



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA**



**DISEÑO DE UN ACCIONAMIENTO ELECTRICO PARA UNA EMPRESA
PRODUCTORA DE CABLE**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRICISTA**

CASTILLO P. ALEJANDRA C.

C.I: 17.776.818

VON STEINBERG M. VALENTINA

C.I: 17.048.753

VALENCIA, NOVIEMBRE 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA



DISEÑO DE UN ACCIONAMIENTO ELECTRICO PARA UNA EMPRESA
PRODUCTORA DE CABLE

CASTILLO P. ALEJANDRA C.

C.I: 17.776.818

VON STEINBERG M. VALENTINA

C.I: 17.048.753

VALENCIA, NOVIEMBRE 2011



INTRODUCCIÓN

ALCAVE C.A. empresa que se dedica a la producción de cables de altos voltaje de cobre y aluminio, entre otros, está compuesta por tres plantas (Conal, Potencia y línea Comercial), la sección de trefilación que se encuentra en el área de potencia, actualmente presentan dificultades con la máquina de trefilación y la extrusora, debido a que estas máquinas no tienen un control para que operen a una potencia regulada, para su operación según el tipo de cable, y lo cual genera pérdida de materia prima y falla en la calidad del producto.

Como respuesta a la problemática de esta empresa, se ha elegido desarrollar un prototipo de un accionamiento eléctrico que permita regular la potencia con la que se desee trabajar, ya que para cada tipo de cable que se va a producir la máquina necesita diferentes niveles de potencia.

El contenido del presente proyecto de grado ha sido desglosado en capítulos siguiendo la normativa de nuestra institución. A continuación se explicará de manera breve la información que comprende cada uno:

En el capítulo I, se menciona el problema, la justificación del proyecto, así como el objetivo general, los objetivos específicos y el alcance de esta investigación.

En el capítulo II, se describen los antecedentes encontrados y las bases teóricas que respalda al proyecto.



En el capítulo III, se dedica a señalar la metodología usada para desarrollar el proyecto, se refiere al tipo de investigación, a la técnica de recopilación, análisis de datos y las fases del desarrollo de dicho proyecto.

En el capítulo IV, se describe en detalle, la construcción y funcionamiento del accionamiento eléctrico, como también los dispositivos, programación y etapas que lo conforman.

En el capítulo V, está conformado por conclusiones y recomendaciones.



ÍNDICE GENERAL

Portada 1.....	I
Portada 2.....	II
Certificado de Aprobación.....	III
Agradecimientos.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos.....	VI
Dedicatoria.....	VII
Índice General.....	VIII
Índice de Contenido.....	IX
Índice de Figuras.....	XII
Índice de Diagramas.....	XIV
Índice de Tablas.....	XIV
Introducción.....	XV



ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Planteamiento del Problema.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Alcance.....	6
Capítulo II. Marco Teórico.....	7
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 El SCR.....	9
2.2.2 Curva Característica del Tiristor.....	10
2.2.3 Características del SCR.....	11
2.2.4 Características de Control del SCR.....	12
2.2.5 Microcontrolador.....	13
2.2.6 Descripción del Pic.....	13
2.2.6.1 Cristal Externo.....	16
2.2.6.2 Circuito RC Externo.....	16
2.2.6.3 Oscilador Externo.....	17
2.2.6.4 Oscilador Interno.....	18
2.2.6.4.1 Calibración del Oscilador Interno.....	18
2.2.7 Características Generales del PIC16F876.....	18



ÍNDICE DE CONTENIDO

2.2.8	Periféricos del PIC16F876.....	19
2.2.9	Programa Compilador.....	19
2.2.10	Programa Cargador.....	20
2.2.11	Programa Simulador.....	20
2.2.12	Optoacoplador.....	20
2.2.13	Funcionamiento de un Optoacoplador.....	20
Capítulo III. Marco Metodológico.....		22
3.1	Tipo de Investigación.....	23
3.2	Área de la Investigación.....	23
3.3	Técnicas de Recopilación y Análisis de Datos.....	24
3.3.1	Revisión Bibliográfica de Textos.....	24
3.3.2	Observación Directa.....	24
3.4	Fases de la Investigación.....	24
3.4.1	Fase I: revisión bibliográfica.....	24
3.4.2	Fase II: diseño del prototipo.....	24
3.4.3	Fase III: simulación.....	25
3.4.4	Fase IV: desarrollo del prototipo.....	25
3.4.5	Fase V: puesta en marcha.....	25
3.4.6	Fase VI: analizar resultados y emitir conclusiones.....	25
Capítulo IV. Desarrollo y Análisis de Resultados.....		26
4.1	Principio de Funcionamiento del Accionamiento.....	27
4.2	Software Simulador.....	28



ÍNDICE DE CONTENIDO

4.3 Descripción del Programa.....	28
4.3.1 Secuencia de Programación.....	28
4.3.2 Modo Ejecución (RUN).....	31
4.4 Diseño del Prototipo.....	33
4.4.1 Diseño de la Fuente de Poder.....	34
4.4.2 Microcontrolador.....	37
4.4.3 Deteccion cruce por cero.....	38
4.4.4 Circuito de Referencia de Potencia.....	39
4.4.4.1 Circuito de Referencia de Potencia Local.....	40
4.4.5 Circuito de Protección con Relé.....	41
4.4.6 Circuito Resonador.....	42
4.4.7 Circuito Amplificador de Corriente.....	43
4.4.8 Transformadores de Pulso.....	44
4.5 Estructura Externa del Prototipo.....	45
4.5.1 Entrada del Dispositivo.....	45
4.5.2 Salida del Dispositivo.....	46
4.5.3 Interfaz de Usuario.....	47
4.6 Diseño de la Tarjeta de Control (Tarjeta Principal).....	47
4.7 Diseño de la Tarjeta de Disparo.....	49
4.8 Análisis de Resultados.....	53
4.8.1 Señales generadas.....	55
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....	59



5.1 Conclusiones.....	60
5.2 Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62
Apéndice A. Diagrama del circuito utilizado en la simulación.....	66
Apéndice B. Código fuente del PIC16F876.....	68
Apéndice C. Data Sheet del SCR s6010.....	75
Apéndice D. Data Sheet del Transistor P2N2222.....	88
Apéndice E. Data Sheet del Puente Rectificador 2W005G.....	96
Apéndice F. Data Sheet del PIC16F876.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Símbolo del SCR.....	10
Figura 2.2. Curva característica del Tiristor.....	11
Figura 2.3. PIC16F876.....	14
Figura 2.4. Conexión de un Cristal.....	16
Figura 2.5. Circuito RC Externo.....	17
Figura 2.6. Oscilador Externo.....	17
Figura 2.7. Optoacoplador.....	21
Figura 4.1. Diseño del Prototipo.....	33
Figura 4.2. Diseño de las Fuentes.....	36
Figura 4.3. Configuración del Pic.....	37
Figura 4.4. Circuito de Interrupción Externa.....	38



Figura 4.5. Circuito de Referencia de Potencia Remoto.....	40
Figura 4.6. Circuito de Referencia de Potencia Local.....	40
Figura 4.7. Circuito de Protección con Optoacoplador.....	41
Figura 4.8. Circuito de Protección con Relé.....	42
Figura 4.9. Circuito Resonador.....	42
Figura 4.10. Conexión de los Transistores 2N2222.....	43
Figura 4.11. Circuito con Transformadores de Pulso.....	45
Figura 4.12. Pantalla LCD LM032L.....	46
Figura 4.13. Tarjeta de Control Vista Frontal.....	47
Figura 4.14. Tarjeta de control vista general.....	48
Figura 4.15. Tarjeta de control vista posterior.....	48
Figura 4.16. Tarjeta de control vista componentes.....	49
Figura 4.17. Circuito del sistema de fuerza de alimentación, de los transformadores a los tiristores (SCR).....	50
Figura 4.18. Tarjeta de disparo vista frontal.....	51
Figura 4.19. Tarjeta de disparo vista general.....	51
Figura 4.20. Tarjeta de disparo vista posterior.....	52
Figura 4.21. Tarjeta de disparo vista componentes.....	52
Figura 4.22. Señales de disparo.....	53
Figura 4.23. Señales de pulso para activar los SCR's.....	53
Figura 4.24. Conexión de la pantalla LCD.....	54
Figura 4.25. Verificación de la pantalla y botones.....	54
Figura 4.26. Señales de salida del microprocesador para 49% de potencia.....	55
Figura 4.27. Señal generada por el prototipo a la salida.....	55
Figura 4.28. Señal de salida del del microprocesador, para 29% de potencia.....	56



Figura 4.29. Señales de salida del microprocesador, para 69% de potencia.....	56
Figura 4.30. Señal de salida para una carga inductiva.....	57
Figura 4.31. Valor de corriente obtenido con carga una inductiva.....	57
Figura 4.32. Señal de salida para una carga inductiva.....	58
Figura 4.33. Valor de corriente obtenido con una carga inductiva.....	58

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 4.1. Principio del Funcionamiento.....	27
Diagrama 4.2. Secuencia de Programación.....	30
Diagrama 4.3. Modo de Ejecución.....	32
Diagrama 4.4. Fuente de Poder.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Subfamilias de Microcontroladores.....	16
Tabla 2.2. Rango de Frecuencia de los Modos LP, XT y HS.....	17



CODIGO FUENTE PARA LA PROGRAMACIÓN DEL PIC16F876

Considerando los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento del accionamiento, se diseñó el siguiente programa para configurar el PIC16F876:

program generadordepulsos

dim cnt as integer

dim til as byte

dim til1 as word

dim ti as word

dim txt as string[16]

dim counter as word

dim point as Word

ban,ban1,Ax0,Ax1,Ax2 as byte

aux as longword

sub procedure interrupt

if TestBit(INTCON,INTF) = 1 then

INTCON = %11010000

portc.1 = 0

inc(til)

END IF

if option_reg.6 = 0 then

option_reg.6 = 1

else

option_reg.6 = 0

end if

end sub

sub procedure sec_ejecucion

ciclo:

if portc.0 = 1 then

goto salida

end if

ban = 0

if Ax1 = 0 then

dev0:

if portc.0 = 1 then

goto salida

end if

if portc.6 = 0 then

if ban = 0 then

Lcd_Out(1, 1, "Parada local ")

ban = 1

end if

ban1 = 0

goto dev0

end if

if til = 100 then



```
if ban1 = 0 then
  Lcd_Out(1, 1, "Arranque local ")
  ban1 = 1
end if
else
  dev1:
  if portc.0 = 1 then
    goto salida
  end if
  if portc.7 = 0 then
    if ban = 0 then
      Lcd_Out(1, 1, "Parada Remota ")
      ban = 1
    end if
    ban1 = 0
    goto dev1
  end if
  if ban1 = 0 then
    Lcd_Out(1, 1, "Arranque Remota ")
    ban1 = 1
  end if
  end if
  if Ax2 = 0 then
    point = adc_read(0)
  else
    point = adc_read(1)
  end if
```

```
til = 0
goto inicio
end if
if portc.1 = 0 then
  for counter = point to 1022
    delay_us(4)
  next counter
  portc.1 = 1
end if
goto ciclo
inicio:
til = 0
ban = 0
aux = 100*point/1024
point = aux
wordToStr(point, txt)
Lcd_Out(2,1,txt)
if cnt > 1022 then
  cnt = 1022
end if
if 0 > cnt then
  cnt = 0
end if
goto ciclo
salida:
end sub
Ax0 = 0
```



sub procedure sec_programacion

con:

```
Lcd_Out(1, 1, "Secuencia de ")
Lcd_Out(2, 1, "Programacion")
delay_ms(250)
c01:
if portc.0 = 1 then
goto salida0
end if
if portc.4 = 0 then
goto c01
end if
delay_ms(200)
c02:
if Ax0 = 0 then
Lcd_Out(1, 1, "Hab. de Arranque < ")
Lcd_Out(2, 1, "Ref de Potencia ")
else
Lcd_Out(1, 1, "Hab. de Arranque ")
Lcd_Out(2, 1, "Ref de Potencia < ")
end if
c03:
if (portc.2 = 1) or (portc.3 = 1) then
if Ax0 = 0 then
Ax0 = 1
Else
```

```
end if
delay_ms(200)
goto c02
end if
if portc.0 = 1 then
goto con
end if

if portc.4 = 0 then
goto c03
end if
delay_ms(200)

if Ax0 = 0 then
c04:
if Ax1 = 0 then
Lcd_Out(1, 1, "Hab. de Arranque ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrada Local ")
else
Lcd_Out(1, 1, "Hab. de Arranque ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrada Remota ")
end if
c05:
if (portc.2 = 1) or (portc.3 = 1) then
if Ax1 = 0 then
Ax1 = 1
Else
```



```
Ax1 = 0
end if
delay_ms(200)
goto c04
end if
if portc.0 = 1 then
delay_ms(200)
goto c02
end if
if portc.4 = 0 then
goto c05
end if
c06:
if Ax1 = 0 then
Lcd_Out(1, 1, "Hab. de Arranque ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrda Local ")
else
Lcd_Out(1, 1, "Hab. de Arranque ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrada Remota ")
end if

for ti = 0 to 500
if portc.0 = 1 then
goto salida0
end if
delay_ms(1)
next ti
```

```
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
Lcd_Out(1, 1, "  ACTIVADA  ")
for ti = 0 to 500
if portc.0 = 1 then
goto salida0
end if
delay_ms(1)
next ti
goto c06
else'
c07:
if Ax2 = 0 then
Lcd_Out(1, 1, "Referencia Analoga ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrada Local ")
else
Lcd_Out(1, 1, "Referencia Analoga ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrada Remota ")
end if
c08:
if (portc.2 = 1) or (portc.3 = 1) then
if Ax2 = 0 then
Ax2 = 1
else
Ax2 = 0
end if
delay_ms(200)
for ti = 0 to 500
```



```
goto c07
end if
if portc.0 = 1 then
delay_ms(200)
goto c04
end if
if portc.4 = 0 then
goto c08
end if
c09:
if Ax2 = 0 then
Lcd_Out(1, 1, "Referencia Analoga ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrda Local ")
else
Lcd_Out(1, 1, "Referencia Analoga ")
Lcd_Out(2, 1, "Por Entrada Remota ")
end if

for ti = 0 to 500
if portc.0 = 1 then
goto salida0
end if
delay_ms(1)
next ti
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
Lcd_Out(1, 1, " ACTIVADA ")
```

```
if portc.0 = 1 then
goto salida0
end if
delay_ms(1)
next ti

goto c09
end if
salida0:
end sub

main:
portc.1 = 0
portb = 0
TRISB = %00000001
trisc = %11011101
INTCON = %11010000
Ax0 = 0
Ax1 = 0
Ax2 = 0
cnt = 0 ' Inicialice cnt
Lcd_Config(PORTb,7,6,5,4,PORTb,3,1,2)
LCD_CMD(LCD_Cursor_OFF)
Lcd_Out(1, 1, "Prototipo V0.0 ")
Lcd_Out(2, 1, " Accionamiento AC/AC")

end if
```



```
for ti = 0 to 16
delay_ms(150)
LCD_CMD(Lcd_Shift_Right)
next ti
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
Lcd_Out(1, 1, "Tesis Alejandra/Valentina")
Lcd_Out(2, 1, " UC ")
for ti = 0 to 20
delay_ms(150)
LCD_CMD(Lcd_Shift_Right)
next ti
ret:
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
parada:
portc = 0
Lcd_Out(1, 1, "Iniciando ")
Lcd_Out(2, 1, " Ejecucion ")
delay_ms(1500)
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
if portc.0 = 1 then
goto parada
end if
Lcd_Out(1, 1, "RUN ")
if Ax2 = 0 then
Lcd_Out(2, 1, " % local ")
else
Lcd_Out(2, 1, " % Remoto ")
```

