



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“ Diseño y Fabricación de un Panel con Sensores  
Táctiles con Comunicación USB hacia  
una Computadora ”**

POR

**Ing. Sergio Alejandro Guardado Martínez**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Hector A. Moreno Casillas**

**CODIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Francisco G. Flores García**

ISSN: 0188-9060



**RIITEC: (11)-TMCIE-2016**

Torreón, Coahuila, México  
Septiembre 2016

SEP

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de La Laguna

Torreón, Coah., **31/Agosto/2016**  
Dependencia: DEPI/CPCIE  
Oficio: DEPIJ/CPCIE/191/2016  
Asunto: Autorización de impresión  
de tesis.

**C. Sergio Alejandro Guardado Martínez**  
**CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.**  
**PRESENTE**

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

**"Diseño y Fabricación de Panel con Sensores Táctiles con Comunicación USB hacia Computadora"**

Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (11)-TMCIE-2016**, para que proceda a la impresión del mismo.

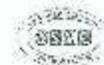
**ATENTAMENTE**  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

  
**DR. JOSÉ LUIS MEZA MEDINA**  
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación  
del Instituto Tecnológico de la Laguna



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
de la Laguna  
División de Estudios de Posgrado  
e Investigación

  
ILMM/RHSR





Torreón, Coah., 20/Junio/2016

**DR. JOSE LUIS MEZA MEDINA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

**"Diseño y Fabricación de Panel con Sensores Táctiles con Comunicación USB hacia Computadora"**

Desarrollado por el **C. Sergio Alejandro Guardado Martínez**, con número de control **M1413025** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

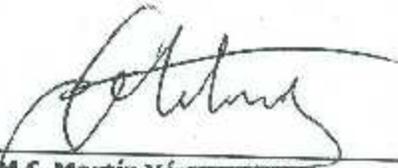
**ATENTAMENTE**

EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

  
**Dr. Héctor A. Moreno Casillas**  
Asesor/Director de Tesis

  
**Dr. Francisco G. Flores García**  
Codirector de Tesis

  
**Dr. Francisco Valdés Perezgasga**  
Comité Tutorial

  
**M.C. Martín Vázquez Rueda**  
Comité Tutorial



A mi esposa Alejandra Villarreal.  
A mis padres Sergio V. Guardado y María del Carmen Martínez.  
A mi hija Alexa y a mi familia.

## Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir y darme la fuerza para continuar en mi camino de vida.

A mi esposa Alejandra Villarreal Escobedo por apoyarme siempre y alentarme en todo momento para seguir cumpliendo metas. A mi hija Alexa por ser mi motivación de cada día para superarme y salir adelante siempre.

A mis padres que me han apoyado desde mi llegada a este mundo, con amor, tiempo y educación para formar la persona que ahora soy. Les agradezco infinitamente por todo el esfuerzo que han hecho y les entrego una pequeña muestra de que todo lo que se siembra, algún día da frutos.

A mi asesor el Dr. Héctor Aurelio Moreno Casillas por su confianza y asesoría en todo momento para el desarrollo del presente trabajo de tesis y a mi coasesor el Dr. Francisco Gerardo Flores García por su incondicional apoyo, consejos y buen trato que me ha brindado desde el día en que lo conocí.

A mis maestros de la maestría, de la ingeniería y todos los maestros con los que he llevado clase, por haber sido parte de mi formación académica.

A mis compañeros de la maestría y todos mis compañeros de trabajo con los que a diario he compartido muchas experiencias y gratos momentos.

A todos ellos les agradezco por formar parte de mi vida y los llevaré por siempre en mi mente y en mi corazón.

## Resumen

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y fabricación de un panel con sensores táctiles, el cual está compuesto por veinte sensores hechos a base de circuitos temporizadores, cada uno de ellos se activan al tocar una superficie de cobre de un centímetro cuadrado y dos milímetros separación entre cada uno de ellos conectados a los temporizadores. Las partes de cobre están colocados en un panel compuesto por una matriz de 4 columnas y 5 renglones. La salida de cada temporizador activa un led de una matriz de leds del mismo tamaño que el panel. Cada salida se toma como un dato binario y están conectados a veinte entradas digitales de un microcontrolador que se utiliza para leer los datos provenientes de los sensores, guardarlos, mostrarlos y enviarlos hacia una computadora por un puerto USB. El sistema incorpora un microcontrolador PIC18F4550 de la compañía Microchip, una pantalla de cristal líquido (LCD) para desplegar mensajes, y un puerto USB.

Al activar algún sensor desde el panel, el microcontrolador lee los veinte sensores cada 100 milisegundos y guarda los valores en cuatro intervalos de tiempo, despliega los valores en la pantalla LCD y manda esa misma información a la computadora. La información que llega a la computadora se puede observar por medio de un programa de visualización de puerto serial.

Los resultados obtenidos fueron favorables ya que al final se logró fabricar un sistema que es capaz de leer veinte sensores táctiles, desplegar y enviar la información que se presenta en el panel hacia una computadora.

## Abstract

This thesis work presents a design and manufacture of a panel with touch sensors, which is composed of twenty sensors made from timing circuits, each of them are activated by touching a one square centimeter copper surface and two millimeters of separation between each other connected to each timer. The copper parts are placed in a panel composed of a matrix of 4 columns and 5 lines. The output of each timer activates a LED maatrix as same size as the panel. Each output is taken as a binary data and are connected to twenty digital inputs of a microcontroller that is used to read data from the sensors, store, display and send them to a computer through a USB port.

The system incorporates a Microchip PIC18F4550 microcontroller, one liquid crystal display (LCD) for displaying messages, and a USB port.

By activating a sensor from the panel, the microcontroller reads the twenty sensors every 100 milliseconds and stores the values in four time slots, the values displayed on the LCD screen and sends the same information to the computer. The information reaches the computer can be seen through a viewing program serial port.

The results were favorable since the end he managed to produce a system that is able to read twenty tactile sensors, display and send the information presented in the panel to a computer.

# ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificación.....	12
1.4.1 Impacto social.....	13
1.4.2 Impacto tecnológico.....	13
1.4.3 Impacto económico.....	13
1.4.4 Impacto ambiental.....	14
1.4.5 Viabilidad de la investigación.....	14
1.5 Metodología de la investigación.....	14
1.6 Cronograma de actividades.....	16
1.7 Presupuesto.....	17
2. Marco teórico.....	19
2.1. Sensores táctiles.....	19
2.2. Sensor táctil capacitivo.....	20
2.2.1. Aplicación efectiva de la detección táctil capacitiva con el periférico CTMU.....	23
2.2.2. El CVD para detección táctil capacitiva.....	26

2.2.3. Desarrollo del firmware para eliminar las interferencias externas.....	27
2.2.4. Diseño de referencia para aplicaciones de detección táctil capacitiva .....	28
2.2.5. Factores que contribuyen al diseño de sensores táctiles capacitivos efectivos. ....	28
2.3. Sensor táctil resistivo.....	30
2.4. Comparación entre sensor táctil resistivo y capacitivo.....	32
2.5. Temporizador LM555.....	33
2.7 . Temporizador NE558.....	37
2.8 . Microcontrolador PIC18F4550.....	40
2.9. Comunicación PIC-PC via USB.....	44
2.10. Compilador PCWH CCS.....	45
2.10.1. Características del lenguaje C para este compilador.....	47
2.10.2. Directivas del preprocesador.....	47
2.10.3. Funciones precompiladas.....	54
2.10.4. Utilidades adicionales.....	55
2.11. Programador MASTER-PROG.....	56
2.12. Programa PCB WIZARD.....	60
2.13. Terminal de puerto serial.....	63
3 Metodología de las actividades.....	65
3.1. Investigación documental.....	65
3.2. Delimitación del proyecto.....	66
3.3. Diseño de pruebas de sensores táctiles.....	66
3.4. Propuesta de circuito sensor táctil.....	68
3.5. Pruebas de funcionamiento del sensor táctil propuesto.....	69
3.6. Financiamiento.....	69

3.7. Adquisición de materiales, equipos e instalaciones.....	70
3.8. Diseño y fabricación de circuitos impresos.....	70
3.9. Programación del Microcontrolador PIC18F4550.....	70
4. Resultados.....	72
4.1. Investigación documental.....	72
4.2. Delimitación del proyecto.....	73
4.3. Diseño de pruebas de sensores táctiles existentes.....	74
4.4. Propuesta de circuito como sensor táctil.....	76
4.5. Pruebas de funcionamiento del sensor táctil propuesto.....	79
4.6. Financiamiento.....	82
4.7. Adquisición de materiales, equipos e instalaciones.....	82
4.8. Diseño y fabricación de circuitos impresos.....	84
4.9. Modificaciones.....	90
4.10. Ensamble y pruebas de tarjetas y paneles.....	91
4.11. Programación del Microcontrolador PIC18F4550.....	92
CONCLUSIONES.....	97
REFERENCIAS.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Hugh Le Caine y su sintetizador "Electric Sackbut" .....	3
Figura 1.2. E.A Johnson Touch Screen. ....	4
Figura 1.3. PLATO IV Touch-Screen Terminal.....	5
Figura 1.4. Sam Hurst con la primera pantalla táctil resistiva.....	6
Figura 1.5. Computadora Personal HP150 con tecnología táctil.....	6
Figura 1.6. PDA Newton de la compañía Apple. ....	7
Figura 1.7. Primer teléfono inteligente "SIMON". ....	8
Figura 1.8. Teléfono inteligente iPhone de Apple.....	8
Figura 1.9. Algunos aparatos electrónicos con interfaz táctil.....	10
Figura 1.10. Diagrama a bloques de la metodología de investigación. ....	15
Figura 2.1. Sensor táctil capacitivo. ....	21
Figura 2.2. Partes de un sensor táctil. ....	22
Figura 2.3. Módulo CIMU. ....	23
Figura 2.4. Formas de onda de carga y descarga de la CTM. ....	25

Figura 2.5. Diagrama de bloques del CVD. ....	27
Figura 2.6. Sensor táctil resistivo .....	30
Figura 2.7. Partes de un sensor táctil resistivo. ....	31
Figura 2.8. Estructura interna del LM555. ....	34
Figura 2.9. Configuración monostable del LM555. ....	35
Figura 2.10. Voltaje de la entrada ( $V_i$ ), de carga del capacitor ( $V_c$ ) y de la salida ( $V_o$ ). ....	36
Figura 2.11. Arquitectura interna y configuración del circuito integrado NE558. ....	38
Figura 2.12. Flanco de bajada. ....	38
Figura 2.13. Diagrama a bloques de un temporizador interno del NE558. ....	39
Figura 2.14. A) Voltaje de entrada, B) Carga del capacitor, C) Tiempo en alto. ....	40
Figura 2.15. Diagrama a bloques de la arquitectura interna del PIC18F4550. ....	43
Figura 2.16. Configuración de pines del circuito integrado PIC18F4550. ....	44
Figura 2.17. Menú View. ....	56
Figura 2.18. Menú Tools. ....	56
Figura 2.19. Programador MASTER PROG. ....	57
Figura 2.20. Ventana principal del Software del Master Prog. ....	59
Figura 2.21. Colocación correcta de microcontroladores en el Master Prog. ....	60
Figura 2.22. Circuito eléctrico y menú de símbolos de componentes. ....	61
Figura 2.23. Diseño de circuito impreso utilizando los componentes versión PCB. ....	61

Figura 2.24. Vista en 3D de un circuito impreso.....	62
Figura 2.25. Ventana principal del programa "Advanced serial port terminal".....	64
Figura 3.1. Circuito sensor táctil con leds infrarrojos.....	67
Figura 3.2. Circuito sensor táctil con C.I 555.....	67
Figura 3.3. Circuito sensor táctil con C.I 558.....	68
Figura 4.1. Circuito armado utilizando leds infrarrojos.....	74
Figura 4.2. Circuito armado con un LM555.....	75
Figura 4.3. Circuito armado con un NE558.....	77
Figura 4.4. Salida del circuito con el NE558.....	78
Figura 4.5. Tablilla de pruebas con circuito de 20 sensores táctiles.....	80
Figura 4.6. Matriz de leds y panel con superficies de cobre.....	81
Figura 4.7. Vista en 3D del circuito impreso de los veinte sensores táctiles.....	85
Figura 4.8. Pistas del circuito impreso con los C.I NE558.....	85
Figura 4.9. Fotografía de la tarjeta con los C.I NE558 terminada.....	86
Figura 4.10. Vista en 3D del circuito impreso con el microcontrolador.....	87
Figura 4.11. Pistas del circuito impreso del microcontrolador.....	87
Figura 4.12. Fotografía de la tarjeta del microcontrolador.....	88
Figura 4.13. Panel con veinte partes de cobre.....	89
Figura 4.14. Panel de leds.....	89

Figura 4.15. Tarjeta de sensores modificada. ....	90
Figura 4.16. Fotografía del sistema completo terminado. ....	91
Figura 4.17. Declaración de parámetros y variables. ....	93
Figura 4.18. Función principal del programa. ....	94
Figura 4.19. Conexión de la tarjeta del microcontrolador y el programador Master Prog. ....	95
Figura 4.20. Tarjeta del microcontrolador con sensores táctiles conectados. ....	95
Figura 4.21. Ventana del programa Advanced Serial Port Terminal. ....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cronograma de Actividades.....	16
Tabla 1.2. Presupuesto necesario para la investigación.....	18
Tabla 2.1 Comparación de los dos tipos de sensores. ....	33
Tabla 2.2. Características del PIC18F4550. ....	42
Tabla 4.1. Pruebas de funcionamiento de los sensores táctiles. ....	81
Tabla 4.2. Presupuesto y material para las pruebas. ....	83

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción.

La interacción de las personas con las máquinas y aparatos electrónicos ha aumentado considerablemente en los últimos 30 años. A principios del siglo XXI se comenzó a interactuar aún más con los equipos de uso cotidiano e industrial. Es necesario que el usuario se comunique con la máquina o aparato mediante una interfaz digital o analógica para poder operar sus funciones específicas de la forma deseada. Desde hace muchos años se han utilizado interruptores, botones, teclados, sensores y membranas matriciales como dispositivos periféricos para establecer una comunicación entre hombre-máquina.

Desde la década de los 70's se comenzaron a utilizar tecnologías que detectaban el toque de la piel con algún aparato electrónico, a esto se le llamo sensor táctil y ha ido avanzando conforme el paso de los años. Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas [1].

Los sensores táctiles son aquellos que son activados con el roce de uno o más dedos de una persona. Estos sensores son comúnmente usados en conjunto con pantallas para control y manejo de las funciones del aparato que las contenga, sin embargo los sensores táctiles se pueden utilizar para remplazar un botón o interruptor, o utilizarlos en conjunto a un aparato como una interfaz táctil más compleja.

No fue hasta principios del siglo XXI que se comenzó a aplicar la tecnología "touch screen" (toque en pantalla) a dispositivos móviles, los cuales tuvieron bastante aceptación por los usuarios. El uso en conjunto de los sensores táctiles con pantallas de cristal líquido, abrió la pauta para la aplicación de esta tecnología en aparatos portátiles de uso diario, sin embargo, los

sensores táctiles son usados en diversas aplicaciones industriales como tableros de control, interfaces etc.. que hacen que estos sensores sean atractivos para el uso común.

Hoy en día los sensores táctiles se pueden aplicar para múltiples propósitos, según Patrick Baudisch, profesor de ciencias de la computación en el Instituto Hasso Plattner, y Rafael Wimmer, un estudiante doctorado de la Universidad de Munich [2].

En esta investigación se propone investigar acerca de los sensores táctiles, diseñar un panel con veinte sensores que sea capaz de leerlos en tiempo real, mostrar la información en una pantalla LCD y enviarla por un puerto USB hacia una computadora.

Para esto será necesario saber cómo funciona un sensor táctil, cómo se fabrica y proponer un circuito que funcione correctamente, además de utilizar un microcontrolador como adquisidor de datos con la capacidad y recursos necesarios que además sea capaz de comunicarse con una computadora por un puerto USB.

Se realizaron pruebas de diferentes circuitos que funcionan como sensores táctiles y se tomaron como base para la fabricación del prototipo final para esta investigación.

Este proyecto se realizará en el laboratorio de Instrumentación Electrónica (Edificio 26) y el Laboratorio de Ingeniería Electrónica (Edificio 20) del Instituto Tecnológico de la Laguna.

## **1.1 Antecedentes.**

En la década de los 70's se empezaron a utilizar dispositivos capaces de detectar el toque de un dedo de una persona, y convertirlo en una señal eléctrica que podía ser interpretada de manera digital. En aquellos años no se tuvo el mismo impacto que hoy en día se tiene. Fue sino después de algunos años de que se comenzara a utilizar esta tecnología en conjunto con pantallas.

Es importante recalcar el punto anterior, ya que no es lo mismo hablar solo del sensor táctil, a una pantalla táctil, ya que la segunda involucra tanto los sensores táctiles como la pantalla en un

mismo sistema. Sin embargo a continuación se hablará de los antecedentes de ambas partes para entender la evolución que tuvieron y los avances tecnológicos que los impulsaron para tener la demanda que tienen en el mercado actual.

Entre los pioneros de la tecnología táctil encontramos al músico canadiense Hugh Le Caine, mundialmente conocido por crear uno de los primeros sintetizadores musicales de la historia [3]. En 1948 dicho sintetizador se conoció como el Electric Sackbut (figura 1.1) y su importancia radica en que fue uno de los primeros artefactos *-en este caso musical-* en donde una persona podía manipular un dispositivo por medio de la presión dactilar.



Figura 1.1. Hugh Le Caine y su sintetizador "Electric Sackbut"

Para tocar el instrumento el intérprete usaba su mano derecha sobre el teclado y la izquierda sobre un controlador. Con la derecha tocaba las teclas normalmente y cuando tocaba una nota, podía modular la intensidad del volumen mediante la presión que ejercía verticalmente sobre la tecla. El teclado también era sensible a la presión lateral: cuando se movía la tecla de lado a lado producía sutiles cambios sonoros en el tono (vibrato). En cuanto a la mano izquierda, esta manipulaba un controlador que modulaba la electricidad del instrumento, lo que ocasionaba que

cada nota interpretada con la mano derecha estuviera acompañada de una gran variedad de texturas sonoras. Este experimento permitió a Hugh inventar un condensador eléctrico sensible a la presión con el que podía modular la corriente eléctrica [3].

Entre los años de 1965 a 1968 se dió a conocer una publicación de la E.A Johnson británica que hablaba de la E.A Johnson Touch Screen; una de las primeras pantallas táctiles capacitivas del mundo (figura 1.2) que era utilizada para controlar el tráfico aéreo en Inglaterra. La única diferencia que existía con las de hoy en día, era que la pantalla no era multitouch. Entre el 67 y 68, la E.A Johnson redactó más publicaciones con información detallada del cómo, porqué y para que de este tipo de tecnología [4].

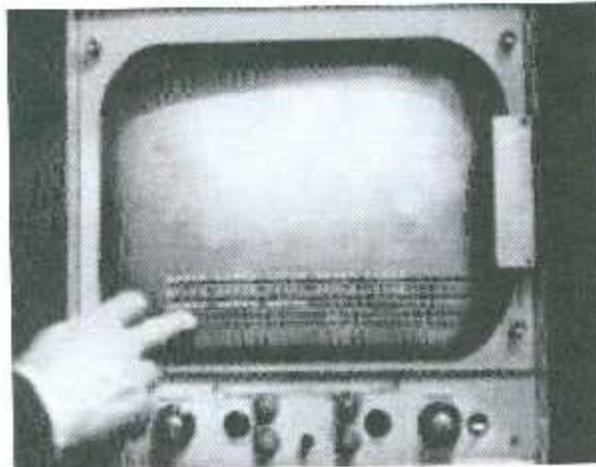


Figura 1.2. E.A Johnson Touch Screen.

En 1972 la compañía IBM dio a conocer el primer computador táctil comercial de la historia llamado PLATO IV Touch-Screen Terminal (figura 1.3). Este computador se basó en la tecnología infrarroja para detectar la presión dactilar en la pantalla y era un proyecto que se conocía desde la década del 60 en la Universidad de Illinois, donde los estudiantes utilizaban a

PLATO (Programmed Logic for Automated Teaching Operations) para llenar cuestionarios académicos tocando la pantalla del ordenador [5].



Figura 1.3, PLATO IV Touch-Screen Terminal.

El Doctor Sam Hurst creó la primer pantalla táctil resistiva (figura 1.4) en 1979, que se convertiría en el tipo de tecnología más utilizado hasta el momento en la mayoría de dispositivos táctiles. El Dr. Sam inició sus investigaciones en el campo de la tecnología táctil mientras trabajaba en la Universidad de Kentucky (EEUU) y fue en ese lugar cuando en 1971, el Doctor y su equipo de investigación, crearon un sensor táctil al que llamaron "Elograph" [6].

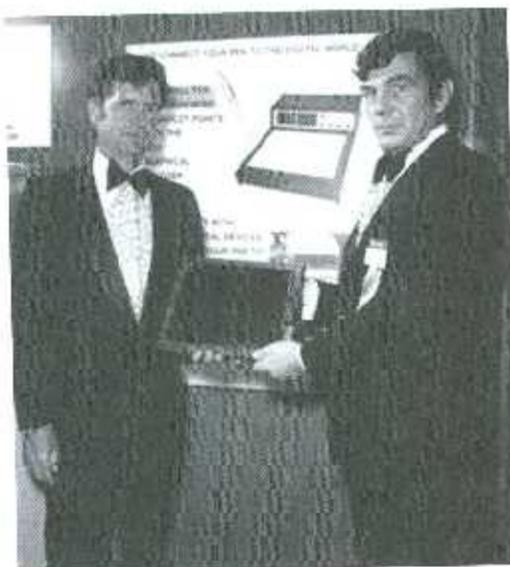


Figura 1.4. Sam Hurst con la primera pantalla táctil resistiva.

En el año de 1983 la compañía Hewlett – Packard (HP) lanzó al mercado la HP-150 (figura 1.5), computador que disponía de un monitor táctil que utilizaba la tecnología infrarroja similar PLATO IV Touch-Screen de IBM de 1972. La HP – 150 tenía una pantalla de tubo Sony de 9 pulgadas, que estaba rodeada de transmisores y receptores infrarrojos que detectaban la ubicación de cualquier objeto sobre la pantalla [7].

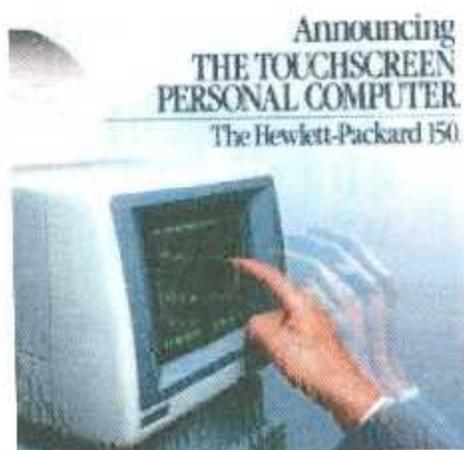


Figura 1.5. Computadora Personal HP150 con tecnología táctil.

Ya para los noventa, empieza a surgir la industria de pantallas táctiles en dispositivos móviles. Y fue nada más ni nada menos que Apple la que la introdujo en este mercado en 1993, con su fracasada PDA (*Personal Digital Assistant*) llamada Newton [8]. El equipo venía equipado con reconocimiento de escritura usando un lápiz.

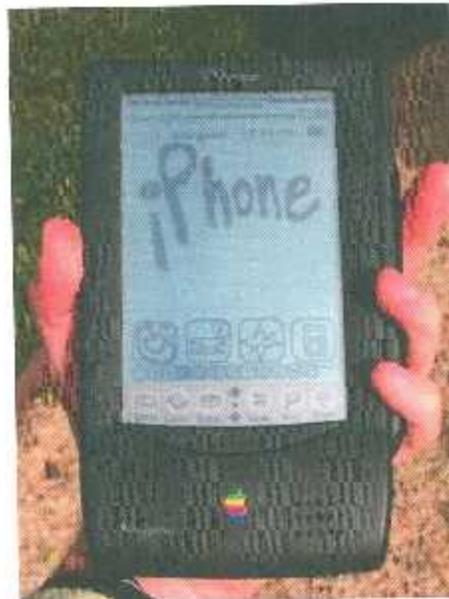


Figura 1.6. PDA Newton de la compañía Apple.

A la par, IBM y su socio comercial Bell South, en el año de 1993 lanzaron al mercado el primer teléfono inteligente de la historia llamado "Simon" (figura 1.6). Dicho teléfono no utilizaba teclas físicas sino una pantalla táctil y ofrecía a sus usuarios otro tipo de aplicaciones donde podían consultar sus agendas personales, ver calendarios, enviar fax y mensajes de texto, entre otras aplicaciones. El teléfono disponía de una tarjeta PCMCIA para ampliar la RAM que era 2MB. También en 1993 Apple lanzó su primera tablet al mercado llamada Apple Newton PDA con el sistema operativo "Newton OS". Este artefacto fue uno de los primeros PDA con capacidad de reconocimiento de escritura, pero fue un fracaso comercial [9].



