

Trabajo Final Integrador

Brignone, Nicolás - Leg:51822
Quelas, Jorge A. - Leg:51335
Rojas Meyer, Carlos - Leg:51454
Suarez, Facundo - Leg:51461
Curso: 5R1

Año 2010

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Introducción	4
1.2. Aplicación	4
1.3. Proyecto	5
1.3.1. Diagrama	5
2. Etapa de Potencia	7
2.1. Diseño Circuital	8
2.1.1. Elección de los Componentes	9
2.1.2. Polarización de los Componentes Activos de Potencia	9
2.1.3. Generación de la Señal de Control	11
2.1.4. Generación de la Señal a Muestrear	12
2.1.5. Fuente de Alimentación	14
2.2. Mediciones	15
3. Etapa de Control	18
3.1. Circuito de Control	19
3.1.1. Circuito de Adaptación	19
3.1.2. Circuitos de Transmisión	22
4. Interfaz con el Usuario	23
4.1. Visualización de los datos	24
4.2. Ingreso de Datos	24
4.3. Circuito de Conexión	25
5. Dispositivo Sensor de Iluminación	26
5.1. Elección del Sensor	27
5.2. Diseño del Circuito	28
6. Transmisión de Datos	30
6.1. Comunicación entre Dispositivos	31
6.2. Enlace Control-Sensor	31
6.2.1. Protocolo de Transmisión	31

6.3. Enlace Control-Interfaz	33
6.3.1. Protocolo de Comunicación	33
7. Conclusión	35
7.1. Conclusión	36

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

Con motivo del trabajo propuesto por la cátedra de Medidas Electrónicas II, hemos estado trabajando desde principio de año en un sistema de iluminación inteligente, con el cual buscamos integrar las materias Electrónica Aplicada III, Técnicas Digitales III, Tecnología Electrónica, y Medidas Electrónicas II.

El objetivo inicial es el de controlar el nivel de luminosidad de un ambiente de manera digital. Nuestra intención es que el usuario seleccione la intensidad deseada, y que nuestro dispositivo sea capaz de generar dicho nivel de iluminación incluyendo la del propio ambiente. Por otra parte, el sistema debe ser capaz de mantener el nivel seteado por el usuario, aún cuando la iluminación natural varíe. Es decir, a medida que el día avance y la luz natural del sol cambie conforme pasen las horas, el sistema variará la iluminación artificial para mantener los niveles deseados.

1.2. Aplicación

Desde el punto de vista práctico, nuestro sistema puede ser utilizados en diferentes aplicaciones de domótica. Desde una casa a un complejo de oficinas, este sistema puede ser usado para generar la iluminación deseada o necesaria de acuerdo al tipo de tarea.

También podemos encontrar aplicaciones más específicas, éste es el caso de la iluminación en museos de arte. En estos museos, los niveles de iluminación deben ser adecuados para que se puedan ver las obras de arte, pero al mismo tiempo no degrade las mismas. Es por estas razones que se utilizan lámparas dicróicas, que no calientan las superficies que iluminan, y cuya intensidad puede ser regulada.

Otra posible aplicación se encuentra en la industria. En muchos talleres se tiende a utilizar lámparas incandescentes debido a los problemas causados por los tubos fluorescentes. En las lámparas fluorescentes la frecuencia de encendido y decaimiento del fósforo es de 50 Hz y eso produce algunos inconvenientes en talleres que usan tornos y otras máquinas rotativas y algunas veces han sido causa de accidentes menores o graves en los operarios. Se debe a que los 50 Hz está muy cerca del tiempo de persistencia de la sensación en la retina (1/16 de segundo) y el tiempo de demora del fósforo para disminuir o aumentar su luminancia agrava el problema. Las lámparas incandescentes no presentan este inconveniente, y al mismo tiempo, su intensidad puede ser regulada para conseguir la cantidad de iluminación específica para ciertas tareas.

1.3. Proyecto

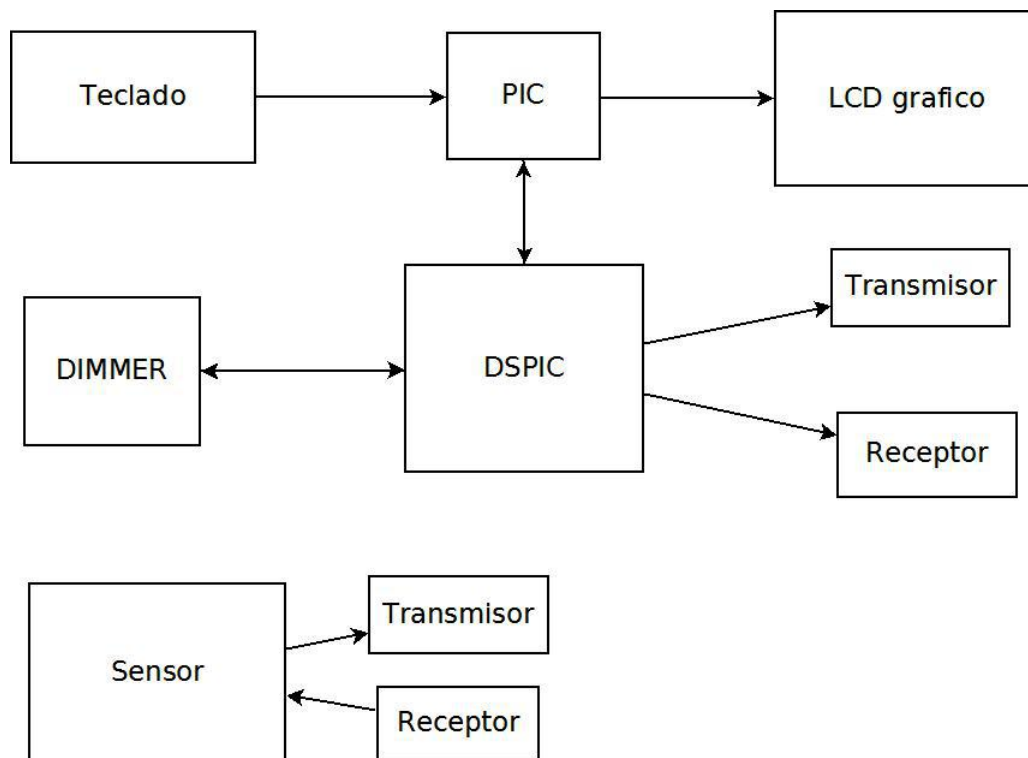
Habiendo establecido nuestro objetivo, pasamos al siguiente paso, el planeamiento y diseño del mismo. A continuación definiremos nuestro proyecto de manera más específica.

Es un dispositivo que regula automáticamente la intensidad de la luz, basándose en las indicaciones del usuario, el cual dispone de un teclado para tal fin, y de un LCD gráfico donde se indicará el estado de funcionamiento.

La idea es indicar al dispositivo la intensidad luminosa deseada en el ambiente, y el mismo ajustará la intensidad de las luminarias, mediante un dimmer que cambie el ángulo de conducción por el método “**escalón rampa-coseno**”, de acuerdo a la medición que reciba de un sensor de luminosidad. Éste último se comunicará de manera inalámbrica con el circuito de control el cual utilizará como elemento central un DSPic.

1.3.1. Diagrama

Ahora que hemos definido lo que buscamos hacer, podemos armar el siguiente diagrama de bloques, que describirá de manera generalizada el sistema:



Una de las modificaciones principales que debimos hacer, es la de agregar un Pic que se encargue de controlar las interfaces, debido a cantidad de patas necesarias para el control del LCD gráfico.

Teniendo ésto en cuenta, podemos explicar nuestro diagrama de la siguiente manera:

- **Teclado-PIC:** Se usa un teclado matricial cuyas teclas serán asignadas a las siguientes funciones:
 1. Incrementar: Incrementa el ángulo de conducción del dimmer en un 5 %
 2. Decrementar: Decrementa el ángulo de conducción del dimmer en un 5 %
 3. Control Automático: Mantiene la iluminación en un $\pm 10\%$ del valor presente.
- **PIC-LCD:** El pic controla totalmente al lcd gráfico, y lo utiliza como interfaz para comunicar al usuario el estado del sistema así como todas las mediciones que se realizan.
- **PIC-DSPIC:** Tal cual se mencionó previamente, fue necesario agregar un pic auxiliar con el fin de controlar la interfaz, la cual requería de más patas de las que poseía el DSPic. La comunicación entre éste último y el Pic esta dada en interfaz RS-232.
- **DSPIC-DIMMER:** El DSPIC regula la intensidad de la luz a través de un PWM, que es uno de los periféricos que tiene incorporado. A su vez a través de su conversor AD toma muestras de la corriente que está circulando por la carga (por medio de una resistencia sensora).
- **DSPIC-SENSOR (Tx y Rx):** El control de iluminación se lleva a cabo mediante una medición remota de un sensor ubicado en el área en la que deseamos controlar la iluminación. El DSPic manda una trama de petición y el sensor responde con la medición realizada.

Capítulo 2

Etapa de Potencia

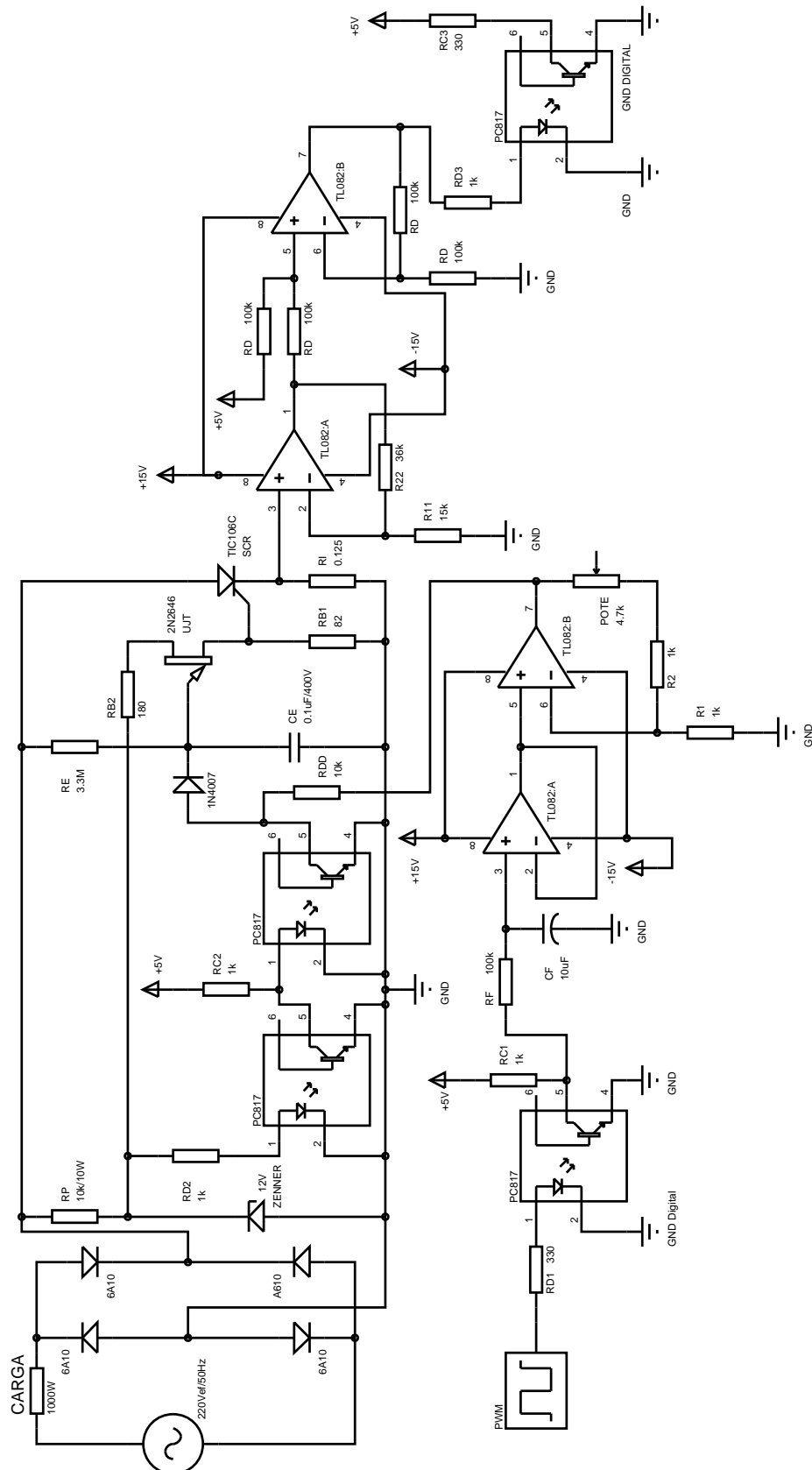
2.1. Diseño Circuital

El circuito encargado de manejar el nivel de iluminación de la carga, es decir, la etapa de potencia de nuestro trabajo, esta dada por un dimmer que utiliza el método **rampa escalon-coseno** para variar el ángulo de conducción de la misma. En este caso, hemos decidido diseñar el dimmer para que controle una potencia máxima de 1000 W, lo cual será provado con dos lamparas de halógeno de 500 W cada uno. El circuito elegido se puede observar en la siguiente página

Lo primero que observamos es que la carga se encuentra en serie con el circuito de control. El mismo está conformado por un circuito rectificador que permite controlar los dos semiciclos utilizando un SCR, el cual es disparado por corriente proveida por un TUJ, que se encuentra polarizado por un zener de 12V. A su vez, el disparo del TUJ es generado por una rampa proveniente del circuito de control de la etapa digital sumada a la onda cosenoidal de la misma línea de alimentación.