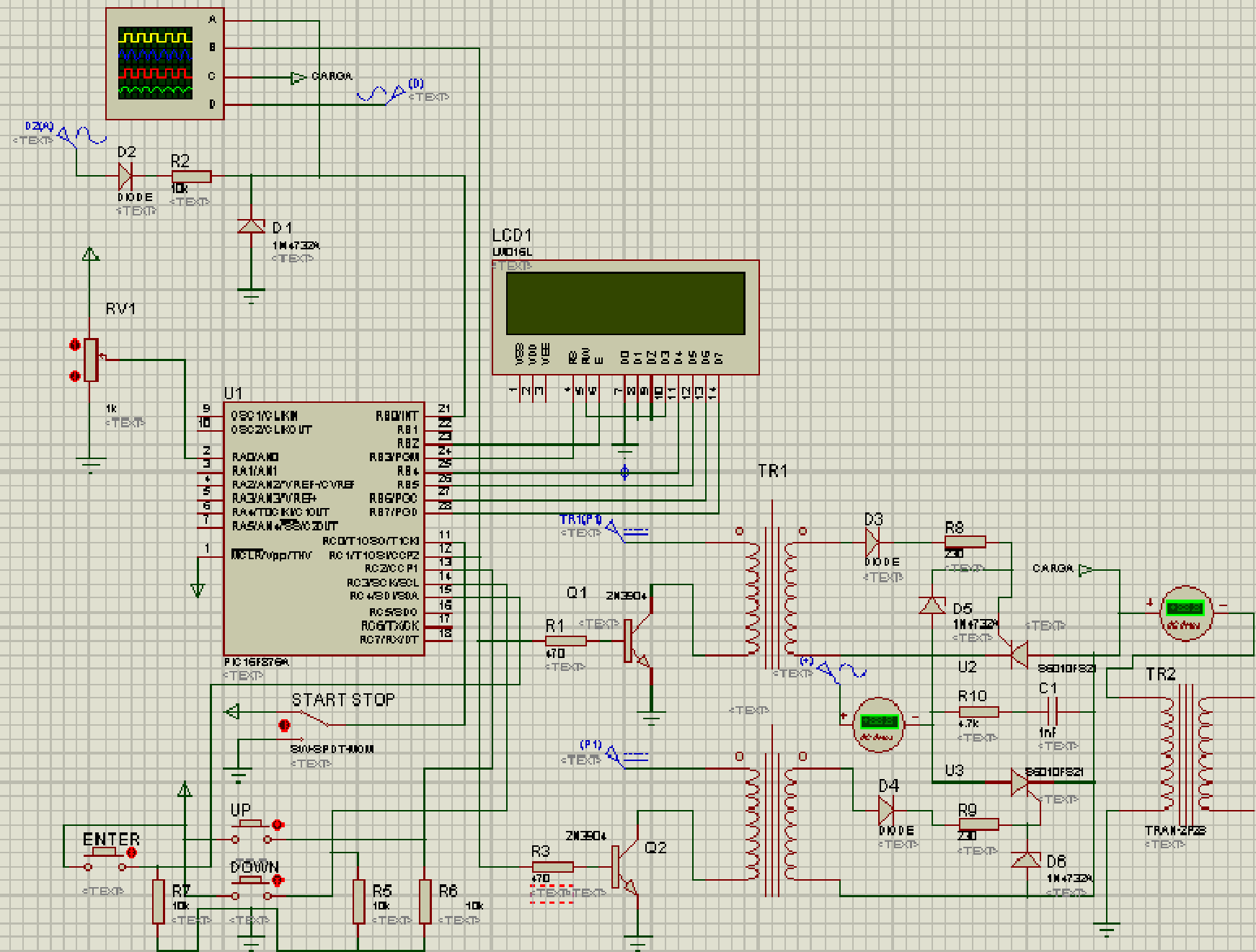
sec_ejecucion

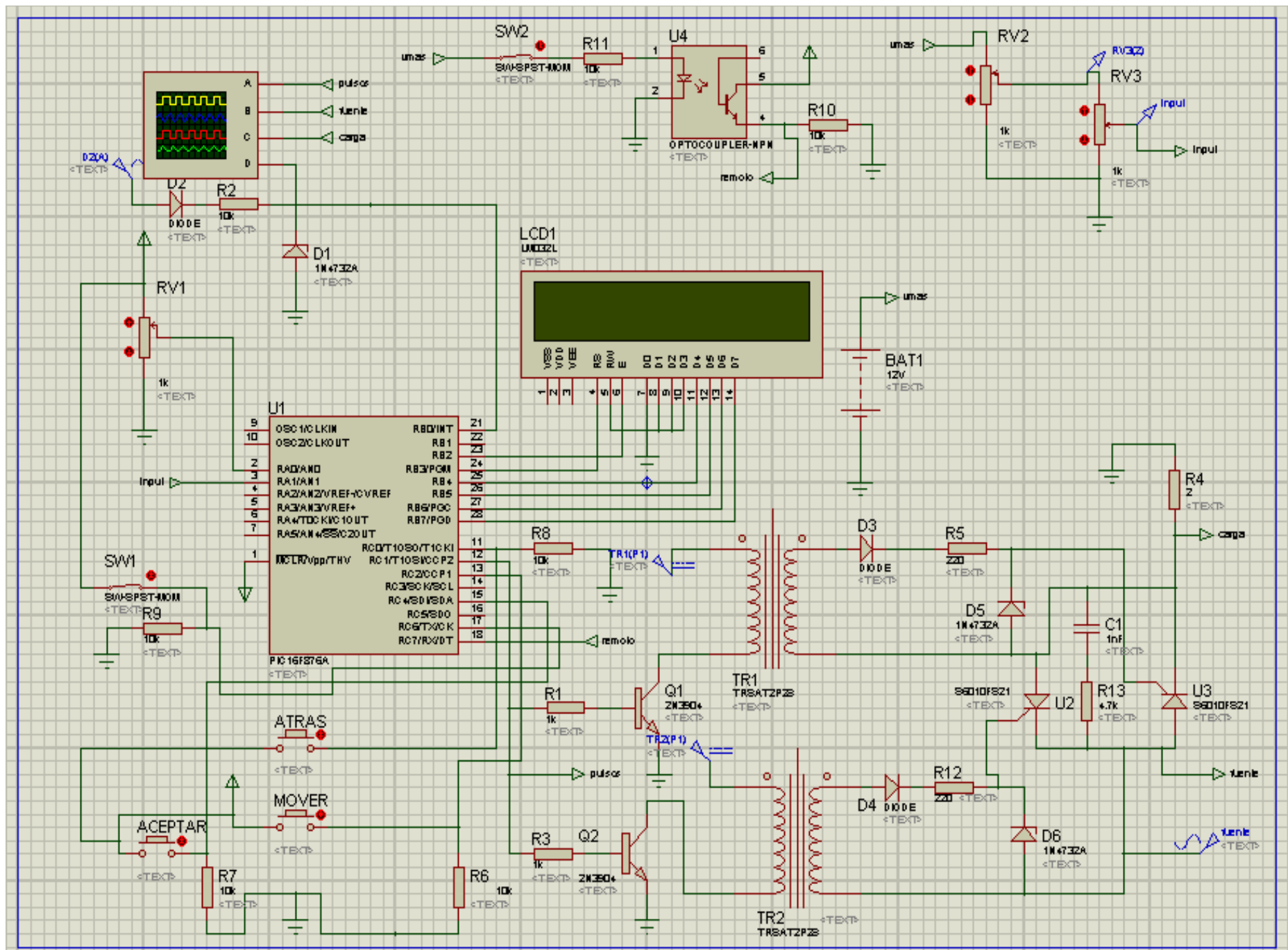
delay_ms(100)

sec_programacion

goto ret

end.







Capítulo 1. Planteamiento del Problema



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Alambres y Cables Venezolanos, C.A. (ALCAVE), es una empresa del grupo Phels Dodge International Corporation localizada en Venezuela. Phels Dodge Alcave , con oficinas de ventas en Caracas, y plantas en Valencia, está dedicada a la producción de cables de altos voltaje de cobre y aluminio, cable submarino, cables desnudos y aislados de aluminio y cables de aleaciones de aluminio, alambres para la construcción y cables flexibles.

La empresa ALCAVE C.A. está compuesta por tres plantas (Conal, Potencia y línea Comercial), localizadas en Valencia, Edo. Carabobo y en cuyas instalaciones se llevan a cabo sus operaciones principales de manufactura.

Las áreas de trabajo de dicha empresa son la sección de cableado en el área de plástica, el área de magneto ubicada también en plástica y la sección de trefilación en el área de potencia. En la sección de cableado se lleva a cabo el proceso de formación de cables de varios diámetros mediante la congregación de un determinado número de alambres dependiendo del calibre de cable que se requiera.

En el área de magneto se lleva a cabo el proceso de esmaltado del alambre de cobre de varios calibres, y consiste en procesar el alambre que proviene de la alimentación, haciéndolo pasar por un proceso de trefilado para obtener nuevos calibres, luego por un proceso de recocido que consiste en una limpieza del alambre preparándolo para el proceso de aplicado del esmalte para luego pasar por un horno.

Finalizado el proceso, el alambre ya esmaltado es llevado hasta la bobina donde es recogido para su posterior empaque, ésta área cuenta con tres líneas de producción VGM, la MAG y la SEL. En la sección de trefilación se realiza el proceso de trefilado de alambre, el cual



Capítulo 1. Planteamiento del Problema



consiste en la reducción del diámetro del alambón de acuerdo a los diámetros requeridos, para la producción de nuevos calibres de alambres, este proceso es llevado a cabo en la trefiladora C-13.

Una de las necesidades que presenta en esta compañía, es el área de trefilado, específicamente en la trefiladora C-13 en el cual se requiere aumentar las velocidades de operación para incrementar la cantidad de material procesado, para ello esta máquina requiere de un nivel de potencia de 400Hp o 300Kw.

En la actualidad se cuenta con una gama de accionamientos eléctricos y dispositivos para el control de cargas eléctricas, estos accionamientos como variadores de velocidad, contactores electrónicos y arrancadores suaves, proveen de un comportamiento en los motores y cargas eléctricas tanto en AC (corriente alterna) como en DC (corriente continua) deseado y afines al proceso como control de voltajes o corrientes, temperaturas, velocidades, niveles, caudales o presiones.

Hay aplicaciones donde se requieren altas cantidades de potencia eléctrica (centenas de Kilo Watts) para el manejo y control de maquinas tales como: recocido de metales, hidrogenadoras, hornos eléctricos, prensas hidráulicas, extrusoras; las cuales necesitan para su operación el manejo de materiales con la premisa de cambiar sus magnitudes físicas como lo son; maleabilidad, altura, grosor, presión, velocidad, caudal y composiciones químicas (desdoblamiento de compuestos químicos, fusión de polímeros y plásticos con aditivos) donde las condiciones de trabajo deben ser variables y muy específicas, para evitar pérdidas de material e inclusive de dinero como costos elevados en protecciones y componentes, nuestra problemática se basa en evaluar cuál de accionamientos existentes permite con su estructura interna amoldarse a las necesidad requerida.



Capítulo 1. Planteamiento del Problema



Del grupo de accionamientos que se pueden considerar, son los arrancadores suaves los que más se adaptan para tal propósito, ya que el uso de semiconductores como diodos con compuerta de control, permiten actuar como válvulas dejando pasar corriente a través de ellos y con un mínimo de consumo proveen a estos equipos de una ventaja, tanto en manejo de energía como en recursos físicos (electrónica asociada).

Tal estructura interna constan de una sencillez en el manejo de potencias trifásicas como monofásicas y a su vez con la adaptación de sistemas digitales actuales, como, microprocesadores o microcontroladores, se puede llegar al desarrollo de un equipo o accionamiento específico a la aplicación requerida, que es, el control de potencia con los ajustes necesarios, teniendo como resultado darle al proceso la estabilidad y el control necesario para su fin.

Esto describe la importancia del estudio y el desarrollo de este proyecto; por la cantidad de procesos como los antes mencionados que con un control de sus variables, hasta sus valores nominales pueden mejorar significativamente y dar una capacidad de respuesta y mejoramiento de sus procesos como tal.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los equipos para control de potencia tienen la particularidad de ser adaptados a otros procesos donde se requiera el uso de un control de voltaje de una señal monofásica con una considerable demanda de potencia.

Pero aun estos equipos por ser diseñados como arrancadores suaves poseen funciones limitadas y específicas por lo que surge la necesidad de desarrollar un dispositivo que pueda no



Capítulo 1. Planteamiento del Problema



solo manejar la potencia que se requiera si no también ofrezca un control más amplio con funciones adicionales como entradas de referencias tanto analógicas como digitales para así no solo darle un mejor uso sino que también puedan estos equipos ser usados en un sin número de aplicaciones como las mencionadas anteriormente donde se requiera control de potencia.

En la actualidad se cuenta con una gran demanda de equipos electrónicos para controlar la potencia a suministrar en procesos de tensiones variables (recocido, rectificado, hornos, entre otros).

El propósito del presente trabajo de grado es que con el diseño del dispositivo no solo las funciones de los accionamientos eléctricos conocidos (arranque suave, límites y seguridades para el control de motores y procesos) sino que además se pueda dentro de los parámetros o rango de operación, el ahorro energético.

En procesos de potencias superiores a 100hp el uso de la electrónica aplicada se vuelve delicada, compleja y costosa por lo que los fabricantes se enfrentan a una serie de problemas, como el manejo de niveles de tensiones y corrientes, por ello el uso de dispositivos más sencillos de operar como el SCR pueden presentar una opción viable siempre y cuando sea necesario sobrepasar niveles de potencia a los nominales dados por la fuente de alimentación (Hz).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un accionamiento eléctrico para la empresa ALCAVE C.A.



1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Revisar la información y requerimientos técnicos necesarios para el diseño del accionamiento.
- ✓ Estudiar las características, funciones y estructuras de los arrancadores suaves existentes en el mercado.
- ✓ Diseñar el prototipo del accionamiento.
- ✓ Realizar las simulaciones necesarias para verificar el funcionamiento del prototipo.
- ✓ Desarrollar el prototipo.
- ✓ Verificación de su puesta en marcha y funcionamiento.
- ✓ Analizar los resultados.
- ✓ Emitir conclusiones.

1.4 ALCANCE

Este trabajo comprende el diseño de un prototipo que permita por medio de la modulación de fase, en tensiones monofásicas, controlar la potencia a manejar, manipulando sus parámetros (potencias, corrientes y tensiones).

Este prototipo será diseñado para una potencia menor a 10hp, podrá ser alimentado con tensiones monofásicas y tendrá entre sus interfaces una pantalla LCD, botones y borneras para operaciones remotas.



2.1 ANTECEDENTES

- Aguiar Ángel. Villegas Ángel. **“Diseño e implantación de un sistema de desarrollo para la enseñanza de microcontroladores”**. En la realización de esta investigación se propone información y basamentos teóricos sobre los microcontroladores, y el diseño e implementación de un sistema de desarrollo utilizado para la enseñanza de microcontroladores. [1]
- Mejías José y Reyes Aldo; (1989) **“Diseño y construcción de un registrador de variables eléctricas basado en un microprocesador”**. Ellos concluyeron que las técnicas digitales predominan ahora en el área de la medición de voltajes y corrientes, y ofrecen precisión y velocidad de respuesta mejorada en comparación con los instrumentos electromagnéticos. [2]
- Ernesto Cornieles, Germán Gutiérrez, Javier Serrano, Néstor Cáliz; (2005), **“Diseño e implementación de una interfaz, basada en microcontrolador para control de proceso”**. En este proyecto los autores desarrollan una interfaz basándose en el uso de un microcontrolador, el cual va dirigido al control de un proceso formado por el funcionamiento de un control de velocidad y posición de un motor CD, mediante el diseño de un controlador digital que permite monitorear por medio de una computadora personal los estados de determinados parámetros del proceso, y cuya información es obtenida usando entradas y salidas analógicas correspondientes al mismo. Este envío de datos hacia la computadora personal se lleva a cabo a través del puerto serial, considerándose como antecedente para indicar las pautas y procedimientos que guíen el inicio del desarrollo del actual proyecto de grado, haciendo énfasis en el análisis del código implementando en esta investigación previa, así como las herramientas que usaron para su diseño. [3]



- Julio Vicuña y Victor Montilla; (2011) **“Diseño e implementación de un variador de frecuencia para motores monofásicos usando una gama alta de microcontroladores”**. Este proyecto se basa en el diseño y construcción de un variador de frecuencia para motores monofásicos, el cual permite tomar la tensión de la red, reconvertirla en tensión alterna nuevamente pero con las características importantes que son, el control de tensión y la frecuencia de operación del motor.

2.2 BASES TEÓRICAS

En la presente sección se desarrollaran las bases teóricas utilizadas en la elaboración de este proyecto.

2.2.1 EL SCR

El SCR (Silicon Controlled Rectifier o Rectificador Controlado de Silicio), es un dispositivo de tres terminales usado para controlar corrientes más bien altas para una carga. El símbolo esquemático del SCR se presenta en la figura 2.1, junto con los nombres y letras de identificación de sus terminales.

Un SCR actúa a semejanza de un interruptor. Cuando está condicionado o encendido (ON), hay una trayectoria de flujo de corriente de baja resistencia del ánodo al cátodo. Actúa entonces como interruptor cerrado. Cuando está apagado (OFF), no puede haber flujo de corriente del ánodo al cátodo. Por tanto, actúa como interruptor abierto. Dado que es un dispositivo de estado sólido, la acción de conmutación de un SCR es muy rápida. Es un elemento unidireccional para la corriente, es un interruptor casi ideal, soporta tensiones altas, es capaz de controlar grandes potencias, es fácil de controlar, tiene características en función de situaciones pasadas (memoria).[7]

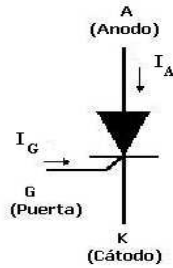


Figura 2.1.- Símbolo del SCR. [5]

2.2.2 CURVA CARACTERÍSTICA DEL TIRISTOR

Esta curva la podemos ver en la figura 2.2 como un tiristor imaginario. Se ven representadas en primer lugar las características que presenta el tiristor en estado de paso de corriente directa. Hay inicialmente, una característica de bloqueo en el momento del paso de la corriente en sentido directo que viene representado por la línea A, aquí crece la tensión directa sin que el tiristor permita el paso de la corriente. Pero cuando esta alcanza un determinado punto conocido con el nombre de tensión de operación, el tiristor permite el paso de corriente en sentido directo, lo que se representa por la línea ascendente B, ahora la corriente de paso directo es elevada.

Cuando la corriente directa desciende de valor se mantiene hasta la llamada corriente de retención o corriente de mantenimiento (C), por debajo de la cual se interrumpe el paso de la corriente en sentido directo. [8]

En el sentido inverso, el tiristor se comporta como un diodo normal.