Figura 1.7. Primer teléfono inteligente "SIMON".

En el año 2007 la compañía Apple lanzó al mercado el teléfono inteligente "iPhone", acompañado de una campaña publicitaria exitosa donde la tecnología táctil se dio a conocer en todo el mundo. Este dispositivo venía con su propio sistema operativo conocido como "iPhone OS", permitía tomar fotografías con una cámara de 8 Megapíxeles, reproducir música, enviar mensajes de texto y voz, conexión a Internet vía Wi-Fi, entre otras funcionalidades que hicieron de este dispositivo el símbolo de la tecnología del siglo XXI [10].



Figura 1.8. Teléfono inteligente iPhone de Apple.

Como se puede apreciar, la tecnología táctil no comenzó con el famoso teléfono inteligente "iPhone", esta tecnología es mucho más antigua pero tuvo un gran impacto social hasta el 2007 gracias a la ayuda de mercadeo que tuvo la empresa liderada por Steve Jobs en ese momento. Sus revolucionarias ideas le dieron a la compañía un gran impulso comercial que hasta el día de hoy se posiciona como una de las empresas líderes mundialmente en la creación de teléfonos inteligentes, computadoras, reproductores de música entre otros aparatos electrónicos.

Con el tiempo, los precios de esta tecnología han ido disminuyendo y las opciones para trabajar con ellas han ido creciendo. Muchos fabricantes de teléfonos móviles han intentado incorporar así la tecnología táctil dentro de sus equipos, pero no es hasta inicios del siglo XXI que se ha visto cómo esta tecnología se ha vuelto masiva en teléfonos, tablets y PDA's. Hoy en día casi todos los teléfonos no básicos, tienen por defecto una pantalla táctil, dejando atrás y con una impresión de anticuada el uso de los botones.

Esta innovación abrió el campo para incorporar dispositivos periféricos cada vez más atractivos por los usuarios. Después de algunos años se comenzaron a utilizar dispositivos que eran capaces de detectar más de un solo toque a la vez.

En el año 1982 un trabajo realizado por la Universidad de Toronto y los laboratorios Bell acerca de un dispositivo que era capaz de sentir más de un toque a la vez. El primer dispositivo comercial que utilizaba esta tecnología fue el "*Lemur Input Device*", un controlador multimedia profesional de la compañía francesa *JazzMutant* [11] que apareció en el mercado en 2005. En julio de 2007, la famosa compañía Apple registró la palabra "*multi-touch*", y se encargó de utilizar esta tecnología en la mayoría de sus dispositivos [12].

Para el año 2010 [13], la mayoría de los teléfonos y dispositivos móviles incorporaban una interfaz táctil en su pantalla, y algunos otros empezaron a reemplazar botones mecánicos por sensores táctiles. Esta tendencia se fue expandiendo a todos los demás aparatos domésticos e industriales que se usan hasta hoy en día, como cámaras fotográficas y de video, televisiones, relojes, paneles de control etc... (Figura 1.9)



Figura 1.9. Algunos aparatos electrónicos con interfaz táctil

Una de las principales causas del funcionamiento errático de algunos botones que se encuentran en los aparatos electrónicos, es que con el tiempo pierden su propiedad conductiva entre sus placas contactoras debido a diversos factores como: desgaste de sus placas contactoras, humedad del ambiente, polvo que se aloja entre las placas y en algunas ocasiones debido a contaminantes externos como el sudor en las manos del usuario entre otros.

Estas fallas se pueden apreciar en aparatos electrónicos que se utilizan cotidianamente como televisores, electrodomésticos, teclados etc... cuando al presionar uno de los botones que controla sus funciones, no realiza ninguna acción o realiza una función diferente al que está asignado. Esto se presenta en la mayoría de los aparatos que contienen botones y/o interruptores.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

El principal problema a resolver es conocer más acerca del funcionamiento y fabricación de los sensores táctiles. Hoy en día muchos aparatos incorporan esta tecnología en conjunto con pantallas, pero el uso en ella no es exclusivo. Un problema que se presenta en muchos aparatos electrónicos es el mal funcionamiento de los botones o interruptores que contienen para manejar sus funciones básicas.

Se pretende diseñar y fabricar un dispositivo que incorpore una interfaz táctil que además sea capaz de comunicarse con una computadora por un puerto USB. Para ello es necesario proponer un circuito que funcione correctamente como sensor táctil, realizar pruebas y crear una tarjeta de adquisición de datos con algún microcontrolador para enviar la información hacia la computadora.

El sistema estará configurado para enviar toda la información que se estará leyendo en los sensores que se encuentran en un panel, donde se podrá visualizar en un programa en la computadora que sea capaz de recibir y mostrar los datos que llegan a través del puerto serial USB.

## **1.3 Objetivos**

Se plantearon los objetivos según las posibilidades, recursos y tiempo con los que se contaban para realizar este trabajo de investigación. A continuación se muestran los objetivos generales y específicos.

### **1.3.1 Objetivo general.**

- Diseñar y fabricar un panel con veinte sensores táctiles, que sea capaz de comunicarse con una computadora a través de un puerto USB.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Diseñar y construir un panel con veinte sensores táctiles.
- Diseñar y construir tarjeta de adquisición de datos utilizando un microcontrolador
- El microcontrolador deberá desplegar mensajes en una pantalla LCD.
- Los datos binarios que se presenten en el panel de sensores se mandaran por USB hacia una computadora en donde se verán de forma gráfica.

### **1.4 Justificación.**

Hoy en día la mayoría de los aparatos electrónicos cuentan con una interfaz táctil de comunicación, pero cada aparato se fabrica de manera independiente dependiendo de la marca del aparato ó de las funciones que realice. Para este fin se crean procesos de manufactura con costos muy elevados que resultaría inaccesible para cualquier usuario. Con este proyecto se pretende conocer el funcionamiento básico de los sensores táctiles y crear un prototipo económico que se pueda adecuarse a las necesidades del usuario.

Los sistemas táctiles cada vez son más utilizados en máquinas y aparatos electrónicos en aplicaciones industriales, de control, instrumentación, domótica y electrodomésticos. Es necesario adecuarse a las nuevas tecnologías y tendencias que la sociedad demanda. Así mismo se propondrá un nuevo circuito con su propia metodología de funcionamiento que se podrá utilizar en cualquier proyecto que trabaje con señales digitales.

### **1.4.1 Impacto social.**

No se prevé un impacto social significativo con el desarrollo de este proyecto.

### **1.4.2 Impacto tecnológico.**

Esta investigación aportará conocimiento al desarrollo e implementación de los sensores táctiles en aparatos electrónicos que requieran de alguna interfaz y manejen señales digitales. Este sistema será capaz de utilizarse en conjunto con otros proyectos a futuro.

### **1.4.3 Impacto económico.**

Al terminar esta investigación, se tendrá un prototipo terminado, que se podrá implementar en cualquier aparato electrónico que requiera la interacción del usuario para controlarlo. Además se podrán reemplazar los accionadores de botón o interruptores y garantizar el correcto funcionamiento del mismo. Este tipo de sensores no presenta desgaste mecánico en ninguna de las partes que involucra la interfaz táctil, ya que no requiere de una acción mecánica para accionarlo. Esto quiere decir que al implementar este tipo de sensores en aparatos electrónicos, se podrá garantizar el correcto funcionamiento de la interfaz con el usuario, además de no requerir ningún tipo de mantenimiento en el mismo. Dicho prototipo se podrá comercializar, para su implementación en distintos tipos de aparatos electrónicos que manejen señales digitales y/o se conecten a una computadora a través de un cable USB.

#### **1.4.4 Impacto ambiental.**

No se prevé un impacto ambiental significativo con el desarrollo de este proyecto, ya que los materiales químicos que se utilizaron para la realización de las tarjetas fueron mínimos y se desecharon en lugares especialmente designados dentro del Instituto Tecnológico de la Laguna.

#### **1.4.5 Viabilidad de la investigación.**

La investigación es totalmente viable, ya que se cuenta con el conocimiento y capacidad para lograr los objetivos planteados, además de buenas instalaciones para la realización del prototipo final, y recursos financieros.

#### **1.5 Metodología de la investigación.**

A continuación en la figura 1.5, se muestra el diagrama a bloques de las actividades requeridas para cumplir con los objetivos de la investigación.

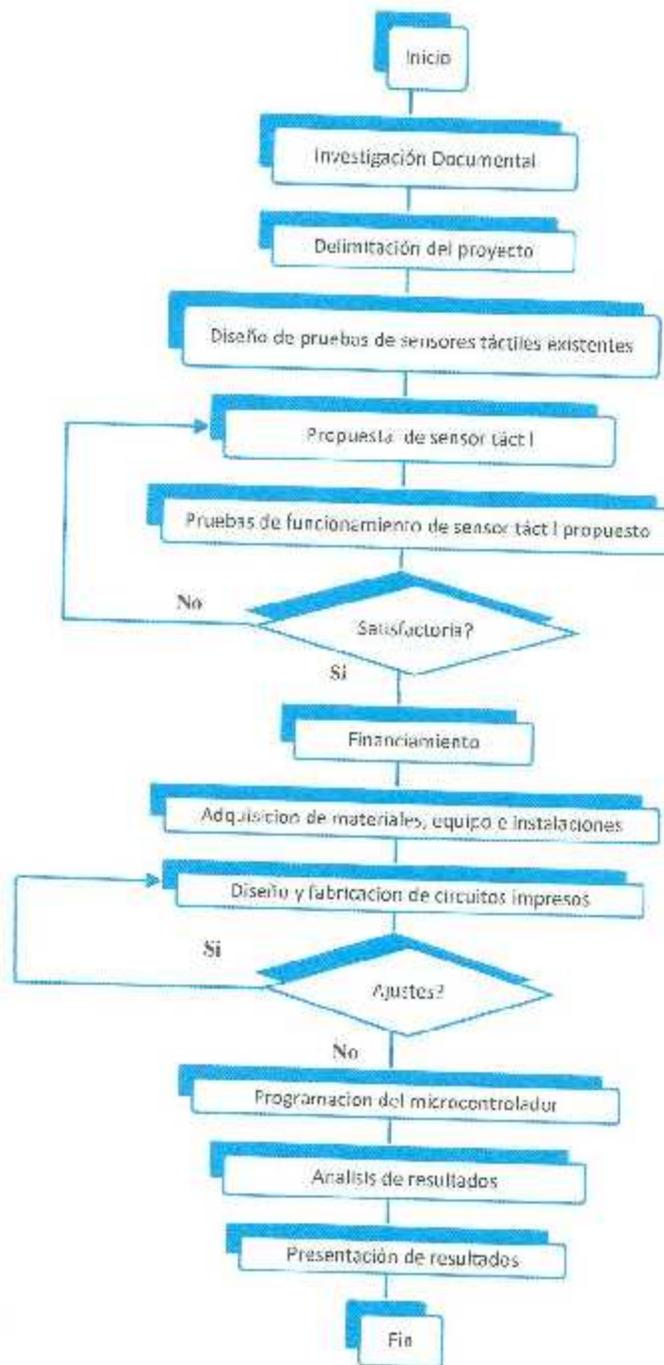


Figura 1.10. Diagrama a bloques de la metodología de investigación.

## 1.6 Cronograma de actividades.

Se proyectó un tiempo de un año para desarrollar esta investigación, empezando en Julio del año 2015 y terminarlo en Junio del año 2016. En la Tabla 1.1, se muestra el cronograma de actividades.

En cada actividad se muestran dos cuadros de diferente color por bimestre, el de color amarillo representa el tiempo que se proyectó desde el inicio de la investigación y el de color verde representa el tiempo en el cual se realizó la actividad.

Tabla 1.1. Cronograma de Actividades.

ACTIVIDAD	2015			2016		
	JUL-AGO	SEP-OCT	NOV-DIC	ENE-FEB	MAR-ABR	MAY-JUN
Estado del arte/ Investigación Documental	Yellow Green					
Consulta a expertos	Yellow Green					
Delimitación del proyecto	Green	Yellow Green				
Conseguir financiamiento		Yellow Green				
Conseguir materiales, equipo e instalaciones		Yellow Green				
Diseño Experimental			Yellow Green			
Fabricación del panel de sensores táctiles			Yellow Green			
Prueba del panel			Yellow Green	Green		
Programación del microcontrolador				Yellow Green	Green	
					Yellow	

Pruebas de conexión entre panel y microcontrolador						
Pruebas Finales del equipo completo						
Modificaciones						
Análisis de resultados						
Presentación de resultados						

### 1.7 Presupuesto.

Para el desarrollo de esta investigación se necesitaron diferentes materiales electrónicos y distintos equipos. En la tabla 1.2, se muestra una tabla que enlista todo el material y equipo.

En la primera mitad se muestra todo el material necesario para construir 1 prototipo completo, y en la segunda parte se muestra el equipo necesario para fabricarlo.

El presupuesto presentado es para la construcción de un prototipo completo, sin embargo, si se fabrica en serie, el costo del equipo se descartaría para los siguientes equipos, quedando solo el costo de fabricación de la primera parte de la tabla.

Tabla 1.2. Presupuesto necesario para la investigación.

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION MATERIAL</b>	<b>PRECIO UNITARIO (PESOS)</b>	<b>MONTO (PESOS)</b>
1	Microcontroladores PIC18F4550	\$90	\$90
5	Circuito integrado 558	\$20	\$100
20	LED'S azules	\$3	\$60
20	Resistencias de 220 Ohms	\$1	\$20
20	Resistencias de 1 Kohms	\$1	\$20
20	Capacitores de tantalio de 22uF	\$4	\$80
1	LCD de 16x2	\$70	\$70
1	Placa Fenólica 20x30 cms	\$20	\$20
1	Hoja de transferencia para circuitos impresos	\$10	\$10
60	Cables de colores para conexiones	\$1	\$60
1	Cable USB	\$10	\$10
	<b>TOTAL</b>		\$540.00
	<b>EQUIPO</b>		
1	Programador Master Prog	\$350	\$350
1	Plancha	\$200	\$200
1	Mini taladro	\$400	\$400
1	Juego de brocas para mini taladro	\$30	\$30
1	Cautín de lápiz. 15watts	\$50	\$50
1	Pasta para soldar	\$10	\$10
1	Rollo de soldadura de plomo 60/40	\$80	\$80
1	Botella de Cloruro Férrico de 220 ml	\$24	\$24
	<b>TOTAL</b>		\$1144.00

### 2. Marco teórico.

#### 2.1. Sensores táctiles.

Los sensores táctiles son dispositivos que indican el contacto de algún objeto sólido con ellos mismos. El término sensor táctil por lo general se refiere a un transductor que es sensible al tacto, donde en ocasiones también se mide la fuerza o presión.

Los sensores táctiles son útiles en una amplia variedad de aplicaciones en la domótica, industria, robótica entre muchas otras y se pueden agrupar en un número de diferentes tipos dependiendo de su construcción; los grupos más comunes son del tipo resistivo y capacitivo.

Un sensor táctil es capaz de detectar objetos de cualquier material, desde conductores y aislantes, hasta el roce de la piel de un ser humano.

El sensor táctil como transductor recibe una señal física del toque de algún objeto y lo convierte a una señal eléctrica que puede encender un led y/o manejarse como un dato binario.

Algunos sensores táctiles pueden ser capaces de percibir el toque con algún otro objeto que no sea solo el de la piel humana, dependiendo del tipo de sensor táctil que se tenga, estos objetos comúnmente tienen forma de una pluma puntiaguda la cual puede ser más preciso que un dedo de una persona.

Para los usuarios existe la ventaja de que no existe ningún movimiento mecánico, puesto que el método de uso es muy diferente al de un botón convencional, solo basta con un sustrato de cobre

en el diseño del circuito impreso. Esta es una gran ventaja en muchos aspectos, ya que al sustituir los interruptores convencionales de contacto con placas metálicas, por simples superficies de cobre o algún material conductor, tendremos una interfaz más confiable y duradera.

Hoy en día existen diferentes maneras y métodos de realizar una detección táctil, desde dispositivos ópticos, resistivos, capacitivos entre otros.

En esta investigación hablaremos de los dos tipos de sensores más utilizados y haremos una comparación entre ellos, así mismo se analizará el sensor más práctico y se tomará como base para la construcción de uno con diseño propio y la creación del circuito para utilizarse en este proyecto.

A continuación se hablará de algunas técnicas que se han utilizado para la detección táctil.

## **2.2. Sensor táctil capacitivo.**

Un sensor táctil capacitivo (ver figura 2.1), está compuesto por un circuito que contiene un detector diferencial de voltaje, el cual está conectado en una de sus entradas a una superficie cubierta con un material conductor, habitualmente óxido de indio y estaño que conduce una corriente eléctrica continua a través del sensor. El sensor por tanto muestra un campo de electrones controlado que adquiere capacitancia. El cuerpo humano también se puede considerar un dispositivo eléctrico en cuyo interior hay electrones, por lo que también dispone de capacitancia.

Cuando el campo de capacitancia normal del sensor (su estado de referencia) es alterado por otro campo de capacitancia, como puede ser el dedo de una persona, los circuitos electrónicos que detectan el cambio de capacitancia, miden la 'distorsión' resultante en la superficie del sensor, característica del campo de referencia y envía la información acerca de este evento al controlador para su procesamiento matemático.

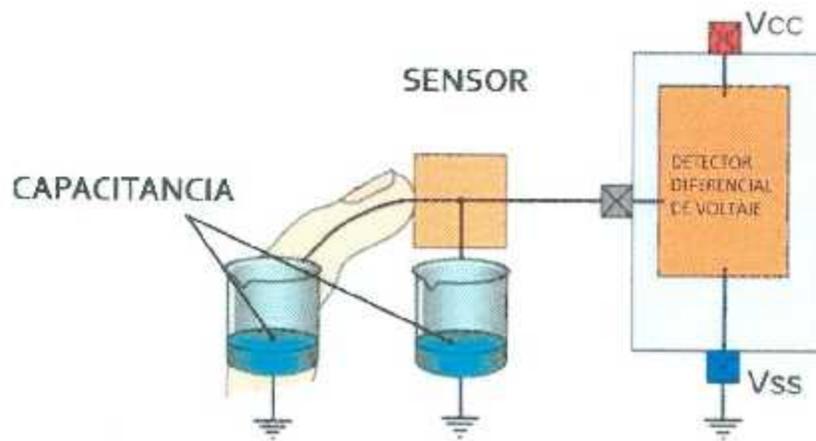


Figura 2.1. Sensor táctil capacitivo.

Algunos inconvenientes de los sensores táctiles capacitivos, es que no funcionan con objetos tipo lápices, guantes y otros materiales que no sean conductores, ya que el plástico o látex al no ser conductor, no permite que el sensor detecte la capacitancia que contiene el dedo.

Éstos sensores son en gran medida más fáciles de construir que los resistivos, y se tiene la ventaja de fabricar la parte conductora del tamaño y forma como el fabricante lo desee.

Las partes contactoras se pueden fabricar de cualquier material conductor como el cobre, que es un material común, económico y fácil de trabajar, pero pudieran ser fabricados de cualquier otro, incluso de materiales transparentes como el óxido de indio, que es también muy usado en la fabricación de estos sensores en aplicaciones en pantallas táctiles.

Si un dedo o cualquier otro objeto con propiedades capacitivas, se aproxima suficientemente a un sensor táctil capacitivo, éste actúa como otro condensador. Esto es debido a la naturaleza dieléctrica del sensor, que varía la capacitancia efectiva del sistema utilizado para detectar el contacto táctil.

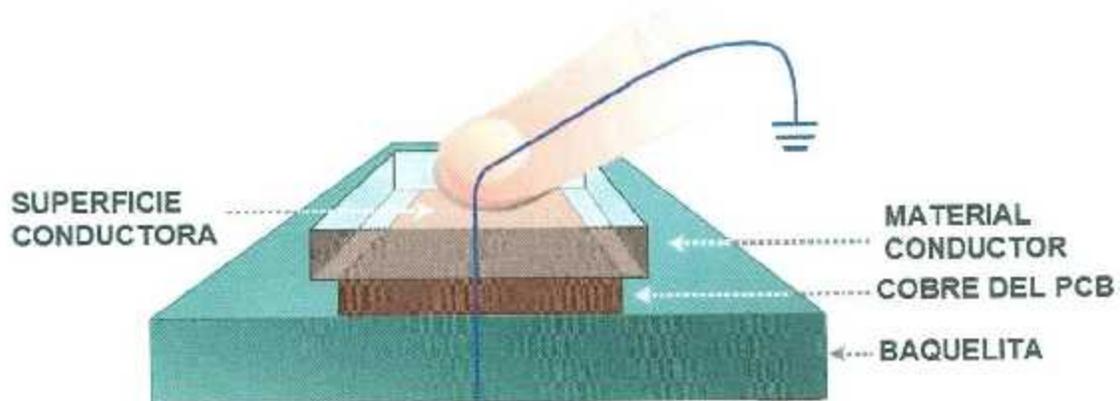


Figura 2.2. Partes de un sensor táctil.

La figura 2.2 muestra como la placa de cobre en la superficie del sensor, en tanto que el dedo actúa como otra placa paralela. El hierro contenido en la sangre crea haces de condensadores alineados con la superficie del cuerpo. Cuando dichos haces se aproximan a un conductor crean una capacitancia conectada a tierra, lo cual resulta en un cambio en el valor de la tensión, determinado por el contacto con el dedo. Un sistema de detección táctil estándar se compone de tres bloques funcionales principales:

- Un bloque analógico para detección capacitiva
- Un controlador para procesar los datos
- Un bloque de interfaz para la comunicación con un procesador host

Las soluciones de detección táctil capacitiva basadas en la variación de la tensión pueden ser llevadas a la práctica con efectividad mediante técnicas que emplean los siguientes componentes:

- Una unidad de medida del tiempo de carga CTMU (Charge Time Measurement Unit en inglés) periférica integrada en un microcontrolador
- Un divisor de tensión capacitivo CVD (Capacitance Voltage Divider en inglés), utilizando el convertidor de analógico a digital ADC (Analogic Digital Converter en inglés), que no necesita de un periférico dedicado para la detección capacitiva

### 2.2.1. Aplicación efectiva de la detección táctil capacitiva utilizando el periférico CTMU.

El periférico CTMU trabaja conjuntamente con un ADC para formar un módulo analógico flexible para la medida precisa de la capacitancia. Como se muestra en la figura 2.3, contiene una fuente de corriente constante conectada al canal ADC. La capacitancia cambia y la diferencia de tiempos entre eventos la calcula la CTMU utilizando una fuente de corriente constante [14].

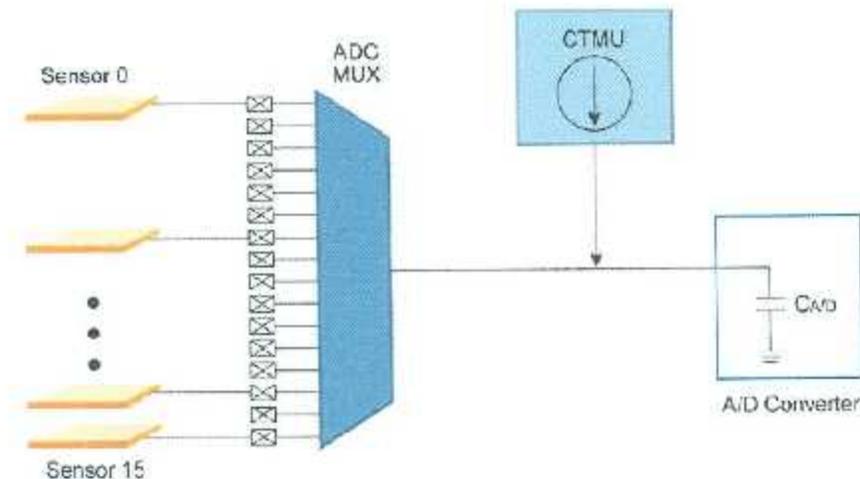


Figura 2.3. Módulo CTMU.

La respuesta de la CTMU será más rápida que la del CVD porque su fuente de corriente cuenta con varios rangos seleccionables. El tiempo de respuesta del sistema táctil capacitivo mejora debido a la carga más rápida de los canales analógicos. La utilización de un periférico CTMU para la detección táctil capacitiva queda resumida en la ecuación siguiente:

$$I \times T = C \times V \quad (2.1)$$

Donde:

I es la corriente constante suministrada por la fuente de la CTMU.

T es el tiempo fijo durante el cual la CTMU carga el sensor táctil capacitivo.

C es la capacitancia del sensor táctil capacitivo.

V es la tensión del sensor táctil capacitivo, según es leída por el ADC.

Se puede detectar un desplazamiento relativo de la capacitancia observando un cambio en la tensión si se readapta dicha ecuación:

$$C = (I \times T) / V \quad (2.2)$$

Esta ecuación resalta los diferentes pasos involucrados en la detección del contacto táctil, como sigue:

- El sensor táctil capacitivo funciona como un condensador y está conectado a un canal multiplexado con el CTMU periférico y el ADC.
- El sensor táctil es cargado inicialmente desde una fuente de corriente constante durante un tiempo prefijado (T). La tensión (V) a través del sensor se mide con el ADC.