El circuito de control de la etapa digital está conformado por un optoacoplador que transmite un PWM. La función de este optoacoplador es aislar la masa digital de la masa de la etapa de potencia. Luego del optoacoplador encontramos un filtro pasa bajo que integra la señas dejando un nivel de continua proporcional al ciclo de trabajo (duty cycle). Esta señal es aislada con un buffer y entra a un amplificador que la lleva a los niveles de tensión buscados. Cuando se genera el escalón de tensión, y a ese escalón se le suma la señal cosenoidal, se alcanza un nivel de tensión que dispara el TUJ, y a su vez éste dispara el SCR, el cual permacerá disparado hasta que la circulación de corriente por su compuerta sea cero. Por lo tanto el TUJ también debe cortarse en el cruce por cero. Para lograr esto, se coloca un circuito auxiliar que genera el cruce por cero en el emisor. Con este fin implementamos dos optoacopladores conectados como se observa en el diagrama.

Una de las mediciones que debemos realizar es la corriente que circula por la carga, para tal fin se colocó una resistencia sensora de 0,125 Ohm en serie con la misma. Con el fin se sensar la caída de tensión en dicha resistencia y a través de la ley de Ohm obtener la corriente circulante. El circuito de adaptación de la señal está conformado por un amplificador y un sumador, que agrega un nivel de continua para garantizar la correcta polarización del optoacoplador que aísla las masas. A partir de este punto la muestra ingresa en el circuito de adaptacion del conversor analógico digital.



2.1.1. Elección de los Componentes

Para llevar a cabo nuestro cometido, hemos elegido el circuito ya explicado, el cual controla el ángulo de conducción con un SCR. Partiendo de esto, debemos buscar un SCR capaz de controlar la corriente que circule por una carga de 1000 W, donde:

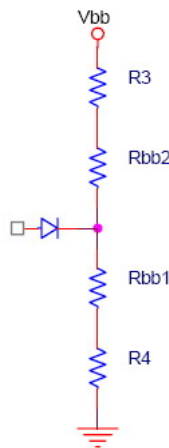
$$P_{carga} = V_{carga} \cdot I_{carga} \Rightarrow 1000W = 220V \cdot I_{carga} \Rightarrow I_{carga} = \frac{1000W}{220V} = 4,54A$$

Por lo tanto, deberá tener que ser capaz de tolerar hasta 4,45 A. Teniendo esto en cuenta hemos elegido el TIC106 en encapsulado TO-220 como SCR. Ahora bien, para controlar la corriente que circule por el "gate" del TIC106, utilizaremos un TUJ 2N2646, por lo que deberemos respetar los siguientes valores:

- TIC106: $I_{GT} = 200\mu A$, $V = 1,2V$
- 2N2646: $\eta = 0,75$, $R_{bboff} = 7k\Omega$ y $R_{bbon} = 600\Omega$

2.1.2. Polarización de los Componentes Activos de Potencia

Calculamos el valor de los dos resistores necesarios para polarizar al TUJ, R_{B2} y R_{B3} , juntamente con la tensión V_{BB} requerida, para lo que nos valdremos del siguiente circuito equivalente del unijuntura.



Primeramente calcularemos los valores de R_{bb1} y R_{bb2} , teniendo en cuenta que:

$$\eta = \frac{R_{bb1}}{R_{bb1} + R_{bb2}}$$

Como $R_{bb1} + R_{bb2} = 7k\Omega$ y entonces $R_{bb1} = 5250\Omega$ y $R_{bb2} = 1750\Omega$

Como queremos que el unijuntura se dispare cuando V_P sea igual a $10V$, entonces en el estado de bloqueo deberá haber en el cátodo del diodo de la figura una tensión igual a $10 - 0,5 = 9,5V$, si se considera como caída de tensión directa en el diodo de $0,5V$, lo que es bastante exacto para este unijuntura.

La otra consideración que debemos hacer es que cuando el unijuntura esté disparado deberá circular una corriente tal por el circuito que permita el disparo del SCR. Esta característica puede ser obtenida si se considera una corriente I_1 mucho mayor que la necesaria para el disparo del mencionado SCR. Decidimos hacer la corriente I_1 , que circula desde la base 2 a la base 1, 15 veces mayor que la corriente I_G deseada. Para asegurar el disparo le enviaremos al "gate" una corriente $I_G = 5 \cdot I_{GT} = 1mA$, lo que implique que $I_1 = 15mA$.

Entonces R_{B1} es igual a:

$$(I_1 - I_G) \cdot R_{B1} = 1,2V \quad \Rightarrow \quad R_4 = 82\Omega$$

Cuando el unijuntura no está disparado circulará una corriente por R_{bb1} y R_{B1} de:

$$I_{REP} = \frac{V_P - V_D}{R_{bb1} + R_{B1}} = 1,781mA$$

La tensión en la base 2 será de :

$$V_{b2} = I_{REP} \cdot (R_{bb} + R_{B1}) = 12,61V$$

En el estado no disparado debe cumplirse que:

$$V_{BB} - V_{b2} = R_{B2} \cdot I_{REP}$$

Y en el estado de disparo debe cumplirse que:

$$V_{BB} = I_1 \cdot (R_{B2} + R_{bbon} + R_4)$$

Que forman un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, V_{BB} (que es la tensión del zener) y R_{B2} . Resolviéndolas obtenemos:

$$R_{B2} = 180\Omega \quad \text{y} \quad V_{BB} = 13V$$

Calculamos ahora el valor de R_P (Resistencia de Potencia) según la expresión:

$$R_P = \frac{V_{AC} - V_{BB}}{I_1 - I_Z} = 10K\Omega \quad \Rightarrow \quad P_{RP} = \frac{(V_{AC} - V_{BB})^2}{R_P} = 4,3W$$

Con estos valores se elige una resistencia de potencia de $10K\Omega$ a $10W$, debido a que una resistencia de $5W$ levanta mucha temperatura al estar cerca de su valor de máxima potencia.

Considerando la tensión de entrada como $220V_{ef}$, y en el caso más desfavorable, (lámpara apagada) y con una corriente de mantenimiento de $5mA$. La potencia del diodo zener deberá ser:

$$P_z = V_z \cdot I_{zmax} = 13V \cdot 20mA = 0,25W$$

2.1.3. Generación de la Señal de Control

Tal cual lo indica el método, se busca crear un escalón de tensión a partir de la suma de dos señales, una continua y el seno rectificado de la línea. Estas señales llegarán al valor de disparo del emisor TUJ, el cual disparará por corriente al SCR.

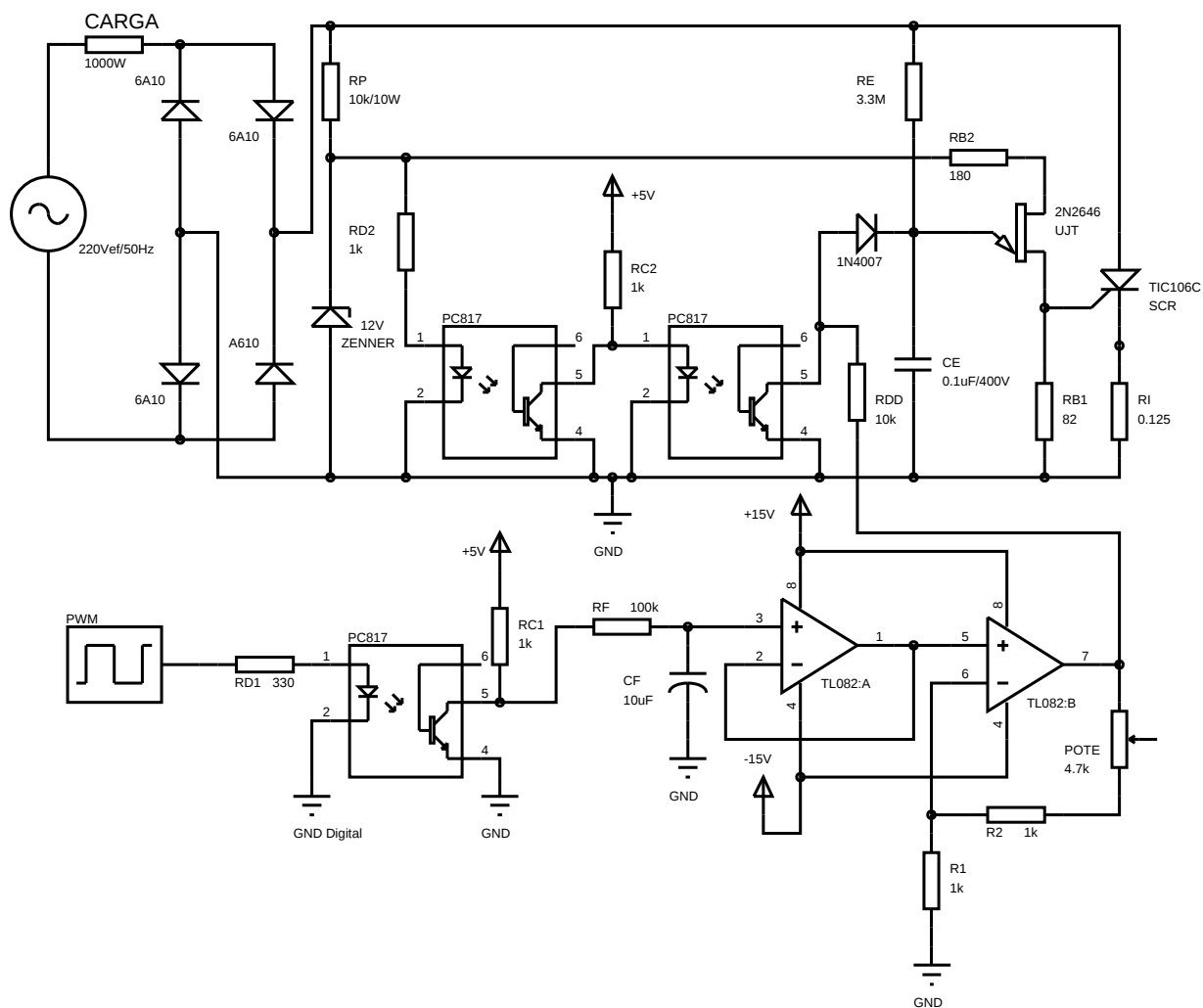
El nivel de continua se logrará a través de un operacional, mientras que la señal seno rectificado será brindada a través de una red RC cuyo punto medio estará conectado al emisor del TUJ.

Para calcular R_E tendremos en cuenta que en el caso del capacitor C_E se encuentre descargado al inicio del ciclo (porque apliquemos una V_{REF} de cero voltios), deberá cargarse al valor de $10V$ en un tiempo de $10mS$. De esta manera con una amplitud de $V_{ACpico} = 311V$ aplicada a la resistencia R_1 , deberá cumplirse:

$$\begin{aligned} V_C &= V_{AC}(1 - e^{-\frac{t}{R_E \cdot C_E}}) \\ \frac{V_C}{V_{AC}} &= 1 - e^{-\frac{t}{R_E \cdot C_E}} \\ e^{-\frac{t}{R_E \cdot C_E}} &= 1 - \frac{V_C}{V_{AC}} \\ -\frac{t}{R_E \cdot C_E} &= \ln\left(1 - \frac{V_C}{V_{AC}}\right) \\ R_E &= -\frac{t}{C_E \cdot \ln\left(1 - \frac{V_C}{V_{AC}}\right)} \\ R_E &= -\frac{10mS}{100nF \cdot \ln\left(1 - \frac{10}{311}\right)} \\ R_E &= 3M\Omega \end{aligned}$$

Donde hemos elegimos $C_E = 0,1\mu F$ y tomamos el valor normalizado de $R_E = 3,3M\Omega$.

Ahora que ya tenemos la señal del seno, debemos agregar el nivel de continua generado por los operacionales, el cual se encuentra aislado a través de un diodo.



