseño y validación de la tarjeta se puede mandar a fabricar ya sea con los archivos gerber o con impresión manual.

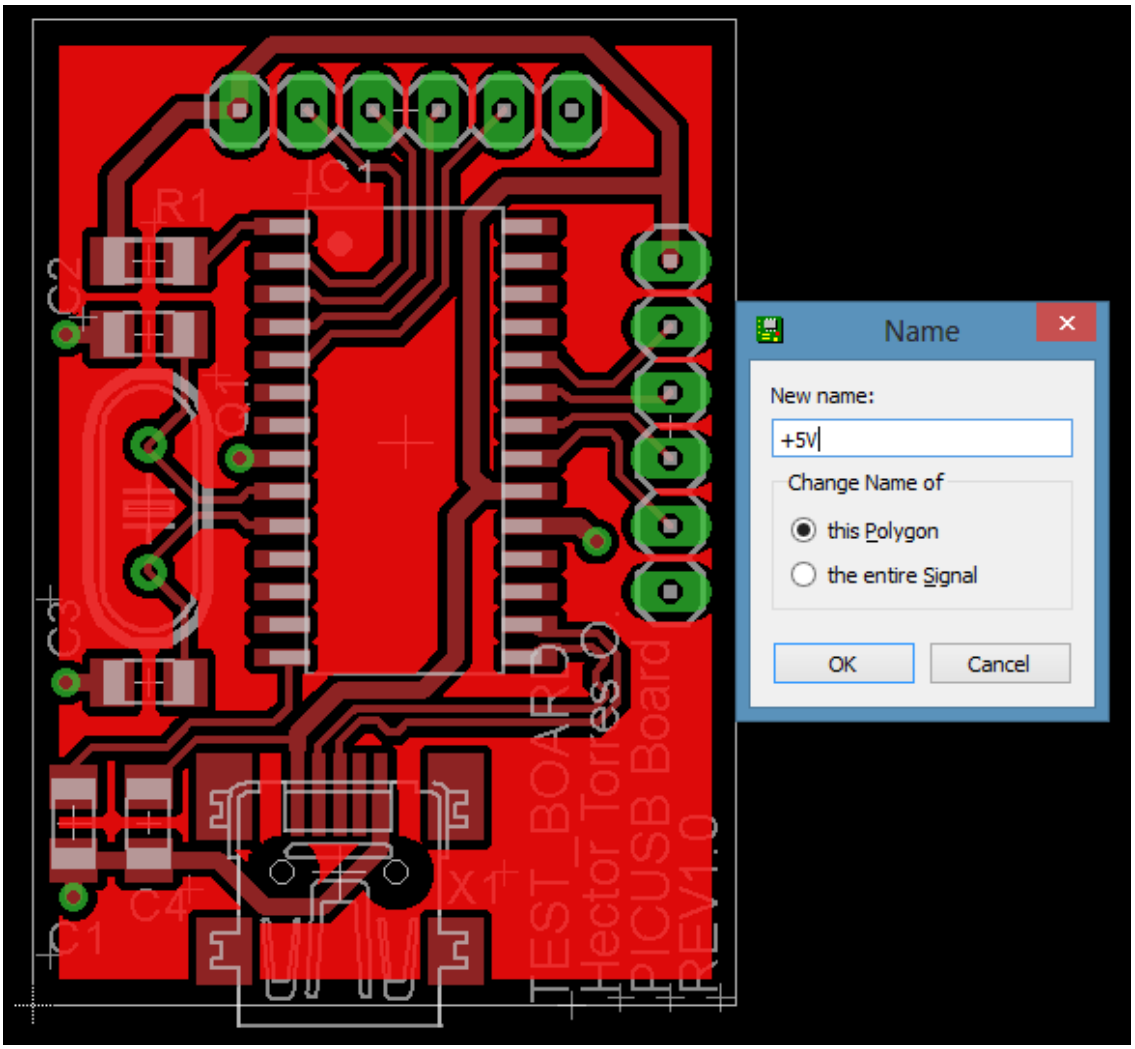


Figura 4.53. Nombrar planos.

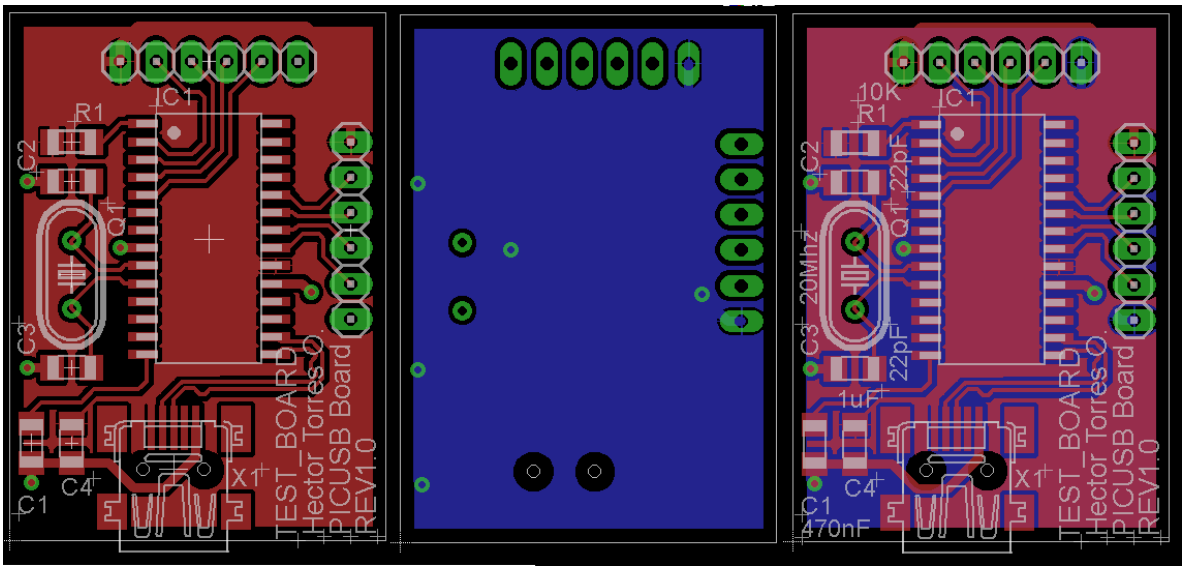


Figura 4.54. PCB terminada.

Guía de diseño de PCB con EAGLE by Hector Torres is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.