



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



MICROPROCESADORES Y MICROCONTROLADORES

PROYECTO FINAL

Lámpara led con reloj programada con un microcontrolador TMC1294NCPDT

Presenta:

Fiel Muñoz Teresa Elpidia

Profesor:

Dr. Saúl de la Rosa Nieves

Grupo:

2

18 de agosto de 2020

Índice

1. Planeación	2
1.1. Objetivo	2
1.2. Misión, metas y limitaciones	2
1.3. Revisión del estado del arte	2
1.3.1. GreatScottLab	2
1.3.2. Kevin Darrah	3
2. Desarrollo del concepto	3
2.1. Especificaciones	3
2.2. Justificación económica	4
2.2.1. Costo total y materiales en proyecto de GreatScottLab	4
2.2.2. Costo total y materiales en proyecto de Kevin Darrah	5
3. Diseño en el nivel sistema	6
3.1. Arquitectura del producto	6
3.2. Descomposición y creación de subsistemas	6
3.2.1. Sistema de funcionamiento del reloj	6
3.2.2. Sistema del cubo con 75 terminales RGB y 5 terminales comunes	7
3.2.3. Sistema de alimentación y potencia del cubo	7
3.2.4. Sistema de control digital	7
3.2.5. Sistema de microcontrolador	7
3.3. Diagrama de bloques	7
4. Diseño de detalle	8
4.1. Sección del reloj	8
4.2. Sección del cubo	9
4.2.1. Sección de alimentación y potencia	10
4.2.2. Sección de control digital	11
4.3. Sección de microcontrolador	14
4.4. Proceso de construcción y ensamble del producto	15
4.5. Reloj	15
4.6. Cubo led	16
4.6.1. Etapa de potencia	22
4.6.2. Etapa de control digital	24
4.6.3. Etapa del microcontrolador	27
5. Referencias	27

1. Planeación

1.1. Objetivo

El objetivo del presente proyecto es el de desarrollar un proyecto de ingeniería aplicando los recursos del microcontrolador TMC1294NCPDT, además de emplear en este trabajo los conocimientos adquiridos en la materia de microprocesadores y microcontroladores en el semestre comprendido 2020-2.

1.2. Misión, metas y limitaciones

La misión del proyecto es realizar una lámpara en forma de cubo con 125 leds, esta lámpara será programada con el controlador antes mencionado y además de realizar ciertos patrones con leds RGB mostrará la hora en un display 7 segmentos de cuatro dígitos. Se realizará este proyecto en el tiempo estipulado del semestre y se utilizarán recursos de acuerdo al nivel de exigencia de la materia.

El proyecto a nivel de software será empleado con CCS y el microcontrolador debe ser el TMC1294NCPDT, también se empleará algún programa para simulación y creación de circuitos, en este caso será NI Multisim. A nivel de hardware utilizará materiales y componentes limitados al tiempo y exigencia de la materia, el presupuesto a gastar debe ser costeable para un estudiante de la Facultad de Ingeniería.

1.3. Revisión del estado del arte

Hay varios cubos leds realizados anterior a este, desde un 3x3x3 hasta un 8x8x8. En general la mayoría de los antes mencionados se controlan por Arduino o algún tipo de PIC. Para plantear el proyecto a realizar tuve que acoplar varias ideas en una que funcionara para los requerimientos del microcontrolador a utilizar, además del material y el costo final.

En esta sección revisaremos en concreto dos proyectos sobre los cuáles me base para el resultado final obtenido, el cubo led 4x4x4 obtenido de GreatScottLab el cual trabaja con Arduino Nano y utiliza como control digital previo un circuito integrado TLC5940. El segundo proyecto es un cubo led de 8x8x8 creado por Kevin Darrah, el cual trabaja con un microcontrolador ATMEGA328P y previo a este utiliza un control digital con registros de corrimiento 74HC595.

1.3.1. GreatScottLab

El proyecto de Scott utiliza 64 leds ánodo común, y tiene un control dado por el integrado TLC5940, el cual es un driver PWM para 16 canales y cada uno lo hace con una resolución de 12 bits (0-4095), el cuál se utiliza para controlar la intensidad de los leds con PWM desde una biblioteca de Arduino. Se utiliza además el Arduino Nano y la base del cubo se realiza en acrílico en forma de caja con un botón de encendido.



Figura 1: Proyecto de referencia creado por GreatScottLab

1.3.2. Kevin Darrah

El proyecto de Kevin Darrah utiliza 512 leds ánodo común y tiene un control dado por registros de corrimiento 74HC595, donde cada registro tiene una capacidad máxima de 8 bits, se utilizan 15 registros para el control de los cátodos y 1 para el de los ánodos. Además de los registros, se ocupa una etapa de electrónica con transistores 2N3904 para poder realizar el encendido de hasta 8 leds simultáneamente por transistor sin afectar el brillo de cada uno ni exigir potencia a la etapa de control. Se programan las animaciones con un controlador ATMEGA328P, siendo este reemplazable por cualquier otro microcontrolador. El proyecto de Kevin es más cercano a lo que busco realizar con el TM4C1294NCPDT, por lo que me basé más en este proyecto que en el de Scott.

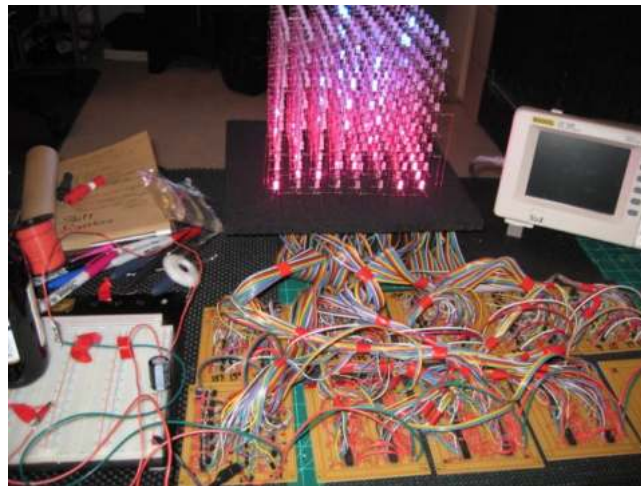


Figura 2: Proyecto de referencia creado por Kevin Darrah

2. Desarrollo del concepto

Esta parte abordará el proyecto realizando la descripción de la forma, función y características del mismo. Se debe abordar de una manera general ya que aún no hemos descompuesto el proyecto en subsistemas ni planteado ningún uso de material o componentes de cierto tipo.

2.1. Especificaciones

El microcontrolador es un dispositivo electrónico que trabaja con bajo voltaje y baja potencia, por ende la primer interrogante se basa en controlar 125 leds sin dañar al controlador. Será indispensable una etapa de potencia seguida de los leds y también una forma de controlar todos los leds antes de llegar al microcontrolador. Cabe resaltar que el voltaje nominal de todo el proyecto se establece en 5V y dado que el proyecto trabaja con muchos leds será necesaria una segunda fuente de voltaje, de esta forma el microcontrolador sólo regulará la parte de control con su propia fuente a la computadora como se ha trabajado anteriormente durante el curso.

Las especificaciones básicas son:

1. Voltaje nominal a 5V DC.
2. Etapa de control anterior al microcontrolador para poder controlar 125 leds sin usar 125 entradas.
3. Etapa de potencia anterior a la de control para evitar exigencias al microcontrolador.
4. La existencia de dos fuentes simultáneas, una para el controlador y otra con mayor potencia para el resto del proyecto exceptuando el reloj digital.

2.2. Justificación económica

El proyecto en cuanto a costo total debe ser acorde al presupuesto de un estudiante o dos como máximo, ya que en un principio se planteó la realización del mismo entre dos personas, suponiendo un ingreso máximo de \$600 por alumno, el presupuesto total se establecerá en no más de \$1200.

En esta parte del desarrollo sabemos que requeriremos de dos fuentes de 5V DC, y que además necesitamos una etapa con transistores y otra de control. En esta parte vamos a analizar el costo total de los proyectos que mencionamos anteriormente para así poder justificar el dinero a invertir posteriormente en este proyecto, cabe resaltar que en la lista de materiales no incluiré el presupuesto para la caja donde se colocará el cubo ya que el material se decidirá cuando se cotize el precio de los componentes, tampoco se tomarán en cuenta los alambres de conexión ya que no sabemos cuánto requeriremos, ni el precio del microcontrolador ya que ya lo tenemos disponible desde el inicio, por ende no hay nada que discutir sobre el precio de este sea cual sea.