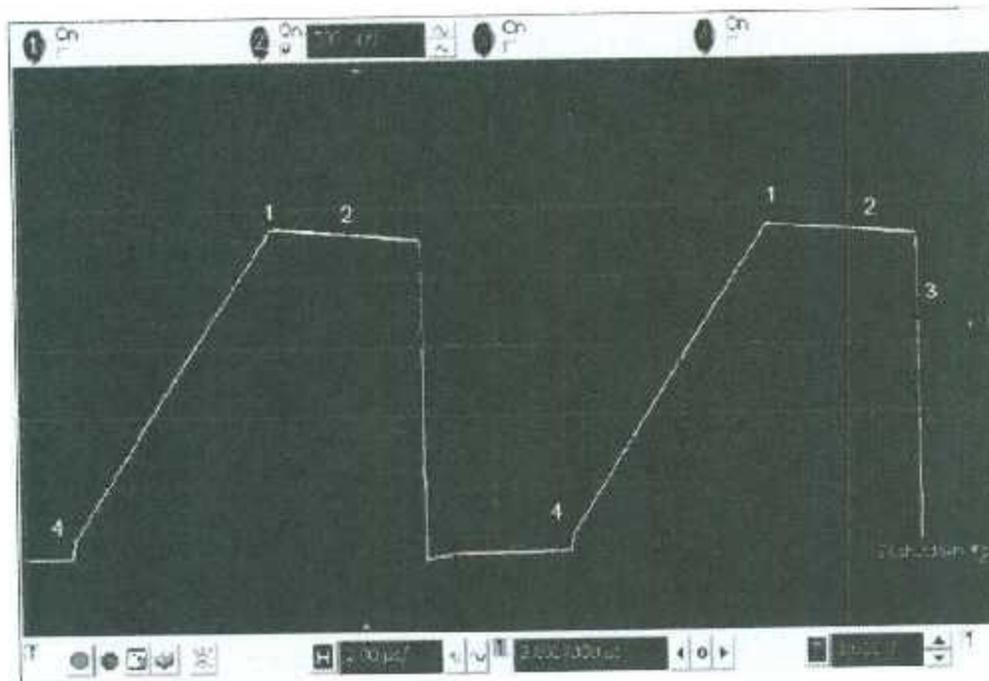


Figura 2.4. Formas de onda de carga y descarga de la CTM.

En tanto no haya cambios en la capacitancia debidos a un contacto táctil en el sensor, dicha tensión permanece relativamente constante en las sucesivas iteraciones de la medición de la carga (Figura 2.4). A continuación se describen las leyendas de la imagen 2.3:

1. Fuente de corriente de la CTMU inactiva
2. Se efectúa la conversión de analógico a digital (ADC)
3. Descarga del circuito de detección capacitiva
4. Fuente de corriente de la CTMU activa

En conjunción con un ADC multicanal, la disponibilidad de una fuente de corriente constante en la CTMU periférica proporciona una plataforma efectiva de interfaz con el sensor capacitivo táctil. La CTMU periférica se conecta directamente a la entrada del ADC de manera que pueda

conectarse con cualquier pin a través del multiplexador analógico. Con esta configuración, una única CTMU periférica puede medir un número de sensores igual al número de canales ADC. La calibración para contrarrestar la interferencia externa y las pérdidas de transmisión es facilitada por los bits de ajuste asociados con la fuente de corriente [14].

### **2.2.2. El CVD para detección táctil capacitiva**

Comparando el condensador fijo, de valor conocido, del circuito de muestreo y retención (S/H) con el sensor capacitivo, de valor desconocido y variable, el método que emplea el divisor de tensión capacitivo (CVD), utiliza únicamente el ADC para efectuar una medición basada en la tensión.

El CVD se fabrica de manera idéntica a un sensor típico; una superficie de cobre sobre un circuito impreso o un substrato conductor similar para la detección, enlazado directamente a un canal ADC. El resto del proceso se completa de manera específica mediante la configuración precisa del ADC y las I/O. Los principios básicos para el uso del CVD es que un canal del ADC carga el condensador interno del circuito de muestreo y retención para el ADC hasta VDD.

A continuación, el canal del sensor es conectado a tierra para llevarlo a un estado conocido (Figura 2.5). Después de la conexión a tierra, el sensor debe convertirse de nuevo en una entrada. Una vez convertido en una entrada, el canal ADC se conecta inmediatamente al sensor.

Se crea un divisor de tensión, puesto que el condensador del sensor está en paralelo con el condensador del circuito de muestreo y retención, CHOLD. Como resultado, las tensiones en el condensador del sensor son las mismas que en el condensador del circuito de muestreo y retención. El ADC debería ser sometido a muestreo y la lectura representa una razón entre los condensadores. Cuando un dedo toca el sensor, su capacitancia se incrementa; la tensión en el sensor será más baja y las lecturas del ADC crecen también [14].

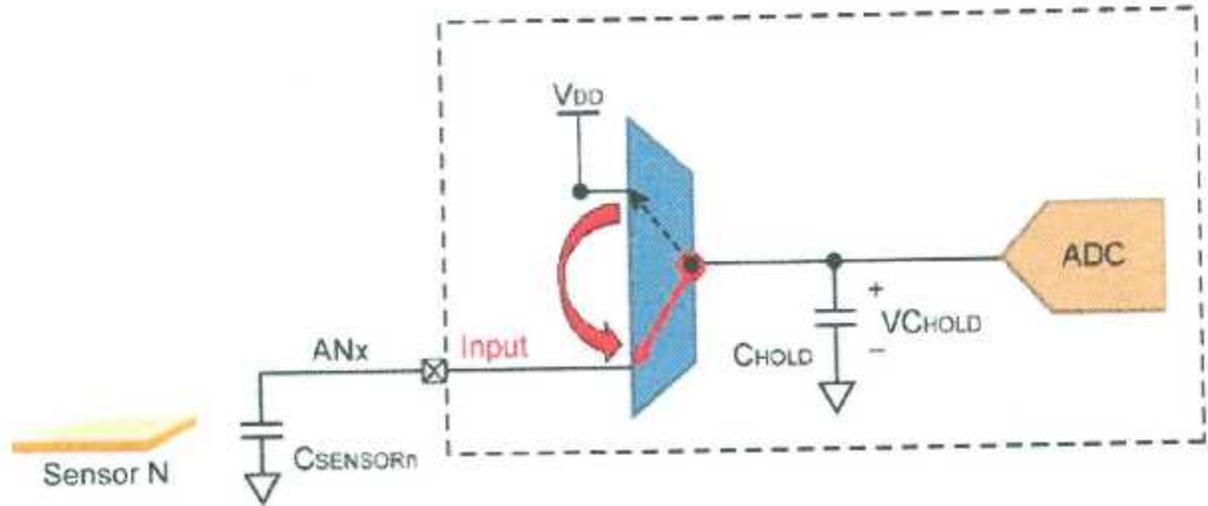


Figura 2.5. Diagrama de bloques del CVD.

No es necesaria una lectura de la capacitancia absoluta para la detección táctil capacitiva, porque todas las decisiones de descodificación estarán relacionadas con los valores de referencia.

### 2.2.3. Desarrollo del firmware para eliminar las interferencias externas.

Las fluctuaciones dinámicas en la capacitancia son causadas por factores como humedad, calor, presión de contacto, contaminantes en los sensores e interferencias HMI/EMC, que inciden en las funcionalidades de los sensores táctiles del sistema. Para contrarrestar dichos factores y robustecer el sistema, se puede utilizar un firmware que permita ejecutar la detección dinámica promedio, la función anti rebote y la variación dinámica del nivel de disparo. Para resistir el ruido residual en el sensor es necesario incorporar un software de filtrado; esto permite al firmware distinguir entre una condición de sensor activado y una de sensor inactivo. El algoritmo puede diseñarse para detectar contactos táctiles múltiples y distinguir entre contactos deseados y no deseados. A continuación el software se puede calibrar para detectar un contacto táctil incluso cuando existe un grueso revestimiento sobre la capa táctil capacitiva [14].

#### **2.2.4. Diseño de referencia para aplicaciones de detección táctil capacitiva**

Esta aproximación ofrece gran flexibilidad para integrar otros periféricos, como USB y LCD, en su diseño. Esto puede también contribuir a reducir el tiempo de entrega del sistema de detección táctil en estado totalmente funcional. El microcontrolador usado en el diseño de referencia dispone de 13 canales ADC para conectarse a un máximo de 13 sensores. Se han conectado cuatro sensores táctiles capacitivos a los puertos A0 - A3. El módulo CTMU dispone de una fuente de corriente programable utilizada para cargar los sensores táctiles capacitivos. El zócalo USB se utiliza también como fuente de alimentación (bus-powered), que utiliza una interfaz USB on-chip. El firmware también puede proporcionar información exhibiendo el estado apropiado del sensor táctil en el módulo LCD, a través de los pines del puerto D cuando se toca el sensor. Se suministra también un conector macho de 6 pines para conectar el panel de referencia a un programador de hardware [14].

#### **2.2.5. Factores que contribuyen al diseño de sensores táctiles capacitivos efectivos.**

Las aplicaciones en tiempo real presentan una serie de desafíos para los sensores táctiles capacitivos. El diseño puede colaborar en la reducción de las capacitancias parásitas y en el incremento de la capacitancia de los dedos, asegurando en última instancia un mejor diseño de los sensores como se detalla a continuación:

- **Tamaño del sustrato del sensor.**

La forma del sustrato del sensor no reviste importancia para un sensor capacitivo, pero el área del sustrato determina su sensibilidad y, en consecuencia, merece consideración. Cuanto más grande sea, mejor es la sensibilidad; el área debería ser del tamaño promedio de la huella del contacto de un dedo (15 x 15 mm), pero si el tamaño del sustrato del sensor es mayor que el óptimo, la capacitancia parásita puede verse incrementada a causa de la proximidad a la tierra.

- **Separación entre sensores.**

Cuando se toca un sensor, el dedo introduce una capacitancia adicional, no solo en el sensor activado sino también en los próximos. Por lo tanto, para aislar la capacitancia del dedo hay que mantener un espacio entre los sensores adyacentes. La separación ideal es de 2 a 3 veces el espesor del material de recubrimiento del sistema de detección táctil capacitiva. Sirva como ejemplo, si el espesor del recubrimiento es de 3 mm, la distancia entre sensores debería ser de 6 a 9 mm para un diseño eficaz de detección táctil capacitiva.

- **Longitud de la pista del circuito impreso.**

La longitud de la pista entre el sensor y el microcontrolador puede crear una mayor susceptibilidad a las capacitancias parásitas si es excesivamente larga. Esto podría cambiar la resistencia de la pista y afectar la sensibilidad. La longitud de la pista no debería exceder de 12" (300 mm).

Composición y espesor del recubrimiento. La capacitancia de un dedo transmitida al sensor táctil capacitivo está determinada por el tipo de material de recubrimiento usado y por su espesor. El material de recubrimiento debe de poseer una elevada constante dieléctrica para incrementar la sensibilidad y ser lo más fino posible. Si el espesor del recubrimiento aumenta, la interferencia (crosstalk) entre los sensores se incrementa también.

- **Técnicas de conexión a tierra.**

El método de detección es afectado por la capacitancia parásita de un sensor respecto a tierra; esta situación se puede contrarrestar situando la tierra muy cerca del sensor. Esto aumenta la capacitancia parásita y reduce su efecto sobre el sensor.

- **Selección del adhesivo.**

El adhesivo fija el material de recubrimiento al circuito impreso y se deberá aplicar en forma de capa fina para conseguir una alta sensibilidad. No deberá contener burbujas de aire y todas las instrucciones para su aplicación deberán ser estudiadas antes de proceder a su aplicación [14].

### 2.3. Sensor táctil resistivo.

Este tipo de sensores está compuesto por dos finas capas de material conductor y vidrio entre las cuales hay una pequeña separación (ver figura 2.6). Cuando algún objeto toca la superficie de la capa exterior, las dos capas conductoras entran en contacto en un punto concreto. De esta forma se produce un cambio en la corriente eléctrica que permite a un controlador detectar el toque. Como el contacto se basa en la presión entre las dos capas metálicas se puede presionar con cualquier cosa. Algunos sensores pueden medir la presión que se ha ejercido sobre la misma.

Un inconveniente de este tipo de sensor es que necesita de una fabricación muy precisa, debido a la mínima separación con la que tiene que contar una capa de la otra. Otro inconveniente que tienen es que pueden ser dañados por objetos afilados. Por el contrario no se ven afectados por elementos externos como polvo o agua, razón por la cual se utilizan en muchos de los aparatos electrónicos en la actualidad [15].

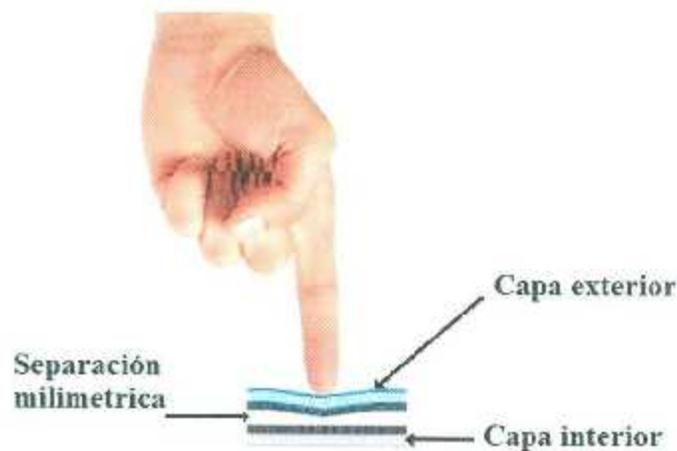


Figura 2.6. Sensor táctil resistivo

Este tipo de sensores fueron de los primeros que más se utilizaron en este tipo de tecnología, debido a su gran efectividad y alta resistencia a factores externos.

Los primeros aparatos portátiles como PDA'S, teléfonos celulares entre otros que utilizaban esta tecnología, eran de este tipo de sensores resistivos. Después con el tiempo se fueron reduciendo

mucho más los tamaños demandando cada vez más sensores en pantallas más pequeñas y delgadas. Hoy en día se siguen utilizando en diferentes aparatos.

En la figura 2.7 se muestran las diferentes partes que conforma una superficie con sensores táctiles resistivos. Básicamente el funcionamiento consiste en una membrana de vidrio con dos capas, una resistiva (4) y otra conductiva (2) separadas por pequeños puntos aislantes (3), además sobre la primera de ellas se coloca una lámina protectora. Al tocar la pantalla ambas capas se superponen generando un voltaje que mediante la capa de vidrio (1) se conocerá la coordenada del punto en cuestión [15].

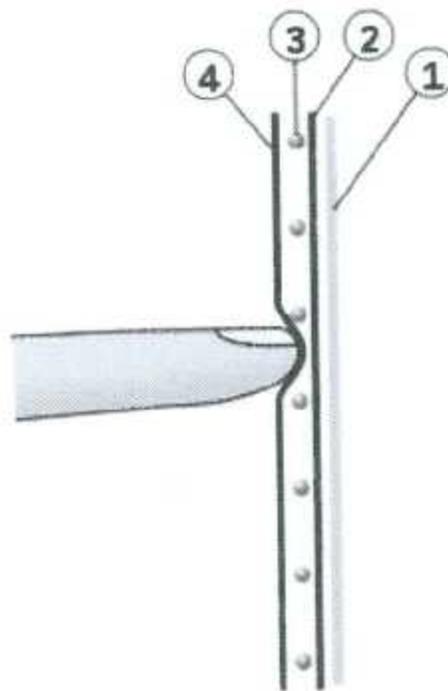


Figura 2.7. Partes de un sensor táctil resistivo.

Hay varios tipos de pantallas resistivas según el número de hilos conductores que usan, entre cuatro y ocho. Todas se basan en el mismo sistema.

Cada capa conductora tratada con un material conductor resistivo transparente, normalmente óxido de indio y estaño ( $\text{In}_2\text{O}_3$ )( $\text{SnO}_2$ ), tiene una barra conductora en dos lados opuestos como en la figura. Una de las capas sirve para medir la posición en el eje X y la otra en el eje Y.

A pesar de su compleja fabricación, este tipo de sensores sigue teniendo mucha demanda y cada día se ofrecen mejoras que hacen de este tipo de sensor sea más atractivo y funcional para su aplicación en diferentes tipos de aparatos.

#### **2.4. Comparación entre sensor táctil resistivo y capacitivo.**

Cada uno de los dos tipos de sensores táctiles que se mencionaron anteriormente, tienen sus ventajas y desventajas, y se puede llegar a ciertas conclusiones para poder elegir el tipo de sensor que mejor se adecúe a las necesidades de cualquier aplicación.

Los sensores capacitivos deben ser tocados con un dispositivo conductor en contacto directo con la mano o con un dedo, al contrario que los sensores resistivos en los que se puede utilizar cualquier objeto, pero que a su vez a la vez pierden fluidez y rapidez en la ejecución.

Los sensores táctiles capacitivos no se ven afectadas por elementos externos y no requieren de una fabricación tan precisa como los resistivos, pero requiere de un procesado de la señal [15].

En conclusión, en los sensores resistivos hay que ejercer una cierta presión, con el dedo o un objeto no necesariamente conductor de electricidad, para que se ejecute la orden, en cambio en los capacitivos con sólo poner el dedo en el campo de electrones de la superficie del sensor ya se obtiene la orden.

A continuación se muestra en la tabla 2.1 una comparación de algunas características de los dos tipos de sensores:

Tabla 2.1 Comparación de los dos tipos de sensores.

	<b>RESISTIVO</b>	<b>CAPACITIVO</b>
<b>Sensibilidad al Tacto</b>	Se requiere ejercer una pequeña presión con cualquier objeto.	Se activa con solo un roce de la piel. No funciona con objetos aislantes.
<b>Efecto multi-toque (multi-touch)</b>	No soportado en todos los sistemas.	Compatible. Cada sensor es independiente y es posible activar varios a la vez.
<b>Reacciones a la Temperatura</b>	Puede afectar al sistema.	No presenta cambios significativos en el sistema.
<b>Fabricación</b>	Compleja.	Más sencilla. *

\*comparada con la fabricación de un sensor táctil resistivo.

Se llegó a la conclusión de tomar como referencia el sensor táctil capacitivo para la elaboración del sensor táctil para esta investigación, debido a sus ventajas antes mencionadas.

## 2.5. Temporizador LM555.

El temporizador LM555 es un circuito integrado que se utiliza en la generación de temporizadores, pulsos y oscilaciones. El LM555 puede ser utilizado para proporcionar retardos de tiempo, como un oscilador, y como un circuito integrado flip flop. Sus derivados proporcionan hasta cuatro circuitos de sincronización en un solo paquete [16].

El LM555 fue introducido por SIGNETICS en 1972 y por su simplicidad, versatilidad y economía, pronto alcanzó gran popularidad comparable con la del amplificador operacional. Hoy en día muchas empresas los fabrican en versión de transistores bipolares y también en CMOS de

baja potencia. A partir de 2003, se estimaba que mil millones de unidades se fabricaban cada año [16]. Este circuito suele ser utilizado para trabajos sencillos como trabajos escolares, debido a su bajo costo y facilidad de trabajo.

El LM555 es el temporizador más popular del mundo y pronto salieron sus versiones dobles, inmunes al ruido, y de bajo consumo de potencia; sirviendo además de base para la fabricación de los llamados “Temporizadores Programables”. Por lo tanto, el advenimiento del 555 dio lugar a la fabricación de nuevas generaciones de circuitos temporizadores y a una nueva era de aplicaciones de temporización [17].

En la figura 2.8 se muestra la estructura interna del LM555 con sus pines correspondientes.

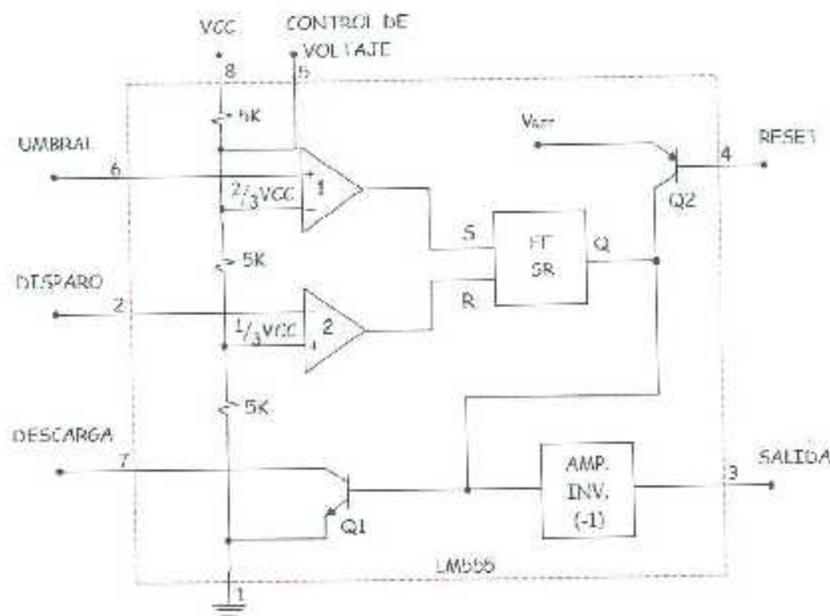


Figura 2.8. Estructura interna del LM555.

Este circuito temporizador es capaz de funcionar en modo monoestable, el cual nos entrega un solo pulso con estado en alto el tiempo que se haya programado, y el otro es en modo astable o libre oscilación, el cual entrega a la salida un tren de pulsos con los tiempos alto y bajo que se hayan programado.

A continuación en la figura 2.9 se muestra un circuito temporizador en configuración monoestable. Cambiando de valor la resistencia  $R$  es posible modificar el tiempo de retardo para el tiempo en alto.

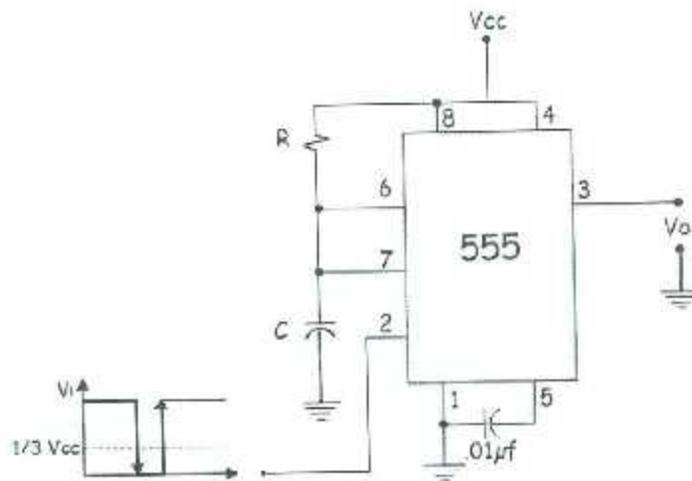


Figura 2.9. Configuración monoestable del LM555.

Para que el monoestable funcione, es necesario aplicar un flanco de bajada con retorno a estado alto en la terminal 2 del LM555 como se muestra en la figura 2.9. En la figura 2.10 se muestra que cuando se presenta el pulso de disparo,  $V_o$  se manda a estado alto, la terminal 7 abre su transistor interno para que el capacitor  $C$  se cargue a  $V_{cc}$  a través de  $R$ . Cuando el voltaje en  $C$  alcanza  $2/3 V_{cc}$ , el comparador 1 hace que la terminal 7 se conecte a tierra y descargue instantáneamente a  $C$ , y  $V_o$  retorne a estado bajo [18].

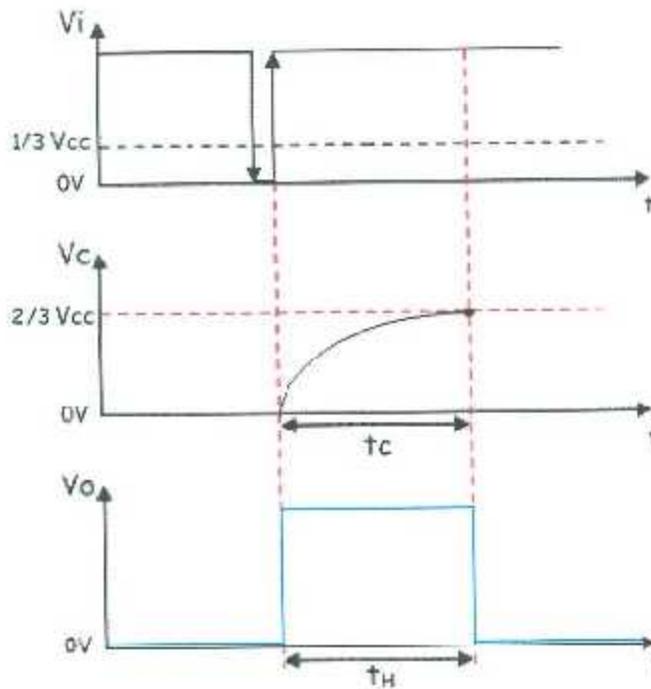


Figura 2.10. Voltaje de la entrada ( $V_i$ ), de carga del capacitor ( $V_c$ ) y de la salida ( $V_o$ ).