Debido que necesitamos que el sistema sea controlado por un PWM, primero se aísla la entrada del mismo con un optoacoplador, polarizado para que funcione al corte y saturación. El único criterio utilizado para esto es que entre dentro de la zona de corte y saturación, lo cual puede ser realizado poniendo una resistencia de colector mayor a la resistencia que polariza del diodo de entrada. Luego, la señal es insertada en un filtro pasa bajos, cuya frecuencia de corte f_c será:

$$f_c = \frac{1}{C_F \cdot R_F} = \frac{1}{100K\Omega \cdot 10\mu F} = 1Hz$$

Este filtro actúa de integrador, y transforma los pulsos del PWM en un nivel de continua proporcional al Duty Cycle. Una vez adaptada la impedancia del filtro con un buffer, la señal es amplificada a los valores deseados. La ganancia mínima del amplificador es de:

$$G_{min} = 1 + \frac{R2}{R1} = 1 + \frac{1K\Omega}{1K\Omega} = 2$$

La misma se puede ajustar para obtener los valores deseados en el emisor del TUJ.

Por último, ya que para cortar el 2N2646 es necesario cortar la tensión en el emisor, se agrega un circuito que genera el cruce por cero que el operacional no posee. Este circuito está dado por dos optoacopladores que conmutan cuando el zenner se apaga debido a que la señal de la línea llega a cero. Esta conmutación manda a masa la señal de los operacionales a través de una resistencia R_{DD} . Esta resistencia también afecta al circuito que carga el capacitor C_E , y su valor fue elegido empíricamente.

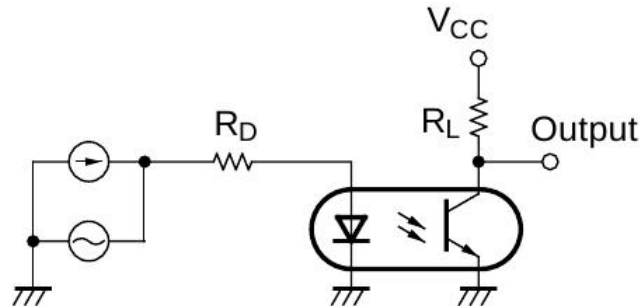
2.1.4. Generación de la Señal a Muestrear

Habiendo terminado con el diseño del dimmer, pasamos al diseño del circuito de adaptación de la señal que servirá de muestra para medir el consumo de las luminarias. Lo primero que buscamos es realizar una muestra que sea proporcional a dicha corriente, para lo cual ponemos una resistencia sensora de muy pocos Ohm, de manera tal que la caída de tensión en la misma sea despreciable. Con tal fin se colocan 8 resistencias de 1Ω al 1 % en paralelo, lo cual forma una resistencia de $0,125\Omega$. Bajo estas condiciones, cuando la corriente por la carga sea máxima (unos 4.54 A), la caída de tensión en la resistencia será como máximo de:

$$V_{RI} = I_{carga} \cdot R_I = 4,54A \cdot 0,125\Omega = 567mV$$

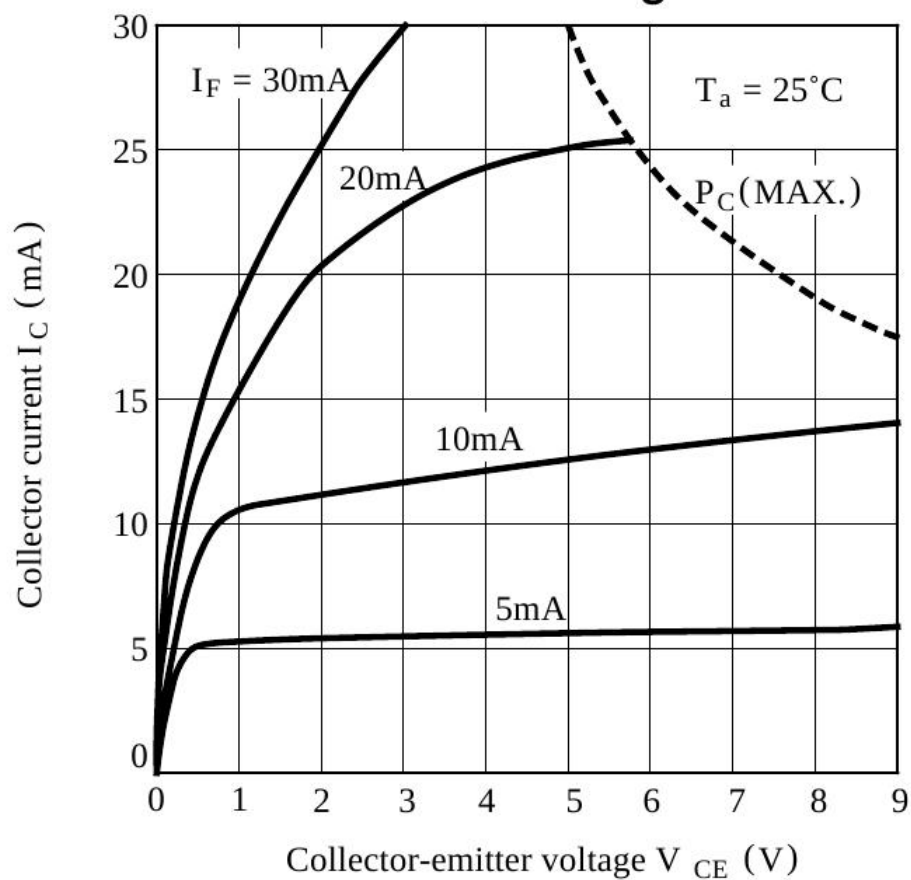
Al mismo tiempo, la forma de la señal de corriente en la carga será la misma que la forma de la señal de tensión en R_I , por lo que podemos utilizarla para conocer la potencia desarrollada en la carga.

Es aquí donde se presenta un problema, ya que debemos aislar la señal para poder muestrearla. Esto implica utilizar un optoacoplador que separe la masa de la etapa digital y la etapa de potencia. Debemos entonces buscar una polarización para el mismo, lo cual solo podrá ser logrado haciéndolo funcionar en su zona lineal. Esta polarización incluye montar la señal en un nivel de continua, el cual entrará en el diodo. Éste transmitirá la señal al fototransistor, el cual la reproducirá del otro lado con un nivel de continua de su propia polarización.



Lo primero que que hacemos es polarizar el optoacoplador. Sus curvas de funcionamiento pueden ser observadas a continuación:

Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage



Observamos que la ganancia de corriente del PC817 (el integrado elegido) es $G_I = 1,2$ en su zona lineal. Ahora bien, la más lineal de las curvas está dada para una corriente

$I_D = 5mA$ (correspondiente al diodo), para la cual elegimos una tensión de colector-emisor de 3V. Con ese valor, la resistencia de colector R_{C3} será:

$$R_{C3} = \frac{V_{RC3}}{I_{RC3}} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{G_I \cdot I_D} = \frac{5V - 3V}{1,2 \cdot 5mA} = 333,33\Omega \approx 330\Omega$$

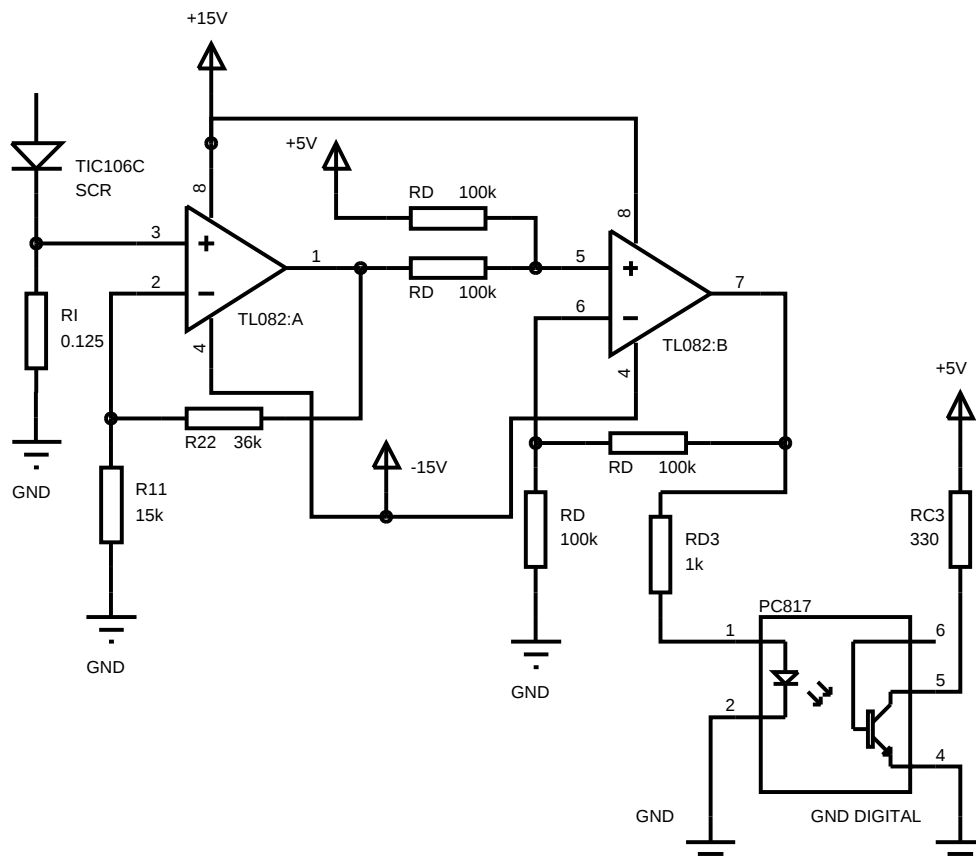
Donde $V_{CC} = 5V$ y es la tensión de alimentación, y V_{CE} es la tensión colector-emisor elegida.

Con este valor, y tomando el valor de continua que polariza el diodo $V_{BB} = 5V$, tendremos que:

$$I_D = \frac{V_{BB} - V_D}{R_{D3}} \Rightarrow R_{D3} = \frac{V_{BB} - V_D}{I_D} = \frac{5V - 1,2V}{5mA} = 760\Omega$$

Donde V_D es la caída de tensión típica del diodo. Además, en la práctica, tomamos $R_{D3} = 1K\Omega$ ya que lograbamos una mejor polarización.

La suma del nivel de continua y la señal a aislar se logró con un sumador. Además se agregó un amplificador a la señal de muestra, para lograr una mayor excursión a la salida del optoacoplador. La ganancia de dicho amplificador fue ajustada manualmente para llegar al MES, obteniendo el siguiente circuito:



Donde:

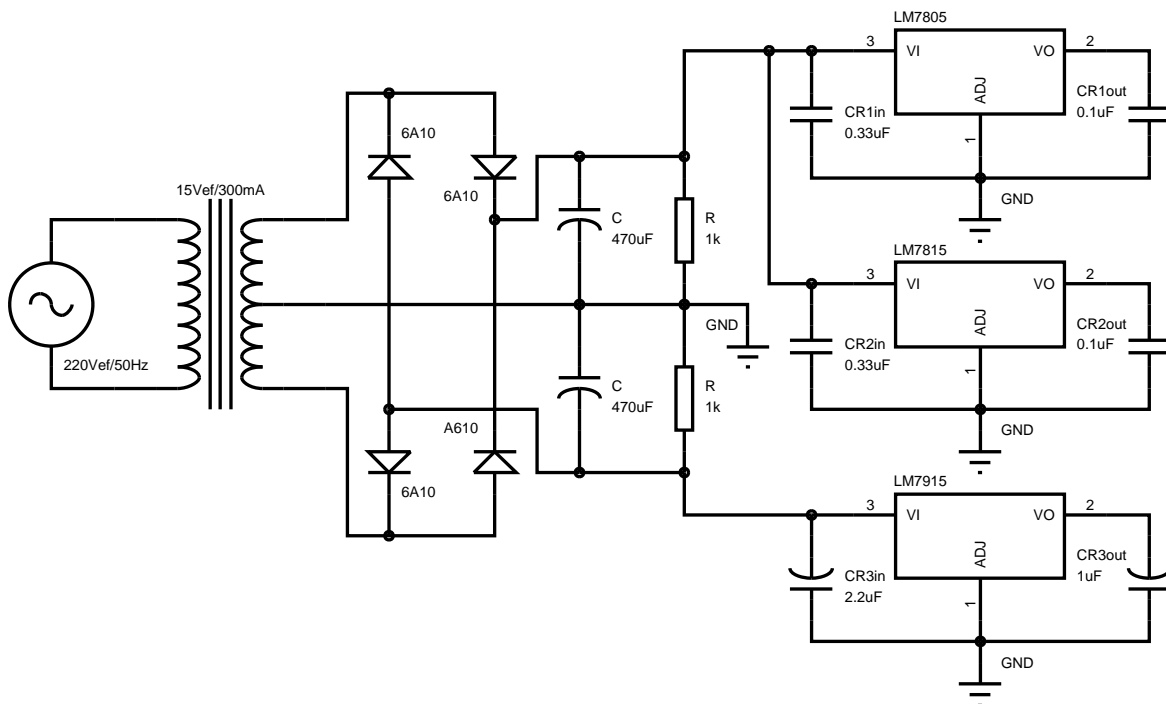
$$G_{AO} = 1 + \frac{R_{22}}{R_{11}} = 1 + \frac{36K\Omega}{15K\Omega} = 3,4$$

Una vez que la señal pasa por este circuito, está lista para ser recibida por la etapa digital.