2.2.1. Costo total y materiales en proyecto de GreatScottLab

Lista de materiales:

1. 64 leds ánodo común
2. 1 capacitor 100nF
3. 1 capacitor 100uF
4. 1 Interruptor
5. 1 DC Jack
6. 4 resistencias de 1k a 1/4W
7. 3 resistencias de 2.2k a 1/4W
8. 5 MOSFETS IRF9540N
9. 3 TLC5940

Ahora cotizaremos en tiendas de electrónica en línea el costo de los siguientes componentes, para así obtener una lista con el costo total promedio estimado:

1. 100 leds ánodo común \$120
2. 1 capacitor cerámico 100nF \$2
3. 1 capacitor electrolítico 100uF a 10V \$3
4. 1 interruptor tipo balancín \$8
5. 1 DC Jack \$12
6. 4 resistencias de 1k a 1/4W \$1
7. 3 resistencias de 2.2k a 1/4W \$1
8. 5 MOSFETS IRF9540N \$126
9. 3 TLC5940 \$370

El total del costo del proyecto de Scott es de \$643 MXN.

2.2.2. Costo total y materiales en proyecto de Kevin Darrah

Para el proyecto de Kevin tendremos una lista más amplia de componentes, la razón principal es que el cubo es un 8x8x8. La lista de materiales es la siguiente:

1. 512 leds ánodo común
2. 200 transistores NPN 2N3904
3. 401 resistencias de 1kOhm a 1/4W
4. 328 resistencias de 100Ohm a 1/4W
5. 8 P-Channel MOSFETs IRF9Z34N
6. 25 registros de corrimiento 74HC590
7. 1 resistencia de 10kOhm
8. 30 capacitores cerámicos de 0.01uF
9. 1 cristal de 16MHz
10. 2 capacitores cerámicos de 22pF
11. 2 capacitores electrolíticos de 100uF

De la misma manera obtendremos el costo total de este proyecto, para ello hacemos esta lista:

1. 512 leds ánodo común \$600
2. 200 transistores NPN 2N3904 \$400
3. 401 resistencias de 1kOhm a 1/4W \$297
4. 328 resistencias de 100Ohm a 1/4W \$250
5. 8 P-Channel MOSFETs IRF9Z34N \$167
6. 25 registros de corrimiento 74HC590 \$248
7. 1 resistencia de 10kOhm \$8
8. 30 capacitores cerámicos de 0.01uF \$51
9. 1 cristal de 16MHz \$9
10. 2 capacitores cerámicos de 22pF \$4
11. 2 capacitores electrolíticos de 100uF \$10

El subtotal de los materiales es de \$2044 dado el tamaño del cubo. Es un precio que sobrepasa el presupuesto que se plantea en un inicio, por ello el cubo a realizar se eligió primeramente de 5x5x5.

Una cosa a mencionar aparte de los componentes electrónicos es que ambos proyectos utilizan una fuente externa, en el caso de GreatScottLab sólo se menciona un voltaje de 5VDC, sin embargo Kevin documentó el uso de una fuente de 120VAC to 5VDC a 10A, ambos usan un voltaje de 5V y es el que utilizaré también. Aunado a esto, hay que resaltar que la lista de precios y el total se cotizó con tiendas en línea que tienen disponibilidad de envíos dentro de la república, esto para obtener un precio que se ajuste y esté en sincronía al material que conseguiremos más adelante.

3. Diseño en el nivel sistema

Ahora bien, ya habiendo analizado el estado del arte y planteado un presupuesto para el proyecto, comenzaremos a hablar acerca del diseño preliminar que tendrá todo el proyecto, esto se hace describiendo la arquitectura y descomponiendo todo el sistema en subsistemas para así cubrir los requerimientos por etapas, primero se abordarán los requerimientos a nivel sistema y posteriormente a nivel subsistema.

3.1. Arquitectura del producto

El proyecto a crear requiere de el funcionamiento de 125 leds con un solo microcontrolador, para ello tenemos dos grandes cuestiones o problemas a solucionar:

1. Hacer funcionar 375 cátodos y 125 ánodos (o 375 ánodos y 125 cátodos) con un sólo controlador sin agotar las GPIOs.
2. Lograr el funcionamiento y brillo correcto de hasta 125 leds simultáneos sin dañar al microcontrolador.

Para la primer cuestión lo que haremos será controlar los leds por columnas de 5 en 5, es decir soldar los colores RGB en grupos/columnas de 5 leds para tener 25 columnas cada una con 3 terminales distintas (R G y B), así tendremos 75 terminales en vez de 357. Además de esto, soldaremos el pin común de cada led por niveles para tener 5 salidas diferentes en vez de 125. Además de esto controlaremos las 75 terminales y las convertiremos en 10 utilizando registros de corrimiento, en donde cada registro controlará 8 terminales simultáneamente, los 5 niveles también se controlarán con su propio registro para tener una salida en vez de 5.

Para la segunda cuestión lo que debemos realizar es primeramente tratar el encendido y apagado de los leds con una fuente externa que posea mayor potencia al microcontrolador, y como segunda solución tenemos que asignar un circuito con transistores a cada columna de leds para no perjudicar en el brillo final cuando éstos se enciendan simultáneamente, estamos hablando de 75 circuitos independientes para las terminales RGB y 5 circuitos independientes para las terminales comunes.

Esta parte de arquitectura a grandes rasgos requiere ya una etapa realizada con electrónica analógica y otra realizada con electrónica digital. Serán necesarios componentes aunados al microcontrolador para hacer funcionar el proyecto correctamente, mencionado esto, podemos ir descomponiendo el proyecto en sus debidos subsistemas.

3.2. Descomposición y creación de subsistemas

El proyecto requiere de varias etapas para poder funcionar, de manera preliminar y tomando en cuenta lo mencionado en la arquitectura del sistema, los subsistemas se plantean de la siguiente manera:

1. Sistema de funcionamiento del reloj
2. Sistema del cubo con 75 terminales RGB y 5 terminales comunes
3. Sistema de alimentación y potencia del cubo
4. Sistema de control digital
5. Sistema de microcontrolador

Ahora estableceremos los requerimientos de cada uno de los subsistemas, en esta parte se deben mencionar la función del subsistema, sus límites de funcionamiento y cómo validar que funciona correctamente.

3.2.1. Sistema de funcionamiento del reloj

El sistema de funcionamiento del reloj abarca la parte del display del reloj y el instrumento que se utilizará para medir el tiempo y establecerlo en cierta hora, la función de este subsistema es marcar la hora en la parte frontal de la lámpara, al no exigir demasiada potencia se correrá el reloj con la fuente del microcontrolador y este subsistema será aislado al cubo en todo sentido excepto en que ambos tendrán conexión al microcontrolador. No es un sistema independiente al 100 %, por ende para probarlo y hacerlo funcionar correctamente dependeremos del microcontrolador y del programa CCS.

3.2.2. Sistema del cubo con 75 terminales RGB y 5 terminales comunes

El sistema del cubo comprende la estructura finalizada del cubo led con 125 unidades soldadas. Debe tener sus terminales cableadas columna por columna y con una terminal común en cada nivel para poder controlar cada led individualmente a manera de coordenadas. Este sistema comprende también la creación de la base del cubo, la cual debe sujetarlo sin riesgo de cortocircuito y además debe de darle una presentación estética al proyecto final.

3.2.3. Sistema de alimentación y potencia del cubo

El sistema de alimentación y potencia comprende todos los circuitos que encenderán el cubo led, tanto los cátodos como los ánodos. Esta parte es esencial ya que es la que permite que enciendan los 125 leds simultáneamente sin perder potencia, ya que al ser un led RGB cada led tiene 3 leds internamente por así decirlo, por lo que hay que encender 375 leds sin una caída de corriente.

La solución a este problema se resuelve con transistores como un circuito de encendido/apagado, además de que en los 5 niveles tiene que haber otro circuito similar, la diferencia es que las terminales comunes deben operar con más corriente por lo que deben ser diferentes a los circuitos de las terminales RGB. Una vez terminado este sistema la finalidad será poder encender y apagar los 125 leds con un valor lógico, y la forma de probarlo será mandar un 1 o 0 lógico a la entrada del circuito y lograr que los leds asociados enciendan sin pérdida de brillo, y que además al dejar de mandar ese valor se apaguen.

3.2.4. Sistema de control digital

El sistema de control digital tiene como finalidad principal controlar las 75 terminales RGB y los 5 niveles comunes de entrada al sistema de potencia con solo 10 entradas y una señal de reloj. Para esto será necesario utilizar registros de corrimiento, donde cada uno controlará 8 terminales simultáneas. Este subsistema controlará 375 leds, por lo que para probarlo tenemos que conectar 8 leds por registro y ser capaces de controlar los 8 con una sola terminal, se necesitará además una señal de reloj para verificar el funcionamiento. No se debe sobrepasar el valor nominal de los integrados y el problema principal que puede surgir es el rebote de señales para ir recorriendo el registro.