Como el tiempo en alto  $t_H$  de  $V_o$  queda determinado por el tiempo de carga  $t_c$  del capacitor, entonces se parte de la ecuación de carga del capacitor (2.3) para encontrar  $t_H$ :

$$\begin{aligned}
 V_c(t) &= V_c(t = \infty) - [V_c(t = \infty) - V_c(t = 0)]e^{-tc/RC} \quad (2.3) \\
 \frac{2}{3}V_{cc} &= V_{cc} - [V_{cc} - 0]e^{-tc/RC} \\
 -V_{cc} + \frac{2}{3}V_{cc} &= -V_{cc}e^{-tc/RC} \quad (-1) \\
 V_{cc}e^{-tc/RC} &= V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc} \\
 V_{cc}e^{-tc/RC} &= \frac{1}{3}V_{cc} \\
 e^{-tc/RC} &= \frac{\frac{1}{3}V_{cc}}{V_{cc}} = \frac{1}{3} \\
 e^{tc/RC} &= 3 \\
 \ln e^{tc/RC} &= \ln 3 \\
 \frac{tc}{RC} &= \ln 3 \\
 tc &= \ln 3 RC \\
 tc = t_H &= 1.1 RC \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

La ecuación 2.4 nos muestra que el tiempo en estado alto de salida es prácticamente el resultado de la multiplicación de la resistencia  $R$  por el capacitor  $C$ .

Con esto podemos determinar el tiempo necesario para la aplicación que se necesite, desde microsegundos hasta horas.

## 2.7. Temporizador NE558.

Después de que la compañía Signetic lanzó el famoso LM555, tuvo tanto éxito que se dedicaron a fabricar variaciones del mismo LM555 pero con otras características únicas. Un ejemplo de ellos es el circuito integrado NE558.

El circuito integrado NE558 es un temporizador cuádruple que puede ser utilizado para temporizar 4 intervalos de tiempo independientes.

Cada temporizador es de uso general y pueden ser usados solo en modo monoestable para producir retardos de tiempo desde microsegundos hasta horas. Este tiempo es precisamente controlado por una resistencia y un capacitor conectados externamente en el pin 2. Cada salida puede soportar una corriente de hasta 100 mA y su voltaje de alimentación puede ser entre 4.5 y 16 volts.

En la figura 2.11 se muestra la arquitectura interna del circuito integrado 558, donde se pueden apreciar los cuatro temporizadores independientes. Cada uno de ellos se activa con un flanco de bajada en los pines de "TRIGGER", la resistencia y capacitor que determinan el temporizado se conectan en los pines de "TIMING" y las salidas en los pines de "OUTPUT" [19].

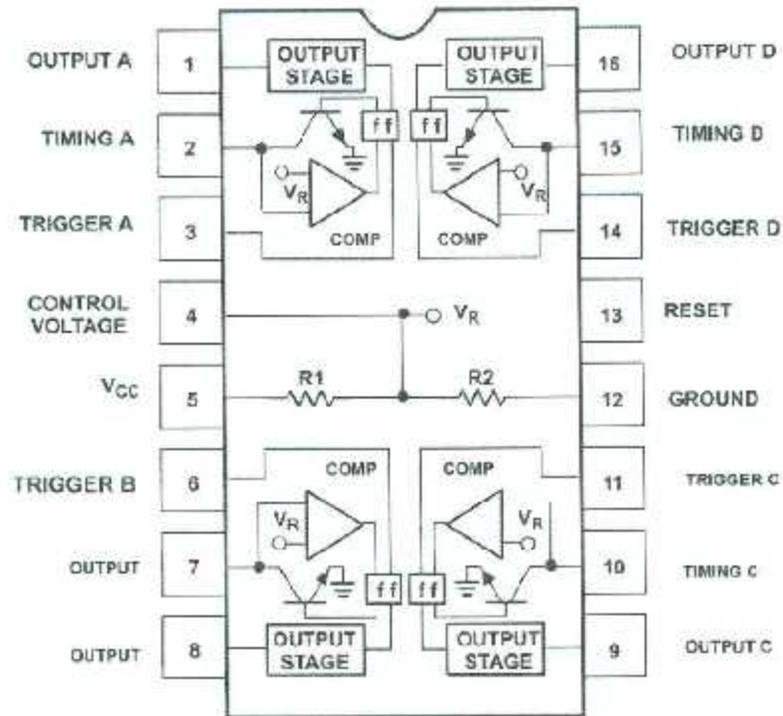


Figura 2.11. Arquitectura interna y configuración del circuito integrado NE558.

Para que cada uno de los temporizadores se active, es necesario generar un flanco de bajada como se muestra en la figura 2.12.

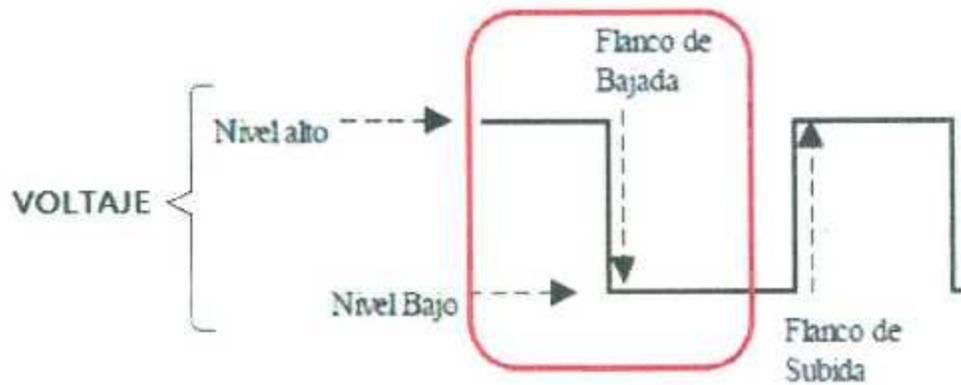


Figura 2.12. Flanco de bajada.

Este flanco de bajada puede generarse desde un pequeño voltaje hasta llegar cercanamente a los cero volts. A continuación se explica cómo trabaja cada temporizador de manera independiente.

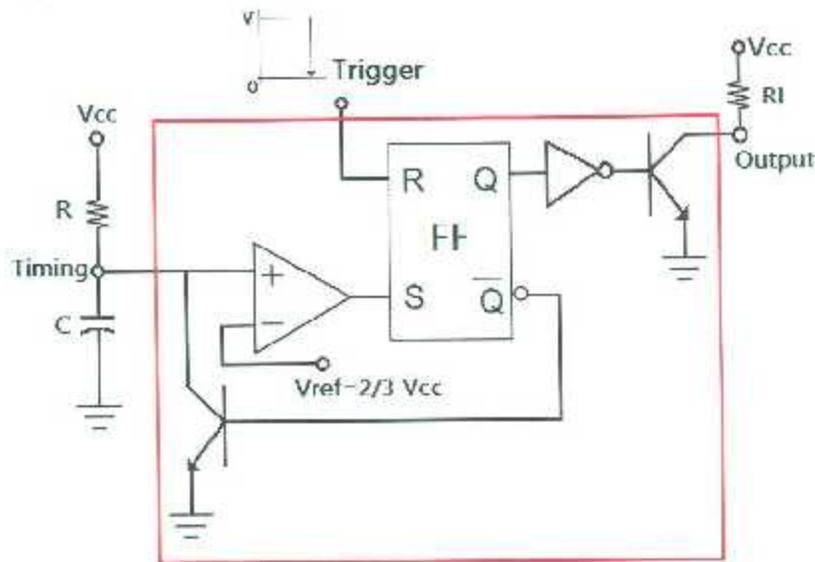


Figura 2.13. Diagrama a bloques de un temporizador interno del NE555.

La figura 2.13 muestra el diagrama eléctrico de cada temporizador interno, se puede apreciar que en un estado inicial el flip flop tiene un estado bajo en su salida Q, después el inversor lo convierte a un estado alto, activando el transistor y mandando la salida a estado bajo, en la salida  $\bar{Q}$  se tiene un estado haciendo que el transistor conectado a ella entre en conducción y ponga en corto circuito al capacitor.

Al mandar un flanco de bajada al Reset (R) del flip flop, las salidas Q y  $\bar{Q}$  invierten su valor haciendo que los transistores conectados a ellos no tengan conducción, la salida cambia a estado alto y el capacitor (C) se comienza a cargar a través de la resistencia (R) conectada a la fuente de alimentación, tal como se muestra en la figura 2.14.

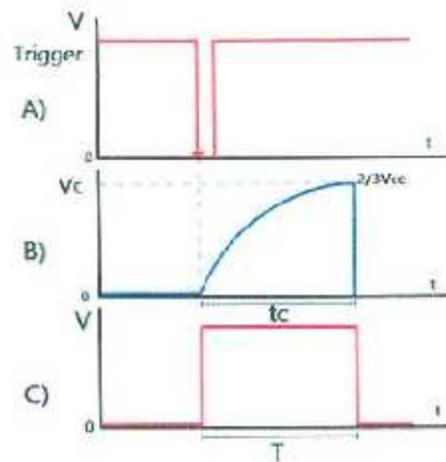


Figura 2.14. A) Voltaje de entrada, B) Carga del capacitor, C) Tiempo en alto.

Cuando el voltaje del capacitor llega a  $2/3$  de su carga el comparador el comparador cambia su salida a estado bajo activando el set (S) del flip flop, cambiando las salidas Q y  $\bar{Q}$  al estado inicial que se explicó anteriormente.

El tiempo de carga  $t_c$  del capacitor determina el temporizado T como se muestra en la figura 2.6, y se calcula a partir de la ecuación de carga de un capacitor (2.3) como se mencionó en el punto 2.6.

Con la misma ecuación (2.4) podemos calcular el tiempo de encendido de la salida.

$$T = R C \quad (2.4)$$

## 2.8. Microcontrolador PIC18F4550.

El microcontrolador PIC18F4550 pertenece a la familia de dispositivos PIC18 de la compañía Microchip®, con características de alto rendimiento computacional a un precio económico. Además de estas características, los PIC18F2455 / 2550/4455 / 4550 introducen a la familia de diseño mejoras que hacen que estos microcontroladores soporten una lógica para muchas aplicaciones de alto rendimiento [11].

El microcontrolador PIC18F4550 es ideal para baja potencia (nanoWatts) y aplicaciones de conectividad que se benefician de la disponibilidad de tres puertos serie : USB (12 Mbit/s) , I<sup>2</sup>C y SPI (hasta 10 Mbit/s). El EUSART (Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), o conocido como SCI (Serial Communications Interface), puede ser configurado como un sistema full duplex o bidireccional asincrono, adaptándose a multitud de periféricos y dispositivos que transfieren información de ésta forma, tales como el monitor o el computador. EUSART puede configurarse de tres formas:

- Asíncrona (Full duplex, bidireccional).
- Síncrona-Maestro (Half duplex, unidireccional).
- Síncrona-Esclavo (Half duplex, unidireccional).

Las grandes cantidades de memoria RAM para el almacenamiento en búfer y la memoria Flash programa hacen que sea perfecto para el control y monitorco incrustado aplicaciones que requieran una conexión periódica con una computadora a través de USB para la carga / descarga de datos y / o actualizaciones de firmware [20].

En la tabla 2.2 se muestran algunas de las características más importantes con las que cuenta el microcontrolador PIC18F4550.

Tabla 2.2. Características del PIC18F4550.

CARACTERISTICAS	PIC18F4450
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256
Interrupciones	20
Líneas de E/S	35
Temporizadores	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	1
Módulos de Comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	1
Canales de Comunicación Serie	MSSP, EUSART
Canal USB	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	1
Canales de Conversión A/D de 10 bits	13 Canales
Comparadores analógicos	2
Juego de instrucciones	75 (83 ext.)
Encapsulados	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines

Con todas estas características se puede determinar el número de puertos de entrada-salida, puertos analógicos, velocidad de la frecuencia de operación, y los puertos de comunicación con los que cuenta el microcontrolador para adecuarse al circuito electrónico a diseñar.

En la figura 2.15 se muestra un diagrama a bloques de toda la arquitectura interna del microcontrolador PIC18F4550 [20]. En la parte derecha se muestran los cinco puertos (A, B, C, D y E), en la parte central registros de control y en la parte inferior los cuatro temporizadores (TIMERS 0, 1, 2 y 3), algunos puertos de comunicación y la memoria EEPROM (*"Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory"* en español: *"ROM programable y borrrable eléctricamente"*).

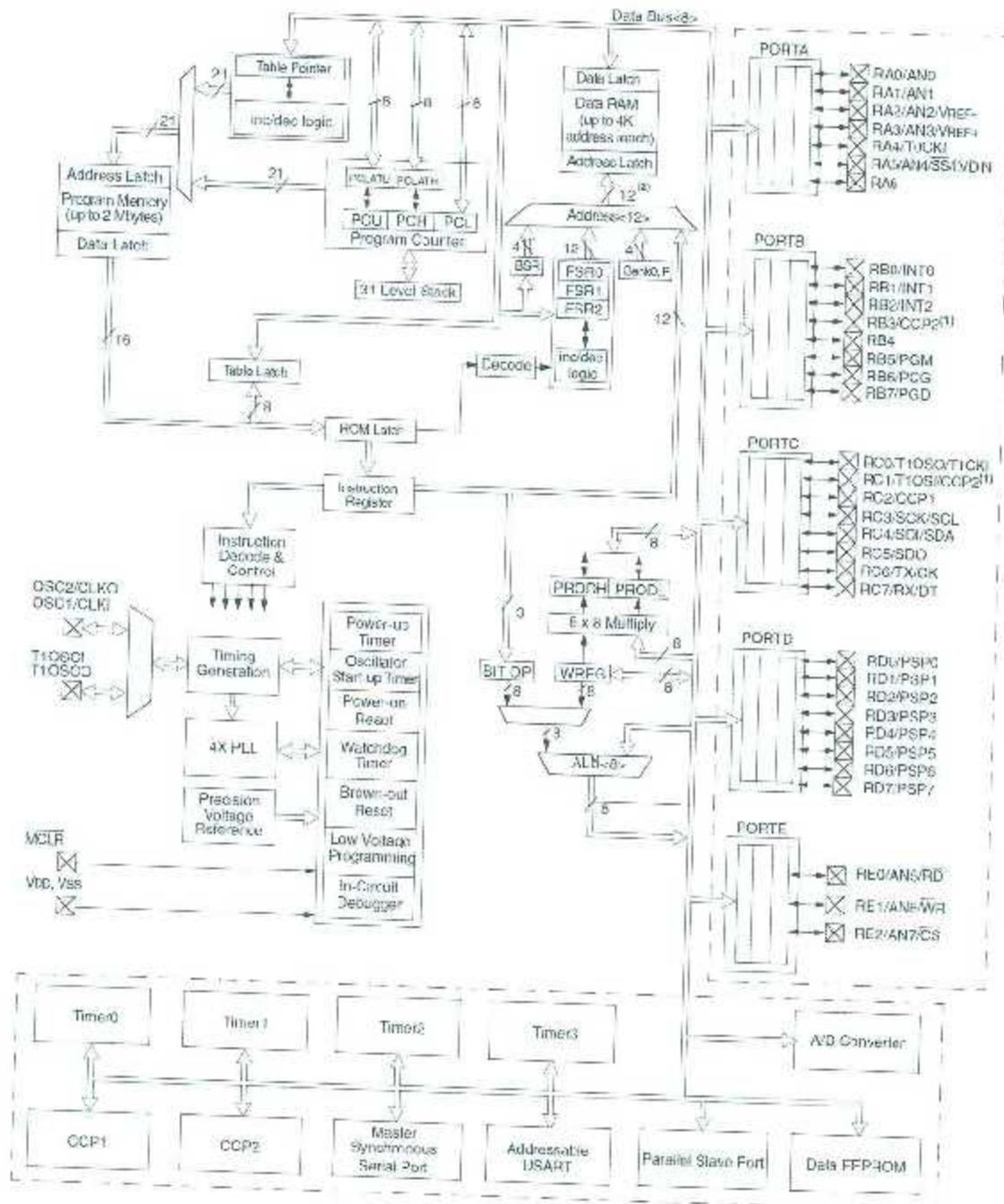


Figura 2.15. Diagrama a bloques de la arquitectura interna del PIC18F4550.

El microcontrolador PIC18F4550 con encapsulado dual en línea DIP (Dual In-Line Pin Package) cuenta con cuarenta terminales, en la figura 2.16 se muestra la configuración de pines.

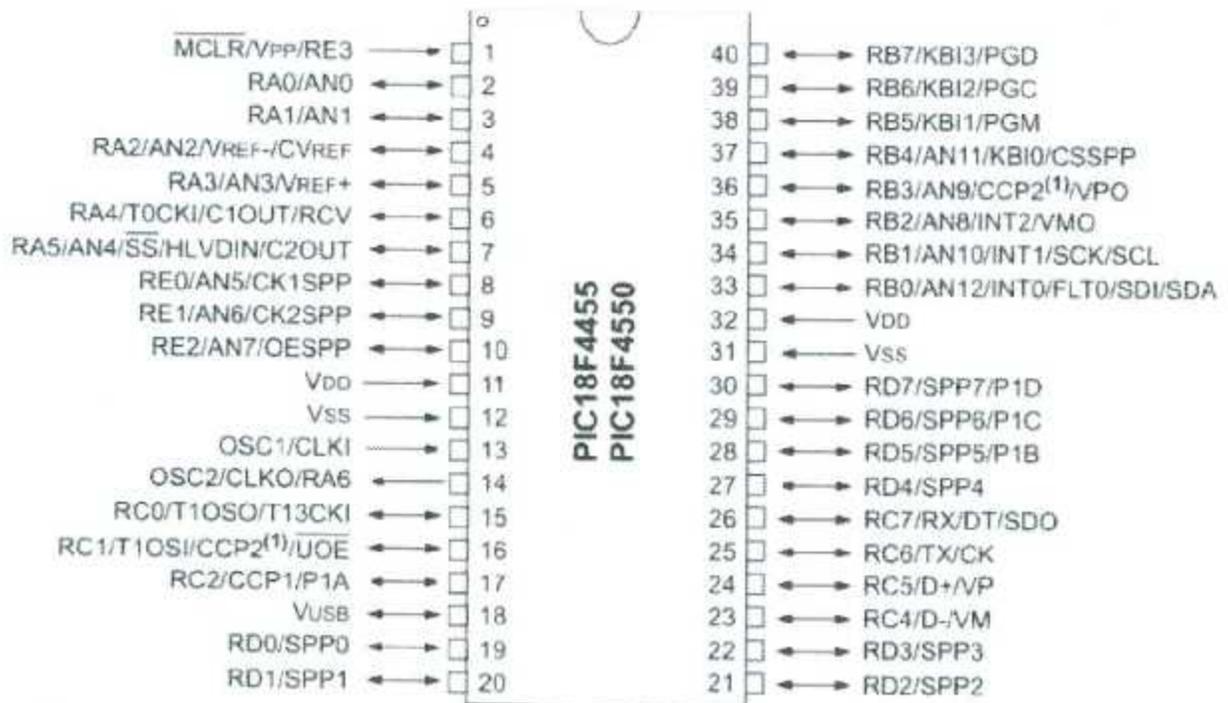


Figura 2.16. Configuración de pines del circuito integrado PIC18F4550.

## 2.9. Comunicación PIC-PC vía USB.

Los dispositivos de la familia PIC18 F2455/2550/4455/4550 incorporan un bus serie universal con todas las funciones del módulo de comunicaciones que es compatible con el USB 2.0. El módulo es compatible tanto a baja velocidad y velocidad completa. Incorpora su propio tranceptor y regulador de 3.3V en el chip y además soportes el uso de transceptores externos y reguladores de voltaje [21].

Originalmente concebido como un reemplazo para las conexiones serie y paralelo de las computadoras personales para conectar teclados y ratones, impresoras, la interfaz de bus serie universal se ha convertido en común en muchas aplicaciones industriales, médicas, de automoción y de consumo embebidos. Las soluciones de conectividad USB de Microchip están diseñados para soportar las crecientes necesidades de estos mercados [22].

Con esta herramienta de comunicación serial que contiene el microcontrolador, podemos establecer una comunicación rápida y eficaz de nuestro sistema embebido con alguna computadora personal, e interactuar como un adquisidor y procesador de datos [23].

## **2.10. Compilador PCWH CCS.**

El compilador PCWH de CCS es un compilador en lenguaje C, usado para la programación de microcontroladores y otros dispositivos de Microchip. Para esta investigación se utilizó la versión de prueba este programa.

Algunas características que presenta este compilador y que hacen de él una buena opción para elegirlo como compilador de C para programar Microcontroladores PIC son:

- Al compilar genera un código máquina muy compacto y eficiente.
- Se integra perfectamente con MPLAB y otros simuladores/emuladores como PROTEUS para el proceso de depuración.
- Incluye una biblioteca muy completa de funciones precompiladas para el acceso al hardware de los dispositivos (entrada/salida, temporizaciones, conversor A/D, transmisión RS-232, bus I2C.....etc).
- Incorpora drivers para dispositivos externos, tales como pantallas LCD, teclados numéricos, memorias EEPROM, conversores A/D, relojes en tiempo real, etc.(los drivers

son pequeños programas que sirven de interfaz entre los dispositivos hardware y nuestro programa).

- Permite insertar partes de código directamente en Ensamblador, manteniendo otras partes del programa en C.

CCS desarrolló el primer compilador de C para microcontroladores Microchip hace más de 20 años y continúa proporcionando soluciones de software para desarrolladores de aplicaciones integradas que utilizan PIC MCU y DSC dispositivos PIC24 / dsPIC [24].

Algunas ventajas de este compilador según la página oficial del proveedor son:

- Migrar fácilmente entre todos los dispositivos de Microchip PIC.
- Reducir al mínimo el tiempo de desarrollo con: controladores de periféricos y construcciones estándar de C
- C ++ flujos de entrada / salida de estilo con los datos completos de formato a cualquier dispositivo o para cuerdas
- Utilizar las bibliotecas de CCS y el código objeto de archivo libres
- Funciones útiles como #bit y #byte permiten variables de C que se pondrán a direcciones absolutas
- El tipo integral de un bit (short int) permite que el compilador para generar código muy eficiente orientado a bits
- Fácilmente definir, configurar y gestionar las interrupciones

El compilador PCWII CCS proporciona a los desarrolladores un conjunto de herramientas y un código inteligente optimización de Microchip PIC que permite a los desarrolladores concentrarse en la funcionalidad del diseño en lugar de tener que convertirse en un experto en la arquitectura MCU ("Micro Controller Unit"). El compilador permite a los desarrolladores para gestionar todos los aspectos de su desarrollo de software embebido, desde el diseño hasta la programación

del dispositivo y la depuración. Además contiene una herramienta para la depuración de código compilado en tiempo real mientras se ejecuta en dispositivos de Microchip PIC [25].

### 2.10.1. Características del lenguaje C para este compilador.

El lenguaje C estándar es independiente de cualquier plataforma. Sin embargo, para la programación de microcontroladores es necesario disponer de determinados comandos que se refieren a partes específicas de su hardware, como el acceso a memoria, temporizadores, etc. Por este motivo, además de los comandos, funciones y datos del lenguaje ANSI C, el compilador PCWH incluye bibliotecas que incorporan determinados comandos que no son estándar, sino específicos para la familia de microcontroladores PIC. Éstos son básicamente de dos tipos: directivas del preprocesador y funciones precompiladas [26].

### 2.10.2. Directivas del preprocesador.

El compilador PCWH dispone de 7 tipos básicos de directivas:

Directivas derivadas del estándar de C, que permiten, entre otras funciones, un control básico del código y del flujo en el proceso de compilación:

**#DEFINE:** Se utiliza simplemente para reemplazar el IDentificador (ID) con CADENA.

**#IF, #ELSE, #ENDIF:** El pre-procesador evalúa la expresión constante y si es distinta de cero procesará las líneas hasta el #ELSE -que es opcional- o en su defecto hasta el #ENDIF.

**#IFDEF, #ELSE, #ENDIF:** Esta directiva actúa como el #IF sólo que aquí el pre-procesador simplemente comprueba que reconoce el id especificado (creado con un #DEFINE). Nótese que #IFDEF verifica si se definió un id pero #IFDEF verifica que no está definido el id.

**#ERROR:** Esta directiva para el compilador y emite el mensaje que se incluye a continuación (en la misma línea) de la propia directiva. El mensaje puede incluir macros. También puede utilizarse para alertar al usuario de una situación anómala en tiempo de compilación.

**#INCLUDE:** Esta directiva hace que el compilador incluya en el fichero fuente el texto que contiene el archivo especificado en <Nombre\_Fichero>.

Si el nombre del fichero se incluye entre los símbolos '<>' el compilador busca el fichero en el directorio INCLUDE.

Si se pone entre comillas dobles " " el compilador busca primero en el directorio actual o directorio de trabajo y si no lo encuentra, entonces lo busca en los directorios INCLUDE del compilador.

**#LIST:** Guarda el código fuente en el archivo .LST

**#NOLIST:** No guarda el código fuente en el archivo .LST

**#PRAGMA:** Esta directiva se usa para mantener compatibilidad entre los compiladores de C. El compilador aceptará esta directiva antes de cualquier otro comando del pre-procesador.