2.1.5. Fuente de Alimentación

Debido a la necesidad de tener las masas de la etapa de potencia y la etapa de control separadas, diseñamos una fuente de alimentación cuyo propósito es alimentar los circuitos del dimmer.

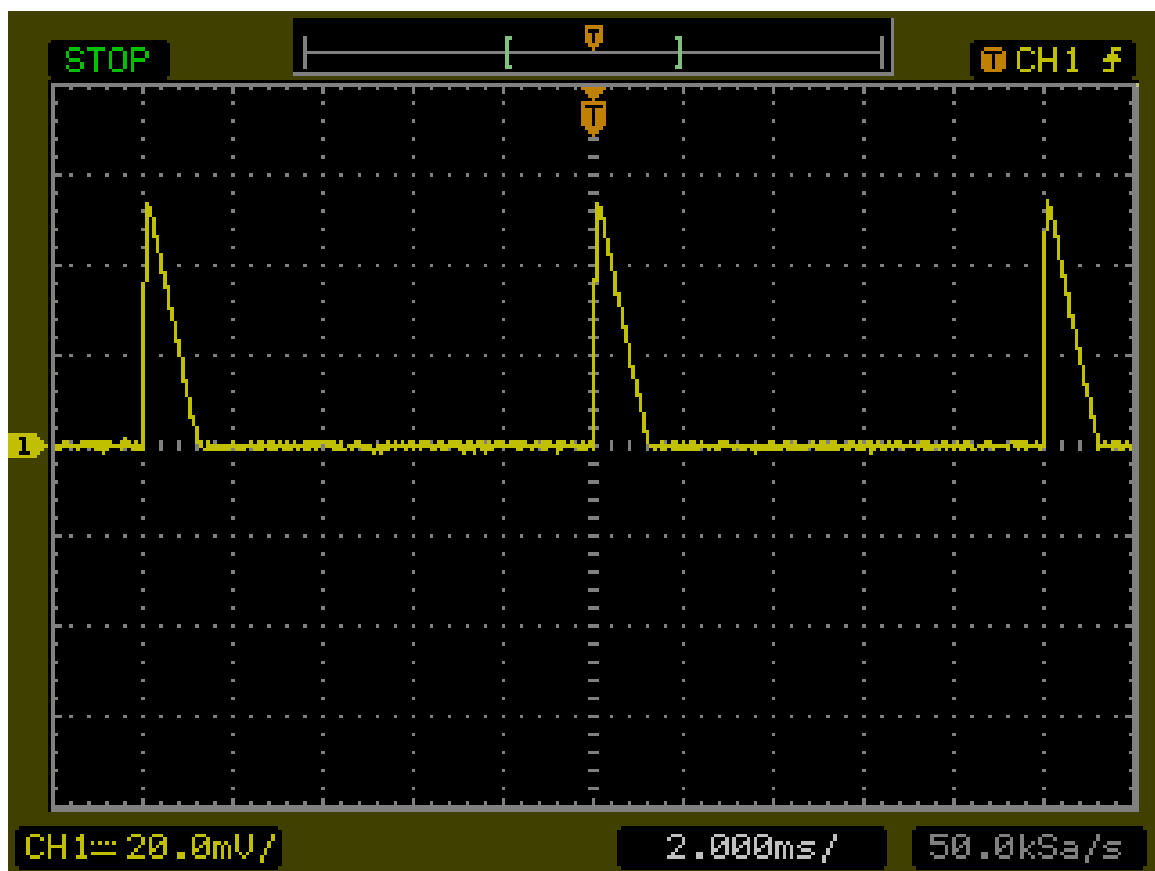
Para evitar circuitos complejos, se decidió hacer una simple fuente regulada, cuyo circuito se muestra a continuación:



2.2. Mediciones

Una vez armado, procedemos a realizar algunas mediciones y capturas con un osciloscopio para mostrar el funcionamiento real del dispositivo.

Se decidió utilizar una carga pequeña, en este caso de 60 Watts, y las capturas se tomaron a los bornes de la resistencia sensora. La primera captura esta referida a un PWM con un Duty Cycle de 20 %:



Teniendo 2 mseg por división, la onda ocupa 10 mseg, es decir, 180° , que es el periodo de una senoidal rectificada a 50Hz. Observamos que solo hay conducción durante 1,2 mseg. Por lo tanto:

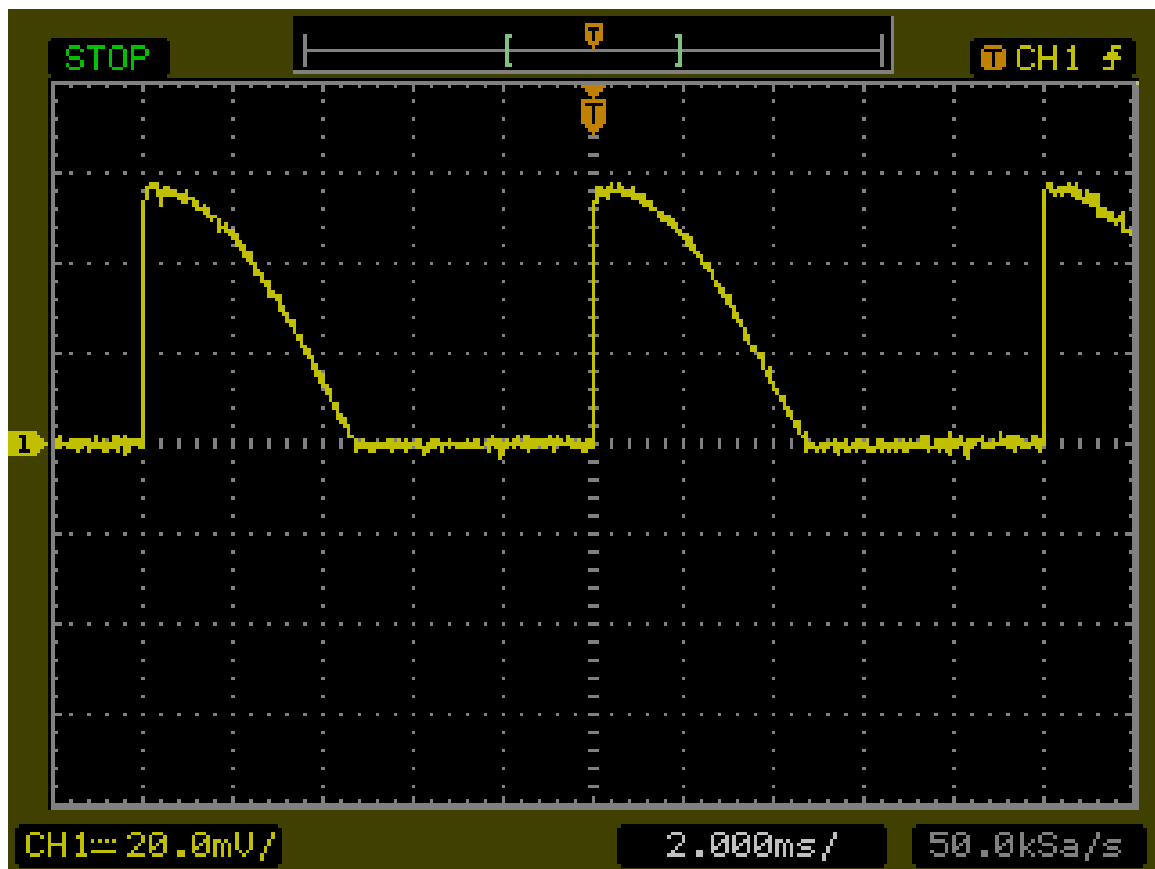
$$\theta_c(20\%) = \frac{180 \cdot 1,2mseg}{10mseg} = 21,6^\circ$$

Por regla de tres simple tendremos un ángulo de conducción $\theta_c = 21,6^\circ$. Si tomamos el porcentaje del ángulo, este será:

$$\theta_c(20\%) = \frac{21,6 \cdot 100\%}{180} = 11,1\%$$

Con lo cual podemos decir que hay un control de la potencia desarrollada en la carga a partir del 11,1 % del ángulo de conducción. También observamos que hay una alinealidad en el circuito de control, la cual no puede ser evitada debido a la naturaleza del circuito, pero al mismo tiempo es útil, ya que evita que se pierda el control sobre la carga cuando el Duty es muy bajo.

Si ahora tomamos un Duty del 50 %, obtenemos la siguiente señal:



Observamos un tiempo de conducción de 4,8 mseg; lo cual es prácticamente medio ángulo de conducción, es decir:

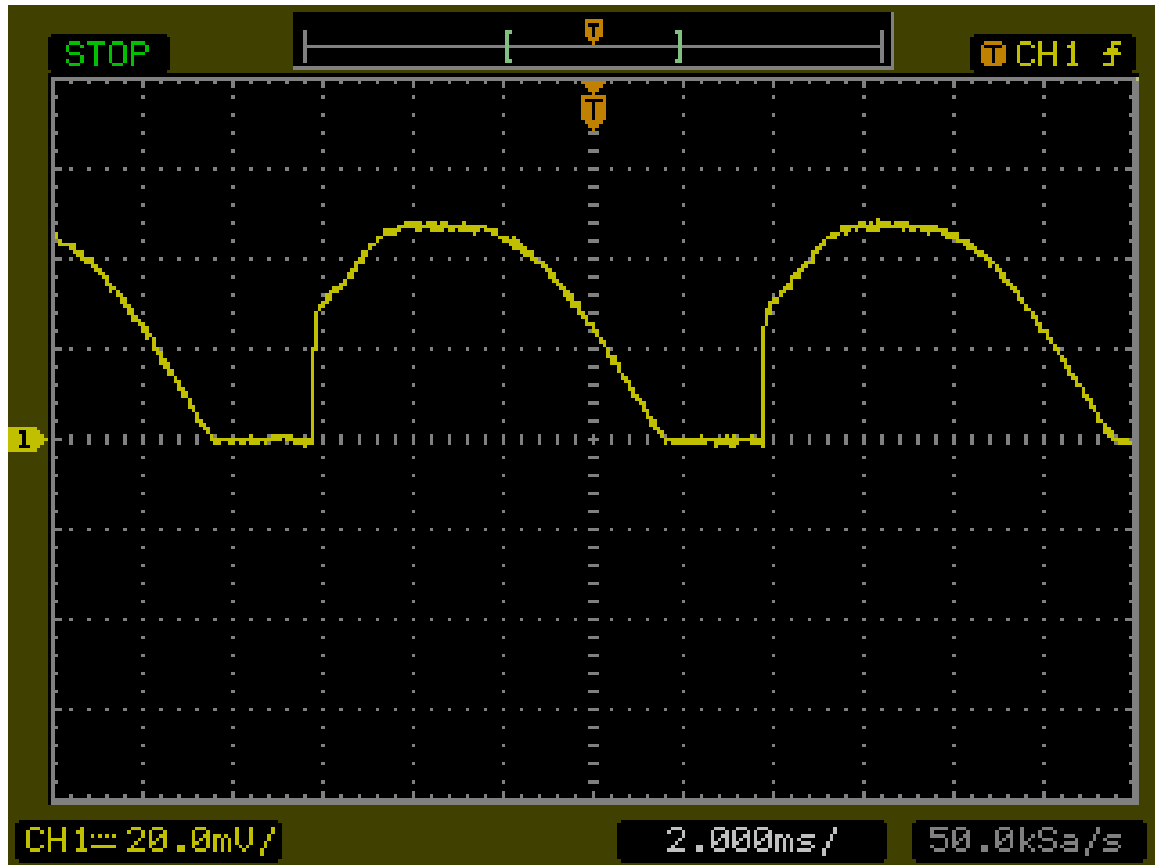
$$\theta_c(50\%) = \frac{180 \cdot 4,8 \text{ mseg}}{10 \text{ mseg}} = 86,4^\circ$$

Por lo que tendremos:

$$\theta_c(50\%) = \frac{86,4 \cdot 100\%}{180} = 48\%$$

Podemos ver que la zona más lineal del circuito esta dada a la mitad del ángulo de conducción. En este punto el mismo es casi la mitad del ciclo, por lo que se provee un buen control sobre la carga.