3.2.5. Sistema de microcontrolador

El sistema del microcontrolador comprende la programación para el control del reloj y del sistema de control digital, una vez controlados ambos subsistemas con el microcontrolador el proyecto estará terminado, por lo que este subsistema es el último a realizar, y la forma de probarlo es conectando el microcontrolador al resto del proyecto y hacer que se comporte como lo programamos. La mejor forma de llegar a esta parte sin ningún problema es ir probando cada subsistema independientemente y sólo conectarlo cuando se esté totalmente seguro que todo funciona correctamente. Si se empieza la programación sin haber realizado esa etapa de prueba y surge algún error, será extremadamente difícil detectar dónde están los errores y arreglarlos.

3.3. Diagrama de bloques

Una vez descritos los requerimientos de todos los subsistemas procedemos a mostrar como se relacionarán entre si, para esto realizamos un diagrama de bloques del proyecto completo contemplando los subsistemas antes mencionados.

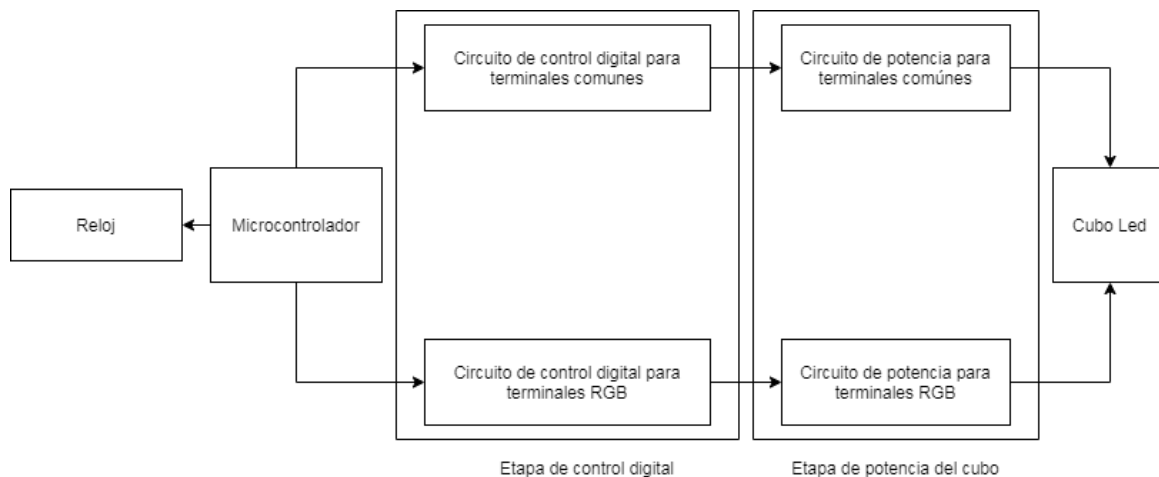


Figura 3: Diagrama de bloques del proyecto final en subsistemas

4. Diseño de detalle

Una vez planteados los subsistemas del proyecto procedemos a realizar las especificaciones y requerimientos a nivel componentes, en esta etapa se detallarán los circuitos a realizar para el funcionamiento completo del proyecto. Se cotizará todo el costo por subsistemas y cada uno será documentado para hacerlo reproducible si cualquier persona tiene acceso a este documento. Una vez cotizado el material y realizado los diagramas/programas del proyecto procederé a detallar un plan de ensamblado y fabricación para poder tener un resultado exitoso.

4.1. Sección del reloj

La sección del reloj consta de un display de 7 segmentos y 7 dígitos, sumando a los 4 dígitos los dos puntos que separan las horas de los minutos. Podríamos utilizar el reloj en tiempo real con interfaz I2C, sin embargo por el costo total se optará por un oscilador de señal cuadrada que tenga 1Hz de frecuencia, de esta manera podremos controlar los pulsos y convertirlos en horas, el inconveniente principal será que no puede desconectarse la lámpara de la corriente, ya que al hacer esto se perderá el registro de la hora programada y al reconectar se empezará con la hora al tiempo de la programación y no la actual. Dicho esto, la sección del reloj se compondrá del siguiente material:

1. Display 7 Segmentos 4 dígitos cátodo común tipo reloj \$42
2. 7 resistencias de 220ohms a 1/4W \$10

El diagrama eléctrico de la sección de reloj se muestra a continuación, cabe resaltar que se anidaron 4 displays de 7 segmentos cátodo común para poder simular un solo display de 4 dígitos, si se quiere reproducir este proyecto con otro tipo de display será posible, sólo que la programación toma en cuenta el pin de los puntos decimales que separan las horas de los minutos, por lo que hay que tomar ese bit en cuenta a la hora de realizar las correcciones y ajustes correspondientes.

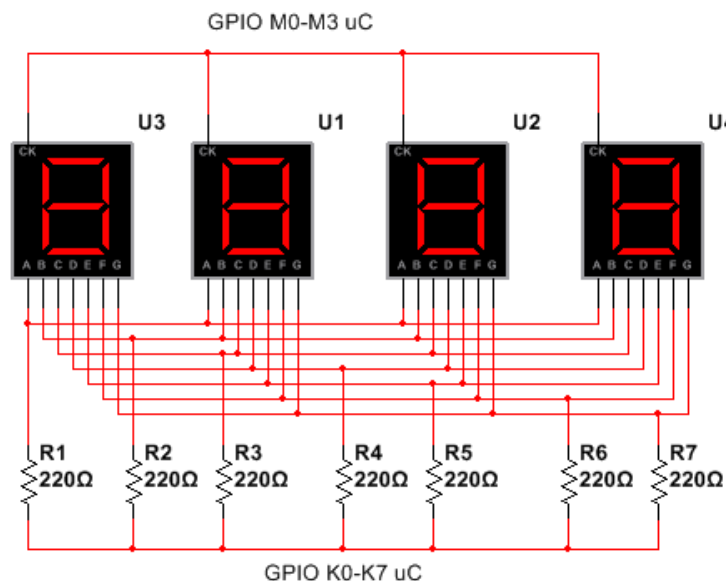


Figura 4: Diagrama eléctrico de la etapa del reloj

Se seleccionaron el puerto K y M del microcontrolador para el control del reloj, se utilizan 12 salidas para este subsistema.

4.2. Sección del cubo

La sección del cubo comprende la unificación de 125 leds en forma de cubo y la creación de la caja para la presentación de la lámpara, en esta parte las únicas conexiones que se mostrarán son las de la unión de los 125 leds para que se comprenda de qué forma están soldados. A continuación enlisto la lista de materiales a utilizar para esta etapa:

1. 200 leds RGB cátodo común \$240
2. 60m de alambre galvanizado AWG 20 \$20
3. 3 tablas de triplay de 30x30cm \$45
4. Paquete de resina epóxica 300g \$53
5. Pintura en aerosol color café \$66

Una vez enlistado el material a utilizar, se mostrará el diagrama eléctrico de este subsistema. Aquí hay dos cosas que aclarar, la primera es que debe haber 5 circuitos de estos para poder conseguir el cubo completo y que además deben soldarse los leds por color, por lo que en este total de 25 leds habrá 75 terminales a conectar y cada terminal encenderá 5 leds (uno por nivel) y solamente de un color, ya sea rojo, verde o azul. Por ejemplo, el LED1R del primer nivel se soldará con el LED1R del segundo nivel y así sucesivamente hasta el LED1R del quinto nivel. La segunda cuestión es que todos los ánodos deben estar unidos entre si, los 25 leds deben de poder encenderse con una sola terminal.

El circuito a continuación plantea la unión de 3 leds en 1 dado que la biblioteca de NI Multisim carece de leds RGB, por lo que debe entenderse que cada tercia de leds corresponden a uno solo, como referencia cada led tiene su nombre con número de led y color, se colocó una fuente de voltaje para encenderlos a todos, sin embargo, lo que se conectará en el diagrama serán las etapas de potencia con transistores, tanto para los cátodos como para el ánodo, se marca en texto donde deberán de conectarse estas etapas en el diagrama.



Figura 5: Diagrama eléctrico de un sólo nivel del cubo led

4.2.1. Sección de alimentación y potencia

La sección de alimentación y potencia comprende el circuito eléctrico que hará posible el encendido de 125 leds RGB simultáneamente, comprende un arreglo de transistores que encienden con un 0 lógico al ser cátodo común, y un arreglo de transistores o MOSFETS que encienden los niveles del cubo, por lo que se necesitarán 75 circuitos para los ánodos y 5 circuitos para los cátodos.

La lista de componentes de esta etapa es la siguiente:

1. 130 resistencias de 100ohms a 1/4W \$27
2. 160 resistencias de 1kohm a 1/4W \$54
3. 5 Mosfets IRF9540N \$125
4. 80 transistores 2N3904 \$110
5. 1 capacitor electrolítico de 100uF a 10V \$3

El circuito de los cátodos utiliza un transistor TBJ 2N3904 NPN, y su funcionamiento es sencillo. Nosotros ocupamos leds cátodo común, por lo que nuestros pines RGB deben encenderse con 1, en este caso conectaremos una resistencia de 1k a la base y mandaremos el colector a VCC con una resistencia de pull-up de 1k, el emisor lo mandaremos a tierra para que al recibir un 1 en la base el transistor se sature y el colector se mande directamente a tierra, de esta manera apagaremos los leds con un 1 y con un 0 se mantendrán encendidos.