**#UNDEF:** El identificador ID no tendrá ya significado para el pre-procesador.

Directivas asociadas a las bibliotecas precompiladas, que proporcionan al compilador información relacionada con estas bibliotecas:

**#USE DELAY:** Esta directiva indica al compilador la frecuencia del procesador, en ciclos por segundo, a la vez que habilita el uso de las funciones DELAY\_MS() y DELAY\_US(). Opcionalmente podemos usar la función restart\_WDT() para que el compilador reinicie el WDT durante el retardo.

**#USE FAST\_IO:** Esta directiva afecta al código que el compilador generará para las instrucciones de entrada y salida. Este método rápido de hacer I/O ocasiona que el compilador realice I/O sin programar el registro de dirección. El puerto puede ser A-G.

**#USE FIXED\_IO:** Esta directiva afecta al código que el compilador generará para las instrucciones de entrada y salida. El método fijo de hacer I/O causará que el compilador genere código para hacer que un pin de I/O sea entrada o salida cada vez que se utiliza. Esto ahorra el byte de RAM usado en I/O normal.

**#USE I2C:** La librería I2C contiene funciones para implementar un bus I2C. La directiva #USE I2C permanece efectiva para las funciones I2C\_START, I2C\_STOP, I2C\_READ, I2C\_WRITE e I2C\_POLL hasta que se encuentre otra directiva #USE I2C.

Se generan las funciones software a menos que se especifique la opción NOFORCE\_SW. El modo SLAVE sólo debe usarse con las funciones SSP. Las opciones son:

<b>MASTER</b>	Establece el modo maestro o principal
<b>SLAVE</b>	Modo esclavo
<b>SCL=pin</b>	Especifica el pin SCL (es un bit de dirección)
<b>SDA=pin</b>	Especifica el pin SDA
<b>ADDRESS=nn</b>	Especifica la dirección del modo esclavo
<b>FAST</b>	Usa la especificación rápida I2C
<b>SLOW</b>	Usa la especificación lenta I2C
<b>RESTART_WDT</b>	Reinicia el WDT mientras espera en I2C_READ
<b>NOFORCE_SW</b>	Usa funciones hardware I2C

**#USE RS232:** Esta directiva le dice al compilador la velocidad en baudios y los pines utilizados para la I/O serie. Esta directiva tiene efecto hasta que se encuentra otra directiva RS232.

La directiva #USE DELAY debe aparecer antes de utilizar #USE RS232. Esta directiva habilita el uso de funciones tales como GETCH, PUTCHAR y PRINTF. Si la I/O no es estándar es preciso poner las directivas FIXED\_IO o FAST\_IO delante de #USE RS232. Las opciones son:

<b>RESTART_WDT</b>	Hace que GETC() ponga a cero el WDT mientras espera un carácter.
<b>INVERT</b>	Invierte la polaridad de los pines serie (normalmente no es necesario con el convertidor de nivel, como el MAX232). No puede usarse con el SCI interno
<b>PARITY=X</b>	Donde X es N, E, u O.
<b>BITS =X</b>	Donde X es 5-9 (no puede usarse 5-7 con el SCI).
<b>FLOAT_HIGH</b>	Se utiliza para las salidas de colector abierto.
<b>ERRORS</b>	Indica al compilador que guarde los errores recibidos en la variable RS232_ERRORS para restablecerlos cuando se producen.

**#USE\_STANDARD\_IO:** Directivas relacionadas con la especificación del dispositivo, por un lado, para definir los mapas de memoria y el juego de instrucciones, y por otro, incluir información necesaria para la programación del dispositivo en los ficheros de salida de la compilación:

**#DEVICE:** Esta directiva define al compilador la arquitectura hardware utilizada. Esto determina la memoria RAM y ROM así como el juego de instrucciones. Para los chips (uCs, memorias, etc) con más de 256 bytes de RAM se puede seleccionar entre punteros de 8 o 16 bits. Para usar punteros de 16 bits hay que añadir \*=16 después del nombre del chip (uC, memoria, ...) o en una nueva línea después de la declaración del chip. Se puede obtener información sobre un dispositivo con el programa PICCHIPS.

**#ID:** Esta directiva define la palabra de identificación que se grabará en el chip (uC, memoria, etc). Esta directiva no afecta a la compilación pero la información se pone en el archivo de salida. La primera sintaxis necesita un número de 16-bit y pondrá un nibble en cada una de las cuatro palabras del ID. La segunda sintaxis especifica el valor exacto en cada una de las cuatro palabras del ID. Cuando se especifica "nombre\_archivo" el ID se lee del archivo indicado; su formato debe ser texto simple con un CR/LF al final. La palabra CHECKSUM indica que el checksum del dispositivo debe tomarse como el ID.

**#FUSES:** Esta directiva define qué fusibles deben activarse en el dispositivo cuando se programe. Esta directiva no afecta a la compilación; sin embargo, esta información se pone en el archivo de salida. Si los fusibles necesitan estar en formato Parallax, hay que agregar PAR en opciones. Utilizar la utilidad PICCHIPS para determinar qué opciones son válidas para cada dispositivo. La opción SWAP tiene la función especial de intercambiar los bytes alto y bajo de los datos que no son parte del programa, en el archivo Hex. Esta información es necesaria para algunos programadores de dispositivos. Algunas de las opciones más usadas son:

LP, XT, IIS, RC WDT, NOWDT

PROTECT, NOPROTECT PUT, NOPUT (Power Up Timer) BROWNOUT, NOBROWNOUT  
PAR (Parallax Format Fuses) SWAP

Directivas de cualificación de funciones, para identificar características especiales de una función:

**#INLINE:** Esta directiva le dice al compilador que el procedimiento que sigue a la directiva será llevado a cabo EN LÍNEA. Esto causará una copia del código que será puesto en cualquier parte donde se llame al procedimiento. Esto es útil para ahorrar espacio de la pila (stack) y aumentar la velocidad.

Sin esta directiva es el compilador quien decidirá cuando es mejor hacer los procedimientos en línea.

**#INT\_DEFAULT:** La función que sigue a la directiva será llamada si el PIC activa una interrupción y ninguno de los flags de interrupción está activo.

**#INT\_GLOBAL:** La función que sigue a esta directiva reemplaza al distribuidor de interrupciones del compilador; dicha función toma el control de las interrupciones y el compilador no salva ningún registro. Normalmente no es necesario usar esto y debe tratarse con gran prudencia.

**#INT\_XXXX:** Estas directivas especifican que la función que le sigue es una función de interrupción. Las funciones de interrupción no pueden tener ningún parámetro. Como es natural, no todas las directivas pueden usarse con todos los dispositivos. El compilador salta a la función de interrupción cuando se detecta una interrupción. Es el propio compilador el encargado de generar el código para guardar y restaurar el estado del procesador.

También es el compilador quien borrará la interrupción (el flag). Sin embargo, nuestro programa es el encargado de llamar a la función `ENABLE_INTERRUPT()` para activar previamente la interrupción junto con el señalizador (flag) global de interrupciones.

**#SEPARATE:** le dice al compilador que el procedimiento o función que sigue a la directiva será llevado a cabo por `SEPARADO`. Esto es útil para evitar que el compilador haga automáticamente un procedimiento en línea (`INLINE`). Esto ahorra memoria ROM pero usa más espacio de la pila. El compilador hará todos los procedimientos `#SEPARATE`, separados, tal como se solicita, aun cuando no haya bastante pila.

Directivas de control del compilador, para definir opciones referidas a la compilación del código del programa:

**#CASE:** Hace que el compilador diferencie entre mayúsculas y minúsculas. Por defecto el compilador hace esta distinción

**#OPT:** Esta directiva sólo se usa con el paquete `PCWH` y, establece el nivel de optimización. Se aplica al programa entero y puede aparecer en cualquier parte del archivo fuente. El nivel de optimización 5 es el nivel para los compiladores DOS. El valor por defecto para el compilador `PCWH` es 9 que proporciona una optimización total.

**#PRIORITY:** Esta directiva se usa para establecer la prioridad de las interrupciones. Los elementos de mayor prioridad van primero.

Directivas de control de la memoria del microcontrolador, para gestionar y reservar el uso de determinadas zonas de memoria para variables:

**#ASM:** Las líneas entre #ASM y #ENDASM se tratan como código ensamblador. La variable predefinida `RETURN` puede utilizarse para asignar un valor de retorno a la función desde el código en ensamblador. Tener presente que cualquier código C después de `^A^B #ENDASM ^A^b` y antes del final de la función puede falsear el valor de retorno.

**#BIT:** Esta directiva creará un identificador "id" que puede utilizarse como cualquier SHORT INT (entero corto; un bit). El identificador referenciará un objeto en la posición de memoria `x` más el bit de desplazamiento `y`.

**#BYTE:** Esta directiva creará un identificador "id" que puede utilizarse como cualquier INT (un byte). El identificador referenciará un objeto en la posición de memoria `x`, donde `x` puede ser una constante u otro identificador. Si `x` es otro identificador, entonces éste estará localizado en la misma dirección que el identificador "id".

**#RESERVE:** Permite reservar posiciones de la RAM para uso del compilador. #RESERVE debe aparecer después de la directiva #DEVICE, de lo contrario no tendrá efecto.

**#ROM:** Esta directiva permite insertar datos en el archivo .HEX. En particular, se puede usar para programar la EEPROM de datos de la serie 84 de PIC.

**#ZERO\_RAM:** Directiva que pone a cero todos los registros internos que pueden usarse para mantener variables, antes de que comience la ejecución del programa.

Identificadores predefinidos. Todas las directivas citadas hasta ahora, son comandos destinados a ser interpretados por el compilador, no por el microcontrolador. Dentro del término genérico de directiva se incluyen, además de estos comandos, unas variables que contienen información sobre el proceso de compilación. Estas variables son lo que se denominan identificadores predefinidos del compilador:

\_\_DATE\_\_: Este identificador del pre-procesador contiene la fecha actual (en tiempo de compilación) en el formato siguiente: "30-SEP-98"

\_\_DEVICE\_\_: Este identificador del pre-procesador es definido por el compilador con el número base del dispositivo actual. El número base normalmente es el número que sigue a la/s letra/s en el número de componente o referencia de un dispositivo. Por ejemplo los PIC16C84 tienen el número base 84.

\_\_PCB\_\_: Se utiliza para determinar si es el compilador PCB el que está haciendo la compilación.

\_\_PCM\_\_: Se utiliza para determinar si es el compilador PCM el que está haciendo la compilación.

Las directivas se reconocen fácilmente porque comienzan por el símbolo #, mientras que los identificadores empiezan y acaban por doble subrayado (  ).

### **2.10.3. Funciones precompiladas.**

Se puede facilitar considerablemente la tarea de programación si no es necesario construir por nosotros mismos aquellas funciones que son de utilización más frecuente, como leer la entrada de un teclado o imprimir un determinado mensaje en una pantalla LCD conectada como salida.

Existen funciones en C incluidas en el compilador CCS para manejar los diferentes recursos del microcontrolador, desde el bus I2C hasta el conversor A/D [27].

#### 2.10.4. Utilidades adicionales.

El entorno PCWIN CCS incluye, además del compilador, una serie de utilidades adicionales con las que se amplían las posibilidades de éste, se encuentran en los menús View y Tools de la barra de menús (ver figuras 2.17 y 2.18), y se describen a continuación:

- **Monitor del puerto serie:** Consiste en un terminal que monitoriza la entrada y la salida del puerto serie del computador.
- **Selección de dispositivos (Device Selection Tool):** Esta utilidad consta de una base de datos con los dispositivos que puede programar el compilador, incluyendo todas sus características hardware, de manera que se puede emplear para buscar aquellos dispositivos que cumplan una serie de propiedades comunes.
- **Editor de dispositivos (Device Editor):** Este programa también emplea la base de datos de dispositivos, y permite editar los componentes para modificar sus características hardware, así como añadir nuevos dispositivos o eliminar algunos de ellos.
- **Conversor numérico:** Esta utilidad realiza conversiones entre los tipos de datos unsigned, signed, hex y float.
- **Extracción de datos de calibrado:** Esta opción permite leer los datos de calibración existentes en la memoria de programa de un determinado dispositivo. Estos datos contienen información particular de cada microcontrolador a su salida de fábrica, y se refieren a posibles problemas especiales que pudieran haber tenido lugar durante el desarrollo y fabricación. Mediante esta opción es posible leer estos datos y grabarlos en un fichero .H o .C que incorporará una directiva #ROM para dicho dispositivo, con lo que cada vez que se programe el microcontrolador se incluirán estos datos de calibrado.
- **Desensamblador:** Esta opción lee un fichero en Código máquina y lo traduce a su equivalente en Ensamblador, con lo que se podría insertar este código en un programa en C, mediante las directivas #ASM y #ENDASM [26].



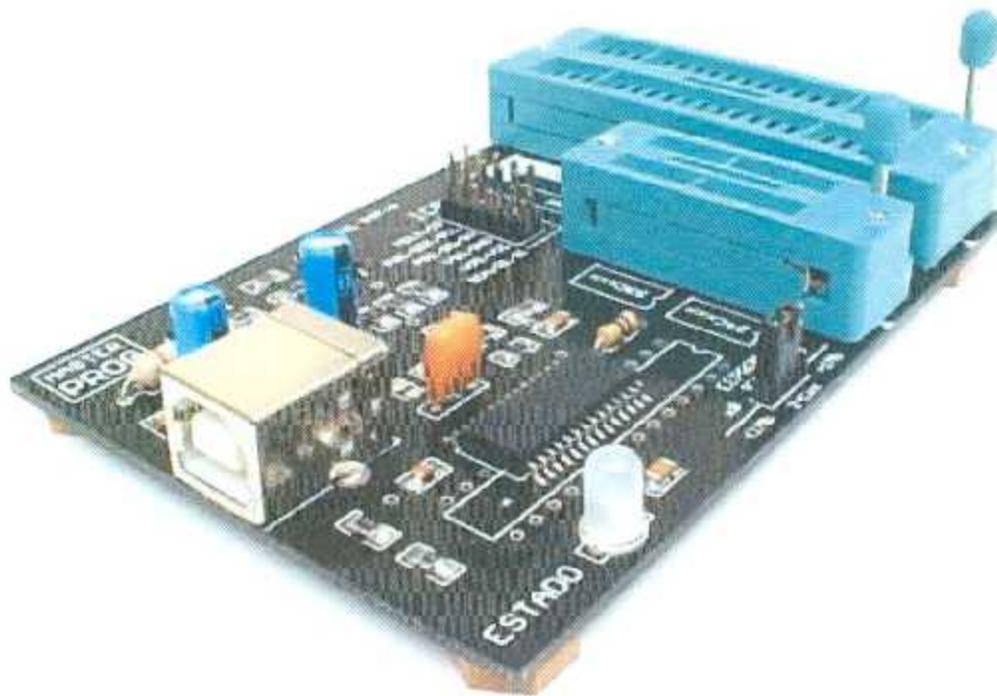


Figura 2.19. Programador MASTER PROG.

En la figura 2.20 se muestra la ventana principal del menú con el que cuenta el software del programador, que cuenta con distintos botones para las siguientes funciones:

- **LEER:** Lee el código hexadecimal que contenga el PIC conectado.
- **VERIFICAR:** Comprueba la escritura del archivo hexadecimal en la memoria del PIC, en caso de existir alguna diferencia, detiene el proceso de programación y muestra un mensaje de error.
- **BORRAR:** Borra toda la información que contenga el PIC conectado.
- **BORRADO?:** Verifica que la memoria flash del PIC este borrada.
- **ESCRIBIR:** Escribe el archivo hexadecimal que se haya seleccionado a la memoria del PIC.

- **AUTOPROG:** Lee la información que contenga la memoria flash del PIC y la vuelve a escribir.
- **LEER/GUARDAR:** Lee el archivo hexadecimal de la memoria flash del PIC y la guarda en un archivo independiente en la computadora.
- **AUTO/CONEX:** Comprueba la comunicación entre la computadora y el programador.

En la parte superior se encuentran los comandos del menú, que se describen a continuación:

- **Archivo:** Abre una ventana para seleccionar el archivo hexadecimal que se cargará en el PIC.
- **Comandos:** Muestra un menú de comandos.
- **Dispositivo:** Muestra las familias de Microcontroladores soportados por el programador.
- **Herramientas:** Muestra un menú de herramientas como, protección anti copia, protección de datos de la memoria EEPROM, ajuste de oscilador interno y ajuste para programación rápida.
- **Ayuda:** Muestra las diferentes opciones de ayuda en línea y soporte técnico.



Figura 2.20. Ventana principal del Software del Master Prog.

En la parte inferior se encuentran unos cuadros de texto en donde nos muestra las características del PIC conectado a la tarjeta MASTER PROG.

En la figura 2.22 se muestra la correcta colocación que deben tener los microcontroladores PIC de 8, 14, 18, 28 y 40 pines al conectarse en el zócalo del programador MASTER PROG.

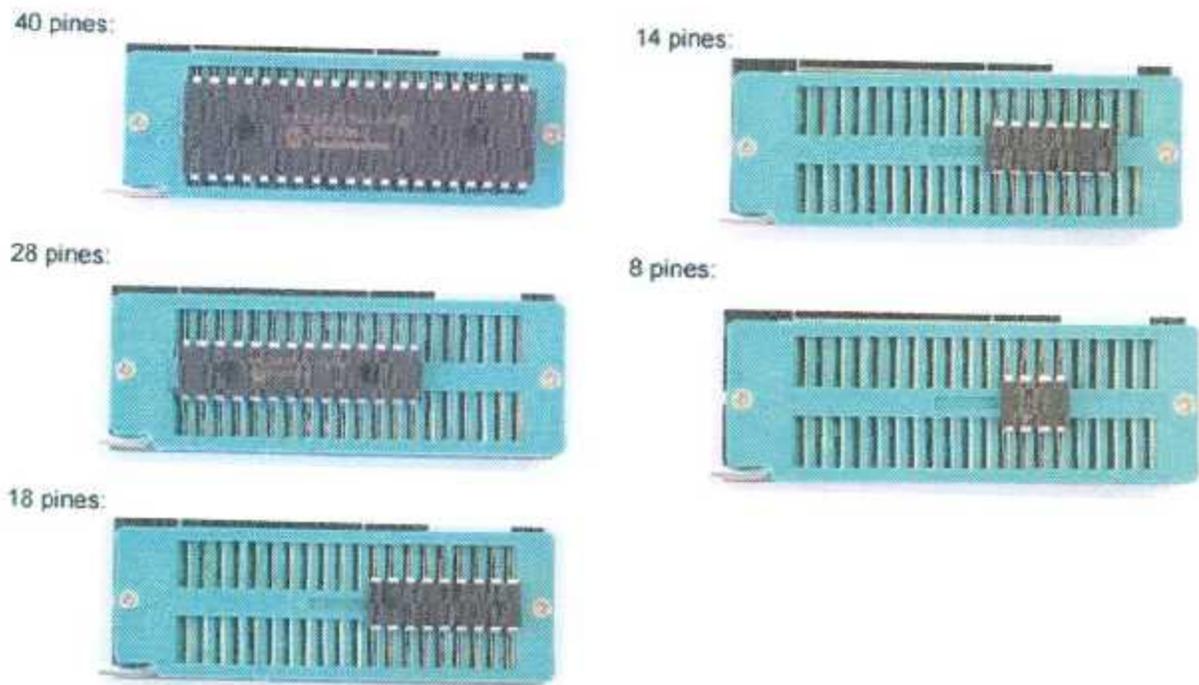


Figura 2.21. Colocación correcta de microcontroladores en el Master Prog.

## 2.12. Programa PCB WIZARD.

PCB Wizard es un programa diseñado para el ámbito educativo que permite crear esquemas de circuitos electrónicos y a partir de estos, obtener de una manera sencilla el diseño del circuito impreso a una o dos caras [29]. Se utilizó la versión de prueba de 45 días de este programa.

Con este programa es posible diseñar circuitos impresos a partir de su circuito eléctrico (ver figura 2.23) o bien interconectando cada pin involucrado en él. Contiene una biblioteca con diseños de algunos componentes electrónicos, en su versión de símbolo electrónico o versión PCB y además se puede diseñar el componente electrónico con las medidas y pines específicos. [30].



El programa cuenta con la posibilidad de crear circuitos impresos de una o dos caras, y además se puede ver una vista 3D de cómo quedaría la tabilla en la vida real, como se muestra en la figura 2.25.

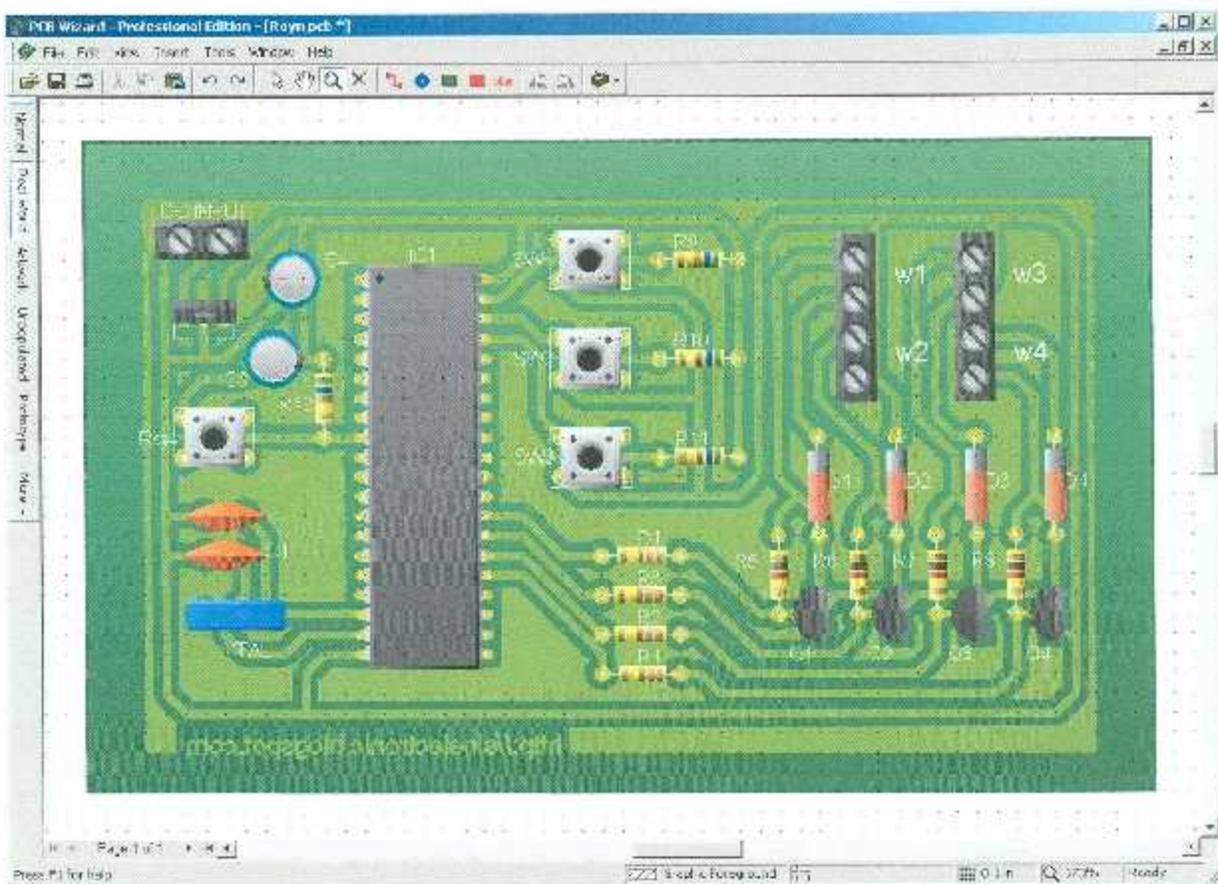


Figura 2.24. Vista en 3D de un circuito impreso

### **2.13. Terminal de puerto serial.**

“Advanced Serial Port Terminal” es un programa que permite conectar una computadora a cualquier dispositivo de puerto serie para establecer comunicación bidireccional, comprobar y solucionar problemas o depurar su trabajo y conexión. Este programa cuenta con una versión gratuita de prueba que funciona correctamente con la mayoría de los dispositivos con comunicación serial.

Este programa es mucho más funcional que la terminal estándar de Windows, ya que es capaz de enviar / recibir diversos tipos de datos (cadena ASCII, binario, octal y hexadecimal) sobre una línea serie, redirigir los datos de entrada / salida arroyos en un archivo especificado, cambiar la configuración del módem de prueba, etc.

En el programa de Serial Port Terminal es posible cambiar la configuración del puerto serie sin la necesidad de cerrar y volver a abrir el puerto, ajustar la velocidad en baudios, bits de datos, paridad, bits de parada, parámetros de control, entre otros. Además se pueden guardar todos los bytes recibidos en un archivo para su posterior análisis y mucho más. Es posible enviar, recibir y visualizar los datos en formato hexadecimal, cambiar entre los modos de volteo y ver el terminal: todas estas características son muy útiles para la depuración y pruebas de conexiones de puerto serie [31].