Si ahora tomamos el Duty de 80 %, obtenemos:



En este caso hay conducción durante 7,6 mseg; por lo que:

$$\theta_c(80\%) = \frac{180 \cdot 7,6mseg}{10mseg} = 136,8^\circ$$

Tendremos entonces:

$$\theta_c(80\%) = \frac{136,8 \cdot 100\%}{180} = 76\%$$

Nuevamente observamos un valor muy cercano al ideal (casi 80 % del ángulo de conducción), lo cual nos dice que la linealidad se mantiene hasta al menos el 80 % del Duty.

Capítulo 3

Etapa de Control

3.1. Circuito de Control

Una vez lista la etapa de potencia, procedimos a diseñar la etapa de control. Ésta incluye el control sobre el dimmer a travez de un PWM, la recepción de los datos por parte del sensor, el cálculo de potencia de acuerdo a los valores muestreados, y el envío de los datos a la etapa que lleva a cabo la interfaz con el usuario.

Para nuestro procesamiento de datos se eligio un DSPIC30F3013, que estará conectado a un modulo TWS-BS4 (transmisor ASK de 418 MHz), un RWS-375-5 (receptor ASK de 418MHz), un circuito de adaptación para la señal a muestrear proveniente del Dimmer, mientras que se conecta al mismo para poder controlarlo utilizando su PWM. Para facilitar la tarea de programación, se decidio que sea programable on-board, por lo que estará conectado con pines dispuestos para el ICD2. Finalmenete, se conectará de manera serial con el Pic encargado de la interfaz con el usuario. A continuación se explicarán cada uno de los circuitos asociados.

3.1.1. Circuito de Adaptación

Una vez que el DSPic se conecta al Dimmer, éste será controlado por una señal de PWM proporcional a la potencia desarrollada en la carga. Ahora bien, ésto se vera reflejado en la resistencia sensora cuya señal ha sido aislada con un optoacoplador para ser muestreada por el DSPic.

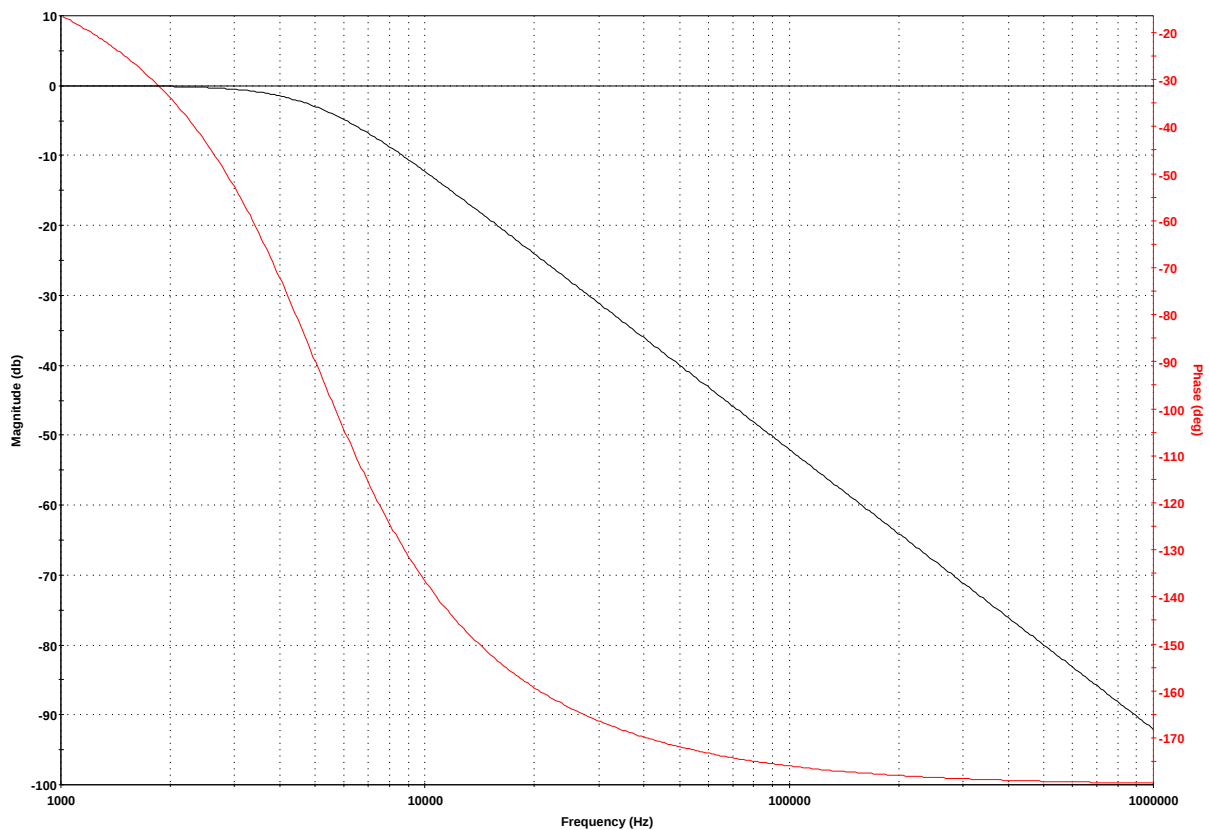
Una vez aislada, la misma debe ser amplificada, pero para ello primero se debe eliminar el nivel de continua que posee, para evitar que éste también sea amplificado. Es por esto que primero se hace pasar a la señal por un filtro pasa altos, cuya frecuencia de corte es:

$$f_c = \frac{1}{C \cdot R} = \frac{1}{1\mu F \cdot 100K\Omega} = 10Hz$$

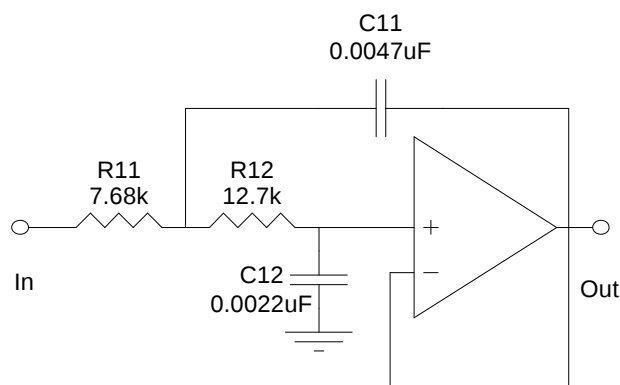
Una vez filtrada, se debe adaptar la impedancia del filtro, lo cual se hará con un buffer. Una vez hecho esto, se la puede amplificar para que alcance los valores máximos que el AD puede tolerar. Debido a que la señal cambia su forma de acuerdo al tiempo de conducción, se decidio que el amplificador debia de ser de ganacia variable. Por otra parte, una vez que la señal sale del optoacoplador, la misma se encuentra invertida, por lo que el amplificador será un inversor.

Luego de haberla amplificado, es necesario incluir una continua para que los valores negativos de la señal no quemen el AD. Debido a esto, la señal es insertada en un sumador junto con una continua salida de un divisor resistivo cuyo valor medio es de 2,5V.

Finalmente, la señal es llevada a un filtro anti-alias de segundo orden con una frecuencia de corte a -3 dB de 5KHz que diseñamos utilizando el programa FilterLab de la empresa Microchip. Ésta fue tomada luego de medir el ancho de banda de la señal utilizando la FFT de un osciloscopio digital. A continuación vemos el Bode resultante del diseño del filtro:

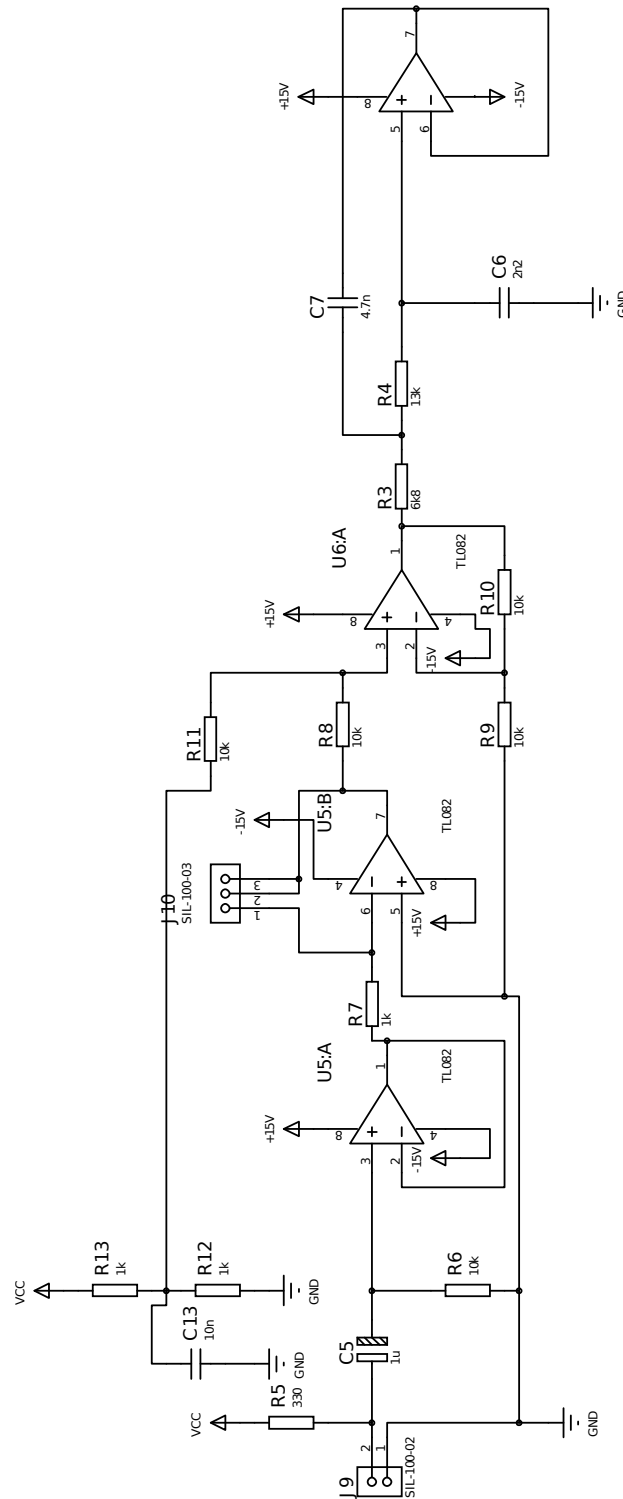


Obteniendo como filtro el siguiente circuito:



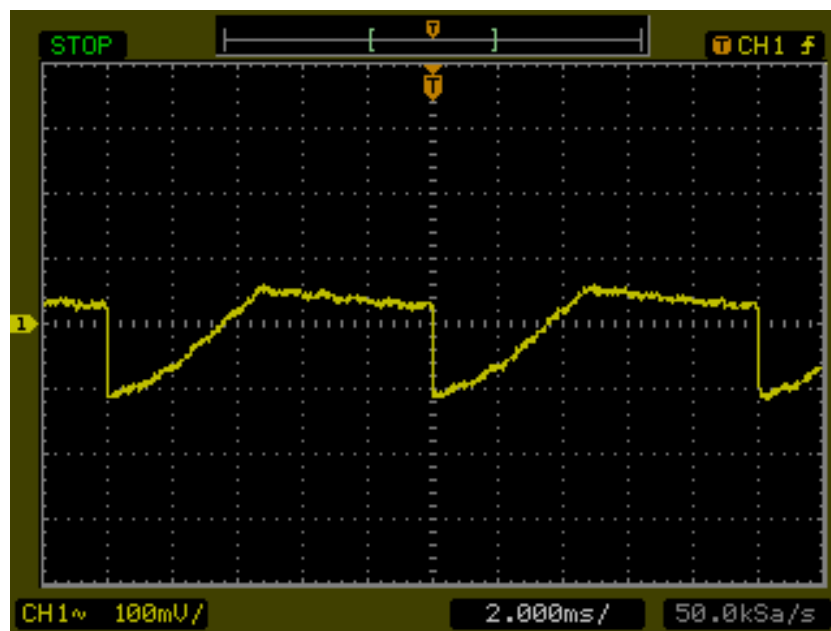
Posteriormente, en el armado, se colocaron valores normalizados de resistencias.