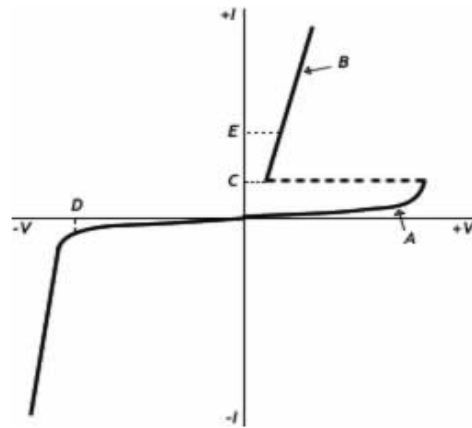


Figura 2.2.- Curva característica del Tiristor [8]

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL SCR

Las características estáticas corresponden a la región ánodo-cátodo y son los valores máximos que colocan al elemento en límite de sus posibilidades:

- Tensión inversa de pico de trabajo _____ V_{RWM}
- Tensión directa de pico repetitiva _____ V_{DRM}
- Tensión directa _____ V_T
- Corriente directa media _____ I_{TAV}
- Corriente directa eficaz _____ I_{TRMS}
- Corriente directa de fugas _____ I_{DRM}
- Corriente inversa de fugas _____ I_{RRM}
- Corriente de mantenimiento _____ I_H
- Temperatura de la unión _____ T_j
- Temperatura de almacenamiento _____ T_{stg}
- Resistencia térmica contenedor-disipador _____ R_{c-d}
- Resistencia térmica unión-contenedor _____ R_{j-c}



- Resistencia térmica unión-ambiente _____ R_{j-a}
- Impedancia térmica unión-contenedor _____ Z_{j-c}

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE CONTROL DEL SCR

Corresponden a la región puerta-cátodo y determinan las propiedades del circuito de mando que responde mejor a las condiciones de disparo. Los fabricantes definen las siguientes características:

- Tensión directa máxima _____ V_{GFM}
- Tensión inversa máxima _____ V_{GRM}
- Corriente máxima _____ I_{GM}
- Potencia máxima _____ P_{GM}
- Potencia media _____ P_{GAV}
- Tensión puerta-cátodo para el encendido _____ V_{GT}
- Tensión residual máxima que no enciende ningún elemento _____ V_{GNT}
- Corriente de puerta para el encendido _____ I_{GT}
- Corriente residual máxima que no enciende ningún elemento _____ I_{GNT}

Entre los anteriores destacan:

- V_{GT} e I_{GT} , que determinan las condiciones de encendido del dispositivo semiconductor.
- V_{GNT} e I_{GNT} , que dan los valores máximos de corriente y de tensión, para los cuales en condiciones normales de temperatura, los tiristores no corren el riesgo de dispararse de modo indeseado.[6]



2.2.5 MICROCONTROLADOR

Es un circuito integrado programable o CHIP de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configura un controlador, que procesa o manipula la información almacenada en la memoria. Un microcontrolador está conformado por las siguientes unidades:

- ✓ Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- ✓ Memoria RAM para almacenar datos.
- ✓ Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- ✓ Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- ✓ Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos serie y paralelo).
- ✓ Generador de impulso de reloj que sincroniza el funcionamiento de todo el sistema.

Un microcontrolador dispone de aumento de prestaciones, esto significa que un mayor control sobre determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo, aumento de la fiabilidad; reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo e averías y se precisan menos ajustes, reducción del tamaño en el producto acabado; la integración del microcontrolador en un CHIP disminuye el volumen, la mano de obra, los stocks.

El microcontrolador se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su tamaño suele ir incorporando en el propio dispositivo al que gobierna. [9]

2.2.6 DESCRIPCIÓN DEL PIC

Los microcontroladores que produce Microchip cubren un amplio rango de dispositivos cuyas características pueden variar como sigue:



Capítulo 2. Marco Teórico



- Empaquetado (desde 8 patitas a 68 patitas).
- Tecnología de la memoria incluida (EPROM, ROM, FLASH)
- Voltajes de operación (desde 2.5V hasta 6V).
- Frecuencia de operación (hasta 20 MHz).

Aunque cada empaquetado tiene variantes, especialmente en lo relativo a las dimensiones del espesor del paquete, en general se pueden encontrar paquetes tipo PDIP (Plastic Dual Line Package), PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) y QFP (Quad Flat Package), En la figura 2.3 se muestra un tipo PDIP.

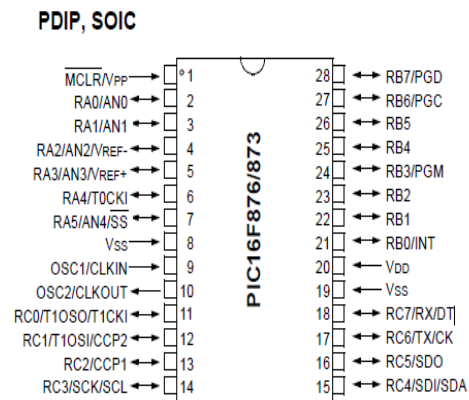


Figura 2.3.- PIC16F876 [9]

El PIC16F876 por su rango de voltaje al que opera de 4.5V a 6V (estándar), su tipo de memoria es FLASH.

Microchip ha dividido sus microcontroladores en tres grandes subfamilias de acuerdo al número de bits de su bus de instrucciones.



Tabla 2.1.- Subfamilias de microcontroladores

Subfamilia	Bits del bus de instrucciones	nomenclatura
Base - Line	12	PIC12XXX y PIC14XXX
Mid – Range	14	PIC16XXX
High - End	16	PIC17XXX y PIC18XXX

Fuente [9]

Los PIC de rango medio permiten hasta ocho diferentes modos para el oscilador. El usuario puede seleccionar alguno de estos 8 modos programando 3 bits de configuración del dispositivo denominados: FOSC2, FOSC1 y FOSC0. En algunos de estos modos el usuario puede indicar que se genere o no una salida del oscilador (CLKOUT) a través de una patita de E/S.

Los modos de operación se muestran en la siguiente lista:

- ✓ LP Baja frecuencia (y bajo consumo de potencia).
- ✓ XT Cristal/Resonador cerámico externos (media frecuencia).
- ✓ HS Alta velocidad (y alta potencia) Cristal/Resonador.
- ✓ RC Resistencia/Capacitor externos (mismo que EXTRC con CLKOUT).
- ✓ EXTRC Resistencia/Capacitor externo.
- ✓ EXTRC Resistencia/Capacitor externo con CLKOUT.
- ✓ INTRC Resistencia/Capacitor interno para 4 MHz.
- ✓ INTRC Resistencia/Capacitor interno para 4 MHz con CLKOUT.

Los tres modos LP, XT y HS usan cristal o resonador externo, la diferencia sin embargo es la ganancia de los drivers internos, lo cual se ve reflejado en el rango de frecuencia admitido y la potencia consumida. En la tabla 2.2 se muestran los rangos de frecuencia así como los capacitores recomendados para un oscilador en base de cristal.



Tabla 2.2.- Rango de frecuencia de los modos LP, XT y HS

Modo	Frecuencia típica	Capacitores recomendados	
		C1	C2
LP	32 khz	68 a 100 pf	68 a 100 pf
	200 khz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
XT	100 khz	68 a 150 pf	150 a 200 pf
	2 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	4 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
HS	8 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	10 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	20 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf

Fuente: [9]

2.2.6.1 Cristal externo

En los tres modos mostrados en la tabla 2.2 se puede usar un cristal o resonador cerámico externo. En la figura 2.4 se muestra la conexión de un cristal a las patitas OSC1 y OSC2 del PIC.

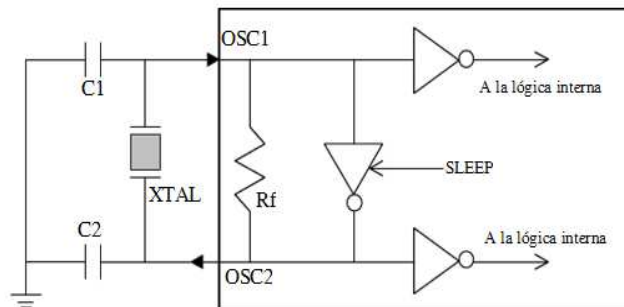


Figura 2.4.- Conexión de un cristal. [9]

2.2.6.2 Circuito RC externo

En los modos RC y EXTRC el PIC puede generar su señal oscilatoria basada en un arreglo RC externo conectado a la patita OSC1 como se muestra en la figura 2.5.

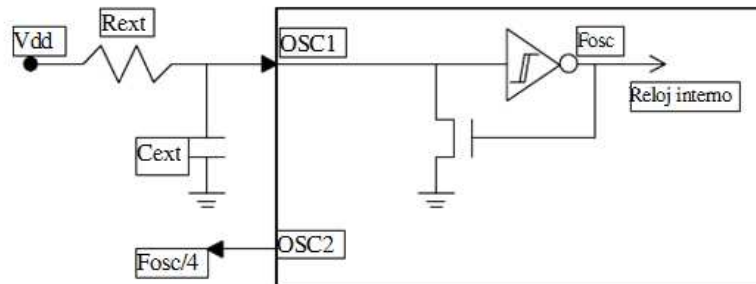


Figura 2.5.- Circuito RC externo [9]

Este modo sólo se recomienda cuando la aplicación no requiera una gran precisión en la medición de tiempos.

La frecuencia de oscilación depende no sólo de los valores de R_{ext} y C_{ext} sino también del voltaje de la fuente V_{dd} .

2.2.6.3 Oscilador externo

También es posible conectar una señal de reloj generada mediante un oscilador externo a la patita OSC1 del PIC. Para ello el PIC deberá estar en uno de los tres modos que admiten cristal (LP, XT o HS). La conexión se muestra en la figura 2.6.

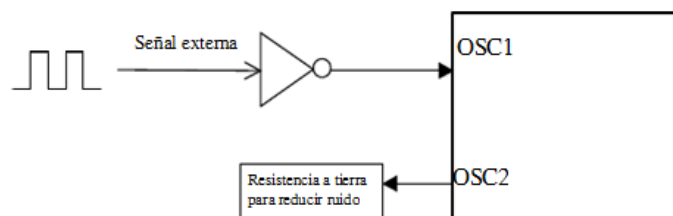


Figura 2.6.- Oscilador externo [9]



2.2.6.4 Oscilador interno

El oscilador externo de 4MHz en el modo INTRC el PIC usa un arreglo RC interno que genera una frecuencia de 4MHz con un rango de error calibrable del 1.5 por ciento. Para calibrar el error de oscilación se usan los bits CAL3, CAL2, CAL1 y CAL0 del registro OSCCAL.

2.2.6.4.1 Calibración del oscilador interno

El fabricante ha colocado un valor de calibración para estos bits en la última dirección de la memoria del programa. Este dato ha sido guardado en la forma de una instrucción RETLWXX. Si no se requiere perder este valor al borrar el PIC (en versiones EPROM con ventana) primero se deberá leer y copiar. Es una idea escribirlo en el empaquetado antes de borrar la memoria. [9]

2.2.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PIC16F876

- ✓ CPU RISC.
- ✓ Sólo 35 instrucciones que aprender.
- ✓ Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, excepto los saltos que requieren dos.
- ✓ Frecuencia de operación de 0 a 20MHz (DC a 200 nseg de ciclo de instrucción).
- ✓ Hasta 8K ×14 bits de memoria flash de programa.
- ✓ Hasta 368 bytes de memoria de datos (RAM).
- ✓ Hasta 256 bytes de memoria de datos (EPROM).
- ✓ Hasta 4 fuentes de interrupciones.
- ✓ Stack de hardware de 8 niveles.
- ✓ Reset de encendido (POR).



- ✓ Timer de encendido (PWRT).
- ✓ Timer de arranque del oscilador (OST).
- ✓ Sistema de vigilancia Watchdog timer.
- ✓ Protección programable de código.
- ✓ Modo SEP de bajo consumo de energía.
- ✓ Opciones de selección del oscilador.
- ✓ Programación y depuración serie “In-Circuit” (ICSP) a través de dos patitas.
- ✓ Lectura/escritura de la CPU a la memoria flash de programa.
- ✓ Rango de voltaje de operación de 2 a 5.5 Voltios.
- ✓ Alta disipación de corriente de la fuente 25mA.

2.2.8 PERIFÉRICOS DEL PIC16F876

- ✓ Timer1: contador/temporizador de 16 bits con pre-escalador.
- ✓ Timer0: contador/temporizador de 8 bits con pre-escalador y post-escalador de 8 bits y riesgo de periodo.
- ✓ Dos módulos de captura, compartición y PWM.
- ✓ Convertidor analógico/digital de 10 bits, hasta 8 canales.
- ✓ Puerto serie síncrono (SSP).
- ✓ Puerto serie universal (USART/SET).
- ✓ Puerto paralelo esclavo (PSP) de 8 bits con líneas de protocolo.

2.2.9 PROGRAMA COMPILADOR

Es el programa informático que traduce un programa escrito en un lenguaje de programación a otro lenguaje de programación, equivalente que la máquina será capaz de interpretar. Usualmente el segundo lenguaje es lenguaje de máquina, pero también puede ser simplemente texto. Este proceso de traducción se conoce como compilación.



2.2.10 PROGRAMA CARGADOR

Es el responsable de cargar programas en memoria desde los ejecutables. El cargador es usualmente una parte del núcleo del sistema operativo y es cargado al iniciar el sistema y permanece en memoria hasta que el sistema es reiniciado o apagado. [4]

2.2.11 PROGRAMA SIMULADOR

Es un software que permite ejecutar programas de computadora en una plataforma diferente de aquella para la cual fueron escritos originalmente. Este trata de modelar de forma precisa el dispositivo de manera que este funcione como si estuviese siendo usado en el aparato original. [4]

2.2.12 OPTOACOPLADOR

Es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor excitado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado. Se suelen utilizar para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensibles. [10]

2.2.13 FUNCIONAMIENTO DE UN OPTOACOPLADOR

La figura 2.7 muestra un optoacoplador formado por un LED y un fototransistor. La tensión de la fuente de la izquierda y la resistencia en serie establecen una corriente en el LED emisor cuando se cierra el interruptor S1. Si dicha corriente proporciona un nivel de luz



adecuado, al incidir sobre el fototransistor lo saturará, generando una corriente en R_2 . De este modo la tensión de salida será igual a cero con S_1 cerrado y a V_2 con S_1 abierto.

Si la tensión de entrada varía, la cantidad de luz también lo hará, lo que significa que la tensión de salida cambia de acuerdo con la tensión de entrada. De este modo el dispositivo puede acoplar una señal de entrada con el circuito de salida, aunque hay que tener en cuenta que las curvas tensión/luz del LED no son lineales, por lo que la señal puede distorsionarse. Se venden optoacopladores especiales para este propósito, diseñados de forma que tengan un rango en el que la señal de salida sea casi idéntica a la de entrada.

La ventaja fundamental de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Mediante el optoacoplador, el único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz. Esto se traduce en una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos del orden de miles de $M\Omega$. Estos aislamientos son útiles en aplicaciones de alta tensión en las que los potenciales de los dos circuitos pueden diferir en varios miles de voltios. [10]

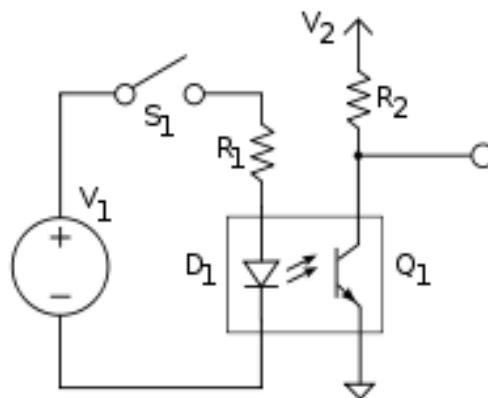


Figura 2.7.- Optoacoplador [10]



3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación a realizar se encuentra dentro de la modalidad de un proyecto factible constituido por un modelo operacional y funcional orientado a la solución de la problemática planteada en el capítulo I. “Un proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnología, métodos o procesos”. [12]

Este proyecto tiene como fin la creación de soluciones siguiendo una metodología científica a fin de cumplir un procedimiento lógico que permita escoger de manera aceptada la solución más idónea y posteriormente, en base a esta, proceder a la estructura de diseño que cubra las necesidades que se requiere satisfacer.

Dicho procedimiento está enfocado a la recopilación de toda la información teórica referida a variadores de velocidad, microcontroladores, resistencias de potencia, condensadores, inductores, entre otros; parte de esta investigación está basada en trabajos realizados anteriormente, para la recopilación de los datos se aplicaron diversas técnicas e inclusive para analizarlos, para dar inicio al diseño e implementación de un variador de potencia para motores monofásicos.

3.2 ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

La propuesta de proyecto de grado titulado “Diseño de un accionamiento eléctrico para ALCAVE C.A.”, está asociada dentro de la línea de investigación de Electrónica Industrial.



3.3 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para realizar este proyecto de investigación se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos, que sirven de base para recabar la información y datos del tema en estudio.

3.3.1 Revisión bibliográfica de textos: trabajo de investigación, artículos de diferentes publicaciones relacionadas al tema de investigación, que plantearán metodologías y sugerencias para la realización del presente trabajo.

3.3.2 Observación directa: se obtendrán datos que permitirán conocer con exactitud las condiciones operativas de los diversos componentes que conforman el circuito a realizar.

3.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Fase I: Revisión bibliográfica

Se revisará la información y requerimientos técnicos necesarios para el diseño del accionamiento y se estudiarán las características, funciones y estructuras de los arrancadores suaves existentes en el mercado.

3.4.2 Fase II: Diseño del prototipo

Para el desarrollo del prototipo debemos seleccionar los componentes necesarios que requerirá su estructura física como semiconductores de potencia (transistores, SCR y demás) como también resistencias de potencia, condensadores, inductores y demás elementos pasivos.



3.4.3 Fase III: Simulación

Por medio de un programa de simulación se verificará el correcto funcionamiento del prototipo.

3.4.4 Fase IV: Desarrollo del prototipo

Se elaborará el software que suministra la lógica de operación del controlador, y que manipule los componentes electrónicos adecuados. Se ensamblarán todos y cada uno de los elementos que previamente fueron seleccionados, y que se requieren para el buen funcionamiento del controlador.

3.4.5 Fase V: Puesta en marcha

Se realizarán las pruebas necesarias para corregir los detalles que puedan presentarse y efectuar revisiones continuas sobre el funcionamiento durante su puesta en marcha.