Ahora bien, debemos tomar en cuenta que para poder observar los leds correctamente se tiene que tomar en cuenta el voltaje que cada uno recibe suponiendo una corriente utilizada de 20mA. El color verde y azul se encuentran dentro del mismo rango de voltaje y por ello colocamos una resistencia equivalente de 60ohms a la salida del colector. Por otra parte, el led rojo consume un poco menos de voltaje por lo que será necesario aumentar la resistencia de salida, es por ello que a cada led rojo se le coloca una resistencia de 100ohms a la salida.

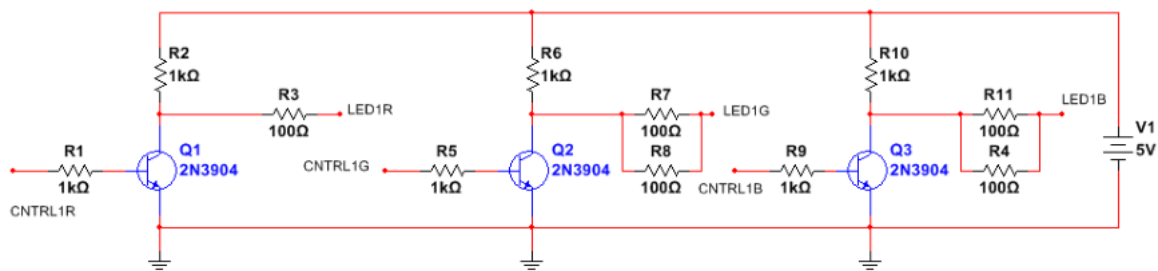


Figura 6: Diagrama eléctrico del control de potencia de los cátodos de una sola columna de leds

Para el control de los cátodos necesitaremos realizar cinco circuitos iguales, uno por cada nivel. Usaremos el transistor TBJ 2N3904 NPN el cuál tendrá conectado a la base una resistencia de 1k donde se conectará nuestra salida del registro y el emisor estará conectado a tierra para obtener un 1 en el colector cuando la base sea 0. Para ello el colector del transistor tiene una resistencia de pull-up de 1k, y en el mismo colector conectaremos la compuerta de un MOSFET IRF9540N, que a diferencia del TBJ es un transistor PNP, este transistor tendrá una configuración inversa al TBJ, donde la fuente irá a VCC y el drenaje tendrá una resistencia de pull-down a donde se conectarán todos los cátodos de un solo nivel.

Por lo tanto, la primera etapa del circuito manda un cero al colector y a la compuerta a la vez, y la segunda etapa manda al drenaje una salida positiva. El circuito que se muestra a continuación es toda la etapa de potencia del cubo en los cátodos, el texto de CNTRLVL0-CNTRLVL4 muestra los pines donde se deberán conectar los registros de corrimiento en la etapa siguiente.

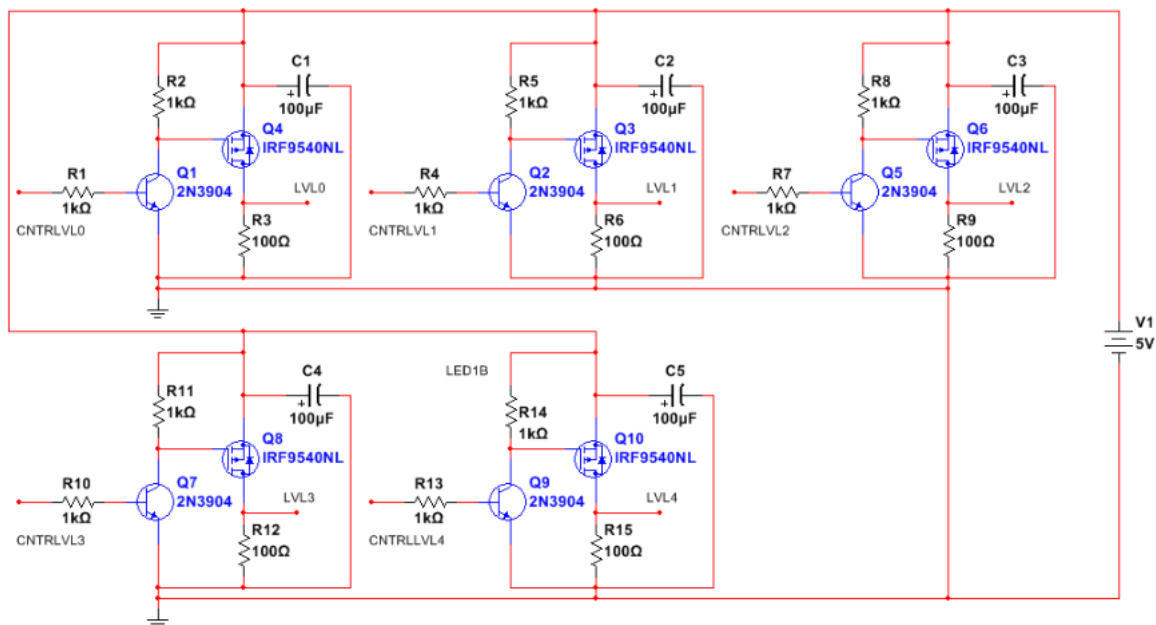


Figura 7: Diagrama eléctrico del control de potencia de los cinco niveles de cátodos comunes

4.2.2. Sección de control digital

La sección de control digital se compone de registros de corrimiento 74HC595, los cuales son capaces de controlar 8 leds de manera simultánea. Una vez logrado esto podremos empezar a programar el microcontrolador, ya que las conexiones de esta etapa al mismo solo requerirán de 2GPIOs, donde uno de ellos debe tener un control PWM disponible. Los materiales para esta etapa son:

1. 11 registros 74HC595 \$150

2. 75 resistencias de 1kohm a 1/4W \$27

3. 11 capacitores cerámicos de 0.1uF \$23

El control digital lo dividiremos en dos circuitos, el de los cátodos y el de los ánodos. El control de los cátodos posee 10 integrados y conectará a los 75 leds como salidas de cada registro, se colocarán por colores, primero 25 salidas para el rojo, luego 25 salidas para el verde y finalmente 25 salidas para el azul, cada salida debe tener una resistencia de pull-up, ya que nuestros registros encienden con 0. En el esquemático es lo único que no se muestra además de que entre VCC y GND del integrado se debe colocar un capacitor de 0.1uF por recomendación del fabricante.

Para los 10 registros la terminal de CLK, LATCH y BLANK se deben conectar como un solo pin para los 10 registros, y la salida de los datos del registro se debe colocar a la entrada de datos del siguiente a forma de cascada para así poder controlar 75 salidas con un solo pin de DATA. Las etiquetas de CNTRL1R-CNTRL25B se conectan a la entrada de los transistores 2N3904 en la etapa de potencia de los cátodos.