Luego de implementar todas estas etapas, podemos ver el resultado final:

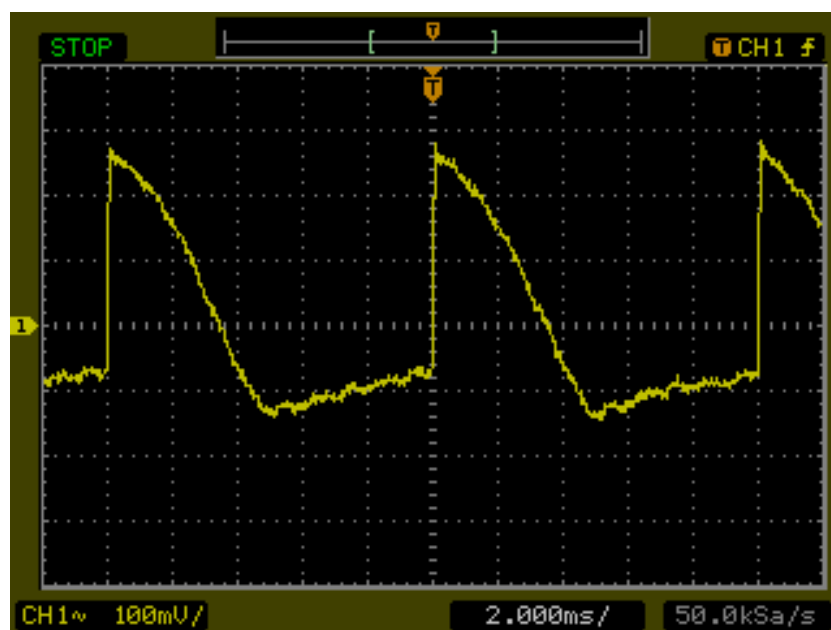


Mediciones

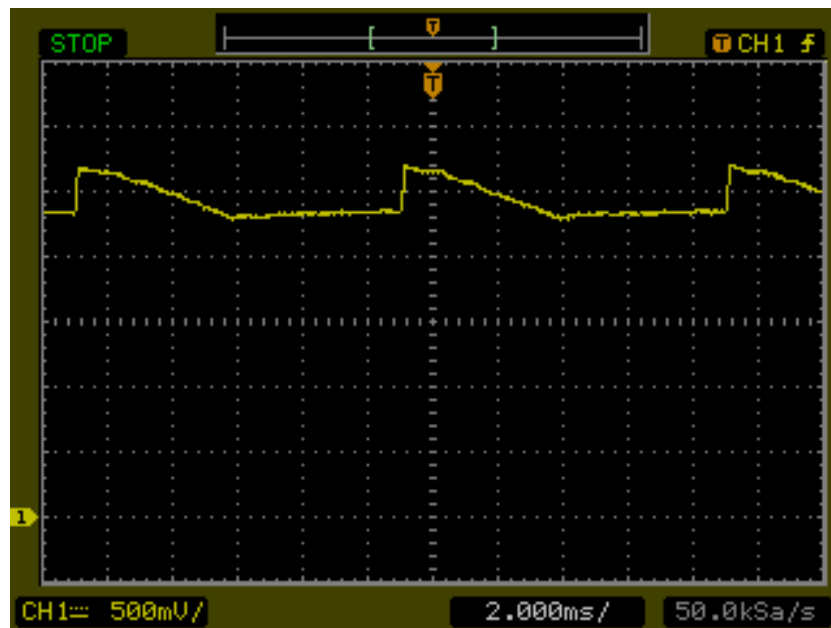
Luego de haber implementado el circuito, se realizaron algunas capturas con una carga de 60W. La primera nos muestra la señal luego de haber pasado por el filtro pasa altos:



Luego del filtro, y tal como mencionamos anteriormente, la señal es amplificada e invertida:



Finalmente se le suma un nivel de continua para situarla a la mitad del conversor AD:



Se puede observar como el nivel de continua se encuentra a los 2,5 V; que es el valor medio del conversor cuya tensión de referencia máxima es de 5V.

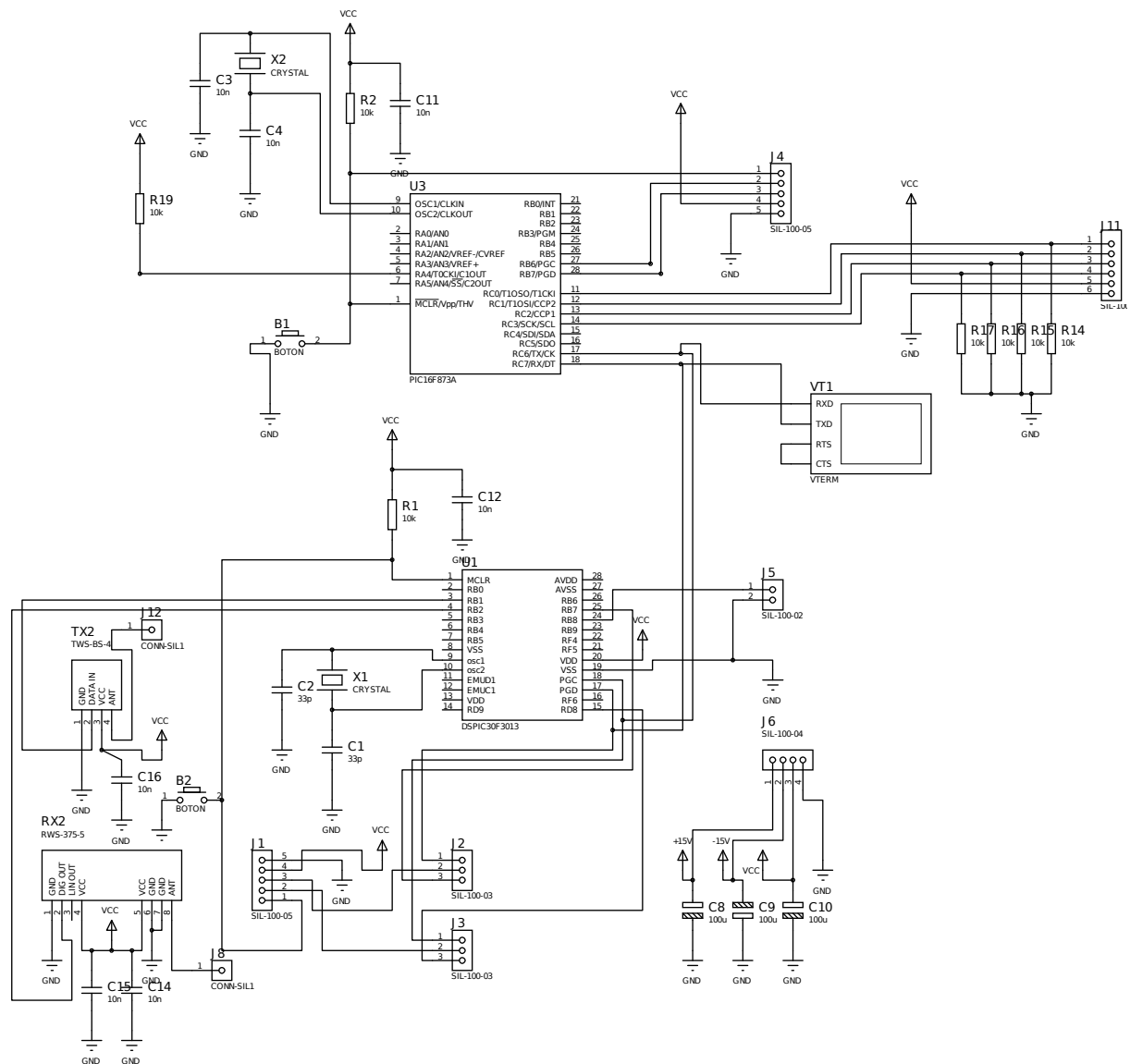
3.1.2. Circuitos de Transmisión

Dentro de la etapa de control hay tres circuitos de transmisión, uno que se encarga de la transmisión y recepción entre el sensor y el DSPic, otro encargado de la comunicación entre el DSPic y el Pic contrador de la interfaz con el usuario, y finalmente el enlace entre el DSPic y el ICD2.

El primero esta dado por dos módulos ASK que funcionan a 418 Mhz que se conectan directamente al DSPic mediante I/O de propósitos generales. A partir de aquí, el protocolo y armado de tramas esta dado por el software.

El segundo circuito es una conexión directa entre el Pic y el DSPic dada como una comunicación en interfaz RS-232 en formato 8N1 a 1200 baudios. Para ello se utilizaron los puertos propios para dicha interfaz.

El último esta dado por el enlace entre el DSPic y el ICD2, y sólo es utilizado cuando se necesita programar el DSPic. Este circuito tambien está compartido con el Pic, para que pueda ser programado utilizando la misma ficha de entrada del ICD2.



Capítulo 4

Interfaz con el Usuario

4.1. Visualizacion de los datos

Para que el usuario pueda tomar desiciones, es necesario que los datos puedan ser visualizados. Para ellos se utilizará un LCD gráfico conectado a un Pic. Se decidio utilizar un Pic esclavo al DSPic debido a que éste último no posee suficientes patas para controlar el LCD.

Se muestran tres datos:

- El porcentaje del PWM, que será proporcional al ángulo de conducción en el Dimmer.
- El consumo en la carga medido en Watts.
- La iluminación en el sensor medida en Lux.

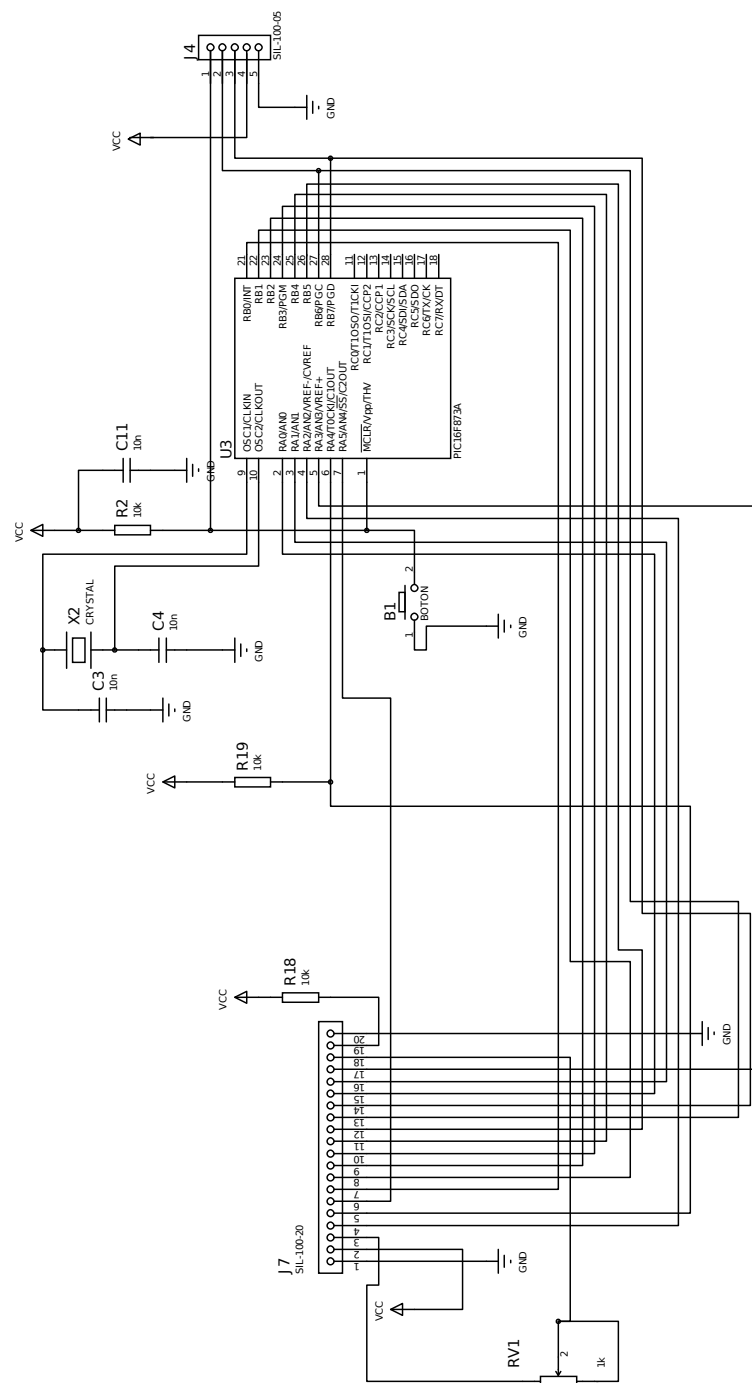
4.2. Ingreso de Datos

Para que el usuario pueda regular la intensidad lumínica, es necesario que pueda ingresar datos al control de las luminarias. Con tal fin, se ha colocado un teclado numérico matricial, el cual va conectado al Pic encargado de la interfaz. Con este teclado el usuario puede ingresar 3 funciones:

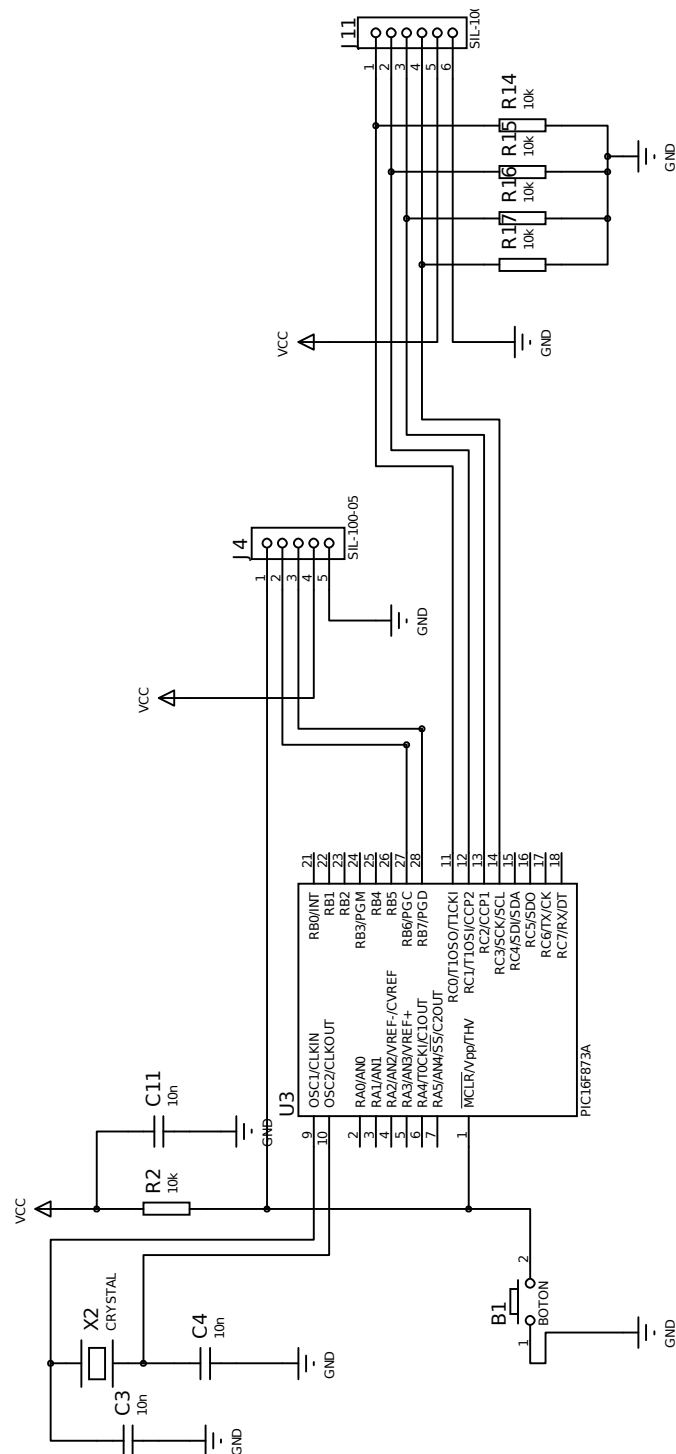
- Con el boton perteneciente al valor 1, el usuario decrementa el Duty del PWM en un 5 %. Al hacerlo, la potencia en la carga disminuye debido a que el Duty Cicle es directamente proporcional al ángulo de conducción.
- Con el boton correspondiente al valor 2, el usuario incrementa el Duty Cicle en un 5 %, lo que conlleva a un aumento de la potencia desarrollada en la carga.
- Finalmente, con el boton 3 se entra en el modo automático del dispositivo. En este caso, el DSPic toma el valor de iluminación presente en el sensor, y busca mantener el mismo con un $\pm 10\%$ de tolerancia. Se puede salir de este modo con tan solo presionar cualquiera de las otras teclas.

4.3. Circuito de Coneccionado

Luego de haber planteado los objetivos que esta etapa debe cumplir, debemos buscar la manera de implementar el circuito necesario para realizarla. Para ello, se utilizará un PIC16F873A, el cual estará conectado de manera esclava al DSPic. El esquema de coneccionado con el LCD (J7) es el siguiente:



La conexión con el teclado (J11) es mucho más sencilla:



Capítulo 5

Dispositivo Sensor de Iluminación

5.1. Elección del Sensor

Este circuito es el encargado de sensar el nivel de iluminación. Con este fin se conecta un PIC16F873A a un circuito que genera una tensión proporcional a los lux que inciden sobre un LDR.

Se eligió un LDR como sensor ya que nos brinda un tiempo de respuesta alto, volviéndose un elemento integrador, por lo que actúa de manera similar a un ojo humano. Aun así se presentaron algunos problemas. Los sensores que conseguimos no poseían hoja de datos, por lo que se debió realizar una contrastación con el luxómetro del laboratorio. Luego de haber organizado los datos en una tabla, se realizó una regresión estadística de los datos, obteniendo una ecuación aproximada de la respuesta del LDR.

El procedimiento fue el siguiente:

- Primero se conectó uno de los reflectores de 500 W utilizados para probar la etapa de potencia. La luz de estos reflectores tiene un determinado ancho de banda, por lo que debemos calibrar nuestro sensor para captar dicho ancho de banda, siendo que estas luminarias serán las utilizadas para mostrar el proyecto.
- Luego se coloca el Luxómetro a la misma altura del LDR, y se toma la cantidad de lux en este punto, mientras que con un tester se mide la resistencia del sensor.
- Por último, se cambia la distancia a la que se encuentra el reflector para ir variando la iluminación sobre el sensor e ir armando la tabla.

Una vez que hemos armado nuestra tabla, podemos graficar los datos buscando que se genere la ecuación correspondiente a la respuesta del sensor. Como ya mencionamos previamente, esto se puede realizar con una regresión estadística. En nuestro caso utilizamos la herramienta Calc disponible en OpenOffice.org. Se le pidió al programa que extrapolara la ecuación que relacionaba las columnas en forma de una función de potencia, obteniendo la siguiente fórmula:

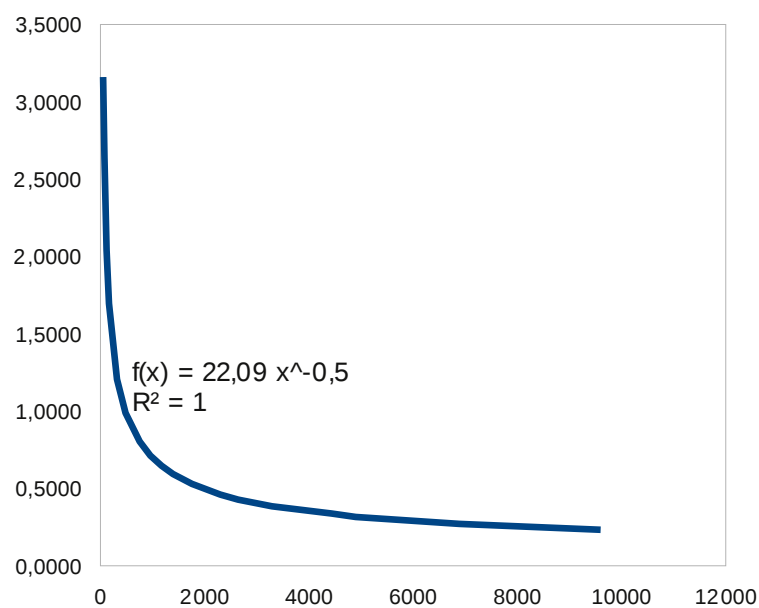
$$R = 22,09 \cdot i^{-0,5}$$

Donde R es la resistencia del sensor medida en $K\Omega$, e i es la iluminación sobre el LDR medida en Lux. De esta manera también obtuvimos la gráfica de la respuesta del sensor.

En resumen, los datos recolectados fueron los siguientes:

Lux	R($K\Omega$)
52	3,160
75,3	2,638
116,1	2,039
163	1,694
316	1,205
479	0,987
750	0,802
955	0,711
1172	0,646
1391	0,593
1754	0,528
2300	0,460
2640	0,426
3290	0,384
4430	0,337
4900	0,314
6890	0,270
9600	0,231

Se obtuvo la siguiente gráfica como respuesta:

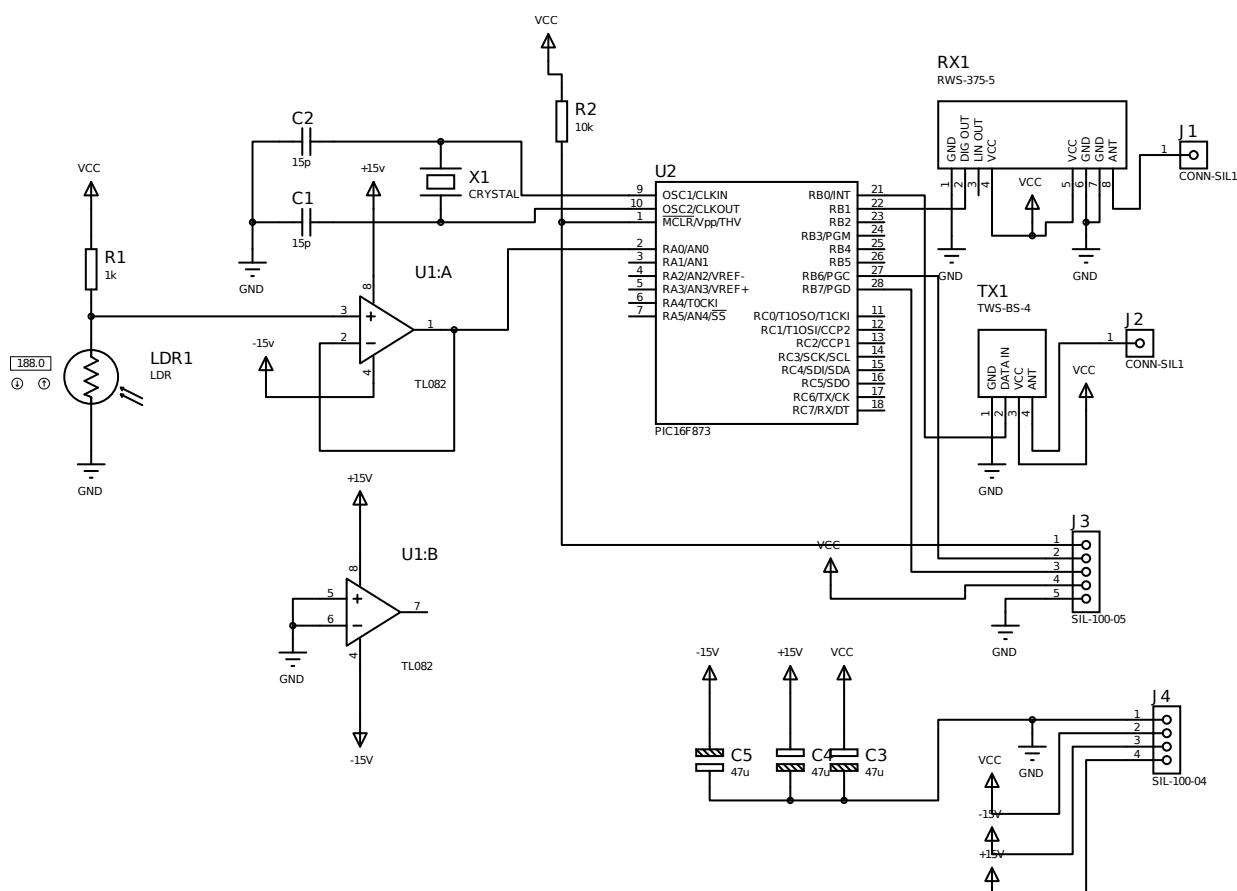


5.2. Diseño del Circuito

Ahora que conocemos la manera en que funciona nuestro sensor, podemos proceder al diseño y armado del circuito. Se decidió que la mejor manera de tomar las muestras del LDR es incluir al sensor en un divisor resistivo, cuyo valor de tensión variará con el nivel de iluminación.

Luego de haber hecho esto, se toma el nivel de tensión y se lo hace pasar por un buffer que adapte la impedancia entre el divisor resistivo y la entrada del conversor AD. El Pic tomará el valor y lo transmitirá cuando reciba la orden por parte de la etapa de control. Para ello está conectado a un transmisor y un receptor, quienes están encargados de la comunicación inalámbrica.

El circuito también posee un conector que le permite acoplarse al ICD2 para poder programar el Pic on-board. Finalmente obtenemos el siguiente esquema:



Capítulo 6

Transmisión de Datos

6.1. Comunicación entre Dispositivos

Mientras que en los capítulos anteriores se habló de los circuitos que diseñamos, en este capítulo hablaremos de la comunicación entre los dispositivos y la manera en que se transmitieron los datos.

En nuestro proyecto existen dos enlaces de datos importantes, el primero es el realizado entre el DSPic y el Pic del sensor; el segundo está dado por el DSPic y el Pic encargado de mostrar los datos. Cada uno de estos enlaces y sus especificaciones serán tratados aquí.

6.2. Enlace Control-Sensor

En este caso, el enlace del que nos encargaremos es el realizado entre el DSPic y el Sensor. Debido a que físicamente están separados, se decidió que este enlace debía ser inalámbrico. Con este fin se compró dos pares de módulos transmisores y receptores, con modulación ASK y a una frecuencia de portadora de 418MHz.