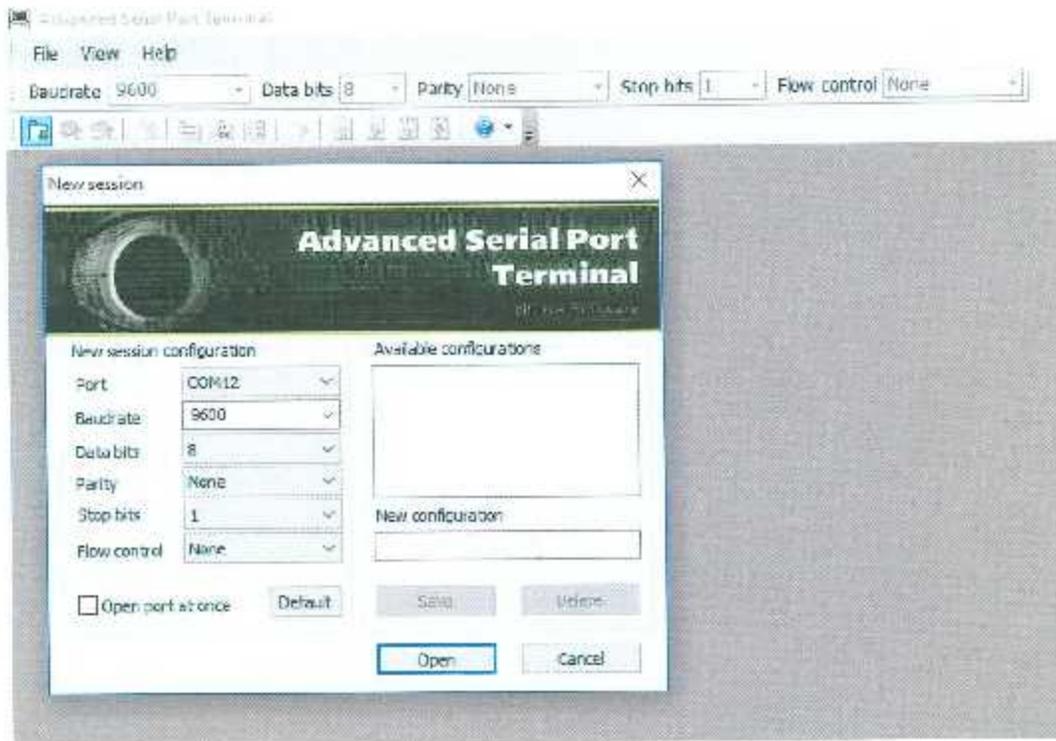


Figura 2.25. Ventana principal del programa "Advanced serial port terminal".

Solo es necesario seleccionar los parámetros de comunicación y abrir el puerto para comenzar a recibir o enviar datos por el puerto serial seleccionado.

## **3 Metodología de las actividades.**

En este capítulo se describen las actividades realizadas según el diagrama de la metodología que se diseñó para la realización de esta investigación (figura 1.3). Cada actividad se comenzó en tiempo según la calendarización del cronograma programado, y algunas de ellas llevaron un poco más del tiempo contemplado. A continuación se describen cada una de ellas:

### **3.1. Investigación documental.**

Se investigó acerca de los diferentes tipos de sensores táctiles que existieron desde su creación, y los que actualmente se utilizan, llegando a la conclusión de que un sensor táctil resistivo es muy difícil de fabricar sin el equipo adecuado, por otra parte los sensores capacitivos resultaron mejores que los resistivos pero requieren de una meticulosa calibración, mientras que los sensores fabricados con temporizadores son precisos, ajustables y fácil de conseguir a un precio accesible.

Con la información que se adquirió en la investigación, se propuso un circuito a base de temporizadores para usarlo como circuito táctil. Se fabricaron tarjetas de circuitos impresos para 20 sensores y un panel hecho a base de una baquelita para la parte sensitiva.

Se investigó sobre diferentes tipos de microcontroladores para utilizarlo según las necesidades del prototipo final de esta investigación.

Toda la información relacionada con el tema de estudio, se encuentra en el marco teórico que se encuentra en el capítulo 2.

### **3.2. Delimitación del proyecto.**

Se tuvo que delimitar el proyecto de investigación adecuándose al tiempo establecido, instalaciones y recursos con los que se contaron durante el desarrollo del mismo.

Se delimitó solo al diseño y fabricación de un sistema con 20 sensores táctiles que fuera capaz de detectar el toque de cada sensor en un panel de 5 renglones por cuatro columnas, además de desplegar la información de cada sensor en una pantalla LCD y enviar esa misma información hacia una computadora por conexión USB.

### **3.3. Diseño de pruebas de sensores táctiles.**

Para el diseño de pruebas se tomó la decisión de probar dos tipos de sensores que se han utilizado anteriormente como sensores táctiles, para analizar su comportamiento y respuesta. Los circuitos que se probaron son del tipo óptico con leds infrarrojos y con un temporizador en configuración astable.

Se han fabricado sensores táctiles utilizando sensores ópticos, con leds emisor y receptor de luz infrarroja. En la figura 3.1 se muestra el circuito que se contempló para las pruebas. En ella se puede observar que es necesario reflejar la luz infrarroja del led emisor para poder recibirla en el led receptor y así poder detectar cuando el dedo toca o se acerca demasiado a una superficie. Si se utilizan varios sensores de este tipo, hay que posicionarlos de manera estratégica para que cada receptor realice adecuadamente su función.

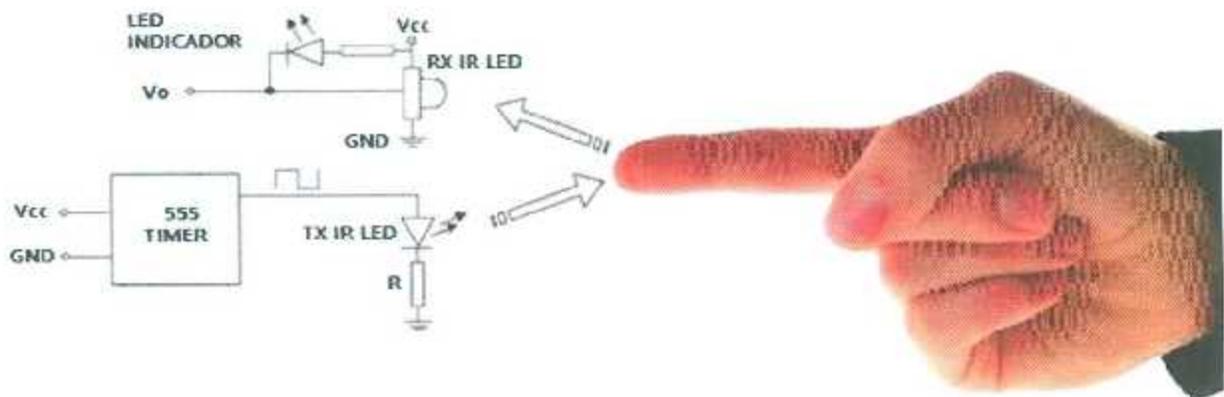


Figura 3.1. Circuito sensor táctil con leds infrarrojos.

En algunos libros de electrónica se menciona que los circuitos temporizadores se pueden utilizar como sensores táctiles, aunque no se encontraron más detalles de diseño y fabricación, para lo cual se tomó la decisión de realizar pruebas con el temporizador más común que es el LM555.

En la figura 3.2 se muestra un circuito que funciona como sensor táctil utilizando un circuito integrado LM555. Se postuló este circuito como una de las opciones para hacer pruebas de funcionamiento como sensor táctil armándolo en una tablilla de pruebas según el diagrama.

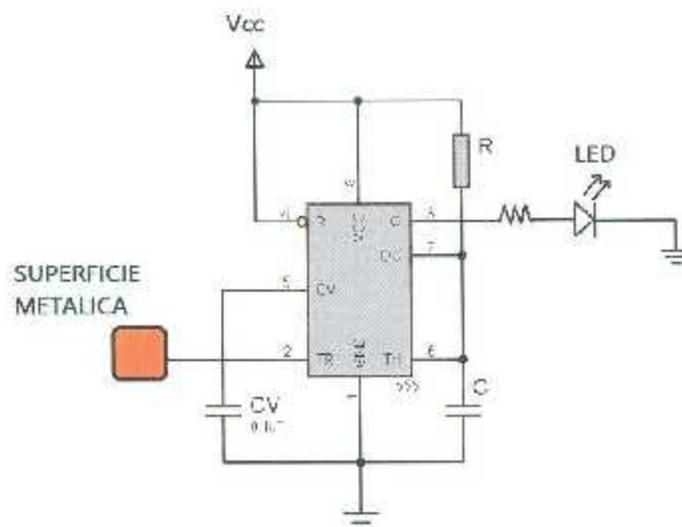


Figura 3.2. Circuito sensor táctil con C.I 555.

La baquelita o placa fenólica es una lámina compuesta de un tipo de plástico aislante prensado cubierta por una fina lámina de cobre, comúnmente usada para la fabricación de circuitos impresos. La parte sensitiva del temporizador se fabricó con un pedazo de baquelita con un pequeño cable soldado en un extremo en la superficie de cobre y por el otro extremo conectado al pin de disparo del temporizador. Esto genera que el circuito se dispare al tocar la parte de cobre.

### 3.4. Propuesta de circuito sensor táctil.

Después de haber realizado las pruebas de funcionamiento de los dos circuitos mencionados en el punto 3.3, se propuso un circuito que presentara mejores características que los probados anteriormente. En la figura 3.3 se muestra un circuito, que al igual que el de la figura 3.2, utiliza un temporizador para generar un estado alto al tocar el pin de disparo (pin 3). El NE558 es un temporizador cuádruple el cual se programó para que el temporizador interno tuviera un tiempo de encendido en la salida de un segundo. Los cálculos de este circuito se tomaron en base a la ecuación 2.2.

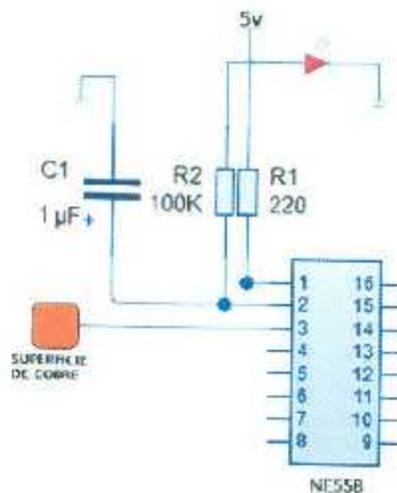


Figura 3.3. Circuito sensor táctil con C.I 558.

### **3.5. Pruebas de funcionamiento del sensor táctil propuesto.**

Al terminar las pruebas preliminares del sensor táctil con el circuito integrado NE558, se procedió a realizar pruebas con diferentes tamaños de la parte sensitiva de cobre que se conectan al pin de disparo, fabricando un panel con diferentes medidas en diferentes baquelitas de cobre.

Se fabricaron 3 tamaños de los cuadros de cobre:

- 1 centímetro cuadrado
- 1.5 centímetros cuadrados
- 2 centímetros cuadrados

Con separaciones de:

- 1 milímetro
- 2 milímetros

Las pruebas se realizaron en 3 laboratorios dentro del instituto, a diferentes temperaturas y con distintas personas para analizar su comportamiento.

### **3.6. Financiamiento.**

Se realizaron varias solicitudes a dependencias federales y nacionales que apoyan a la realización de proyectos de investigación como el CIESLAG y CONACYT, cumpliendo con los requisitos y fechas de las convocatorias. Además se solicitó apoyo a los asesores correspondientes a esta tesis.

### **3.7. Adquisición de materiales, equipos e instalaciones.**

Para la adquisición de materiales se realizó un análisis previo para determinar primeramente la cantidad de material necesario para la realización de pruebas y finalmente un presupuesto a financiar para la realización del prototipo final de esta investigación. Se solicitó apoyo a los distintos laboratorios del área de posgrado e ingeniería para utilizar las instalaciones, equipo y herramienta con los que cuentan. Además se realizó un análisis de todas las herramientas que se necesitaban y no se contaba con ellas para contemplarlas en el presupuesto.

### **3.8. Diseño y fabricación de circuitos impresos.**

Después de haber realizado las pruebas necesarias en la tablilla de pruebas, se procedió a diseñar y construir las diferentes tarjetas de circuito impreso para los sensores, el microcontrolador y el panel. Para los diseños de circuito impreso se utilizó el programa PCB Wizard.

Se utilizaron las instalaciones y equipo de los laboratorios de instrumentación (edificio 26) y de ingeniería electrónica (edificio 20).

### **3.9. Programación del Microcontrolador PIC18F4550.**

Al tener conectadas las tarjetas de los sensores táctiles y del microcontrolador con los paneles y la computadora, se procedió a realizar la programación del microcontrolador PIC18F4550 con el programa "Compilador PCWIN CCS".

Se realizaron varios programas para ir probando paso a paso la detección de los sensores, el despliegue de mensajes en la pantalla LCD integrada a la tarjeta donde se encuentra el microcontrolador, la comunicación serial a través del cable USB del microcontrolador hacia la computadora.

En primer lugar se realizaron pruebas de funcionamiento de todos los sensores del panel y la correcta detección de los datos binarios enviados al microcontrolador. Se comprobaron todas las conexiones entre la tablilla de sensores y el microcontrolador. Al final se comprobó que la programación del microcontrolador fuera la necesaria para cumplir con los objetivos de esta investigación.

## **4. Resultados.**

### **4.1. Investigación documental.**

Con la información que se obtuvo fue posible realizar pruebas de un circuito que funcionara como sensor táctil y proponer uno nuevo que funcionara mejor. Se eligió fabricar un sensor táctil con un temporizador debido a sus características de operación y simple fabricación. La fabricación del sensor táctil con un temporizador es más sencilla que los sensores del tipo resistivo debido a que la parte sensitiva solo consta de una superficie conductora. En los sensores resistivos es muy difícil lograr la separación de dos superficies conductoras separadas por unos milímetros y en los capacitivos es complicado realizar una detección de pocos microfaradios para la calibración del sensor. El análisis de comparación entre un sensor resistivo y capacitivo se menciona en el punto 2.2.3.

La empresa Microchip proporciona una hoja de especificaciones del microcontrolador PIC18F4550 [20] en donde se puede consultar todo acerca de sus características físicas y eléctricas.

Se eligió el compilador PCWH CCS para generar el código de programación debido a que utiliza lenguaje de alto nivel (lenguaje C) y se cuenta con el respaldo de información necesario para consulta [26]. Además cuenta con librerías precargadas listas para utilizarse y ahorrar tiempo en la programación del microcontrolador.

Para el diseño del circuito impreso se obtuvo ayuda del mismo tutorial que contenía el programa PCB Wizard, fue posible lograr diseñar todas las tablillas que se necesitaban para la realización de esta investigación.

## **4.2. Delimitación del proyecto.**

El proyecto se delimitó solo a diseñar y fabricar un panel con veinte sensores táctiles, con conexión a un microcontrolador que tuviera una pantalla LCD y conectividad USB. La programación del micro se delimitó a solo desarrollar un programa que estuviera detectando los veinte sensores en tiempo real y que además capturara los valores en 4 intervalos de tiempo separados por 100 ms. Esta investigación y prototipo se deja abierto para cualquier uso y/o aplicación que alguien más lo necesite. En resumen se enlistan las actividades a realizar para este proyecto:

- Fabricación de panel con veinte sensores, 4 columnas por 5 renglones.
- Fabricación de circuito impreso para la parte sensitiva de los veinte sensores del panel.
- Fabricación de circuito impreso con el circuito que contiene el microcontrolador que conectará la parte sensitiva con la computadora.
- Programación del microcontrolador en lenguaje de alto nivel para la detección de los veinte sensores.
- Despliegue de mensaje en la pantalla LCD con la información de los veinte sensores.
- Comunicación bidireccional USB entre el prototipo y una computadora.

Al final se tendrá un prototipo que funcione con las características de acuerdo a los objetivos planteados en este documento.

### 4.3. Diseño de pruebas de sensores táctiles existentes.

Se armaron los dos circuitos propuestos en el punto 3.4. para las pruebas de circuitos que funcionen como circuitos táctiles.

El primer circuito que se contempló en el diseño de pruebas fue uno que utiliza dos leds infrarrojos emisor y receptor, colocándolos uno frente al otro, para poder detectar cuando un objeto como el dedo de una persona, toque alguna superficie e interfiera el paso de la luz infrarroja, haciendo que se active un led. En la figura 4.3 se muestran 2 fotografías del circuito armado.

Este circuito simula la acción de sensor táctil, pero realmente no se acciona al tocar alguna superficie, sino que se debe obstruir la luz infrarroja del led emisor para que el led receptor detecte la ausencia de la luz y encienda el led.

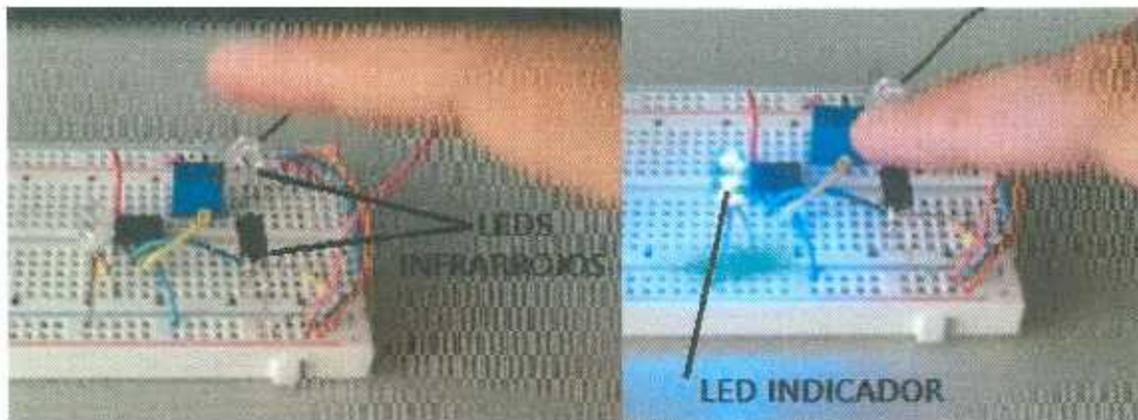


Figura 4.1. Circuito armado utilizando leds infrarrojos.

Se observó que se tiene que obstaculizar casi por completo la luz proveniente del emisor para que el led receptor detecte la ausencia de luz y mande un estado alto a la salida.

Como se mencionó en los antecedentes, este circuito fue muy utilizado en las primeras pantallas táctiles como la computadora HP-150, detectando la posición mediante coordenadas x y, pero al realizar las pruebas de un solo sensor se observó que presenta varias desventajas:

- Requiere de un oscilador conectado al led emisor.
- Requiere de un circuito adicional conectado al receptor.
- No es táctil realmente.
- Otros tipos de luz pueden interferir en su funcionamiento.
- Se necesita colocar estratégicamente los dos leds infrarrojos para que funcione correctamente.

Al terminar las pruebas se llegó a la conclusión de no utilizar este circuito como sensor táctil para esta investigación.

Otro circuito que se propuso es uno que utiliza un LM555 en configuración monoestable como se mostró en la figura 3.2. Se utilizó una pequeña placa de cobre para la parte sensitiva conectada mediante un cable de cobre al pin de disparo (pin2). En la figura 4.4 se muestra el circuito armado en tablilla de pruebas (protoboard).

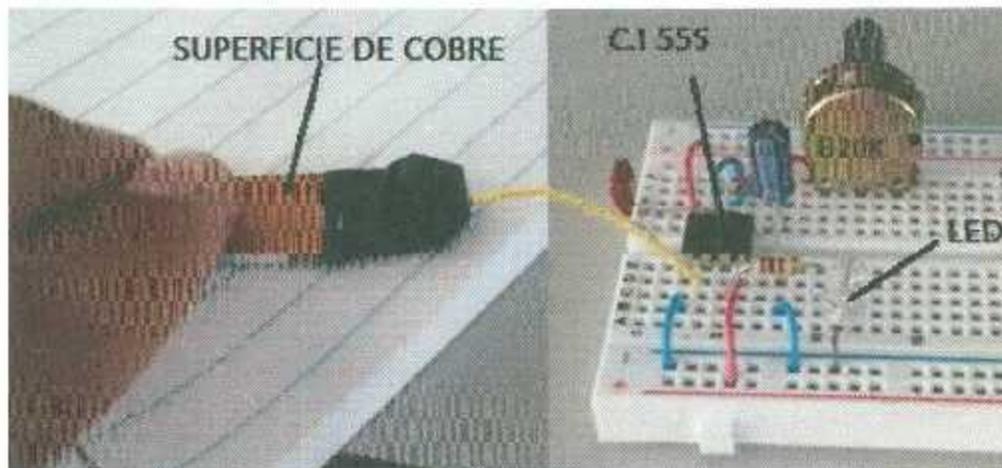


Figura 4.2. Circuito armado con un LM555.

Este circuito funciona como un temporizador que activa su temporizador al tocar el pin de disparo (pin 2), manda un estado alto en la salida del temporizador (pin 3), haciendo que un led se encienda el tiempo establecido por la red RC en sus pines 2,6 y 7. El tiempo de encendido del led y sus cálculos correspondientes se mencionan en el marco teórico.

El tiempo en alto (TA) se determinó con la ecuación 2.2, y se calculó un tiempo de 100 ms. Al término de las pruebas se concluyó que este circuito si trabajó como sensor táctil pero tenía algunos problemas de funcionamiento y retardo en la respuesta. Esto se debe al funcionamiento de la activación de este temporizador, el cual requiere de un flanco de bajada con retorno a un estado alto. Esto hace que el circuito integrado LM555 no sea ideal para esta función.

#### **4.4. Propuesta de circuito como sensor táctil.**

Después de haber realizado las pruebas con el circuito temporizador LM555 se procedió a buscar otro temporizador con mejores características. Con la recomendación del Ing. Lino Mario Hernández Favela, Jefe del Laboratorio de Ingeniería Electrónica, se propuso un circuito de prueba con otro circuito temporizador, el NE558 que contiene 4 temporizadores programables por medio de una red RC, con la que se calcula el tiempo en alto de la salida con la ecuación 2.2. En la figura 4.6 se muestra el circuito armado en tablilla de pruebas, en donde se puede apreciar que se utilizó una resistencia de precisión de 10KΩ con un capacitor de 10 μf para generar un tiempo de 100ms en estado alto. Este tiempo es ideal para la interacción del usuario al desplazar un dedo por el panel de sensores. A continuación se muestra el cálculo para el tiempo de 100 ms:

$$T = t_H = 1.1 RC \quad (2.2)$$

Se propone una resistencia de 10 KΩ

$$C = \frac{100ms}{10 K\Omega}$$

$$C = 10\mu f$$

Además se utilizó una resistencia para delimitar a unos 20 mA de corriente que alimenta al led indicador. A continuación se muestra el cálculo de la resistencia:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{5 volts}{20 mA}$$

$$R = 250\Omega$$

Se utilizó el valor comercial de 220Ω.

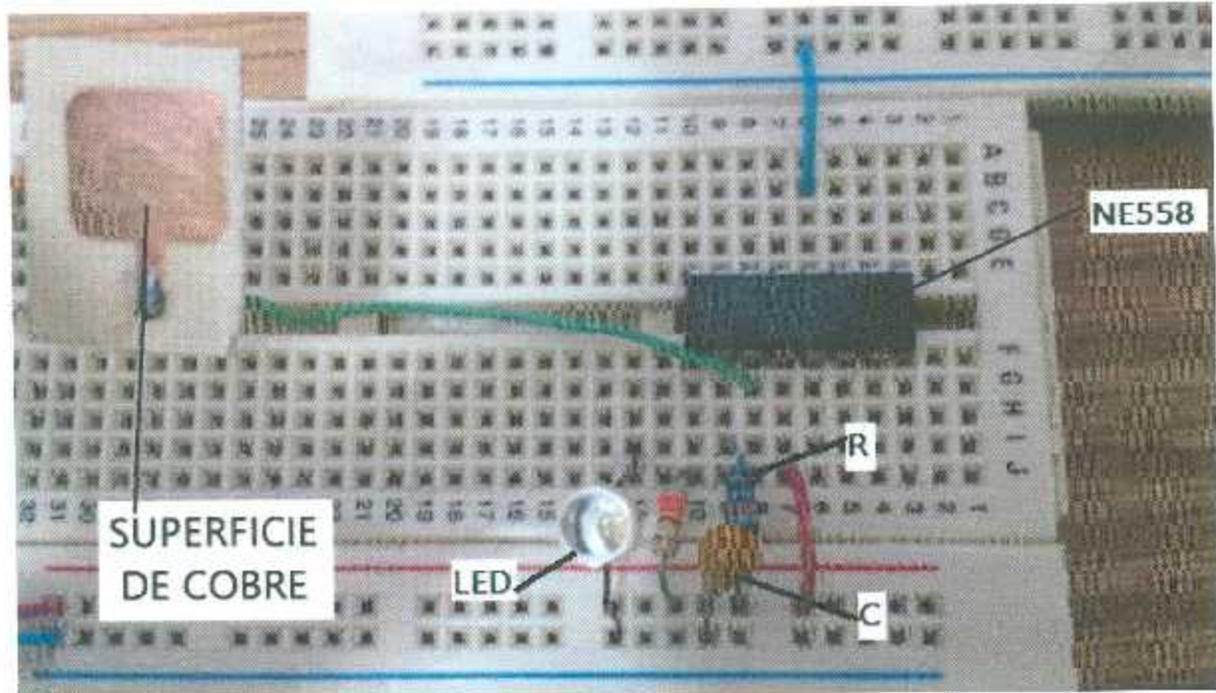


Figura 4.3. Circuito armado con un NE558.