3.4.6 Fase VI: Analizar resultados y emitir conclusiones



4.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ACCIONAMIENTO

Este proyecto consiste en el diseño de un accionamiento eléctrico que trabaja con corriente alterna y una frecuencia de 60 HZ, pueda controlar ya sea de manera local o remota niveles de potencia, (para efectos del modo remoto se debe proteger la señal de ruidos o interferencias electromagnéticas, para esto se tiene que contar con la electrónica adecuada como optoacopladores), ya sea en la máquina de trefilación o recocido para la empresa ALCAVE C.A.

A continuación se muestra el diagrama del principio de su funcionamiento:

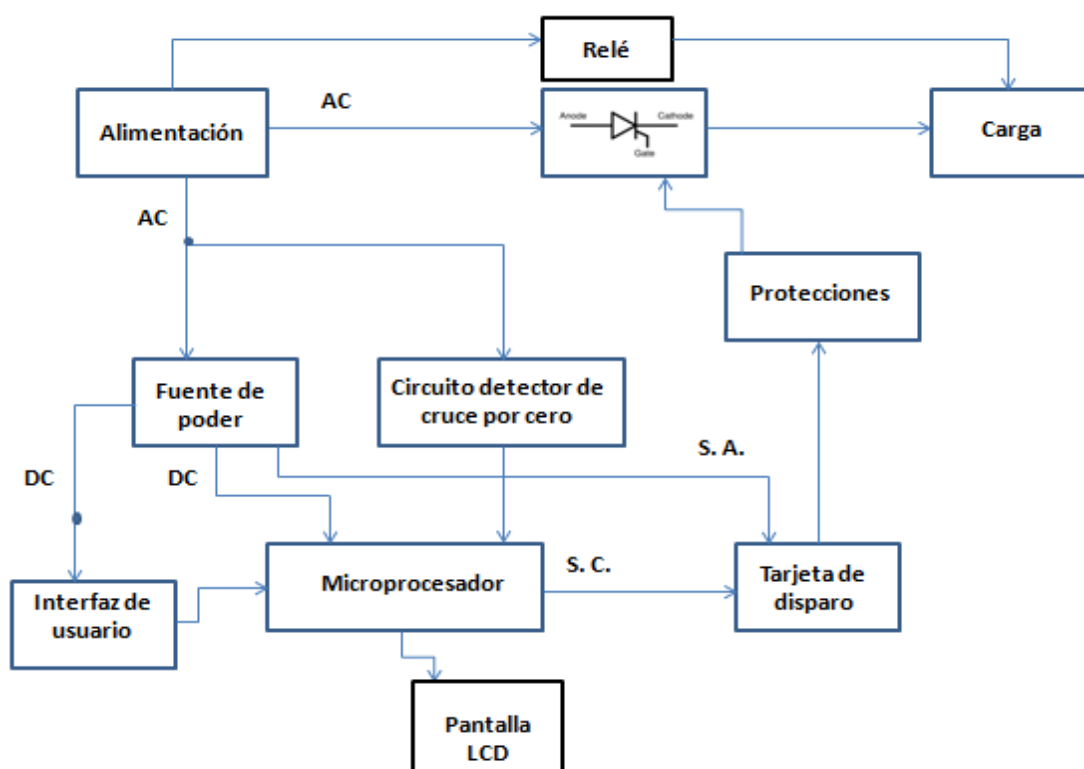


Diagrama 4.1.- Principio del funcionamiento [Fuente: autores]



4.2 SOFTWARE SIMULADOR

Como programa simulador se utilizó **PROTEUS**, dado que nos permite simular circuitos electrónicos complejos, permite también simular los circuitos digitales y analógicos a la vez, integrando inclusive desarrollos realizados con microcontroladores de varios tipos, es una herramienta de alto desempeño con unas grandes capacidades gráficas. El código fuente se realizó en **MikroBasic** para luego cargarlo al PIC 16F876; en este programa se presentan la tarjeta de control del prototipo y la simulación del objetivo de este proyecto de grado (para efectos de la misma no se incluyeron las protecciones necesarias para la implementación, tampoco el aislamiento de las tierras digitales y analógicas).

4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

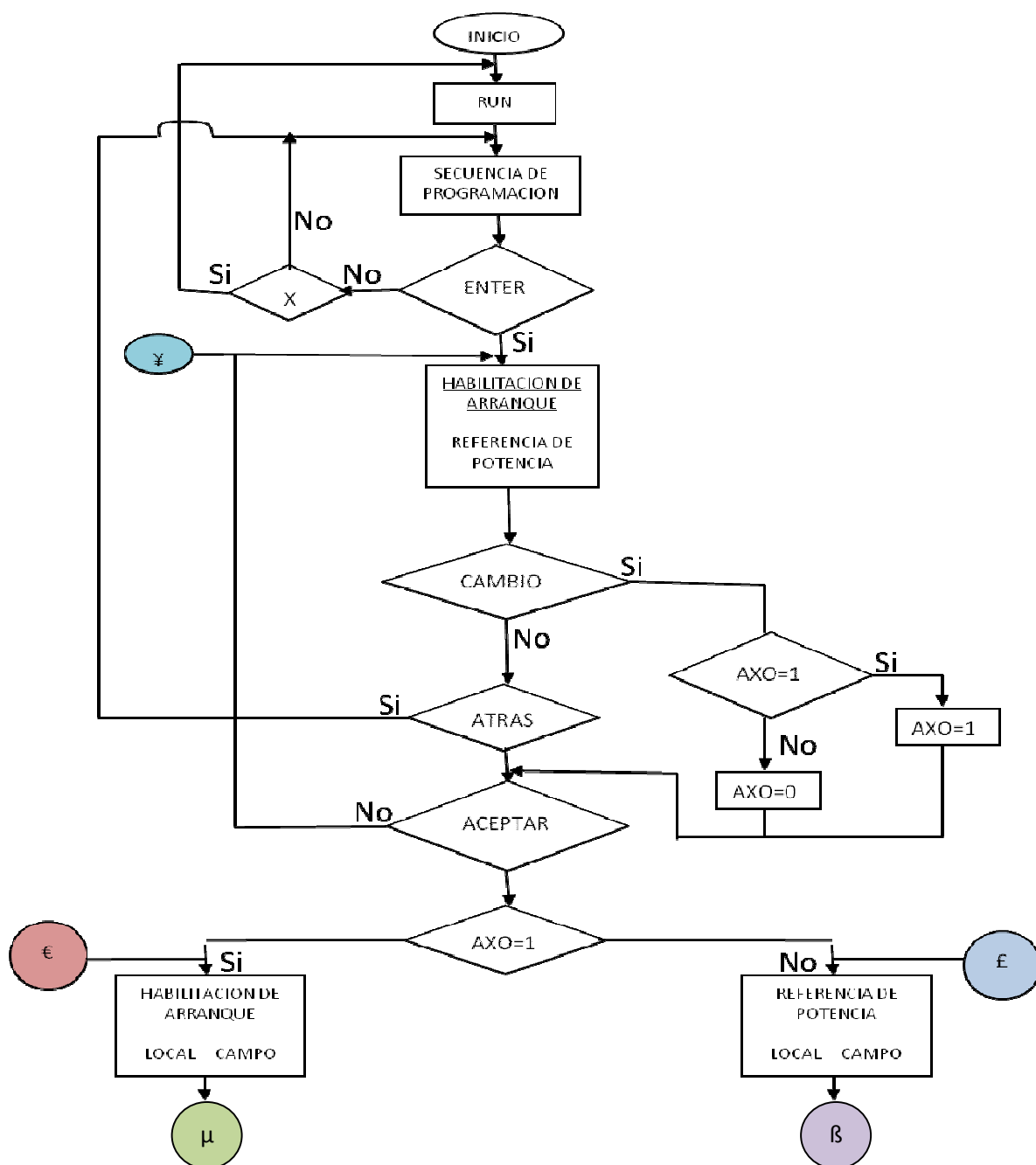
Este dispositivo contará con un procesador independiente y con funciones especializadas y específicas. El microprocesador 16F876 tendrá varios niveles de programación el cual requerirá programas o subprogramas, dependiendo del estado del dispositivo estarán en programación o ejecución. Los programas y subprogramas serán creados en **MikroBasic**.

4.3.1 Secuencia de programación

En este bloque del programa el usuario tiene la oportunidad de interactuar con el equipo, es decir, en el prototipo y simulación presentado, el usuario podrá elegir si desea trabajar de manera local o remota, para cualquiera de estas dos opciones se podrá configurar la referencia de potencia o la habilitación de arranque, luego de hacer la elección con el botón "atrás" regreso al modo ejecución.



A continuación se presenta el diagrama de flujo donde se indican todos los pasos de la secuencia de programación:



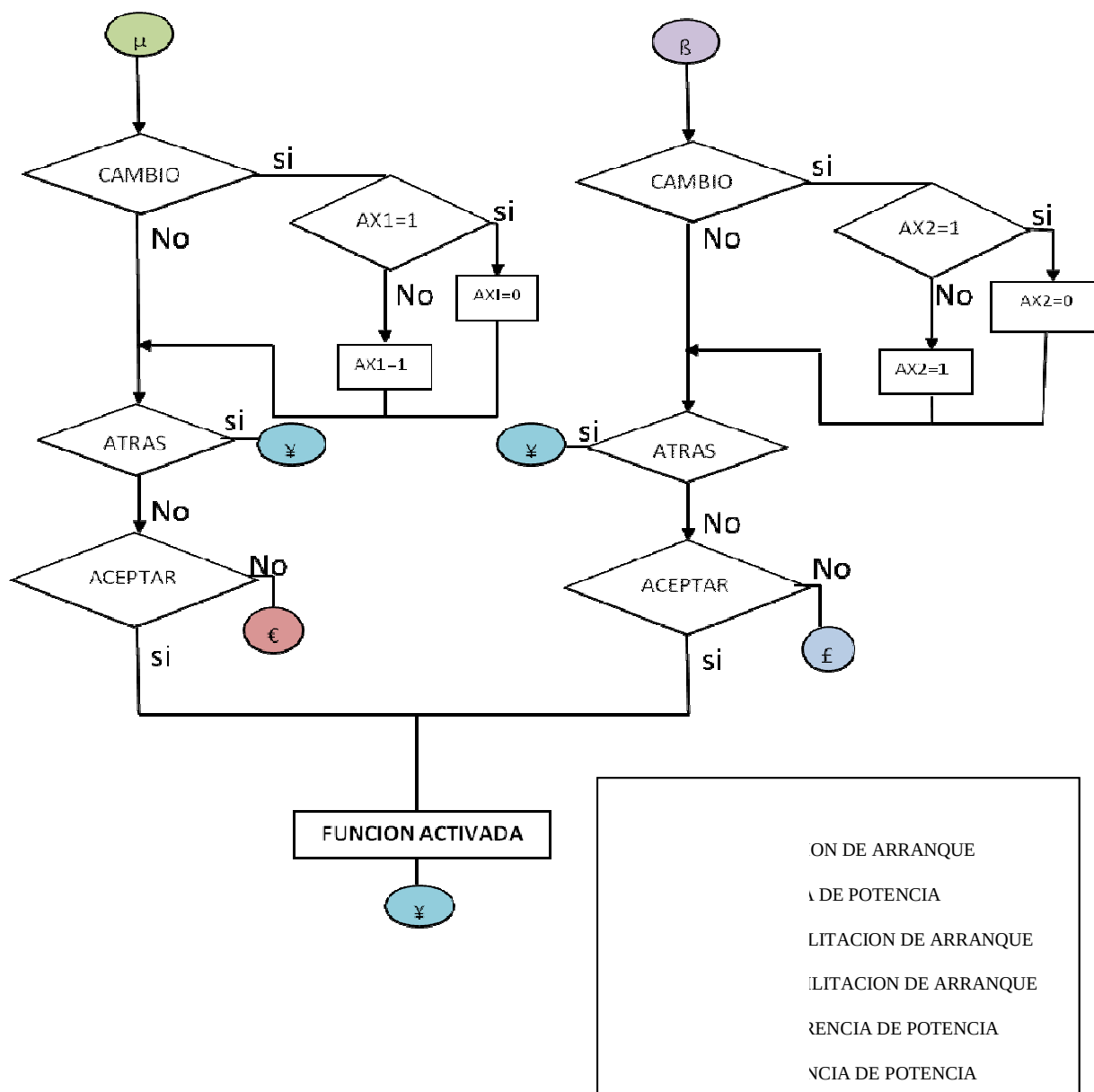


Diagrama 4.2.- Secuencia de programación. [Fuente: autores]

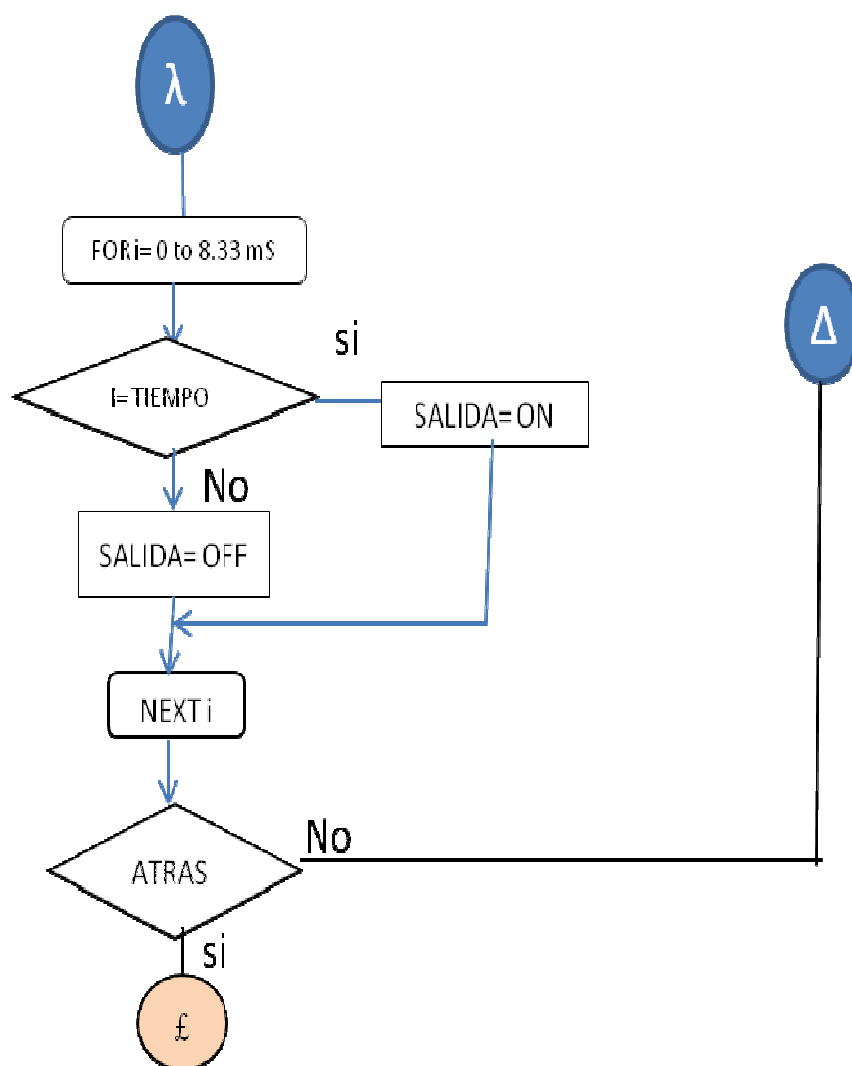
Código fuente: referido al apéndice A



4.3.2 Modo ejecución (RUN)

Luego de haber configurado los parámetros de programación, el usuario en este modo tendrá configurado el modo de trabajo, si es en modo local o en modo remoto, tanto para la referencia de potencia como la habilitación de arranque.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este modo de ejecución:



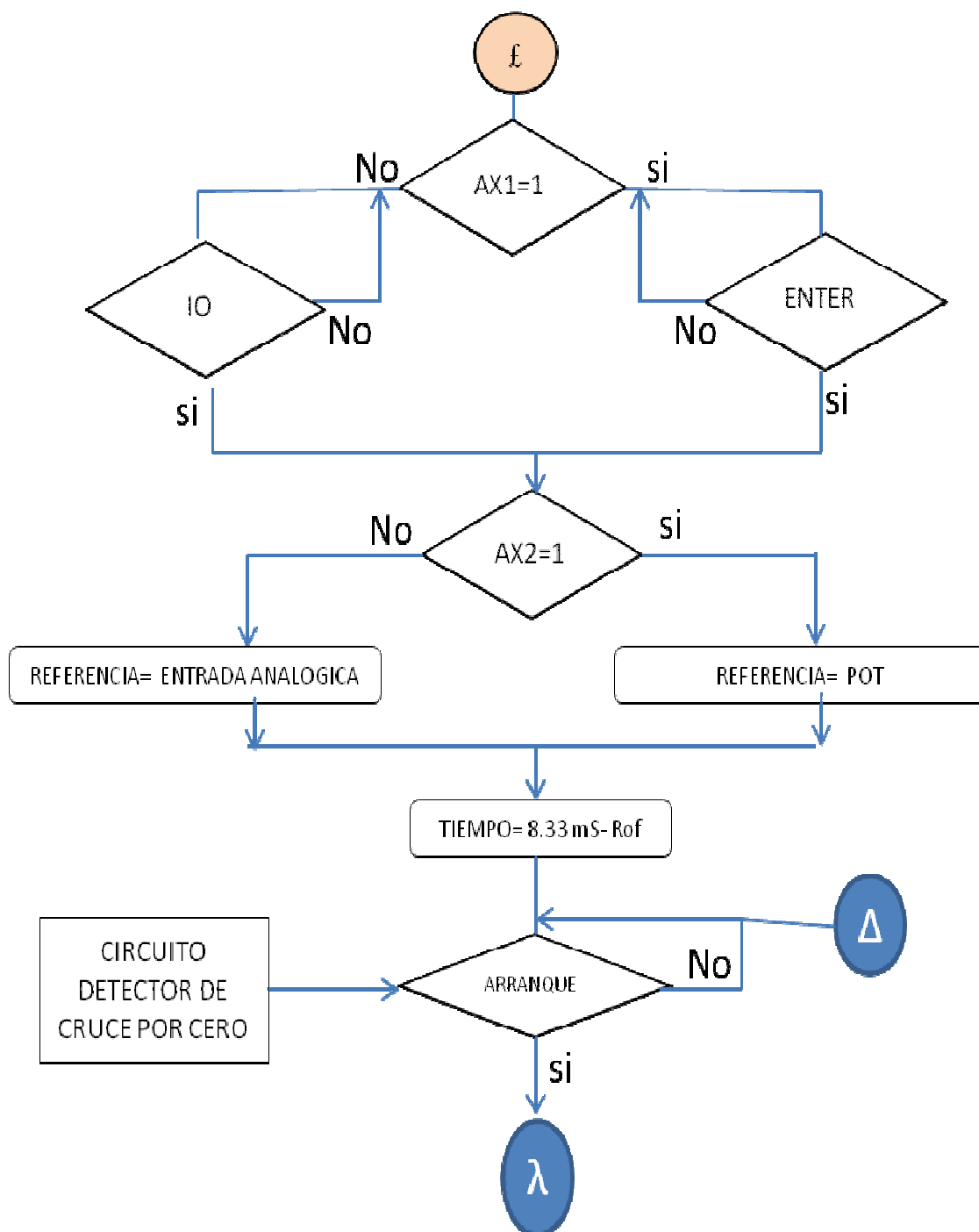


Diagrama 4.3.- Modo ejecución. [Fuente: autores]



4.4 DISEÑO DEL PROTOTIPO

La estructura de este diseño comprendió todos los elementos usados para el funcionamiento de este proyecto, el prototipo diseñado es a escala, para el manejo de cargas resistivas e inductivas.