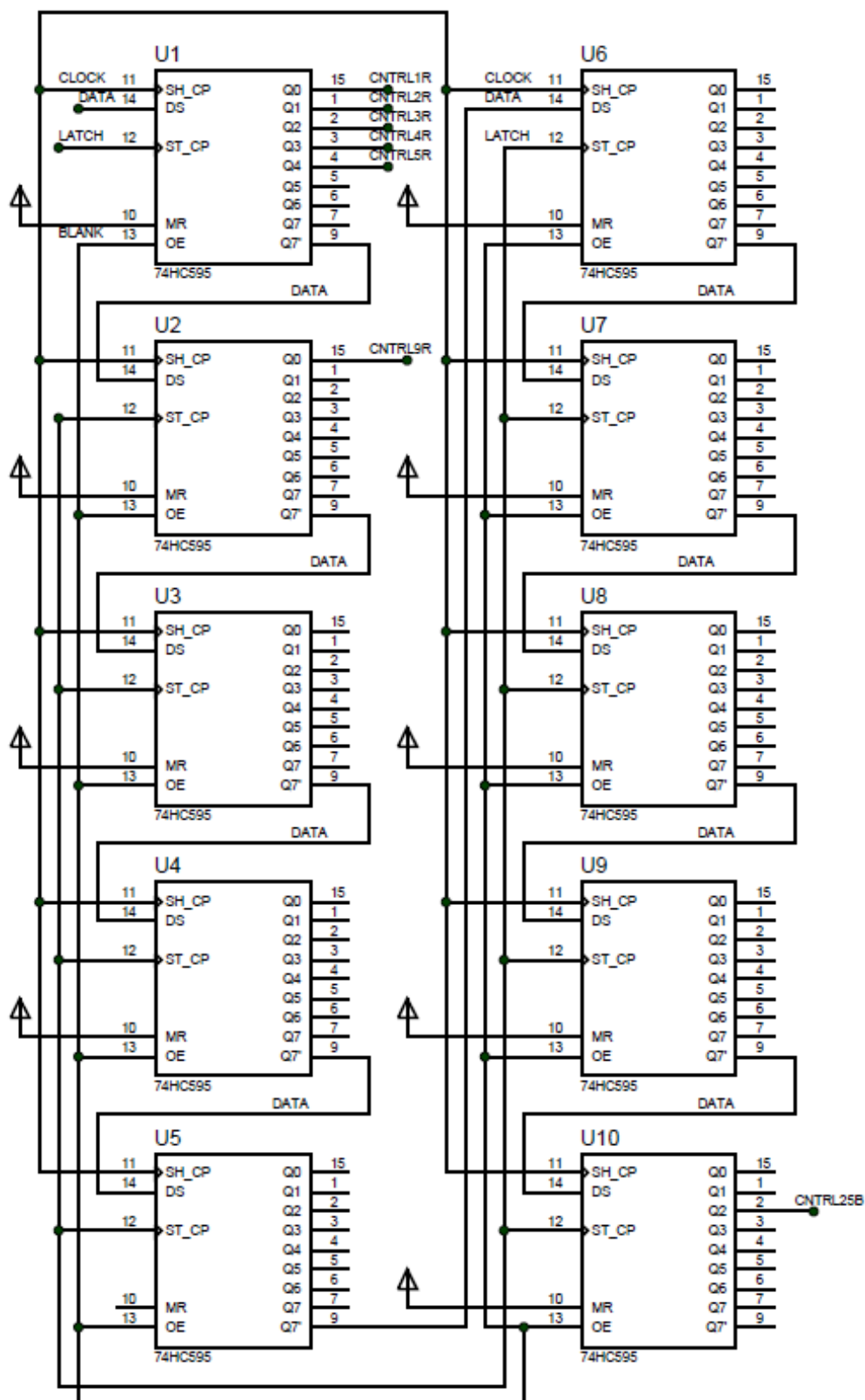


Figura 8: Diagrama eléctrico del control digital de los 75 cátodos

El control para los ánodos se realiza de manera similar, la única diferencia será que sólo ocuparemos un

registro para controlar todos los niveles, además no utilizaremos resistencias de pull-up dado que nuestros niveles se encenderán con 1 en vez de 0. La etiqueta de CNTRLVL0-CNTRLVL4 se conecta a la entrada de los transistores 2N3904 de la etapa de potencia de los ánodos.

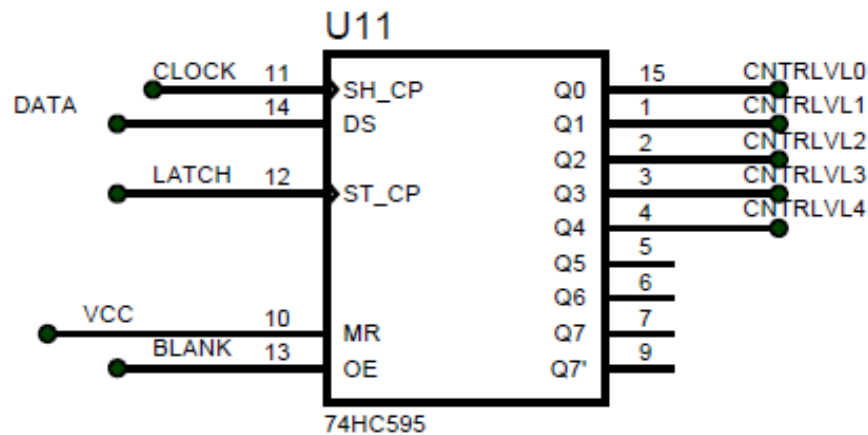


Figura 9: Diagrama eléctrico del control digital de los 5 ánodos

4.3. Sección de microcontrolador

La sección del microcontrolador comprende todas las conexiones que se harán a la TM4C1294NCPDT, para lograr esto primeramente debemos comprender que este proyecto trabajará con dos sistemas programados totalmente independientes, el primero es el sistema del reloj, el cual utilizará dos puertos (M y K), y el segundo sistema es el del cubo el cual utilizará dos puertos (E y H) para el control del encendido de leds y el puerto F para el control PWM, este tipo de modulación será utilizada para controlar el brillo de los leds y poder conseguir distintas tonalidades de colores con el led RGB.

Ya que se usará este microcontrolador será mejor realizar un mapeo de las terminales a utilizar en vez de utilizar un diagrama eléctrico. Las conexiones a realizar son las siguientes:

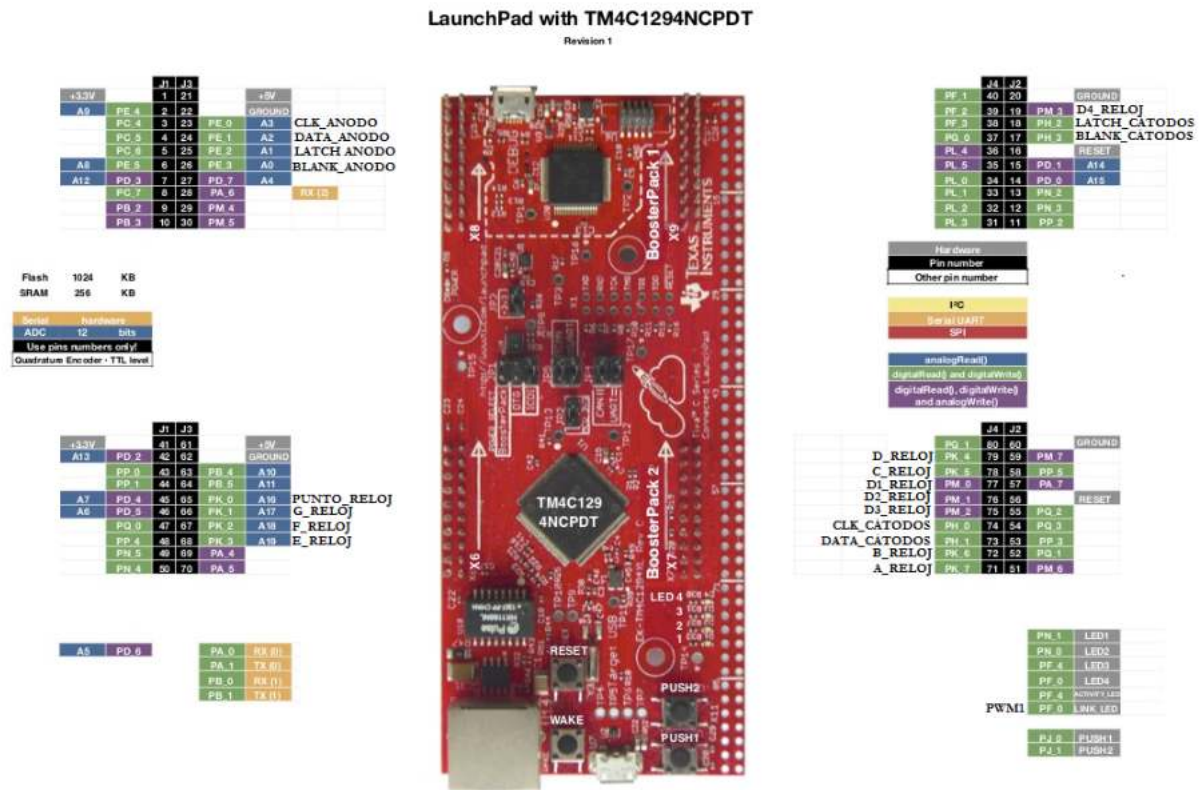


Figura 10: Mapeo de pines del microcontrolador TM4C1294 al proyecto

4.4. Proceso de construcción y ensamble del producto

Para construir este proyecto es muy importante realizarlo por etapas y tener un proceso de prueba muy constante, ya que tenemos varios subsistemas tenemos que estar seguros de que no falle nada en el hardware antes de comenzar a programar con el microcontrolador, es por ello que la programación será la ultima fase del proyecto.

La construcción del proyecto la realizaremos por subsistemas y en el orden que se mencionaron anteriormente, el costo total del proyecto sin estimar cableado y herramientas (soldadura, pasta para soldar, taladros, etc) es de \$995, por lo que en el proceso de armado este costo podría aumentarse. Por ello mencionaremos los precios que se agregan a los componentes en esta etapa, únicamente en el caso de materiales, una herramienta que se considera casi indispensable para todas las etapas de construcción es el multímetro, por ello no se mencionará en la lista de herramientas de cada etapa.

4.5. Reloj

La sección del reloj necesitará el siguiente material extra:

1. Cable 20-22AWG
2. Fuente 5V

Se realizará el circuito del reloj y se probará dígito por dígito que todas las terminales funcionan correctamente, cada terminal del dígito debe contar con su resistencia para que no se queme ningún led.