Como se mencionó en el marco teórico en el punto 2.3 y se mostró en la figura 2.7, este circuito integrado solo requiere de un flanco de bajada para activar su salida el tiempo programado, haciéndolo ideal para el propósito que se busca para este proyecto, mientras que en el circuito con el C.I LM555 la respuesta no era tan rápida.

Este circuito funcionó correctamente como sensor táctil, entregando una respuesta muy rápida al rozar el dedo en la superficie de cobre. En la figura 4.4 se muestra una foto tomada de un osciloscopio Tecktronix conectado a la salida del temporizador a la hora de tocar la parte de cobre del mismo.

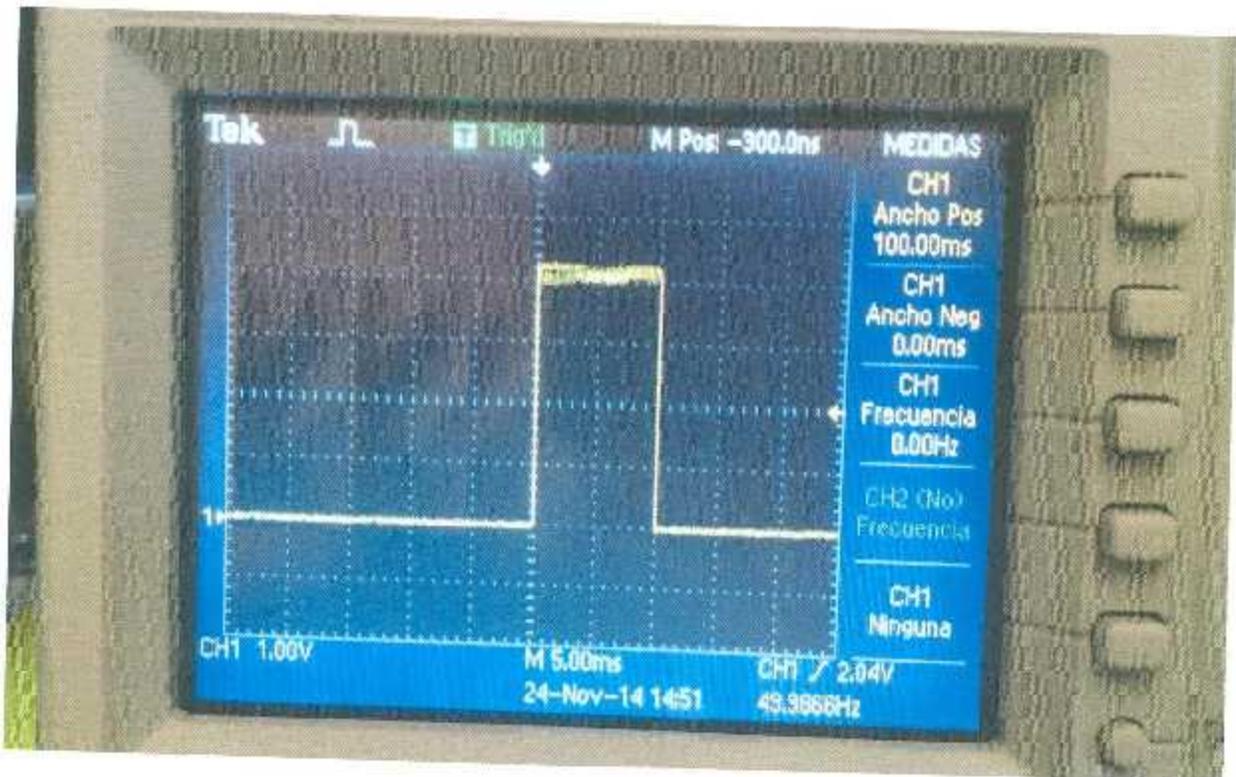


Figura 4.4. Salida del circuito con el NI:558

Nótese que el tiempo de encendido es de 100 milisegundos, exactamente lo calculado teóricamente con la ecuación 2.2. Este circuito se eligió para realizar las pruebas en el panel con varios sensores y seguir con el proyecto de investigación.

#### **4.5. Pruebas de funcionamiento del sensor táctil propuesto.**

Después de haber realizado las pruebas del nuevo sensor propuesto, se procedió a realizar pruebas en una tablilla de pruebas protoboard con dieciséis sensores conectados hacia un panel con dieciséis superficies de cobre, que al tocarlas prenderán una matriz de leds del mismo tamaño que el panel.

En la figura 4.8 se muestra el circuito armado en una tablilla de pruebas, se utilizaron cuatro NI:5558, ya que cada uno contiene 4 temporizadores, y dos tipos de capacitores (amarillos 2.2uF, guindas 10uF) para ver la respuesta de cada uno de ellos con diferente tiempo programado. En la misma figura también se pueden ver los leds que muestran el encendido de cada sensor al tocar la superficie de cobre. Se muestra también los cables que van conectados hacia el panel de superficie de cobre.

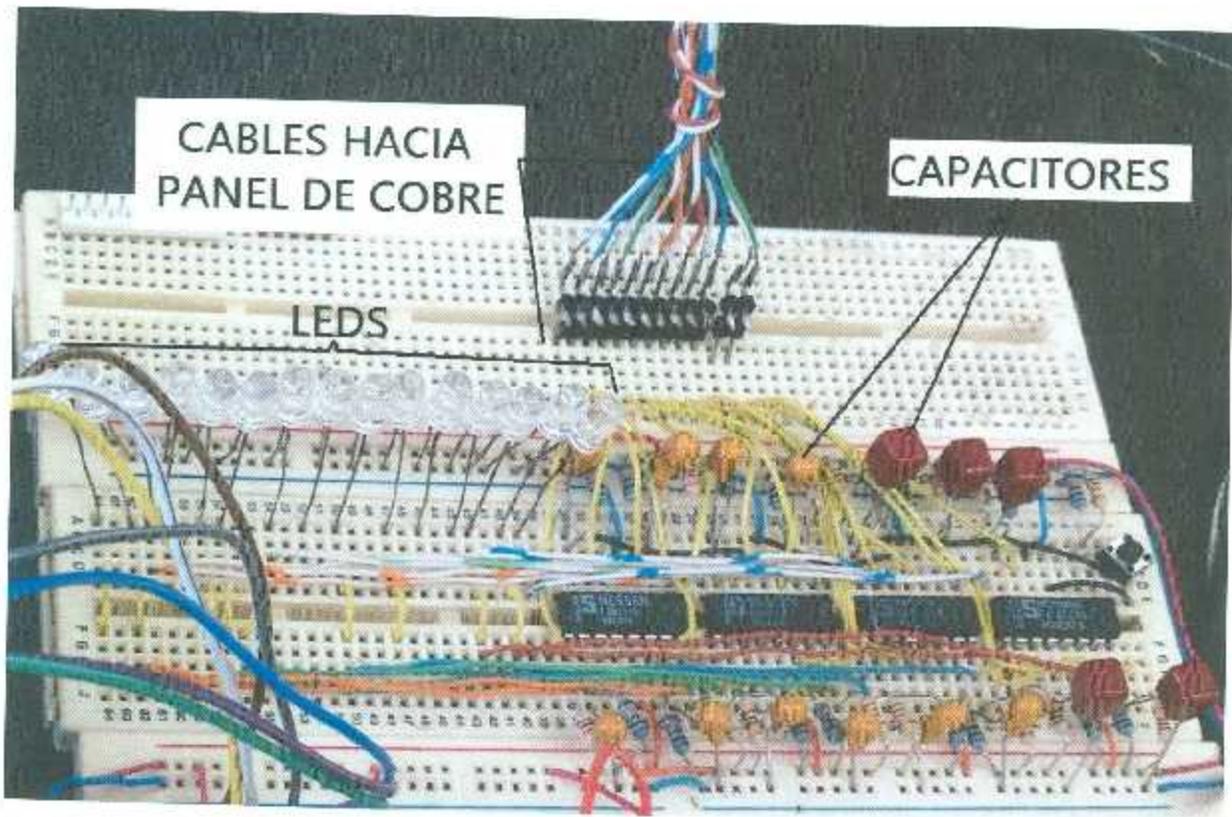


Figura 4.5. Tablilla de pruebas con circuito de 20 sensores táctiles.

En la figura 4.6 se muestra el panel con las superficies de cobre. Para fabricarlo se utilizó una baquelita o placa fenolica para circuitos impresos aislando cada cuadro uno del otro por el método de enmascarado y abrasión con cloruro férrico. Al lograr tener los cuadros necesarios para realizar las pruebas de cada sensor conectados a ellos, se colocaron los leds de la misma manera que se encontraban los cuadros de cobre para identificar a cual correspondía cada uno al encender.

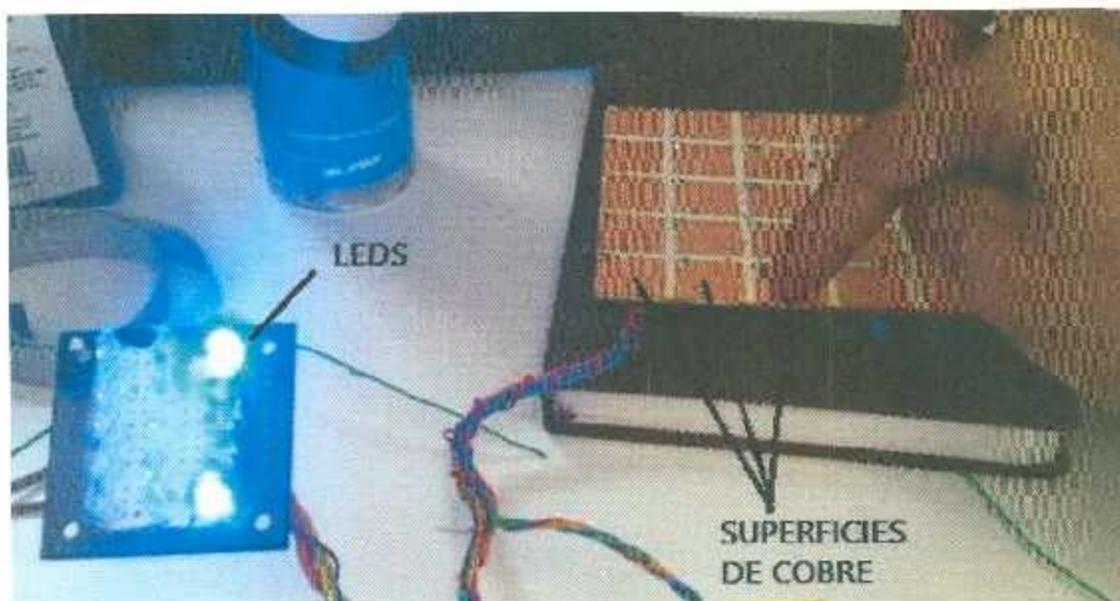


Figura 4.6. Matriz de leds y panel con superficies de cobre.

Se realizaron pruebas en tres laboratorios diferentes y al aire libre, a diferentes temperaturas para observar el funcionamiento de los sensores. En la tabla 4.1 se muestran los resultados:

Tabla 4.1. Pruebas de funcionamiento de los sensores táctiles.

LUGAR	EDIFICIO	TEMPERATURA	FUNCIONAMIENTO
Laboratorio de Instrumentación de Posgrado.	26	18° C	Todos los sensores funcionaron correctamente.
Laboratorio de Ingeniería Electrónica (LIECA).	20	22° C	Todos los sensores funcionaron correctamente.
Laboratorio de Sistemas del área de Posgrado.	30	25° C	Todos los sensores funcionaron correctamente.
Al aire libre	----	32° C	Todos los sensores funcionaron correctamente.

#### **4.6. Financiamiento.**

Después de haber sometido el proyecto a los distintos programas de apoyo, no se obtuvieron resultados favorables para obtener algún recurso para su realización, y se tomó la decisión de financiar el proyecto con recursos del propio tesista con ayuda del asesor y coasesor de esta tesis.

Además de la adquisición de material necesario, también se obtuvo apoyo por parte de las instalaciones de laboratorios y equipos que se encontraban dentro de las instalaciones del IITL, como herramientas, taladros de banco, cortadoras de baquelita, mini taladro para circuitos impresos y equipo para fabricación de circuitos impresos .

#### **4.7. Adquisición de materiales, equipos e instalaciones.**

En primer lugar se compró el material necesario para realizar algunas pruebas para elegir los circuitos adecuados para utilizarse en este proyecto de investigación. Dicho material se menciona en la tabla siguiente:

Tabla 4.2. Presupuesto y material para las pruebas.

CANTIDAD	DESCRIPCION MATERIAL	PRECIO UNITARIO (PESOS)	MONTO (PESOS)
1	Circuito integrado LM555	\$7	\$7
1	Circuito integrado NE558	\$20	\$20
4	LED'S azules	\$3	\$12
2	Resistencias de 220 Ohms	\$1	\$2
2	Resistencias de 10 KOhms	\$1	\$2
1	Capacitor de 10 $\mu$ f	\$3	\$3
1	Potenciómetro de 20 Kohms	\$10	\$10
1	Diodo emisor infrarrojo	\$3	\$3
1	Diodo receptor infrarrojo	\$3	\$3
1	Baquelita o placa fenólica 10x15 cms	\$20	\$20
1	Botella de Cloruro Férrico de 220 ml	\$24	\$24
	<b>TOTAL</b>		\$106.00

Después de haber realizado las pruebas mencionadas en el punto 4.4, se tomó la decisión de comprar el material que se describe en la tabla 1.2.

En la misma tabla se mencionan algunos equipos que se utilizaron en la fabricación del proyecto, algunos de ellos se consiguieron por cuenta propia y algunos otros se consiguieron en el mismo instituto, solo algunos de ellos se tuvo la necesidad de comprarlos o fabricarlos. Algunos de los equipos que se consiguieron, se donarán al laboratorio de Instrumentación de la carrera con la intención de que se sigan utilizando para futuros proyectos que lo necesiten.

Se utilizaron las instalaciones del laboratorio de Instrumentación edificio 26, y el laboratorio de ingeniería electrónica (LIECA) edificio 20.

#### **4.8. Diseño y fabricación de circuitos impresos.**

Se propusieron, diseñaron y fabricaron tarjetas de circuitos impresos, las cuales son:

1. Tarjeta de circuito impreso con los C.I NE558.
2. Tarjeta de circuito impreso que contiene el microcontrolador, pantalla LCD, puerto USB y otros componentes.
3. Panel con las 20 partes de cobre.
4. Matriz de leds.

A continuación se tomara como referencia los siguientes nombres para cada una de las tarjetas mencionadas anteriormente respectivamente:

1. Tarjeta de sensores.
2. Tarjeta del microcontrolador.
3. Panel de sensores.
4. Panel de leds.

En primer lugar se comenzó a diseñar la tarjeta de sensores, debido a que ya se habían realizado pruebas de funcionamiento. En segundo lugar se diseñó y fabricó la tarjeta del microcontrolador y por último el panel de sensores y el panel de leds para probar el funcionamiento de la tarjeta de sensores. Todos los diseños se realizaron con el programa PCB Wizard y el método de impresión de las tarjetas se realizó por medio del método de planchado y abrasión con cloruro férrico.

Se tomó la decisión de fabricar en primer lugar la tarjeta de los sensores para comprobar si se necesitaban realizar más pruebas con los sensores antes de seguir con la investigación.

A continuación en la figura 4.7 se muestra la vista en 3D de la tarjeta de sensores del programa PCB Wizard.

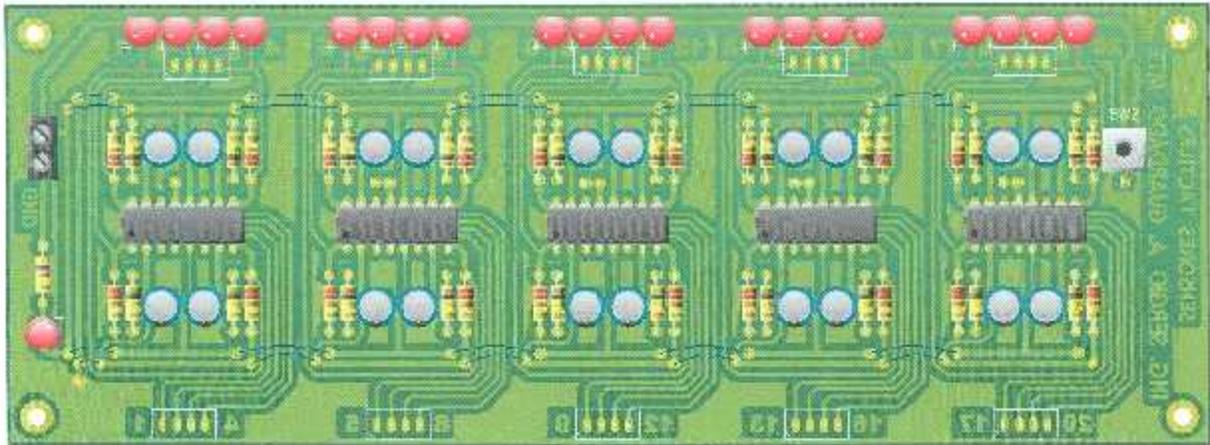


Figura 4.7. Vista en 3D del circuito impreso de los veinte sensores táctiles.

Como se puede apreciar en la imagen 4.11 se incluyeron veinte leds en la parte superior para realizar pruebas de funcionamiento antes de conectarlo al panel de leds.

En la figura 4.8 se muestran las pistas de la tarjeta de sensores que fue necesaria para realizar el impreso de ella misma. Se imprimió en el papel especial para circuitos impresos y se procedió a realizar el impreso hasta lograr obtener una tarjeta en buenas condiciones para soldar los componentes.

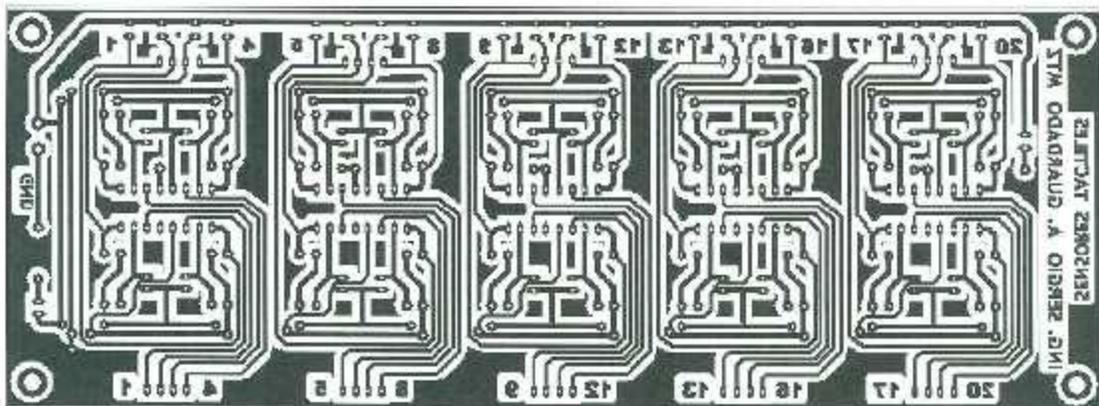


Figura 4.8. Pistas del circuito impreso con los C.I NE558.

En la figura 4.9 se muestra una fotografía de la tarjeta de sensores con todos los componentes colocados y soldados en su debido lugar. Además en la parte inferior se puede apreciar una pequeña tira con veinte cuadros de cobre que se utilizaron provisionalmente para realizar pruebas antes de conectarlo al panel definitivo.

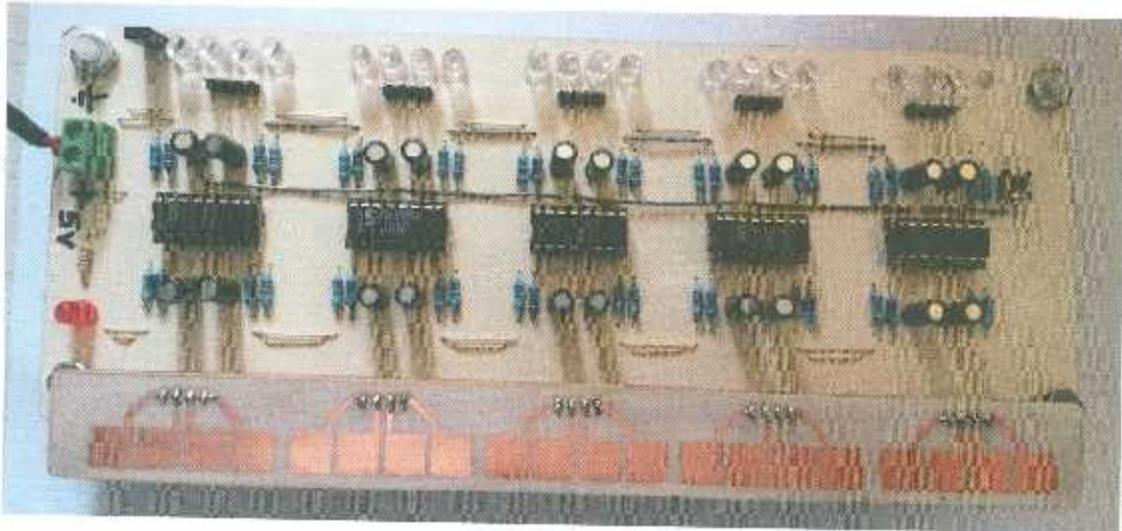


Figura 4.9. Fotografía de la tarjeta con los C.I NE558 terminada.

Una vez que se terminó y probó la tarjeta de sensores, se procedió a diseñar y fabricar la tarjeta del microcontrolador.

En la figura 4.10 se muestra la vista en 3D de la tarjeta del microcontrolador según el programa PCB Wizard. Se puede notar que contiene todas las conexiones y pines necesarios para conectar el microcontrolador, pantalla LCD, puerto ICSP para programarlo en la misma tarjeta, conector para las veinte entradas, puerto USB y dos terminales para alimentación.

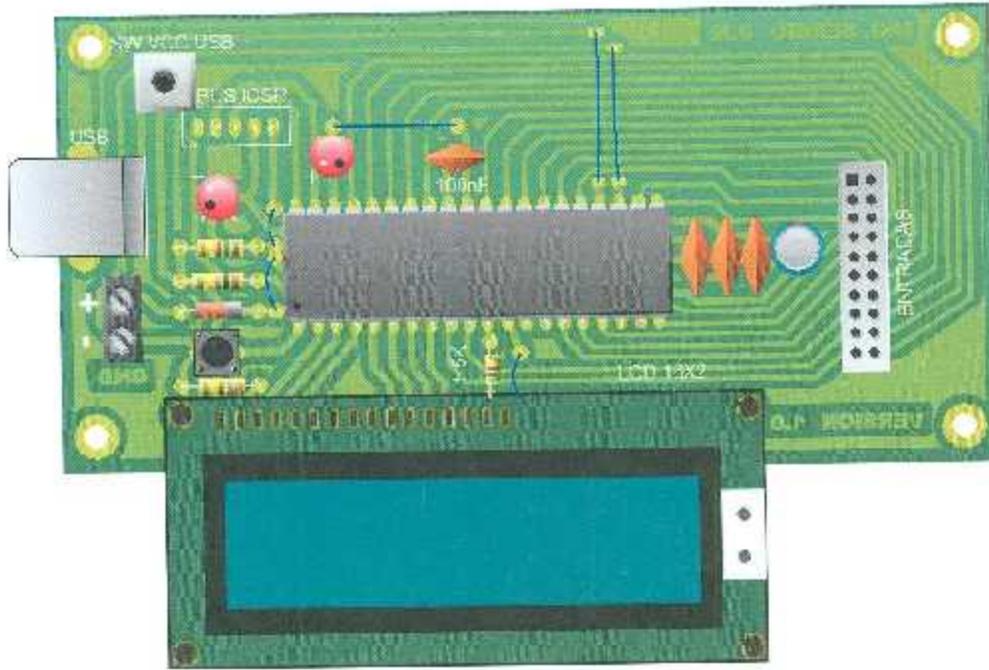


Figura 4.10. Vista en 3D del circuito impreso con el microcontrolador.

En la figura 4.14 se muestra el impreso de las pistas necesario para construir el impreso de la tarjeta del microcontrolador.