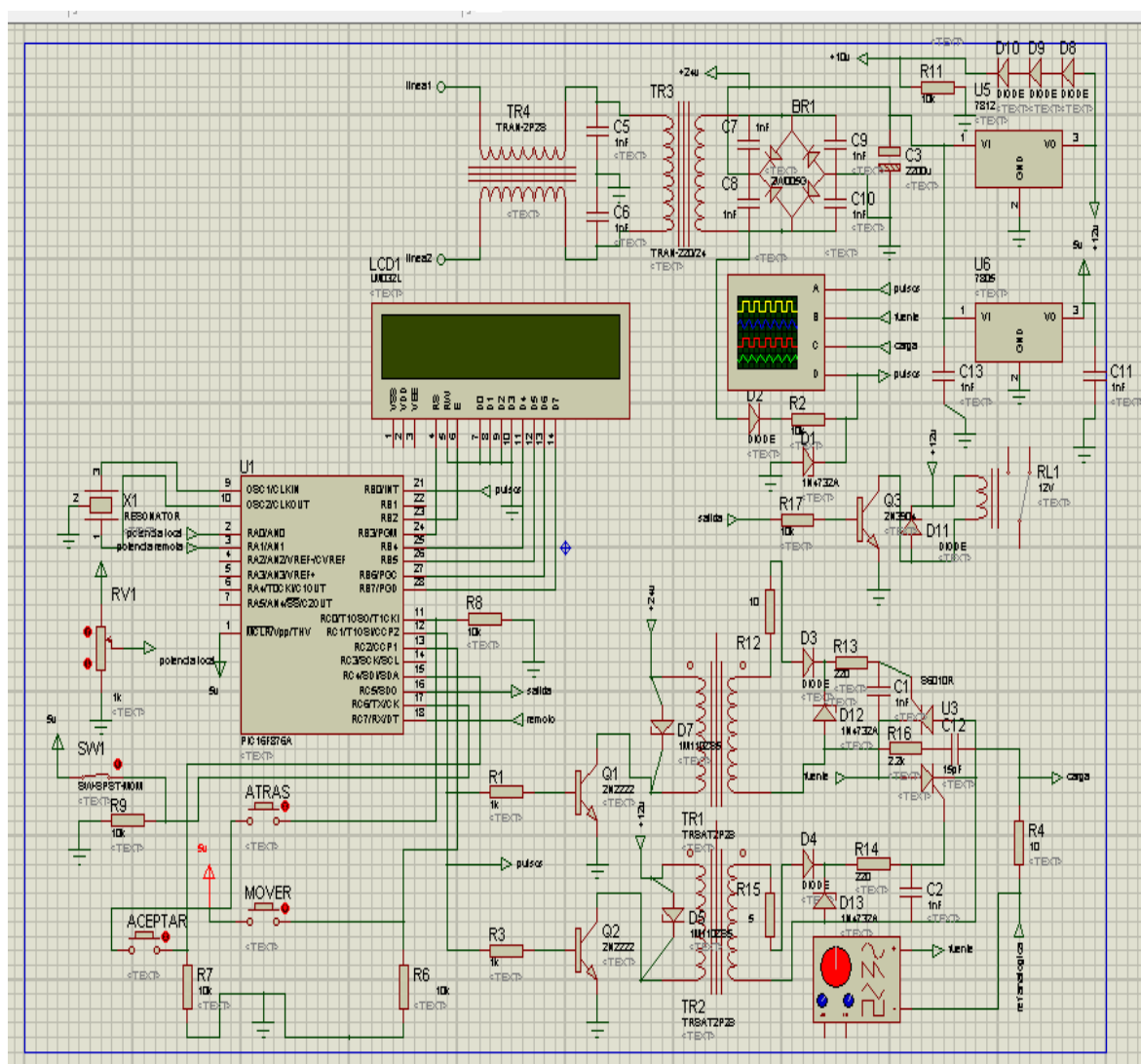


Figura 4.1.- Diseño del prototipo. [Fuente: autores]



4.4.1 Diseño de la fuente de poder

Todo circuito requiere para su funcionamiento de una fuente de energía eléctrica, puesto que la corriente y voltaje que proporciona la línea comercial no es la adecuada para que su funcionamiento sea el correcto.

Un dispositivo a base de semiconductores que integran un circuito, funciona con tensiones y corrientes directas lo más continuas posibles, así pues, la fuente de alimentación convierte la energía de la línea comercial en energía directa a los valores requeridos.

La fuente de alimentación regulada se constituye a base de cuatro etapas de funcionamiento como se muestra en el siguiente diagrama:

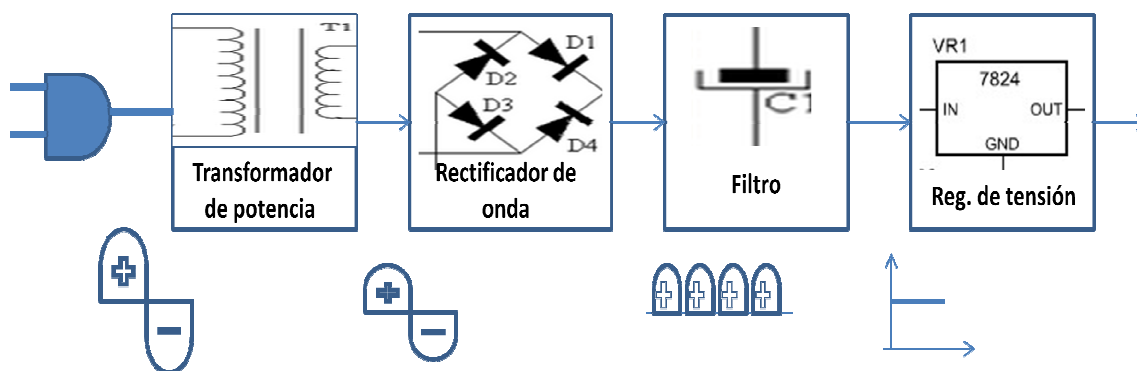


Diagrama 4.4.- Fuente de poder [Fuente: autores]

Consta de dos transformadores: un transformador reactor (TR4), que trabaja en las líneas de alimentación, el cual con sus bobinas elimina el paso de perturbaciones de corriente, y el



transformador reductor (TR3), tiene una relación de 220/24V AC, el se encarga de reducir la tensión de entrada y mostrar en la salida 24V AC, el puente rectificador (2W005G), convierte esta tensión en continua, como protección para este puente se colocan condensadores cerámicos de 15pF, para eliminar así posibles perturbaciones que puedan dañar el puente rectificador (C7, C8, C9, C10), también protegen los diodos que conforman el puente rectificador; también se colocan dos condensadores (C5 y C6), ellos se encargan de eliminar las perturbaciones de tensión de cualquiera de las dos fases. La señal se pasa por un filtro para eliminar el rizado. El filtro está formado por el capacitor C3.

Para proporcionar los diferentes niveles de tensión que precisan los componentes electrónicos que integran la tarjeta de control, fue necesario utilizar una fuente de alimentación de 24V AC, desde la cual se derivan las tensiones necesarias para suministrar energía eléctrica a toda la circuitería interna y tarjeta de control.

La alimentación DC requerida tomando en cuenta la etapa digital y la analógica es:

- ❖ Fuente regulada de 5V DC.
- ❖ Fuente regulada de 12V DC.

Fuente regulada de 5V DC

Esta fuente proporciona el nivel de tensión que requieren los componentes de tecnología TTL o tensiones lógicas para el microprocesador que conforman la tarjeta de control.

El voltaje resultante de la fuente de poder es regulado con un regulador de voltaje integrado (7805), cuya salida suministra una corriente de 1A y proporciona una regulación de carga y de línea de 5Vdc fijos. Esta corriente es suficiente para el funcionamiento del circuito debido a el microcontrolador 16F876 tiene un consumo a temperatura ambiente (25°C) de 5mA,



teniendo además el consumo de la pantalla LCD, que es de 100mA, y cada circuito de control se tiene un total aproximadamente de 205 mA. A la salida se colocan filtros de capacitores para mejorar su rendimiento. Para la protección de la fuente y del circuito al cual va a alimentar se coloca un fusible a la entrada de la fuente el cual tiene un valor igual al máximo que puede entregar el regulador (1A).

Los capacitores C13 y C11 se colocaron para obtener una disminución de la caída de potencial en el regulador.

Fuente regulada 12V DC

Esta fuente provee el nivel de tensión que requiere la alimentación de los transformadores de pulso y el circuito con relé. Para su diseño se usó el regulador de voltaje fijo 7812, el cual es capaz de suministrar una corriente de 1A y proporcionar una regulación de carga y de línea a 12 V fijos en la salida.

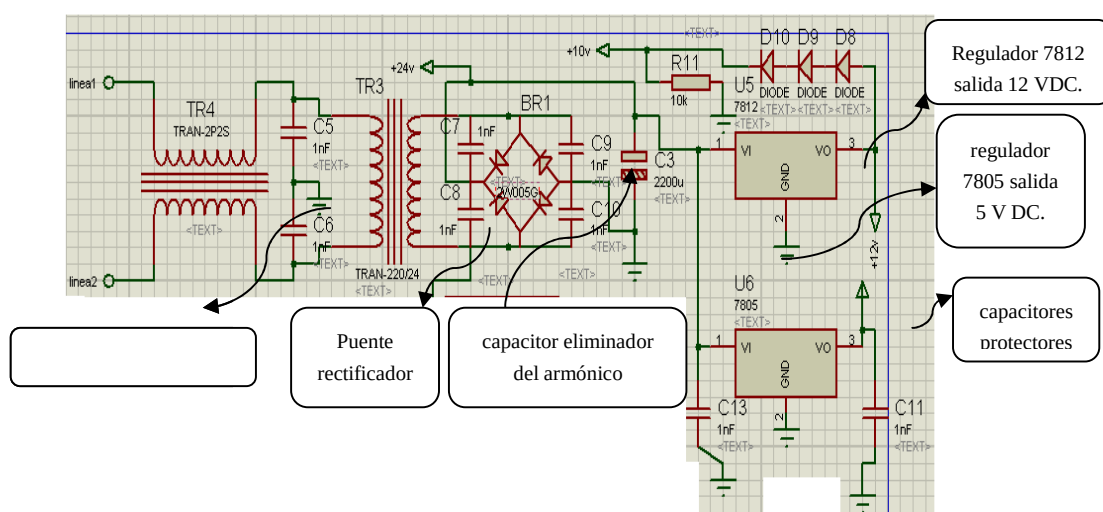
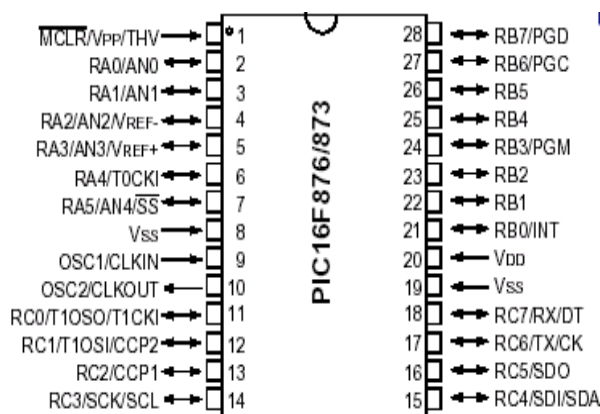


Figura 4.2.- Diseño de las fuentes. [Fuente: autores]



4.4.2 Microcontrolador 16f876

Se utilizo el microcontrolador 16F876, debido a que posee un número de entradas/salidas digitales y analógicas que satisfacen a plenitud los requerimientos del sistema (pantallas LCD, botonerías, señales de salida, señales de entrada, señales remotas, entre otros), una alta disponibilidad comercial y un bajo costo. Los pines de este microcontrolador se implementaron como se muestra en la figura 4.3.



PIN1: HABILITACIÓN DEL PIC (MASTER RESET)
PIN2: REFERENCIA POTENCIA (LOCAL)
PIN3: REFERENCIA POTENCIA (REMOTA)
PIN4: HABILITACIÓN POTENCIA (REMOTA)
PIN5: BOTÓN ACEPTAR
PIN6: HABILITACIÓN POTENCIA (LOCAL)
PIN7: BOTÓN ATRÁS
PIN8: GND
PIN9: CRISTAL RELOJ
PIN10: CRISTAL RELOJ
PIN11: PUERTO DATO LCD
PIN12: PUERTO DATO LCD
PIN13: PUERTO DATO LCD
PIN14: PUERTO DATO LCD

PIN15: PUERTO CONTROL LCD
PIN16: PUERTO CONTROL LCD
PIN17: PINES DE COMUNICACIÓN (LIBRES)
PIN 18: PINES DE COMUNICACIÓN (LIBRES)
PIN19: GND
PIN20: VSS 5V
PIN21: SEÑAL DISPARO
PIN22: NO SE CONECTA
PIN23: TREN DE PULSOS
PIN24: TREN DE PULSOS
PIN25: NO SE CONECTA
PIN26: NO SE CONECTA
PIN27: PROGRAMACIÓN
PIN28: PROGRAMACIÓN

Figura 4.3.- Configuración del Pic [Fuente: autores]



NOTA: Los pines RB6 y RB7 cuentan con la función de PGC (program counter) y PGD (program data), ellos permiten luego de tener el diseño del programa listo, transferirlo al pic.

4.4.3 Circuito detección de cruce por cero.

El microcontrolador utilizado (16F876) cuenta con cinco entradas analógicas, lo que permite conectar directamente la señal de referencia (señal de 60 HZ) al mismo, pero se tuvo en cuenta los diversos circuitos, programación y accesorios electrónicos necesarios para el desarrollo de este proyecto, y se observó que utilizar la señal analógica directa al pic le resta velocidad; por lo que se creó un circuito para transformar la onda senoidal a una onda cuadrada, el pin RB0/INT cuenta con una característica llamada interrupción externa, esto quiere decir, que cada vez que el dispositivo sienta un flanco bien sea de subida o bajada, el dispositivo va a realizar una acción, es por esto que se aprovecho esa característica para enviar la señal de onda cuadrada al pic y este responderá a los flancos. En la figura 4.4 se muestra el circuito empleado para la el logro de este objetivo:

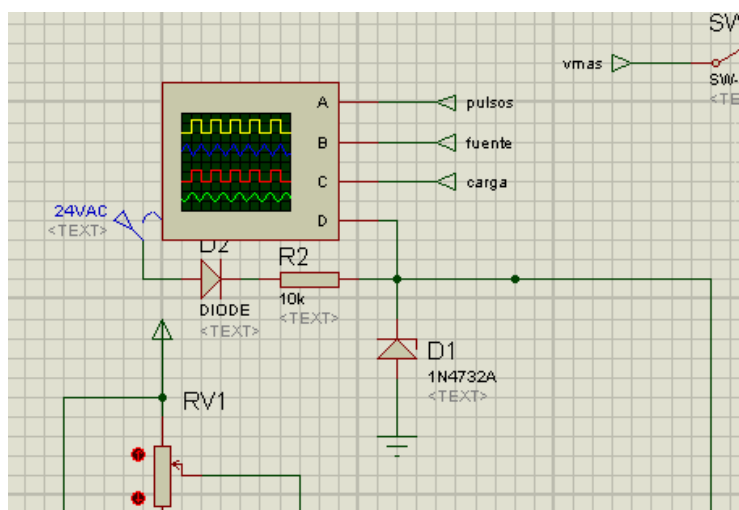


Figura 4.4.- Circuito de interrupción externa. [Fuente: autores]



4.4.4 Circuito de referencia de potencia

En este proyecto se plantea el uso de un potenciómetro que permite el trabajo de manera local, es decir le permite al usuario tener la opción de trabajar desde el panel de control, el pic traduce esa señal y la refleja.