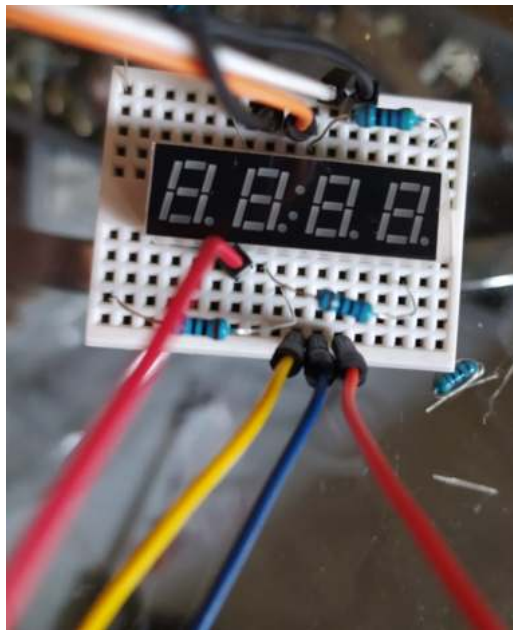


Figura 11: Circuito del reloj finalizado

4.6. Cubo led

Para esta sección necesitaremos las siguientes herramientas y cables:

1. Taladro
2. Mini Taladro (Dremel) con brocas de madera de 0.5 a 3mm
3. Martillo
4. Pinzas de corte y de punta
5. Cautín con soldadura y pasta para soldar
6. Pistola de silicón
7. Cable plano de 14 hilos 28AWG 2m \$65
8. 5 piezas Header macho 40x1 de una fila \$15
9. Cable Dupont 20cm 40pza hembra-macho \$26
10. Thermofit 1/16 3 metros \$4
11. Fuente de 5V
12. Segueta

El primer paso para armar el cubo led es estirar los 60m de alambre con un taladro grande, se coloca el alambre en el taladro y se sujeta el otro extremo, se gira hasta estirarlo y posteriormente se corta en piezas de 22cm. Para esta etapa necesitamos 40 piezas para los ánodos y 75 piezas para los cátodos, las puntas de piezas de los cátodos se deberán doblar 90 grados.



Figura 12: Alambres para los cátodos

La segunda etapa es probar los 125 leds, hay que revisar que cada led encienda en los 3 colores (rojo, verde y azul), se hace de esta manera porque una vez soldados los leds a la estructura se volverá casi imposible reemplazarlos. Una vez conseguidos los 125 leds funcionando procederemos a hacer la caja de los leds.

Lo que debemos realizar es usar las 3 tablas de triplay de 30x30 y cortar una con dimensiones de 22x22. Las otras dos tablas se cortarán de la siguiente manera:

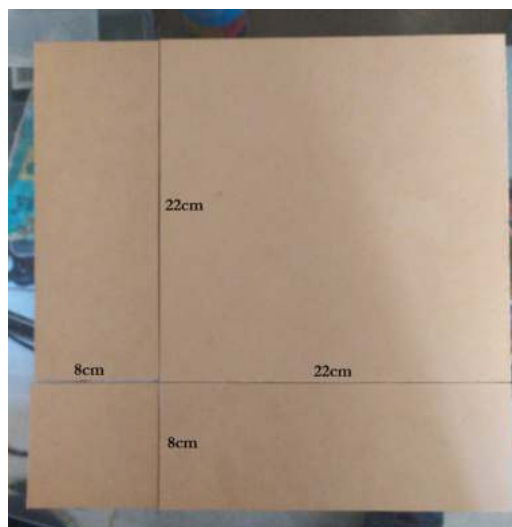


Figura 13: Cortes de dos tablas triplay para realizar la caja

Las dos piezas de 22x22 serán para la pieza inferior y superior de la caja, y las cuatro piezas de 8x22 serán para los laterales de la caja, la tercer pieza para la caja será para hacer las cinco mallas del cubo y por ello una de las piezas de 22x22 se deberá perforar con una broca de madera de 3mm (el tamaño de la cabeza de un led) de la siguiente manera:

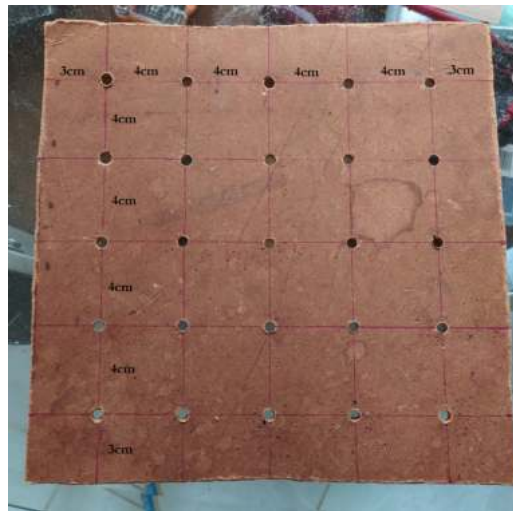


Figura 14: Guía de perforación para la base de armado de las mallas de leds

Ahora realizaremos las perforaciones para los 75 alambres en la tabla de 22x22 que será la superior de nuestra caja, se realizará con una broca de madera de 1mm o del grosor de nuestro alambre galvanizado, las medidas para los 25 leds son iguales a las de la base de armado de las mallas, solo que ahora no se perforará el centro, sino que cada intersección tendrá tres orificios (R,G y B) a 1cm del centro. Se harán un total de 75 orificios.

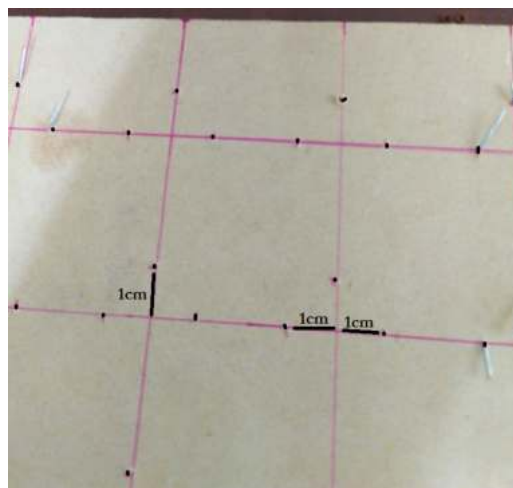


Figura 15: Guía de perforación para la parte superior de la caja

El proximo paso es pintar las 6 piezas de la caja y pegar la parte inferior con los laterales de la caja, ya que en la parte superior se comenzará a realizar el cubo led.



Figura 16: Guía de perforación para la parte superior de la caja

Ahora procederemos al soldado del cubo. La primera parte es hacer los 5 niveles o mallas del cubo, en la tabla de la base se colocarán 25 leds y doblaremos la terminal roja a la izquierda, la azul a la derecha y la verde hacia enfrente, el ánodo quedará hacia arriba ya que soldaremos los 5 ánodos hilera por hilera, y posteriormente los uniremos con dos alambres más que unan a todos horizontalmente, deberemos obtener 5 mallas como ésta:



Figura 17: Malla o nivel del cubo finalizada

Una vez obtenidas las 5 mallas comenzaremos a apilarlas en la base superior, para ello colocamos los alambres en la base y vamos insertando nivel por nivel utilizando como sujetador entre nivel y nivel 4 trozos de madera de 4.5cm de alto, para estos trozos utilicé el restante de las tablas de triplay de la caja. Se soldarán por nivel los colores de los cátodos, por lo que cada alambre de 22cm tendrá soldadas cinco terminales de leds ya sean R, G o B. Es por ello que se necesitarán 75 alambres para finalizar el cubo.

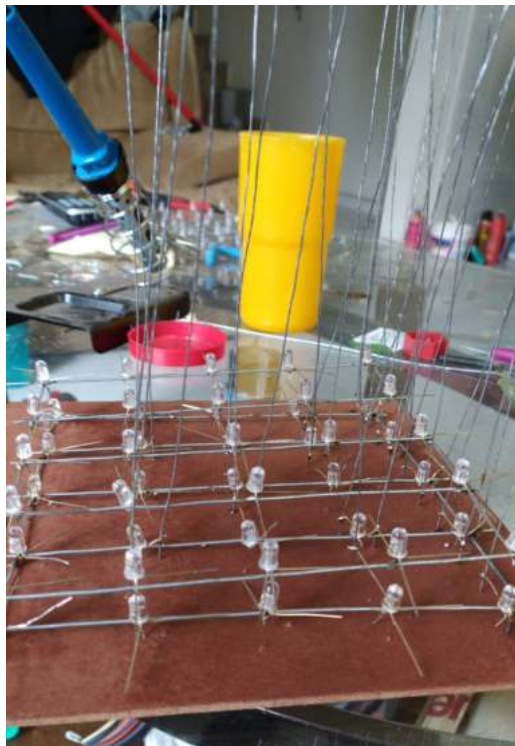


Figura 18: Proceso de acoplado de niveles a la base para terminar el cubo led

Una vez terminada esta etapa el cubo debe estar listo y debe verse de la siguiente manera. Recomendando probar todos los leds por columna antes de seguir con la construcción, ya que la próxima etapa requiere de soldar cables a cada terminal y también deberá probarse que el cable tiene continuidad y que los leds encienden una vez soldados los cables.