En un principio, los módulos serían usados de acuerdo a la nota de aplicación de la hoja de datos, utilizando integrados de codificación y decodificación para el transmisor y el receptor respectivamente. Posteriormente, debido a las limitaciones que dichos integrados imponían, se decidió eliminarlos y conectar los módulos directamente a los dispositivos digitales (Pic y DSPic). Esto reducía los costos y el tamaño de las placas, simplificando el ruteo de las mismas, pero al mismo tiempo agregaba complejidad al software, el cual debería realizar más tareas como la organización de las tramas y la detección de errores. A continuación se explicará como estos problemas fueron solucionados.

6.2.1. Protocolo de Transmisión

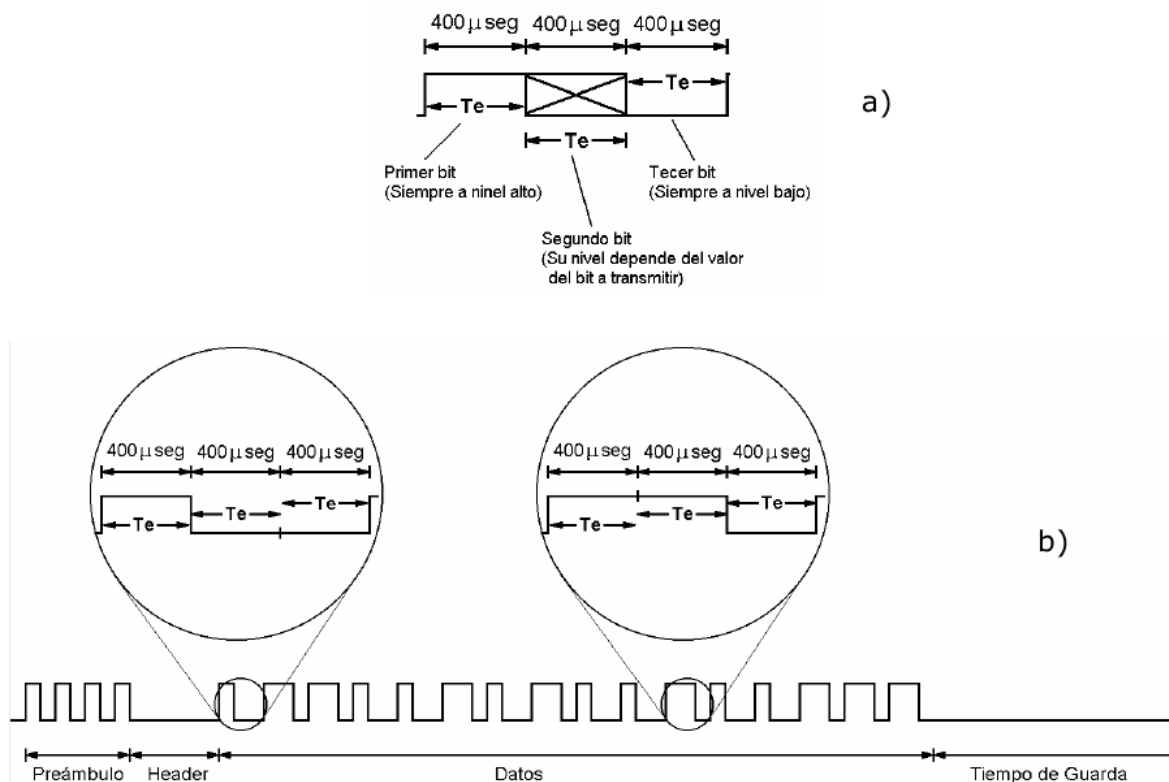
Para armar un protocolo de transmisión lo primero que debimos hacer es establecer el objetivo de la trama y el tipo de enlace. El proyecto demandaba que la comunicación entre el Pic y el DSPic fuera bidireccional, pero al mismo tiempo, debido a que todos los módulos funcionan a la misma frecuencia, no podía ser Full Duplex, por lo que se decidió que la misma fuese Half Duplex. De esta manera, cuando uno transmitiera el otro solo podía recibir. Esto generaba otro problema, ¿qué sucedería si ambos trataban de transmitir al mismo tiempo?. Es por esto que se decidió que sólo el DSPic podía iniciar la comunicación, y al hacerlo el Pic transmitiría para responderle.

Una vez establecido esto, debemos crear una trama que nos permita transmitir de manera segura, para evitar la mayor cantidad de errores y que la comunicación sea exitosa. Para esto se utilizó como referencia el trabajo presentado en 2008 por Iván Hur Mota Navarro de la Universidad Autónoma Metropolitana de México.

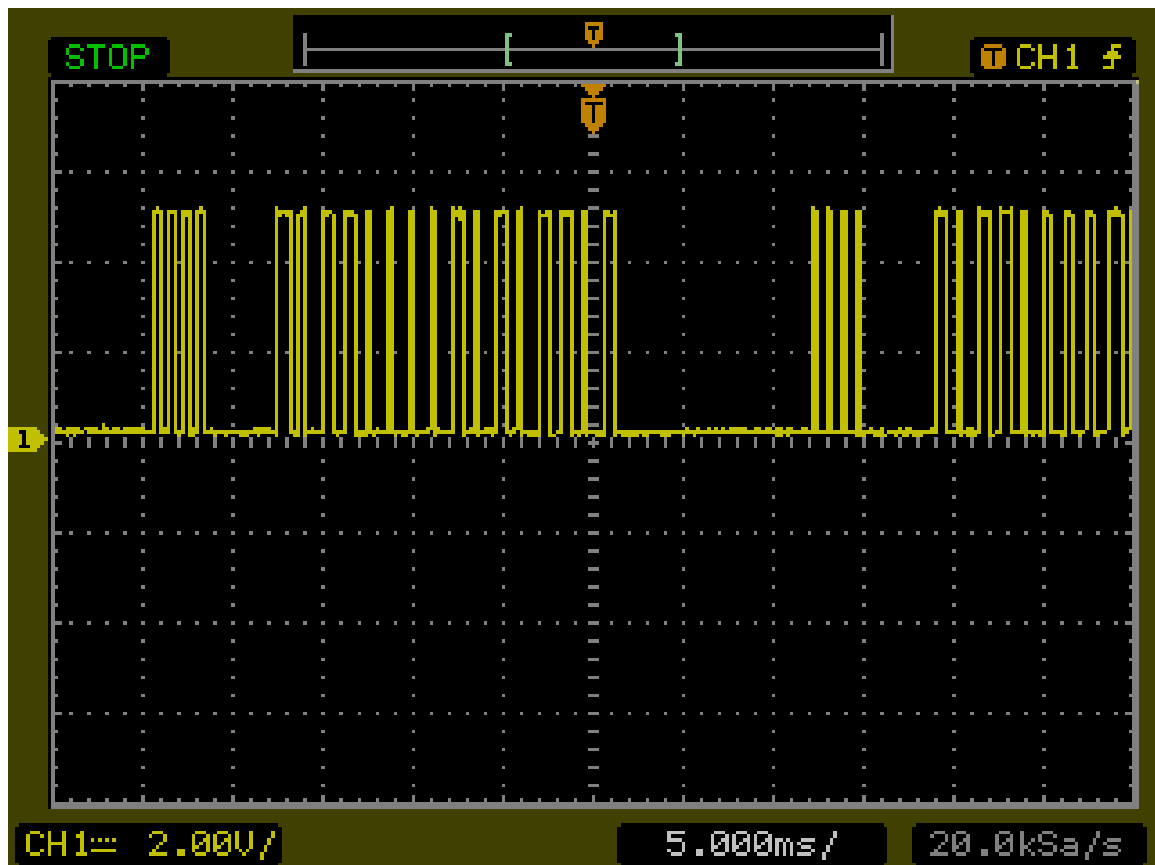
Trama

La trama se organiza en 4 partes: un preámbulo, un header, los datos, y un tiempo muerto. Debido a que es una transmisión serial, primero se debe definir el tiempo de bit $T_e = 400\mu\text{seg}$, el cual fue elegido teniendo en cuenta la velocidad de transmisión y recepción de los módulos.

- El preámbulo esta formado por 4 pulsos, es decir, cuatro unos cada uno seguido de un cero.
- El header es un cero que se extiende por $4m\text{seg}$.
- La trama de datos esta conformada por 16 bits. Antes de cada uno se coloca un uno, y luego del bit se coloca un cero, para garantizar una sincronización del receptor con el transmisor. Ahora bien, de los 16 bits, los 6 más significativos son de identificación, mientras que los 10 menos significativos son de datos.
- Finalmente, la trama termina con un tiempo muerto de $10m\text{seg}$, durante el cual no se transmite nada.



A continuación mostramos la captura realizada con un osciloscopio de una trama y media en nuestro circuito:



Protocolo

La comunicación fue organizada para que el sensor siempre este en modo de recepción, esperando la trama proveniente del DSPic. Las tramas son enviadas 3 veces seguidas para asegurar el enlace. Los diferentes dispositivos poseen un ID, o número de identificación, por lo que no acatan las tramas que no posean su ID. Cuando el dispositivo sensor recibe una trama, la guarda, verifica su ID, e ignora las demas en caso de ser correcto.

Una vez recibida la orden del DSPic para enviar el dato muestreado en el sensor, el Pic repite el mismo proceso de transmisión ya explicado, enviando los 10 bits de la conversión con el ID del DSPic.

Luego de que el DSPic manda la orden, queda esperando por un tiempo de 1 segundo por la respuesta. Si no la recibe, vuelve a mandar la orden.

6.3. Enlace Control-Interfaz

En este caso, la comunicación esta dada entre el DSPic y el Pic encargado de la interfaz con el usuario. La misma es en interfaz RS-232 en formato 8N1 a 1200 baudios , y esta formada por tramas seriales que viajan entre los pic.

6.3.1. Protocolo de Comunicación

El DSPic se comunica con el Pic a travez de 4 tramas:

- La primera manda el porcentaje del PWM con el que se está controlando el Dimmer.
- La segunda envia el consumo calculado por el DSPic de acuerdo al muestreo realizado de la señal adaptada de la resistencia sensora.
- La tercera manda los 8 bit menos significativos de los lux calculados a partir de los datos enviados por el Sensor.
- La cuarte, y ultima trama, envia los 8 bit más significativos de los lux.

Cada vez que el Pic recibe las cuatro tramas, las guarda y refresca el LCD con la nueva información.

Desde el Pic al DSPic se manda una sola trama que contiene las ordenes dadas por el usuario.

Capítulo 7

Conclusión

7.1. Conclusión

A lo largo de este informe se ha mostrado el diseño, construcción y medición del proyecto elegido. A travez del mismo podemos ver que se han cumplido los objetivos planteados al principio.

Comezaremos analizando el Dimmer. El principal problema que presento fue el diseño. La manera en que la parte digital interactúa con la parte analógica requirió de la implementación de circuitos de conmutación al igual que filtros y amplificadores. Como consecuencia se logra un control discreto de la potencia desarrollada en la carga, pero al mismo tiempo, se rebela una alinealidad causada por las propiedades de los componentes analógicos. Se debe tener en cuenta que el método utilizado genera una gran cantidad de armónicas, por lo que ya tenemos una condición no deseada. Estas componentes en frecuencia nos sacan control del circuito e introducen las alinealidades. Aún así se logra el control deseado, que habíamos establecido entre el 20 % y el 80 %. También se buscó que el circuito controlara hasta 1000W de potencia, lo cual fue comprobado con dos reflectores de halógenos de 500W cada uno conectados en paralelo.

El segundo problema más grande que se presentó fue el diseño del dispositivo sensor. Luego de varias pruebas, se decidió que un LDR era la mejor opción. Lamentablemente no se logró conseguir uno de estos componentes con hoja de datos, por lo que se debió realizar una caracterización del sensor para obtener su respuesta. La misma mostró mayor sensibilidad que la esperada, y la suficiente para entrar dentro de $\pm 15\%$ (con respecto al luxómetro) que habíamos buscado inicialmente.

En cuanto a las características de transmisión y recepción, todas fueron respetadas, dentro de los valores que se pudieron medir.

La interfaz con el usuario fue un punto vital del proyecto. Se lograron cumplir con las expectativas, mostrando todos los datos de manera sencilla y a travez de un mecanismo fácil de entender, por lo que el usuario no necesita conocer demasiado sobre el sistema para manejarlo a gusto.

Podemos concluir que el proyecto fue exitoso, y al mismo tiempo nos permitió observar nuevas formas de mejorarlo y aumentar sus características y capacidades. Quizás el logro más importante es que puede ser modificado para ser utilizado en una diversa cantidad de sistemas de domótica, que permitan controlar temperatura, humedad, etc.