4.4.4.1 Circuito de referencia de potencia local

El potenciómetro empleado para el manejo de esta área (panel de control), es el que le permite al usuario colocar el porcentaje de potencia requerido por medio de un potenciómetro que se encuentra en la parte externa de prototipo.

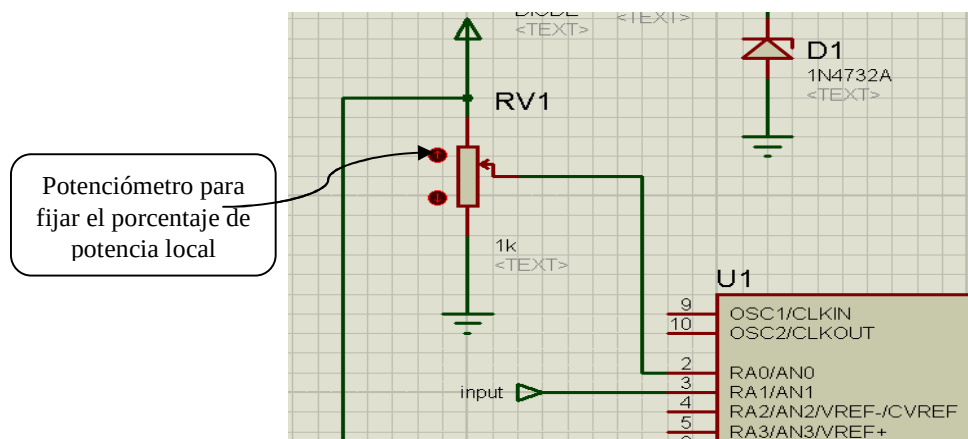


Figura 4.6.- Circuito de referencia de potencia (local). [Fuente: autores].



4.4.5 Circuito de protección con relé

Una parte importante del diseño es cuando el equipo trabajare al 100% de la potencia, en ese momento no se realiza ningún control y los SCR se fatigan, es por esto que se implemento el uso de un relé (RL1, Q3, D11), con éste, cuando el equipo está trabajando al 100%, cortocircuita los SCR y toda la potencia circula por el relé (para potencias mayores, el relé tendría como función accionar un contactor), cuando se necesite nuevamente tener control se vuelve al control.

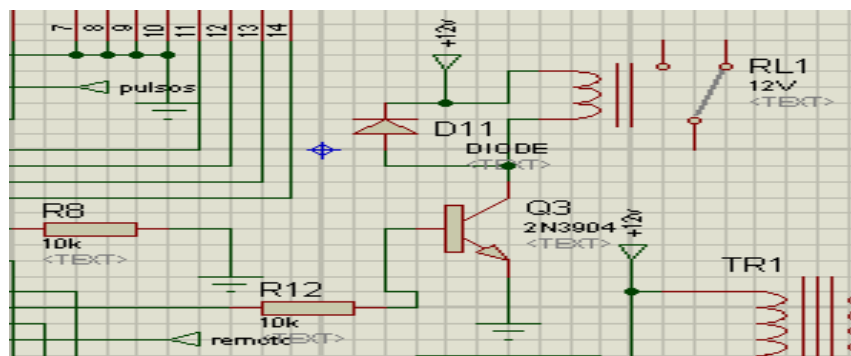


Figura 4.8- Circuito de protección con relé. [Fuente: autores].

4.4.6 Circuito resonador

Es una pieza importante para el microcontrolador, este necesita de alguien que le indique a que velocidad debe trabajar, por eso se implemento el uso de un resonador externo de cristal de cuarzo (X1), puesto que son muy estable a condiciones adversas.

Nota: el pic tiene internamente un resonador, no es recomendable su uso porque al calentarse o recibir calor puede descalibrarse.

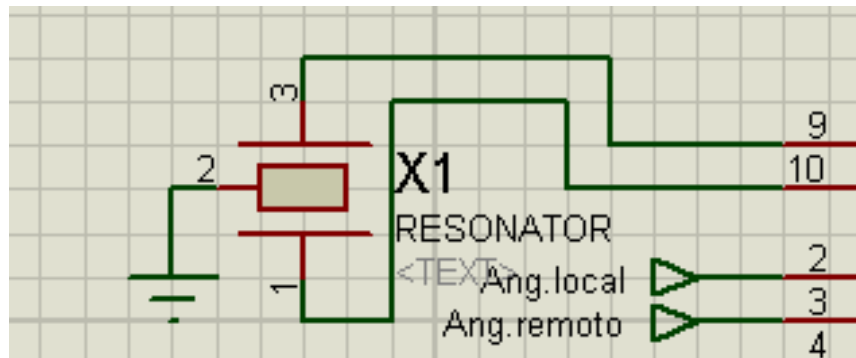


Figura 4.9- Circuito resonador. [Fuente: autor]

4.4.7 Circuito amplificador de corriente

En la tarjeta de control las tensiones manejadas son de 0 a 5V, los transformadores requieren de una corriente y tensión considerable que el microcontrolador no es capaz de manejar, para que los transformadores trabajen necesitan una corriente de al menos 200mA, es por esto, que se empleó un circuito de dos transistores, con dos resistencias de 10kOhm respectivamente que permiten convertir un pulso de corriente baja (aproximadamente 5mA) a una corriente mucho mayor. El modelo utilizado es el 2N2222 son transistores de pequeña señal.

Al momento del ensamble del dispositivo el β usado fue el valor típico dado por el fabricante, por lo que el cálculo de la corriente arrojó lo siguiente:

$$i_c = \beta i_b$$

$$i_c = 100mA \text{ (Esta corriente está limitada de acuerdo al diseño de los transformadores de pulso)}$$

$$i_b = \frac{100mA}{206}$$

$$i_b = 0.5mA$$



Con este valor de corriente se asegura el correcto funcionamiento de los transformadores de pulso.

El pic por cada pin puede entregar máximo 5V, el valor de la resistencia limitadora (R1 y R3) será de 1K.

En la figura 4.12 se observa los pines por donde el pic le envía a los transistores el tren de disparo se tienen las resistencias R1 y R3 que son las limitantes de corriente para así asegurar en la salida de los transistores la corriente deseada.

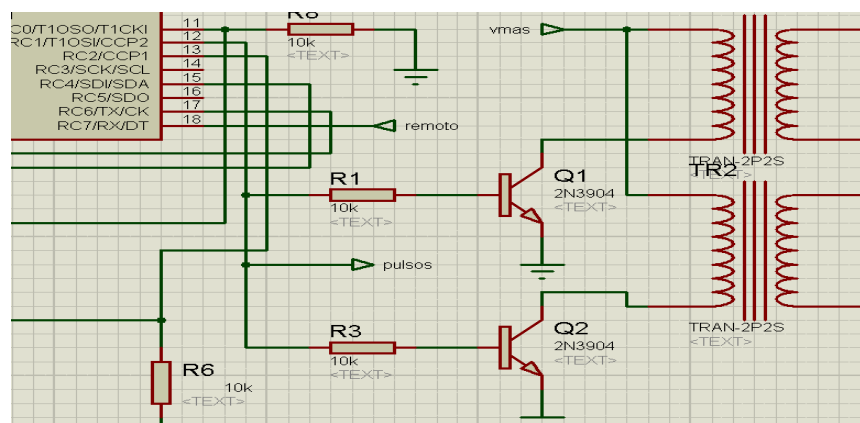


Figura 4.10.- Conexión de los transistores 2N2222. [Fuente: autores]

4.4.8 Transformadores de pulso

Los SCR están conectados en contra paralelo, al unir sus referencias para su control se produciría un corto circuito, por lo que se requiere un transformador para la compuerta de cada SCR, y así trabajen de manera aislada.



Los transformadores funcionan cuando existe una variación de corriente, es decir, en los flancos, bien sea flancos de subida o flancos de bajada, cuando el transistor se activa, cierra el circuito, y así alimenta al transformador, luego este ve una tensión reflejada a la salida, dicha tensión es la que luego ve el SCR teniendo como protección un diodo, para limitar la tensión y así asegurar que sea la correcta.

Para el Diseño de estos transformadores se tomo en cuenta los siguientes parámetros, los SCR [ver apéndice C] necesitan en su compuerta al menos 1.5V voltios para activarse, por lo que se busco unas características comerciales para la fabricación de los mismos; una impedancia de 240Ω - 50Ω lo que quiere decir que se tiene a la salida del transformador 5V y con esto se asegura que trabajen.

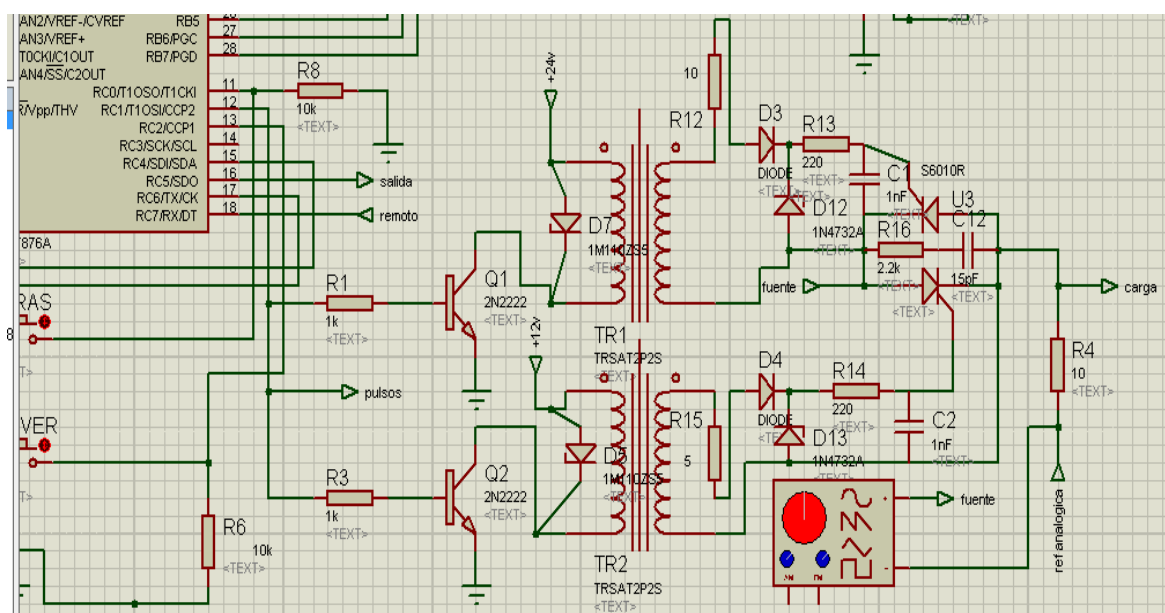


Figura 4.11.- Circuito con transformadores de pulso. [Fuente: autores]



4.5 ESTRUCTURA EXTERNA DEL PROTOTIPO

El diseño del accionamiento eléctrico, se puede configurar para ser utilizado de manera local o de manera remota, para ambos modos contará con un teclado una interfaz que es la pantalla donde se visualizan los parámetros, una referencia de potencia, una habilitación de arranque.

4.5.1 Entrada del dispositivo

Es la parte por donde se conecta la red con el dispositivo para que este sea alimentado y así pueda funcionar. El prototipo necesita una señal de entrada acorde con el parámetro de potencia q se requiera manejar y dependiendo del requerimiento va tener una tensión (ejemplo: 120v, 220v, 440v), el prototipo a presentar será diseñado con una corriente y voltaje de 10A y 120V respectivamente.

4.5.2 Salida del dispositivo

En la salida es la parte por donde se conecta la carga a controlar, según los parámetros de entrada, y por esta se obtiene la energía ya procesada por el dispositivo.

4.5.3 Interfaz de usuario

Está compuesta por tres botones con funciones específicas (botón mover, botón aceptar y botón atrás), una pantalla de visualización y un potenciómetro, el microprocesador 16F876 se encargará de traducir el código enviado desde el programa para mostrarlo en la pantalla. A continuación se describen los elementos del panel de interfaz de usuario:



Pantalla de visualización (LCD): la pantalla es una interfaz que permite al usuario observar cuando está configurando al dispositivo, el modo en que lo requiere (local o remoto) y puede observar la cantidad de potencia que requiere. Se utilizó una pantalla de dos líneas para mostrar las dos opciones en el modo de configuración, y el modo de ejecución para mostrar el una línea si fue configurado local o remoto y en la otra el porcentaje de potencia requerido.

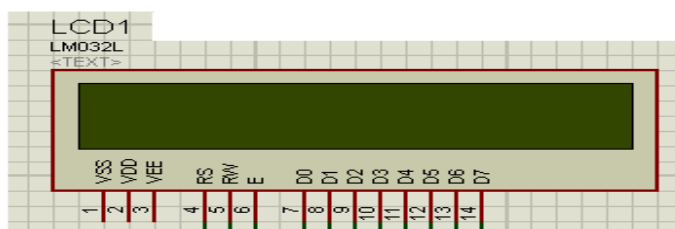


Figura 4.12.- Pantalla LCD LM032L. [Fuente: autores]

Botón mover: permite al usuario moverse (subir o bajar) entre las opciones de configuración, por ejemplo referencia de potencia o habilitación de arranque.

Botón aceptar: permite al usuario aceptar el modo de configuración que seleccionó y la entrada al submenú para luego modificar variables de interés.

Botón atrás: permite regresar a la página principal de configuración.

Potenciómetro: permite al usuario establecer el porcentaje de potencia local que se requiere.

Interruptor: establece o da el permiso para que el accionamiento comience a generar o mostrar tensión de carga.



4.6 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE CONTROL

Esta tarjeta es la que controla todo el circuito de control, pantalla LCD, circuitos de referencia de potencia local y remoto, circuito de protección con optocoplador y toda la botonería de la interfaz de control a través del pic16F876, que se encarga de mandar la referencia de potencia a la tarjeta de disparo y posee un puerto de programación para el microprocesador.

A continuación se presentan las diferentes vistas del diseño de la tarjeta de control.

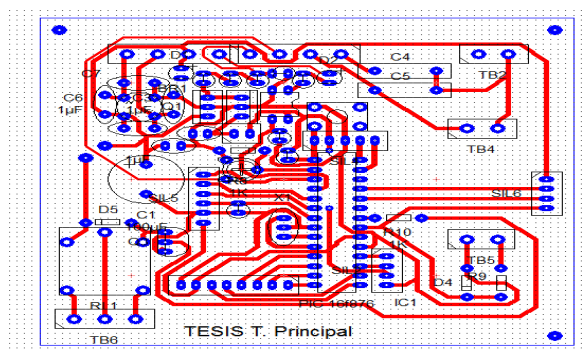


Figura 4.13.- Tarjeta de control vista frontal [Fuente: autores]

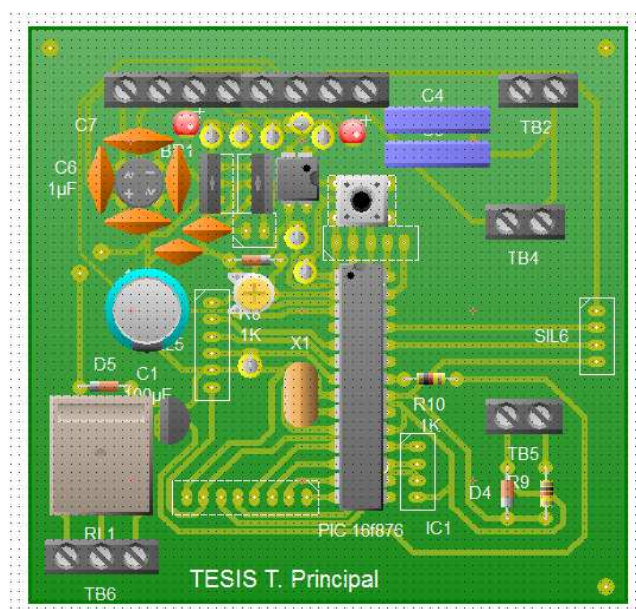


Figura 4.14.- Tarjeta de control vista general [Fuente: autores]

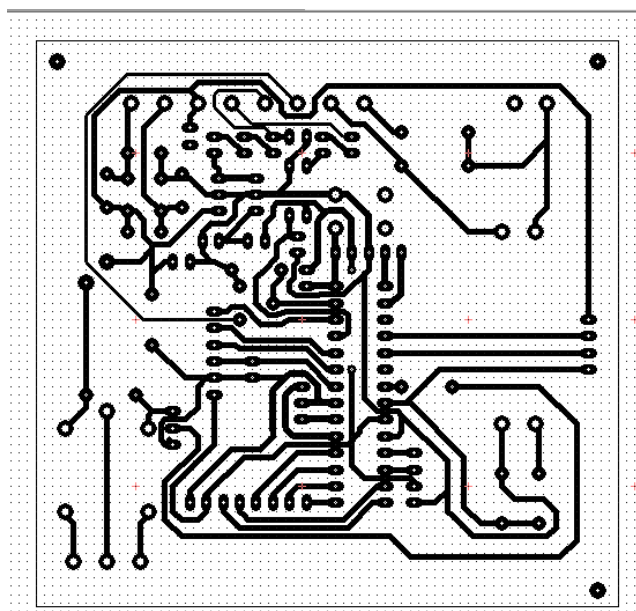


Figura 4.15.- Tarjeta de control vista posterior [Fuente: autores]

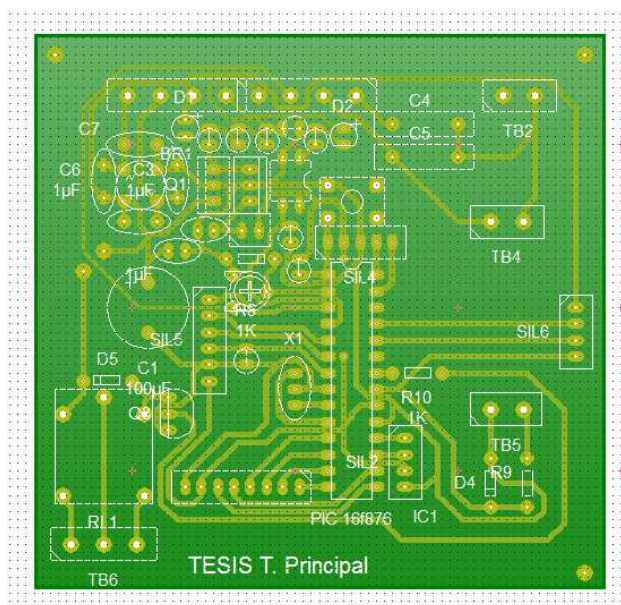


Figura 4.16.- Tarjeta de control vista componentes [Fuente: autores]

4.7 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE DISPARO

Esta tarjeta es la que controla el circuito de potencia, transistores, transformadores de pulso, resistencias limitadoras, diodos y capacitores de protección. En este sistema el transformador principal proveerá una tensión de alimentación 220V AC para alimentar el transformador reactor y reductor, y los SCR.