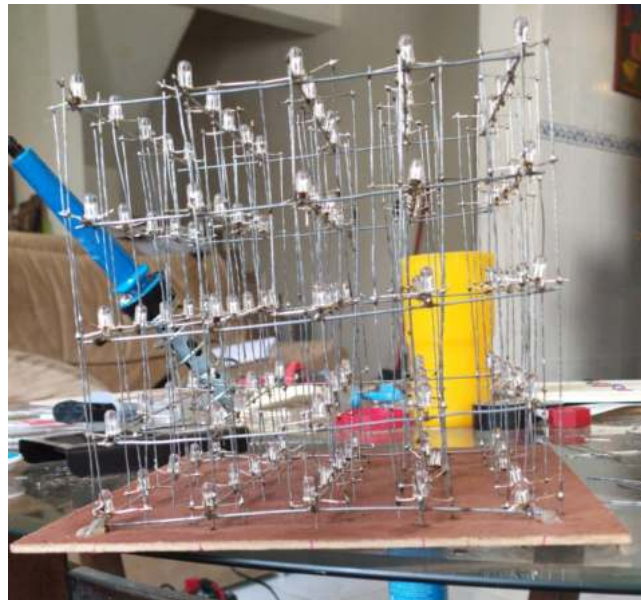


Figura 19: Estructura del cubo led finalizada

La etapa siguiente es soldar cable plano a las terminales del cubo, para ello cortaremos el cable plano en tramos de 10cm para obtener 75 trozos, posteriormente se le soldará un pin macho a una sola de sus terminales

y se cubrirá de thermofit para evitar cortocircuitos, la otra terminal se soldará directamente al alambre del cubo.

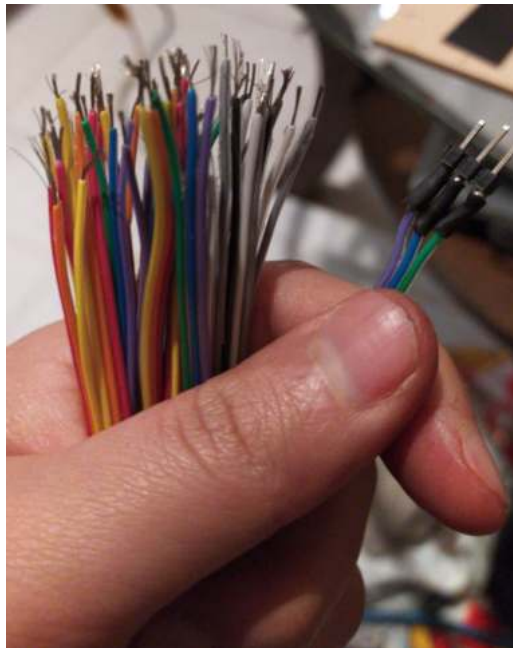


Figura 20: Proceso final del cable plano en 75 trozos de 10cm

Una vez realizadas los 75 cables procederemos a soldarlos al cubo, y después de haberlos soldado se necesitará agregar silicón para que no se desolde ningún cable a lo largo de todo el resto del proyecto. Deberemos obtener una estructura como la siguiente:

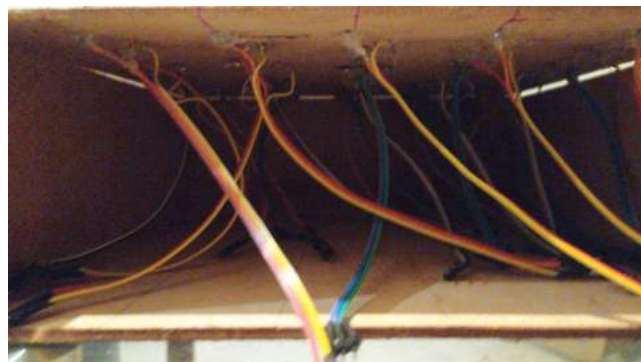


Figura 21: Cubo led con terminales soldadas de cable

Finalmente se unirán a las terminales traseras los cables dupont de 40cm, y al resto de las terminales se les conectarán cables dupont de 10cm, finalmente pegaremos con silicón la tapa superior con el cubo led encima de la caja que construimos anteriormente. A su vez colocaremos 5 alambres a lado del cubo, cada nivel debe soldarse con los ánodos de la misma manera que con los cátodos, sin embargo esto se debe realizar con alambre calibre 20-22AWG ya que habrá más corriente a través de los ánodos. El resultado final de esta etapa es la siguiente:



Figura 22: Resultado final de la etapa del cubo

4.6.1. Etapa de potencia

La etapa de potencia consta de realizar dos circuitos, se puede realizar en el orden que sea, sin embargo yo recomiendo comenzar con la etapa de los cátodos mientras que los ánodos se mantienen conectados para poder ir probando el funcionamiento paso a paso. La lista de material extra para esta etapa es la siguiente:

1. Cable 20-22AWG

Para la etapa de los cátodos se deben conectar los circuitos y en la entrada de la resistencia de la base se debe mandar un 1 lógico y lograr que el led conectado se apague, aunado a esto debe conectarse también un alambre de 20-30cm a cada entrada en la base del 2N3904. Una vez realizado esto se procederá a hacer el circuito de potencia de los ánodos.

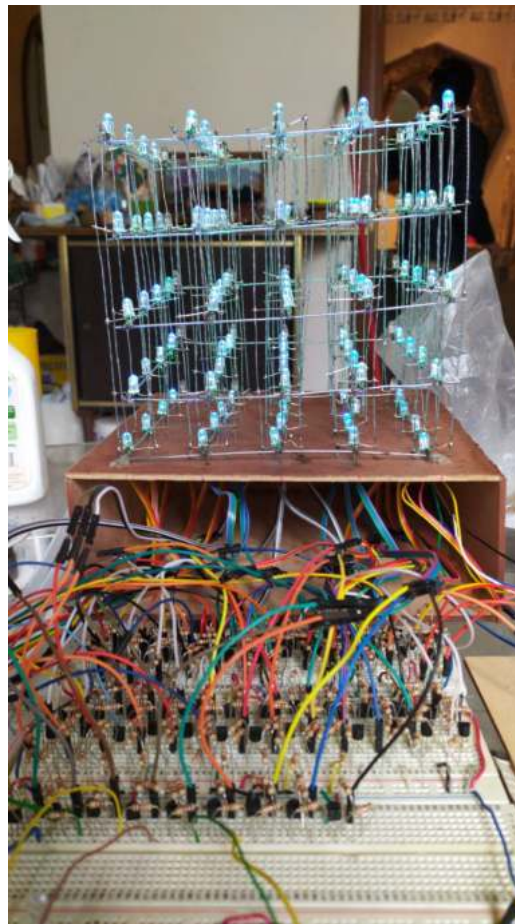


Figura 23: Etapa de prueba del circuito de potencia para los cátodos

El circuito final de cátodos con todo y cables en la base del transistor para la etapa de control es el siguiente:

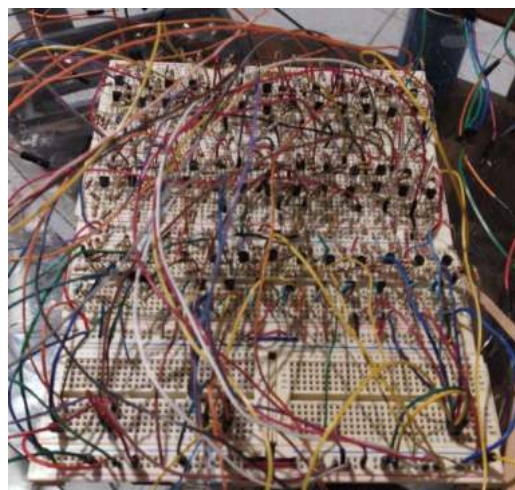


Figura 24: Circuito final de la etapa de potencia para los cátodos

Ahora realizaremos el circuito de los ánodos, se debe colocar un led a la salida de la fuente de los 5 MOSFETS y obtener un encendido del led cuando se mande un 1 lógico a la base del transistor. A su vez para ahorrar dinero uní todas las compuertas entre si para utilizar un solo capacitor de 100uF para todo el circuito. El resultado

debe ser el siguiente:

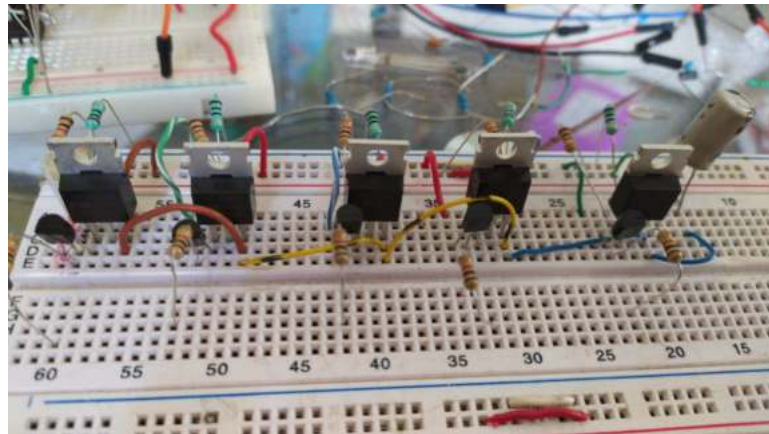


Figura 25: Circuito final de la etapa de potencia para los ánodos

4.6.2. Etapa de control digital

Para la etapa de control tendremos también dos circuitos distintos, el de control para cátodos y el de control para ánodos. El primer circuito se anida y debe verificarse el funcionamiento de los 10 registros con datos en serie, esto lo probé mandando datos de tres registros juntos, conectando a la salida de los registros leds y posterior a esto verificar su corrimiento con push-buttons en CLK, LATCH, BLANK y DATA. Los materiales que se deben tener extras para la prueba de estos cables y para su alambrado final son:

1. Cable 20-22AWG
2. 24 leds
3. 24 resistencias de 220-470ohms 1/4W

Una vez verificado el funcionamiento se colocará una resistencia de pull-up de 1k a cada salida de los registros. El principal problema a suceder con este circuito es el rebote de señales, que puede hacer que se recorran dos o más datos por ciclo de reloj, una solución a esto es colocar un diodo entre vcc y la entrada del push-button. El resultado del circuito de control es el siguiente:

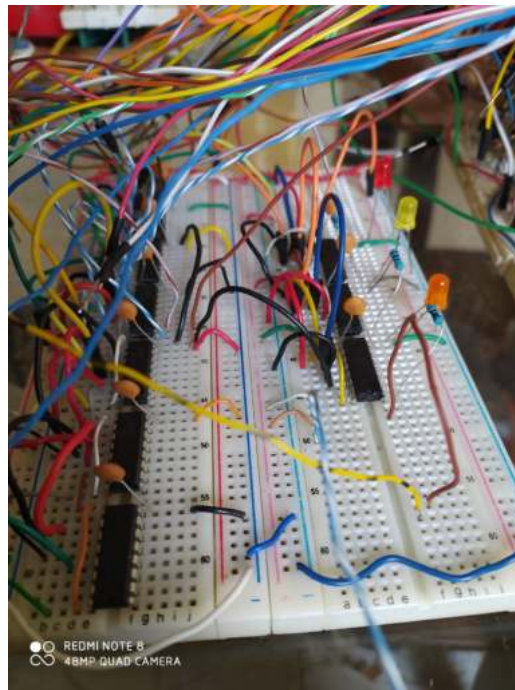


Figura 26: Circuito final de la etapa de control para los cátodos

Para el circuito de los ánodos se realiza un procedimiento sin anidar tres registros, ya que solo se utilizará un registro para este circuito, por lo que solo se deberán colocar 8 leds a la salida y verificar su funcionamiento con push-buttons.

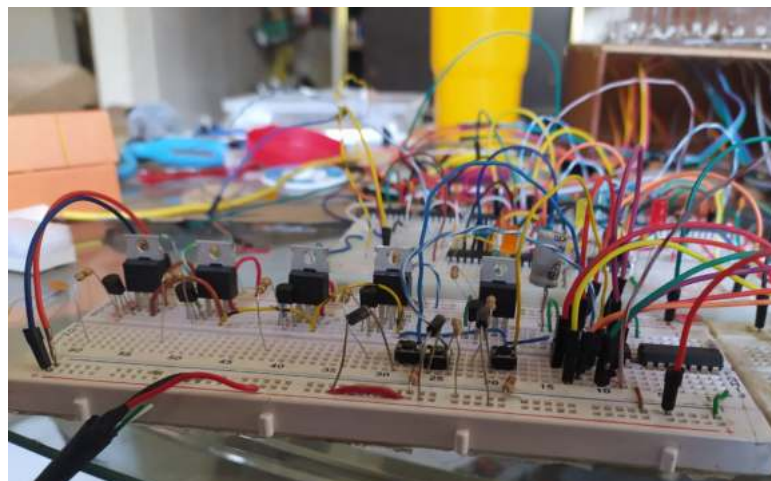


Figura 27: Circuito final de la etapa de control para los ánodos

Al final de esta etapa el resultado debe tener toda la electrónica necesaria para comenzar a programar el proyecto, el resultado final debe ser similar al siguiente:

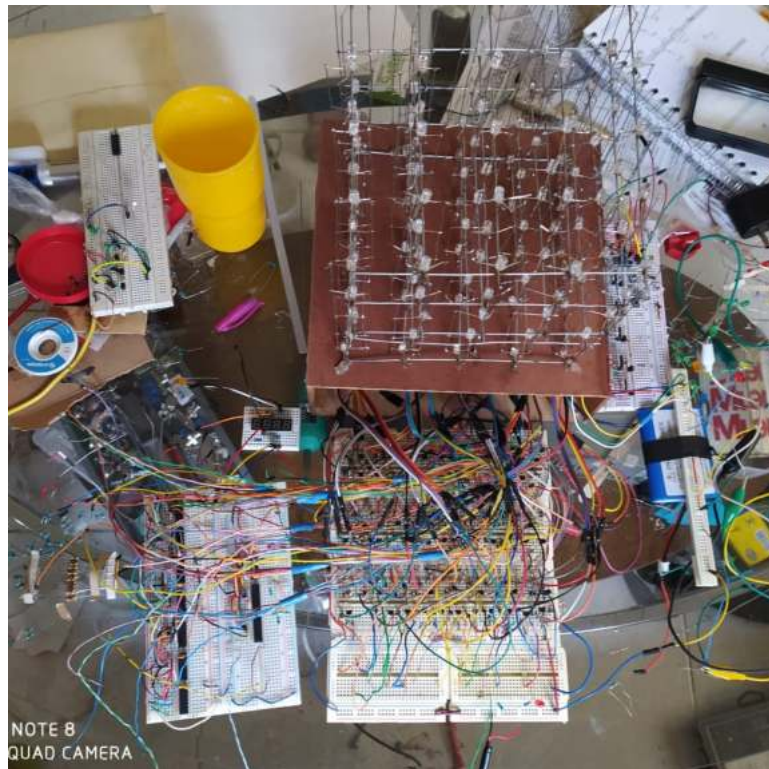


Figura 28: Proyecto final construido

Y el cubo led encendido totalmente se tiene que ver de la siguiente manera:

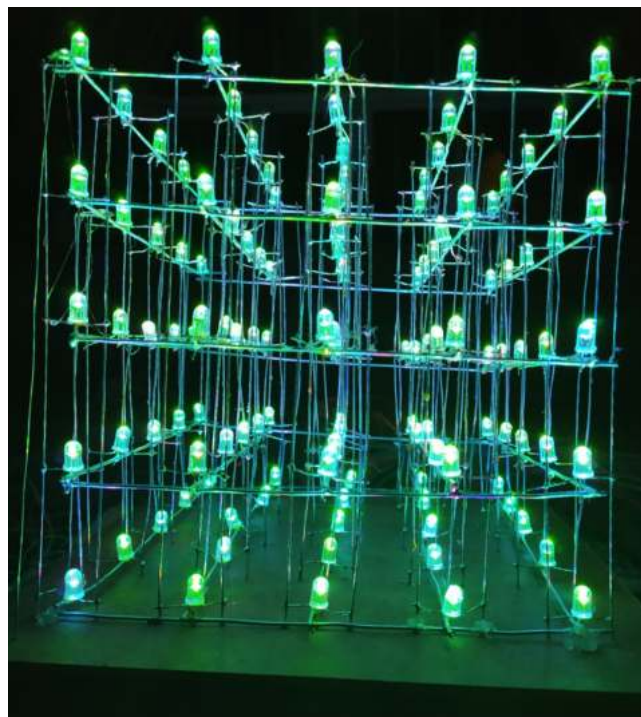


Figura 29: Cubo led totalmente encendido

4.6.3. Etapa del microcontrolador

La etapa del microcontrolador comprende la conexión física de éste al proyecto, sin embargo no fue solicitada para el proyecto final por lo que esta etapa será la única que quede pendiente para finalizar el proyecto con éxito.

5. Referencias

1. Proyecto de GreatScottLab consultado en <https://www.instructables.com/id/Build-your-own-4x4x4-RGB-LED-Cube/>
2. Proyecto de Kevin Darrah consultado en <https://www.kevindarrah.com/index.php/nggallery/thumbnails/page/3?p=14>
3. Mapa de terminales del microcontrolador TIVACSeries TMC1294 consultado en <https://energia.nu/pinmaps/ek-tm4c1294xl/>