[Fuente: autores]

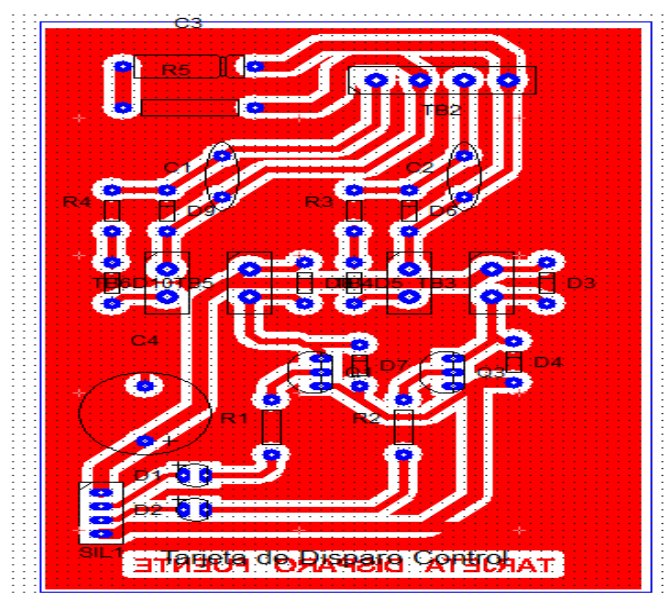


Figura 4.18.- Tarjeta de disparo vista frontal [Fuente: autores]

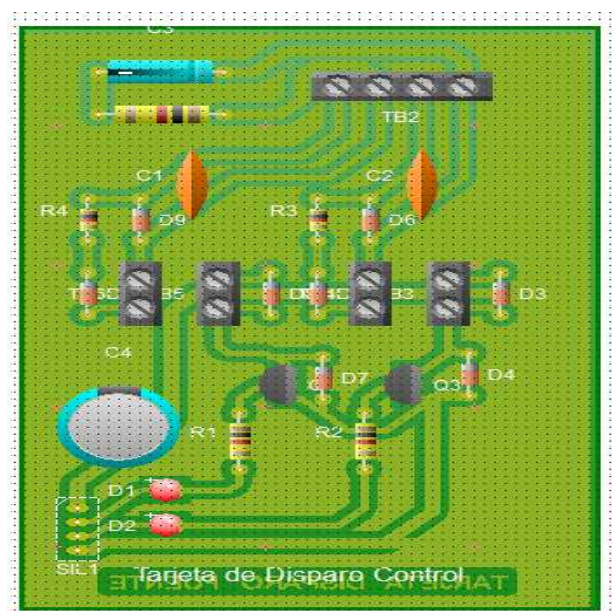


Figura 4.19.- Tarjeta de disparo vista general [Fuente: autores]

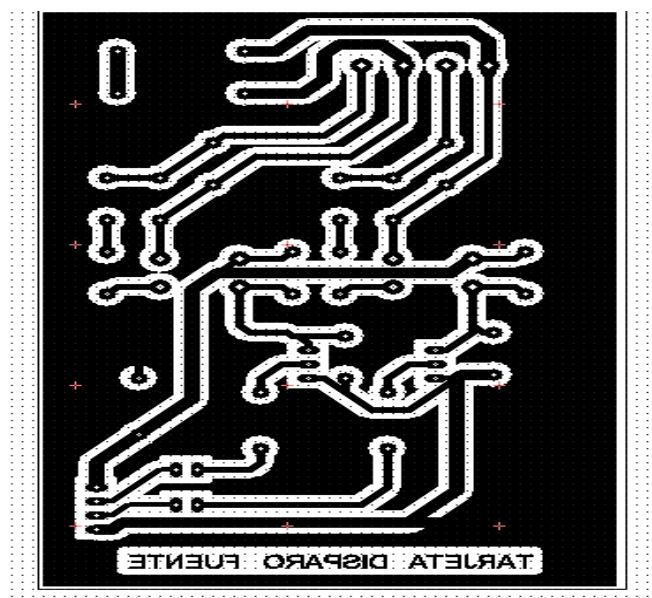


Figura 4.20.- Tarjeta de disparo vista posterior [Fuente: autores]

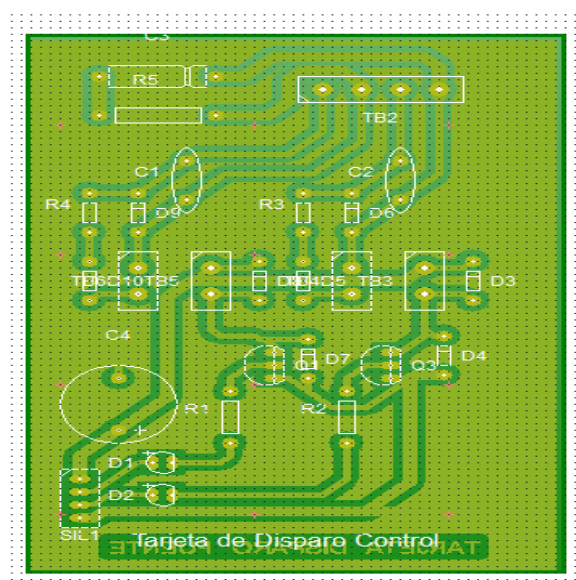


Figura 4.21.- Tarjeta de disparo vista componentes [Fuente: autores]



4.8 ANALISIS DE RESULTADOS

Antes de conectar el prototipo se comprobó el correcto funcionamiento de cada tarjeta, sus conexiones y alimentación.

En la figura 4.22 se muestra la señal cuadrada que entra al microprocesador por el pin 21 (RB0/INT)

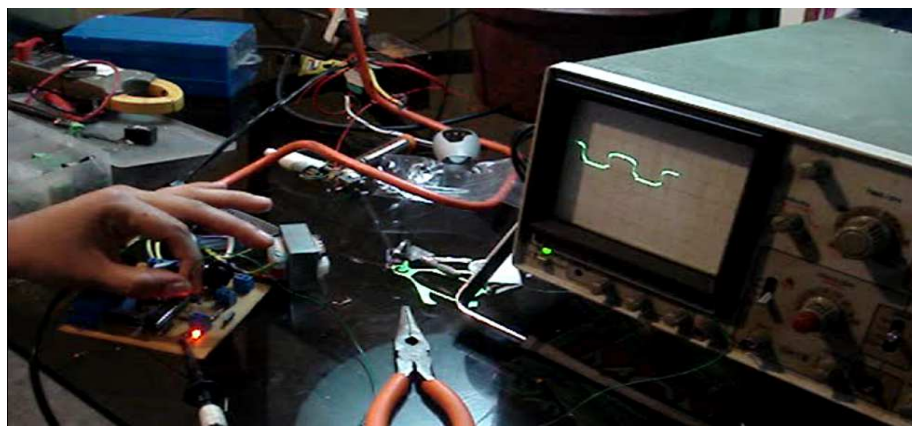


Figura 4.22.- Señal de disparo [Fuente: autores]

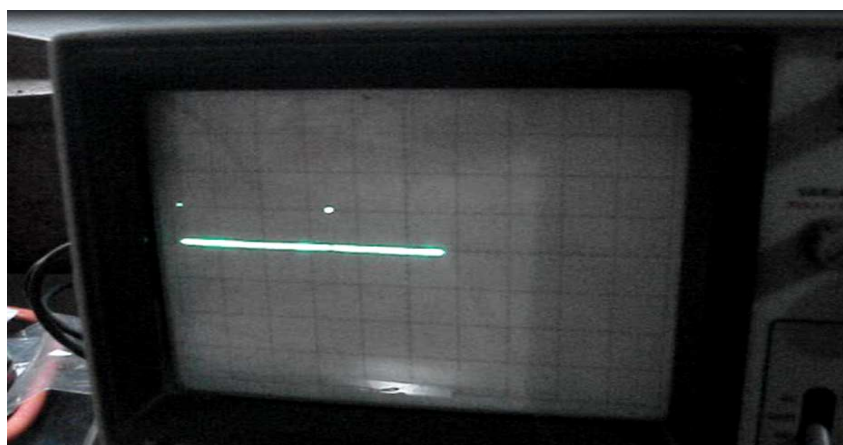


Figura 4.23.- Pulso para activar los SCR's [Fuente: autores]



Luego se procedió a conectar la pantalla LCD y verificar, a través de la misma, la ejecución del programa y las señales de control; por último se chequeó la interfaz y los botones.

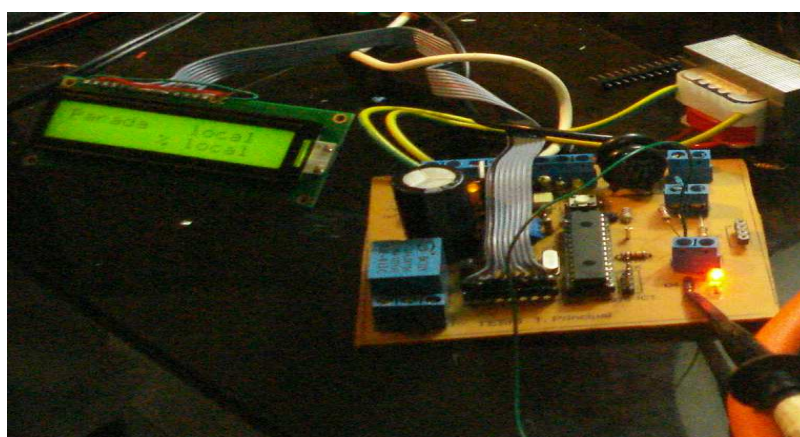


Figura 4.24.- Conexión de la pantalla LCD [Fuente: Autores]



Figura 4.25.- Verificación de la pantalla y botones [Fuente: Autores]



4.8.1 Señales generadas

A continuación se muestran las graficas generadas en la simulación con carga resistiva, para distintos niveles de potencia.

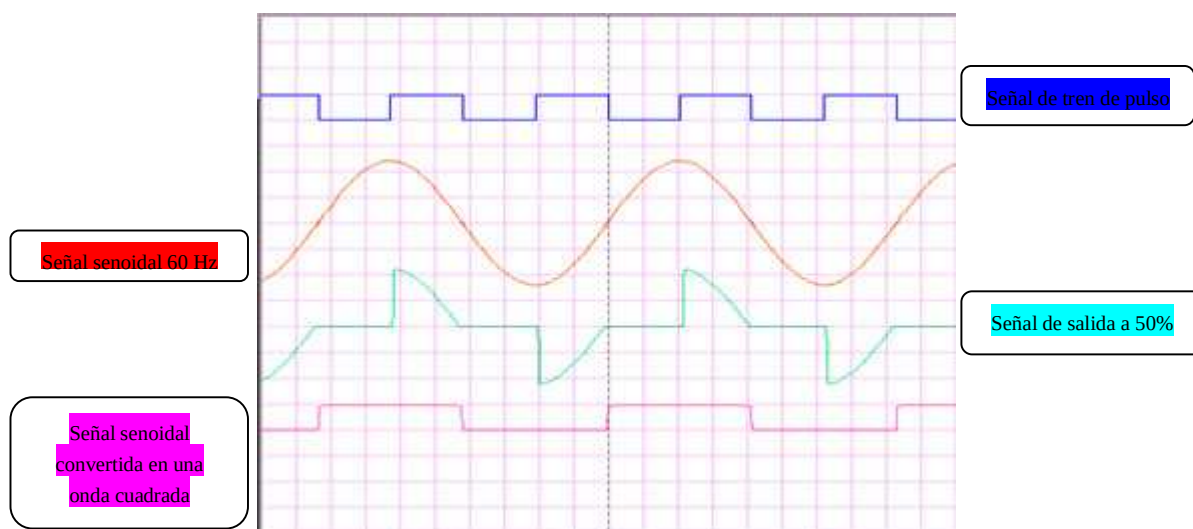


Figura 4.26.- Señales de salida del microprocesador, para 49% de potencia [Fuente: autores]

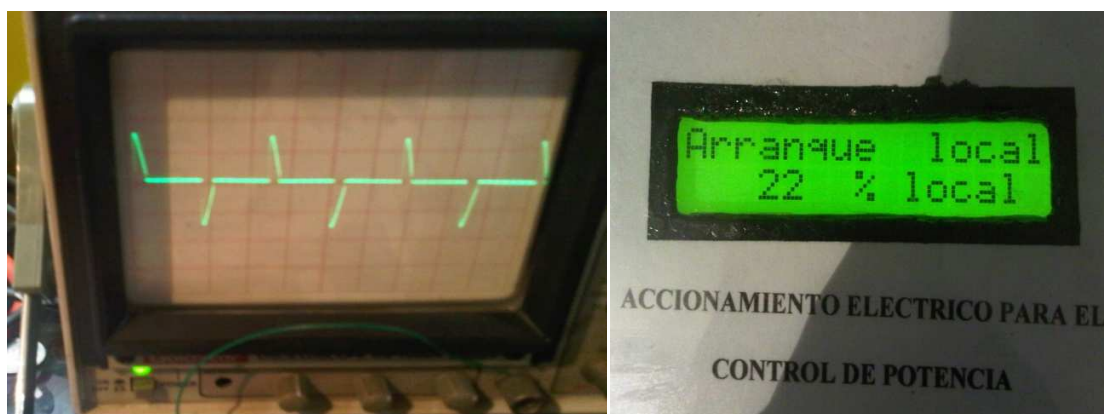


Figura 4.27.- Señal generada por el prototipo a la salida [Fuente: autores]

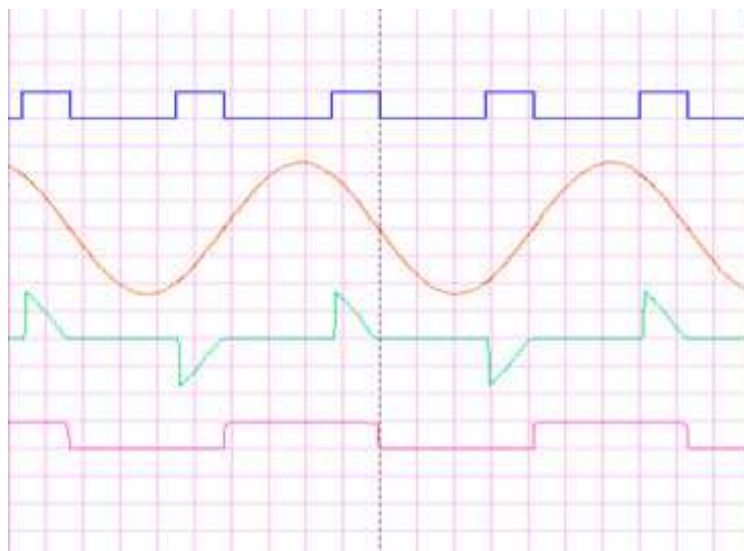


Figura 4.28.- Señales de salida del microprocesador, para 29% de potencia [Fuente: autores]

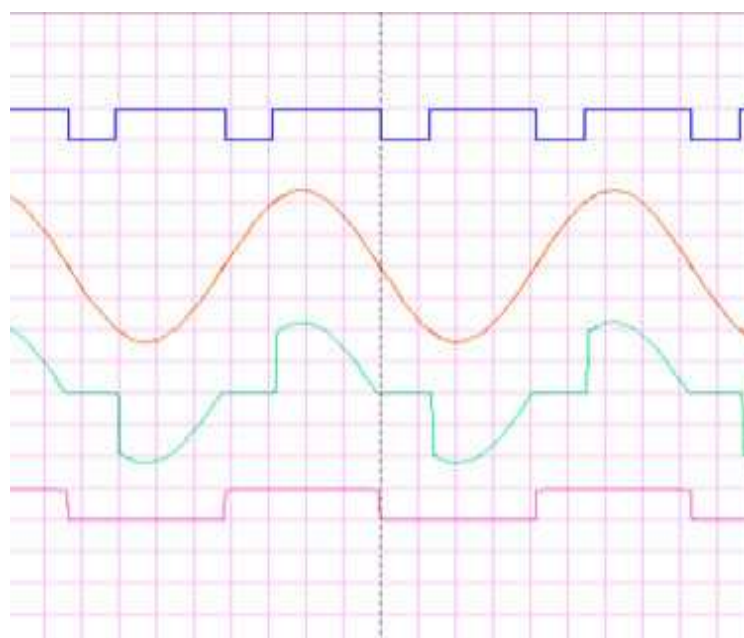
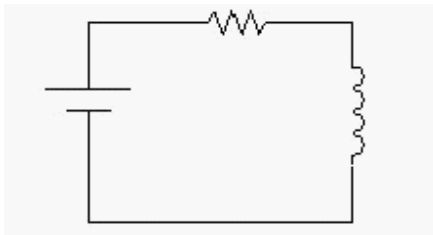


Figura 4.29.- Señales de salida del microprocesador, para 69% de potencia [Fuente: autores]



El desfase para la simulación con cargas inductivas se calculo teniendo como parámetros lo siguiente:



$$R = 1 \text{ Ohm}$$

$$L = 1 \text{ mH}$$

$$\omega L = 0.37$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.37}{1}\right) = 20.3 \text{ grados}$$

Nota: Se debe señalar que las señales obtenidas mantienen un margen de error generado por el PROTEUS.

A continuación se muestran las graficas generadas en la simulación con carga inductiva, para distintos niveles de potencia:

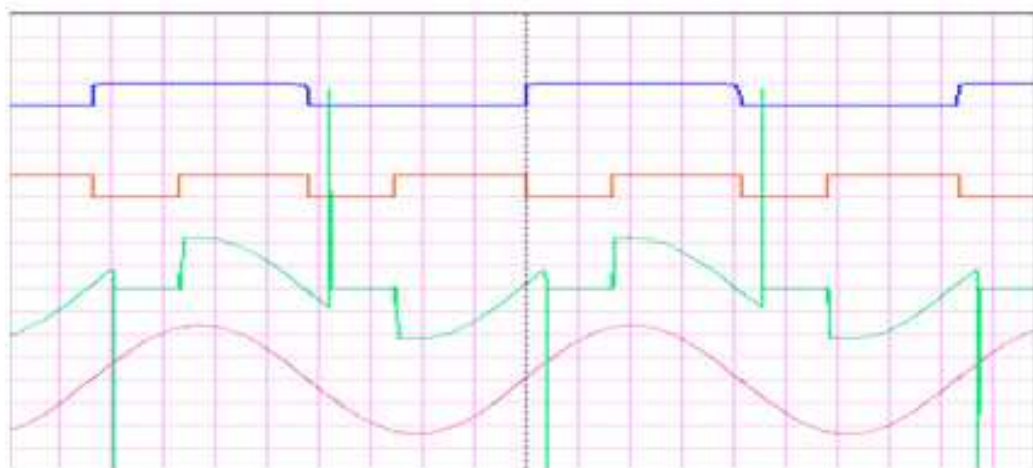


Figura 4.30- Señal de salida para una carga inductiva. [Fuente: autores]

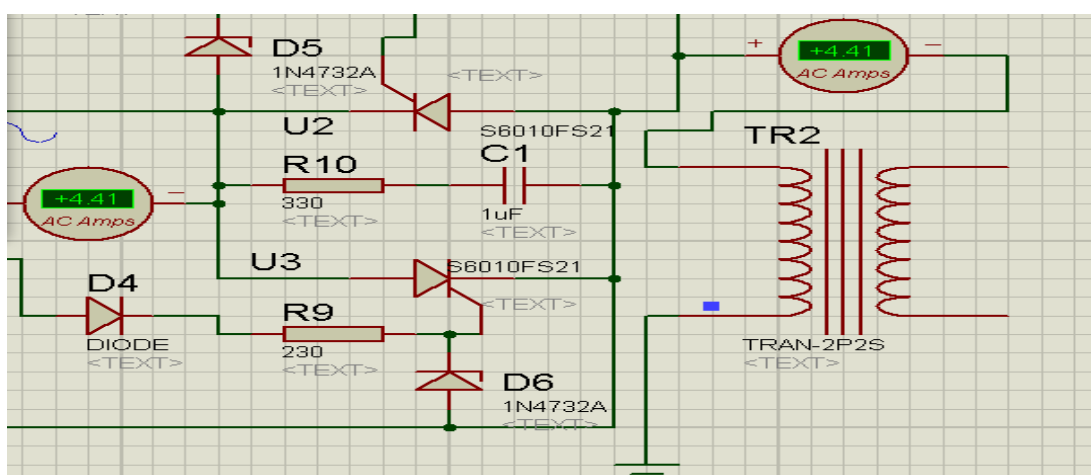


Figura 4.31- Valor de corriente obtenido con carga una inductiva. [Fuente: autores]

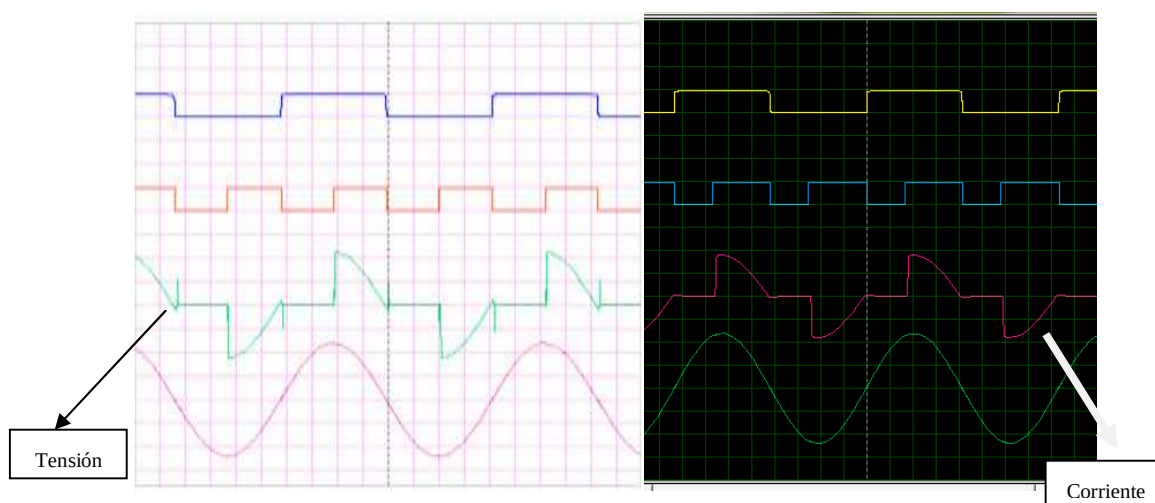


Figura 4.32- Señal de salida para una carga inductiva. [Fuente: autores]

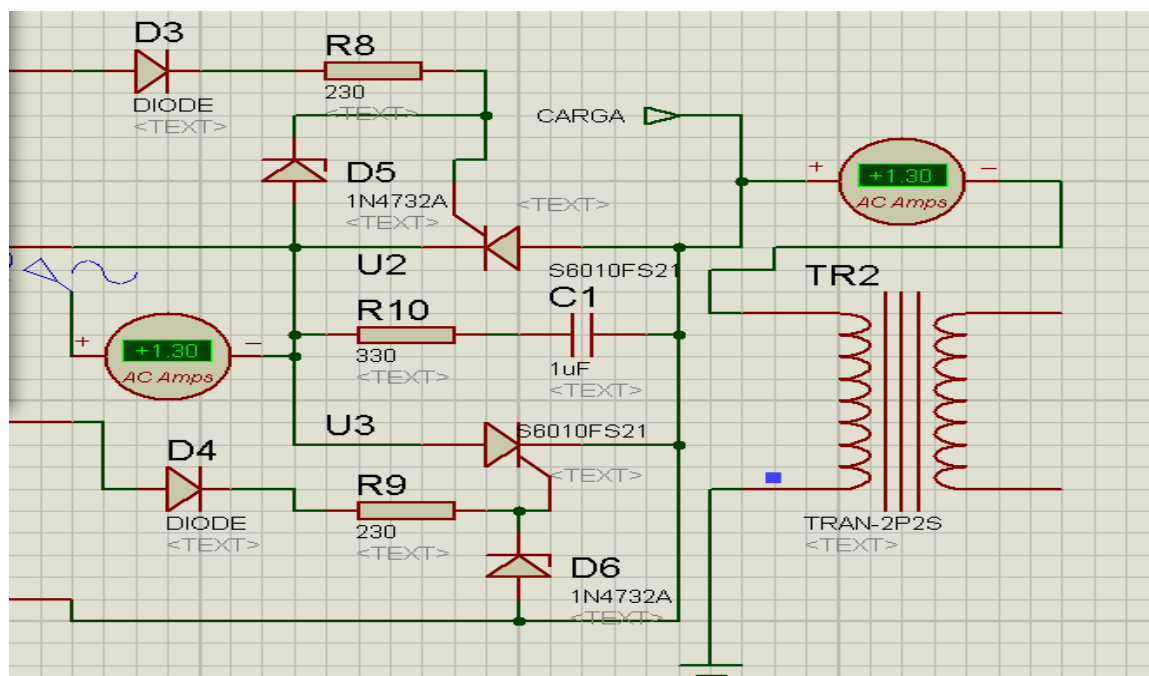


Figura 4.33- Valor de corriente obtenido con una carga inductiva. [Fuente: autores]



5.1 CONCLUSIONES.

Una vez desarrollado el prototipo, a escala, para el control de potencia de la maquina trefiladora con recocido en línea de la empresa ALCAVE C.A., se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- ✓ Mediante la información obtenida del proceso de trefilado, recocido y del funcionamiento de la máquina se logró determinar los requerimientos del proyecto, quedando establecido el uso de los SCR's para el control de la alimentación de la máquina, y los tipos de protecciones para los componentes electrónicos del prototipo y control digital.
- ✓ El diseño del prototipo se realizó utilizando dos SCR's conectados en contra paralelo para el control de ambos semiciclos de la señal senoidal, el uso del PIC16f876 debido a que posee un número de entradas/salidas digitales y analógicas que permitió el control digital del proceso y la electrónica adecuada para su correcto funcionamiento.
- ✓ Para la simulación del prototipo se usó el programa Proteus, con el cual se verificó que el diseño elaborado cumple con el correcto funcionamiento y mostró las señales de salida esperadas. En función de esta simulación, se construyeron dos tarjetas (control y potencia) y se utilizó una pantalla LCD y botones para la interacción con el usuario.
- ✓ Para probar el prototipo se conectaron cargas resistivas (bombillo) e inductivas y se fue variando el potenciómetro a distintos niveles, observando que las gráficas que se obtuvieron en el osciloscopio fueron muy similares a las de la simulación en Proteus, concluyendo que el prototipo arrojó los resultados esperados. Aún el prototipo se encuentra en la empresa para ser sometido a pruebas con otros tipos de carga.

Finalmente se concluye que todos y cada uno de los objetivos específicos fueron alcanzados, demostrándose el buen funcionamiento del prototipo.



5.2 RECOMENDACIONES.

- ✓ Se recomienda a la empresa ALCAVE C.A. la implementación del diseño del accionamiento.
- ✓ Se recomienda el uso de otros dispositivos electrónicos que permitan comparar el funcionamiento del dispositivo.
- ✓ Se recomienda agregar variables de control para garantizar el correcto funcionamiento de la trefiladora.

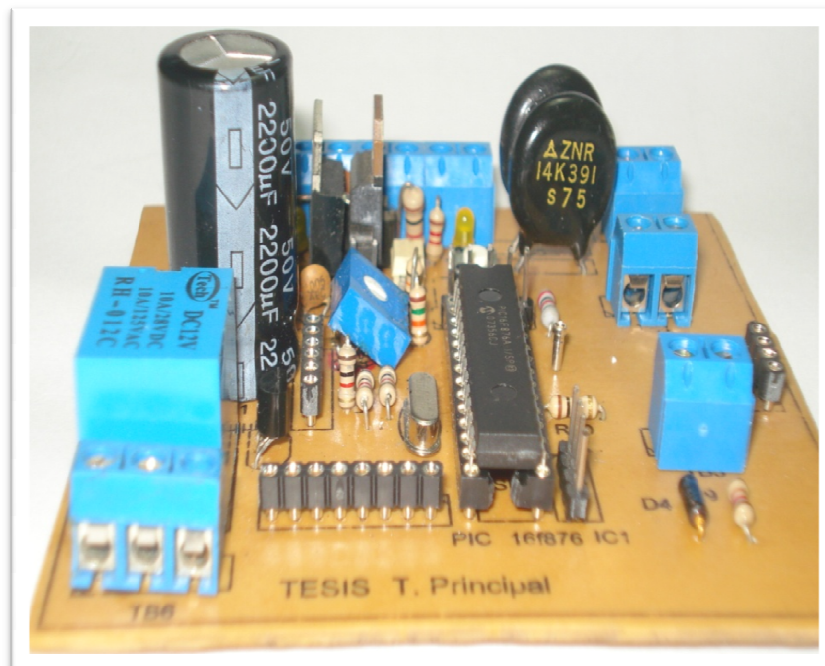


Foto 1.- Baquelita de la tarjeta de control.



Foto 2.- Baquelita de la tarjeta de potencia.

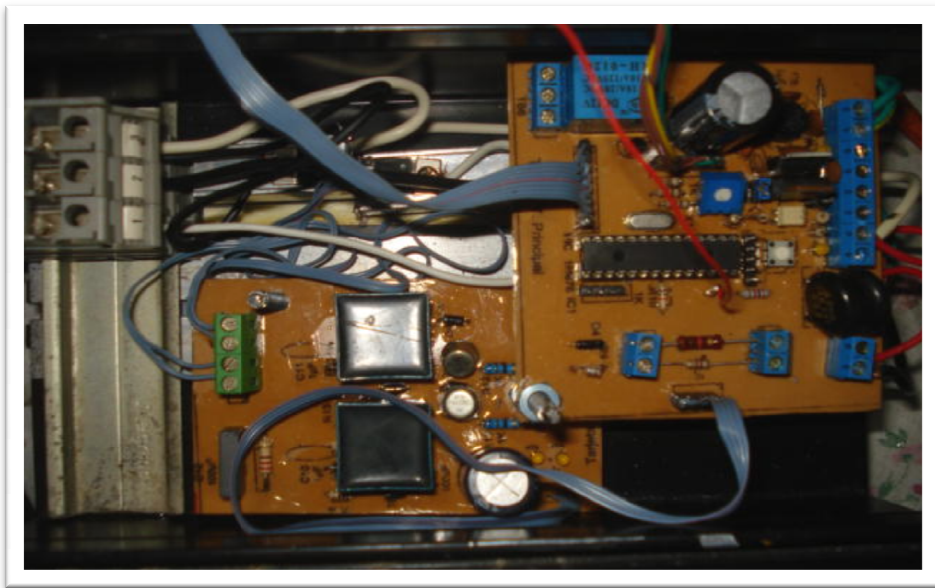


Foto 3. Estructura y conexión interna del prototipo.

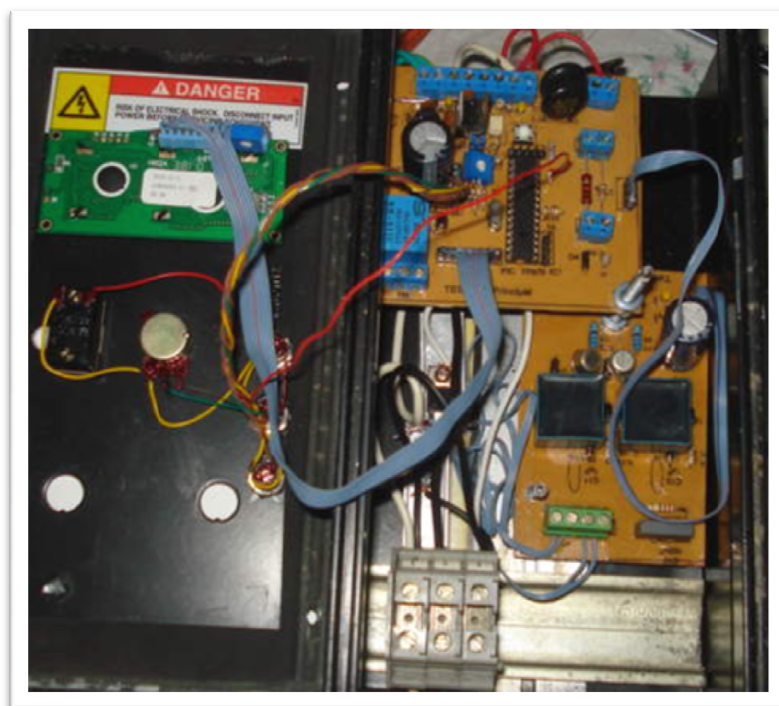


Foto 4. Estructura y conexión interna del prototipo.



Foto 5. Estructura Externa del prototipo.



Foto 6. Pantalla LCD y programador para el PIC.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUIAR, Ángel; (2007). **“Diseño e implantación de un sistema de desarrollo para la enseñanza de microcontroladores”**. Venezuela, Universidad de Carabobo.
- [2] MEJÍAS, José. y REYES Aldo; (1989). **“Diseñaron y construyeron un registrador de variables eléctricas basado en un microprocesador”**. Venezuela, Universidad de Carabobo.
- [3] ERNESTO, Cornieles. GERMÁN, Gutierrez. JAVIER, Serrano y NÉSTOR Cáliz; (2005). **“Diseño e implementación de una interfaz, basada en microcontrolador para control de proceso”**.
- [4] **Compilador**. [Página web]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Compilador>
- [5] **Área Electrónica**. [Página web]. Disponible:
<http://www.areaelectronica.com/semiconductores-comunes/tiristores.htm>
- [6] **Características del SCR**. [Página web]. Disponible:
http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/applets/pag_scr/pag_scr.htm
- [7] Murphy, J. y Turnbull, F., **Power Electronic Control of AC Motors**. PERGAMON PRESS
- [8] **Curva característica del Tiristor**. [Página web]. Disponible:
<http://www.areaelectronica.com/semiconductores-comunes/curvas-caracteristicas-tiristor.html>
- [9] **Microcontrolador**. [Página web]. Disponible:
<http://www.scribd.com/doc/101172/pic16f877-en-espanol1>
- [10] **Optoacoplador**. [Página web]. Disponible:



<http://es.wikipedia.org/wiki/Optoacoplador>

[11] **Transistor 2n2222**. [Página web]. Disponible:

<http://www.google.com/imgres?q=transistor+2n2222>

[12] **Normas UPEL**.