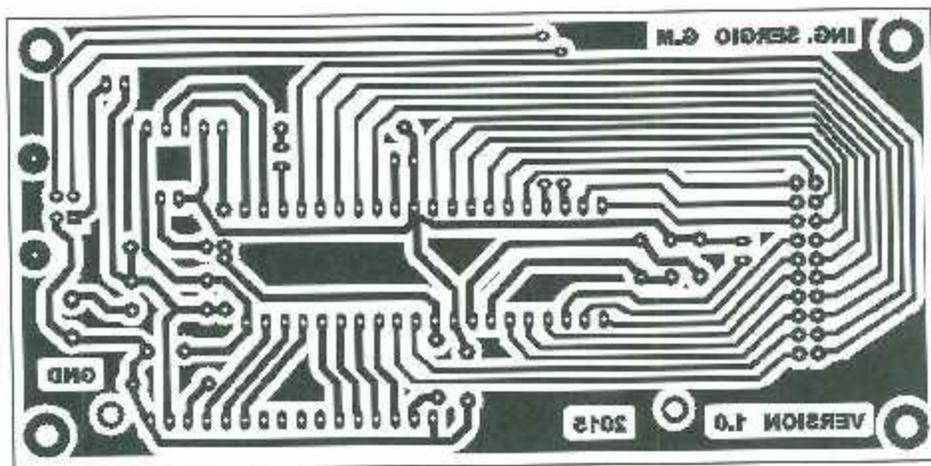


Figura 4.11. Pistas del circuito impreso del microcontrolador.

En la figura 4.12 se muestra una fotografía de la tarjeta ya terminada con todos sus componentes soldados. Se aprecian todos los componentes que se contemplaron en el diseño original. Nótese también que la parte derecha se conectaron veinte cables en las veinte entradas del microcontrolador.



Figura 4.12. Fotografía de la tarjeta del microcontrolador.

Después de terminar la tarjeta del microcontrolador se construyó un panel que contenía veinte partes de cobre acomodado de forma matricial de 4 columnas por 5 renglones, el cual va conectado a la tarjeta de sensores. En la figura 4.13 se muestra una fotografía del panel terminado. Cada cuadro de cobre está separado uno de otro 2 mm y miden 1 centímetro cuadrado, para la fabricación de este panel se utilizaron calcamonías con el tamaño y separación antes mencionados. Se conectaron con el respectivo orden en la tarjeta de sensores para poder identificar en la tarjeta del microcontrolador y en el panel de leds. En la misma figura se muestra el orden que se le asignó a cada uno.

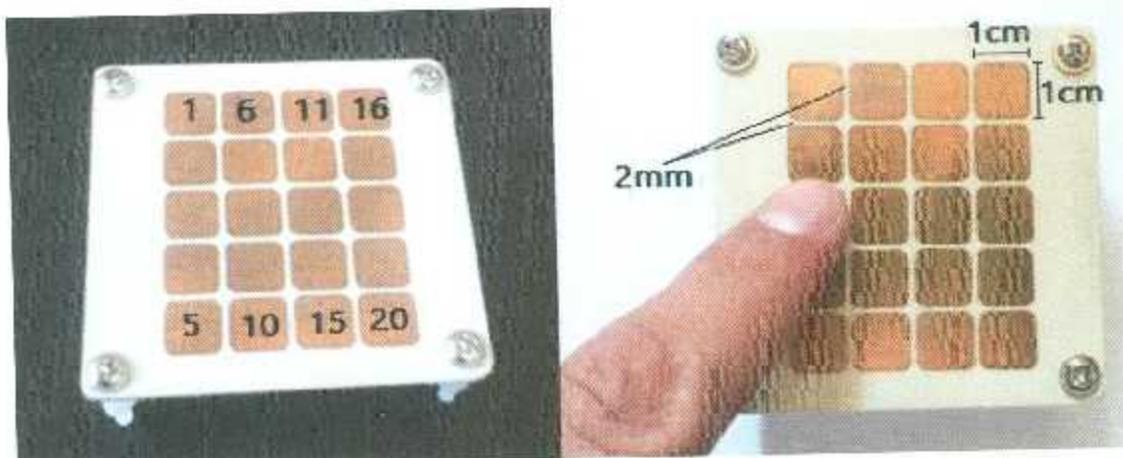


Figura 4.13. Panel con veinte partes de cobre.

Al final se construyó un panel con veinte leds acomodados de la misma manera que el panel de sensores. En la figura 4.14 se muestra una fotografía del panel indicando el número asignado a cada led.

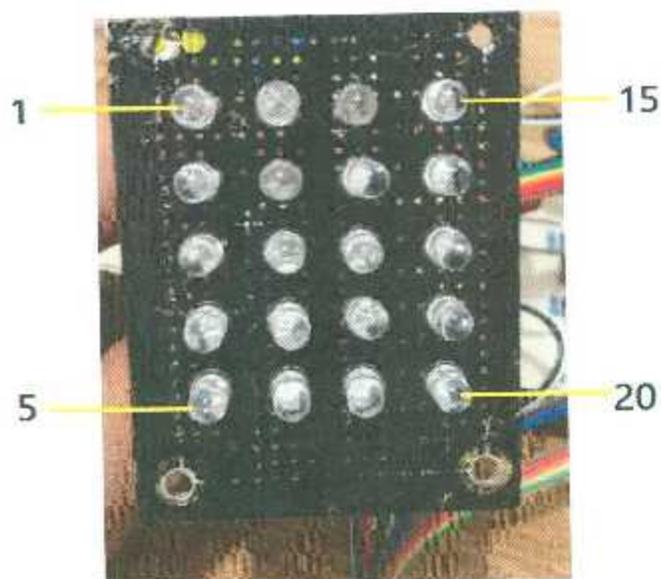


Figura 4.14. Panel de leds.

#### 4.9. Modificaciones.

Se realizaron algunas modificaciones en la tarjeta que contiene los C.I NE558, se agregó una fila más de pines para conectar en paralelo los leds indicadores y los cables que van hacia la tarjeta del microcontrolador y se cambiaron los capacitores electrolíticos por unos de tantalio de 10 uF para un tiempo en estado alto de aproximadamente 100ms.

En la figura 4.15 se muestra una fotografía mostrando como quedó terminada la tarjeta de sensores con los cambios que se realizaron.

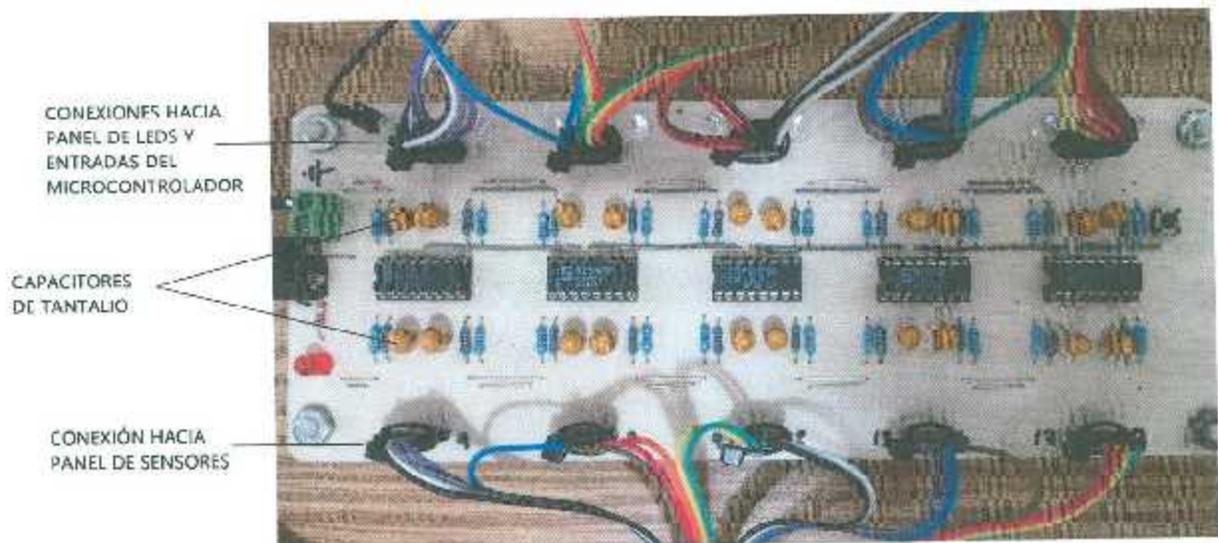


Figura 4.15. Tarjeta de sensores modificada.

Además se cubrió de una capa fina de estaño cada superficie de cobre del panel para evitar la oxidación de los mismos que ocurre con el medio ambiente. En un futuro este paso se hará con un elemento que sea transparente o de algún color deseado, evitando modificar las propiedades conductivas del panel.

#### 4.10. Ensamble y pruebas de tarjetas y paneles.

Con las modificaciones realizadas, se procedió a armar todas las partes del sistema completo, conectando todas las tarjetas con sus debidos cables, y con la alimentación debida.

En la figura 4.16 se muestra una fotografía del sistema completo armado, conectado y montado en una base de acrílico.

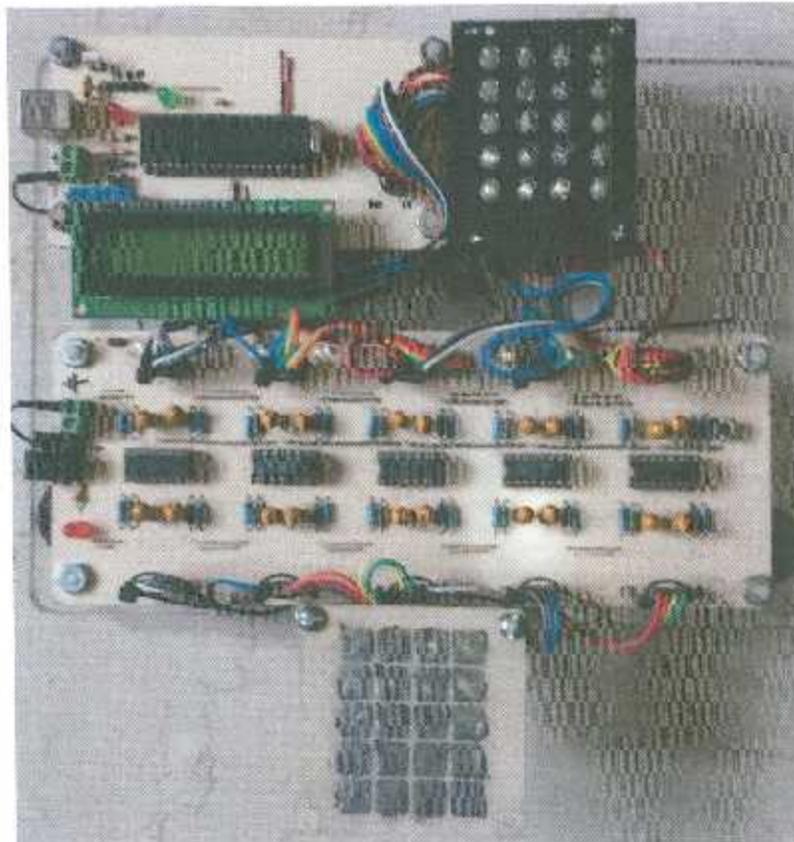


Figura 4.16. Fotografía del sistema completo terminado.

Antes de comenzar con la programación del microcontrolador, se corroboró que todos los leds encendieran adecuadamente al tocar el sensor que le correspondían en el panel.

#### **4.11. Programación del Microcontrolador PIC18F4550.**

El primer paso a realizar en la programación del microcontrolador fue definir los puertos que se utilizarían como entradas, las configuraciones de la comunicación USB, puertos de salida para la pantalla LCD y el puerto USB, pines del puerto ICSP.

Se realizó un programa que se encarga de detectar los datos binarios que envían los sensores táctiles, y los mostrará en la pantalla LCD conectada al microcontrolador. También se enviara esa información a la computadora por medio de la comunicación serial a través del cable USB.

En la figura 4.17 se muestra la primera parte de la programación en donde se declara el tipo de microcontrolador utilizado, se declaran algunos fusibles internos, se declara la frecuencia de trabajo (1), y se incluye la librería para utilizar la comunicación USB (2), se declaran los veinte puertos de entrada (3), un led, los 7 pines de control e información de la pantalla LCD (4) y se incluye la librería para poder utilizarla (5) y por último se declaran veinte variables del tipo entero para guardar los valores de las entradas (6).



inmediatamente después se manda por USB un mensaje que señala el orden de los datos de cada sensor numerándolos del uno al veinte.

Después se entra a un ciclo infinito en donde primero se pregunta si el microcontrolador aún sigue conectado y numerado por la misma computadora (4), se guardan los datos de las veinte entradas en las veinte variables que se declararon (5) y al final se imprimen dichos valores en la pantalla LCD (6) y se envían por el puerto USB (7).

```

77 //***** FUNCIÓN PRINCIPAL *****//
78 void main() {
79     usb_cdc_init(); //Inicialización del modo CDC
80     usb_init(); //Inicialización del control del USB
81     lcd_init();
82     printf(lcd_putc, "\nPREPARANDO PIC... ");
83     delay_ms(2000);
84     while(!usb_enumerated()){ // 2
85     lcd_gotoxy(1,1);
86     lcd_putc("\nFFIC PREPARADO OK ");
87     delay_ms(2000); // 3
88     presentacion_lcd();
89     printf(usb_cdc_putc, "SENSORES\n1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 \n");
90     do{
91         usb_task(); //Detalle de la conexión de dispositivo USB // 4
92         output_toggle(LED);
93         //obtenemos los valores de las 20 entradas digitales
94         X1=(input(S1)),X2=(input(S2)),X3=(input(S3)),X4=(input(S4)),X5=(input(S5)),X6=(input(S6)),X7=(input(S7)),
95         X8=(input(S8)),X9=(input(S9)); // 5
96         X10=(input(S10)),X11=(input(S11)),X12=(input(S12)),X13=(input(S13)),X14=(input(S14)),X15=(input(S15)),
97         X16=(input(S16)),X17=(input(S17)),X18=(input(S18)),X19=(input(S19)),X20=(input(S20));
98         //se imprimen los valores de los 20 sensores de entrada en el LCD
99         printf(lcd_putc, "\n%d%d%d%d%d%d%d%d%d\n", X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10); // 6
100        printf(lcd_putc, "%d%d%d%d%d%d%d%d%d", X11, X12, X13, X14, X15, X16, X17, X18, X19, X20);
101        //se envían los valores de los 20 sensores al puerto USB
102        printf(usb_cdc_putc, "%d %d %d", X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10); // 7
103        printf(usb_cdc_putc, "%d %d %d", X11, X12, X13, X14, X15, X16, X17, X18, X19, X20);
104        delay_ms(50);
105    } while (TRUE);
106 } //fin main

```

Figura 4.18. Función principal del programa.

Se programó y compiló el programa en el compilador hasta que no tuviera ningún error y posteriormente se programó el microcontrolador con el programador Master Prog a través del puerto ICSP. En la figura 4.19 se muestra la conexión de la tarjeta del microcontrolador y el programador Master Prog a través del puerto ICSP.

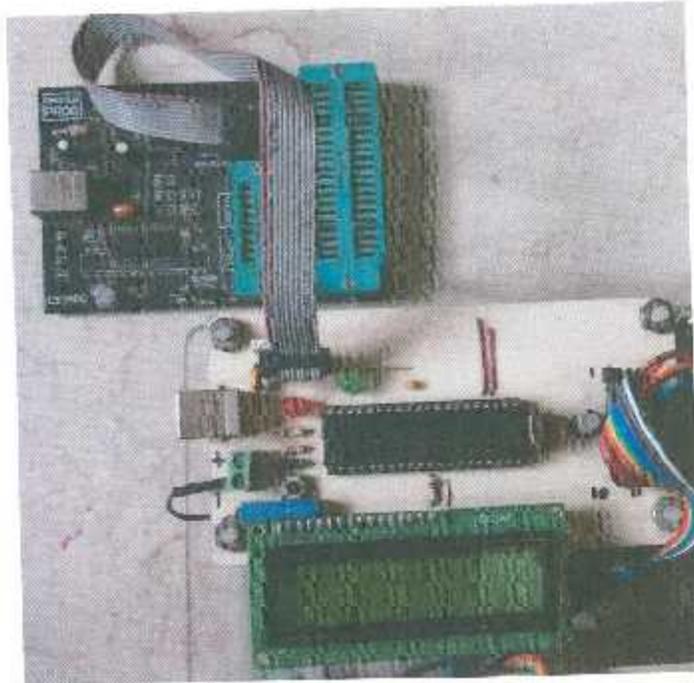


Figura 4.19. Conexión de la tarjeta del microcontrolador y el programador Master Prog.

En la figura 4.20 se muestran los valores de los veinte sensores desplegados en la pantalla LCD, en ese momento todos los sensores se encontraban desactivados con los leds apagados.

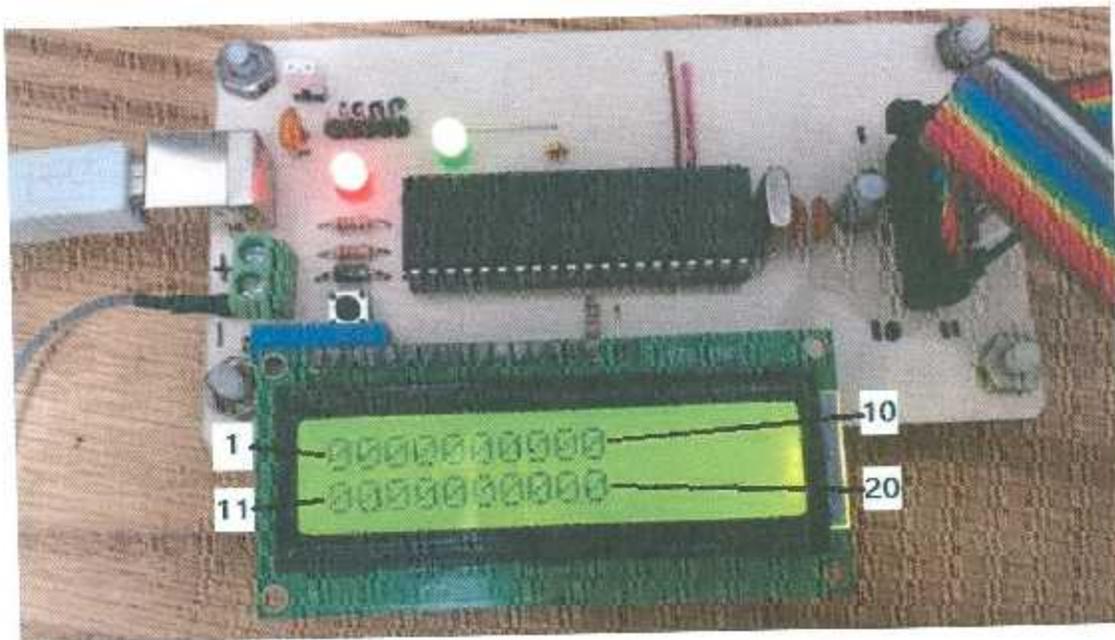


Figura 4.20. Tarjeta del microcontrolador con sensores táctiles conectados.



Esta información se puede analizar y aplicar algún algoritmo para determinar la interacción del usuario con el aparato electrónico. En algunos lugares ya se utilizan interfaces táctiles aplicadas [32] y se pretende que este trabajo de investigación avance para que sea aplicado en algún proyecto futuro.

## CONCLUSIONES

Es posible diseñar y fabricar uno o varios sensores táctiles a base de temporizadores. Esto permite que se pueda controlar el tiempo de encendido de la salida para garantizar la correcta detección del dato binario a un microcontrolador. Una ventaja importante de este tipo de sensor es que la parte sensitiva que activa el temporizador, solo consta de una superficie de algún material conductor, que en este caso, se usó una baquelita con cuadros de cobre de un centímetro cuadrado aislados por 2 milímetros. El diseño de la parte sensitiva se puede fabricar del tamaño y forma que se necesite.

Se realizaron pruebas con varios tipos de sensores táctiles, y al final se llegó a la conclusión de que con un circuito integrado NE558 se pueden fabricar 4 sensores táctiles que funcionan correctamente.

El microcontrolador PIC18F4550 de la compañía Microchip cuenta con los recursos suficientes para controlar 20 provenientes de los sensores táctiles, 7 pines de salida para la pantalla de cristal líquido LCD, 5 pines para programar el microcontrolador y 2 pines del puerto USB. Además cuenta con memoria suficiente para cargar el código de programación echo en lenguaje C por el compilador CCS. La comunicación serial por puerto USB permite una eficaz comunicación con una computadora, ya que el sistema reconoce el microcontrolador como un dispositivo de interfaz humana al conectarse entre sí. Esta información se puede visualizar por medio de una terminal de puerto serial.

El sistema completo estará listo para que sea aplicado a proyectos que necesiten de una interfaz táctil y contengan datos binarios, como por ejemplo la detección de patrones, secuencias, figuras etc... Ya sea utilizando un algoritmo a base de inteligencia artificial con redes neuronales o algún otro método de reconocimiento inteligente.

Se recomienda que se continúe la programación en base al programa que se describió anteriormente.

# REFERENCIAS

- [1] "SENSORES," U. d. Valladolid, Ed., ed. 2011.
- [2] J. J. Velasco. (1 de noviembre de 2011). *Sensores táctiles para controlar objetos de cualquier forma*. Available: <http://hipertextual.com/2011/11/sensores-tactiles-para-controlar-objetos-de-cualquier-forma>
- [3] *Hugh Le Caine*. Available: <http://www.hughleccaine.com/en/biography.html>
- [4] *E.A. Johnson Touch Screen*. Available: <http://www.mobileindustryreview.com/2015/04/touchscreen-inventors.html>
- [5] G. Dalakov. (July 29, 2016). *History of computers hardware, software, internet/ touch screen*. Available: [http://history-computer.com/ModernComputer/Basis/touch\\_screen.html](http://history-computer.com/ModernComputer/Basis/touch_screen.html)
- [6] W. F. KWONG. (2011). *El origen de la pantalla táctil*. Available: <https://www.fayerwayer.com/2011/11/el-origen-de-la-pantalla-tactil/>
- [7] (2009). *HP150 PC with touch screen*. Available: <http://www.neoteo.com/hp150-ordenador-con-pantalla-tactil-en-1983>
- [8] A. M. Muniz and H. J. Schau, "Religiosity in the abandoned Apple Newton brand community," *Journal of consumer research*, vol. 31, pp. 737-747, 2005.
- [9] IBM. (2012). *First Smartphone SIMON IBM*. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/IBM\\_Simon](https://es.wikipedia.org/wiki/IBM_Simon)
- [10] C. Caballero. (2007). *Apple reinventa el teléfono con iPhone*. Available: <http://www.apple.com/mx/pr/library/2007/01/09Apple-Reinvents-the-Phone-with-iPhone.html>
- [11] "Developing the First Commercial Multi-Touch Technology Product», Information Display. Diciembre de 2007, p. 12.."
- [12] "AppleInsider | Apple pushing for multi-touch trademark."
- [13] R. O. Perez. (12 Septiembre 2011). *La revolucion tátil*. Available: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/equipamiento-tecnologico/hardware/1012-tablets-la-revolucion-tactil->
- [14] M. T. Inc., "PIC24F Family Reference Manual, Sect. 11 Charge Time Measurement Unit (CTMU), DS39724B (Sección 11 del Manual de referencia de la familia PIC24F, Unidad de medida del tiempo de carga (CTMU), DS39724B), © " 2010.
- [15] Informatica-HOY. (2010). *resistiva vs capacitiva*. Available: <http://www.informatica-hoy.com.ar/electronica-consumo-masivo/Diferencias-pantallas-resistivas-capacitivas.php>
- [16] T. Instruments, "LM555 Timer Datasheet," ed; March, 2013.
- [17] T. Instruments, "LM555 Timer," ed; Estados Unidos: Texas Instruments Incorporated, 2014.

- [18] Available: [http://www.tecnogeek.com/verpost.php?id\\_noticia=817](http://www.tecnogeek.com/verpost.php?id_noticia=817)
- [19] PHILLIPS. (2003). *Datasheet NE558 Quad Timer*. Available: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/NE558\\_3.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/NE558_3.pdf)
- [20] M. D. D. Sheet, "The PIC18F4550 Microcontroller," *Microchip Technology Inc., Arizona, USA*, 2009.
- [21] M. Technology. (2006). *USB PIC*. Available: <http://www.microchip.com/design-centers/usb/usb-pic-reg-mcus-dspic-reg-dscc>
- [22] D. Delgado Castillo, "Aplicación de comunicación vía USB del microcontrolador PIC con la PC," Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2008.
- [23] M. Technology. (2013). *USB connection of microcontrollers*. Available: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F4550>
- [24] F. G. Breijo, *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC*; Marcombo, 2012.
- [25] C. A. Henao and E. Duque, "Programando microcontroladores PIC en lenguaje C," *Scientia et Technica* vol. 3, 2009.
- [26] A. C. López and V. Dorado, "Manual de Usuario del Compilador PCW de CCS," *Microchip, España*, 2000.
- [27] A. Canovas and V. Dorado, "Manual de usuario del compilador PCW de CCS," *Disponibile en internet en* [http://www.cursos.ucv.cl/eie48700/referencias/CCS\\_C\\_Manual.pdf](http://www.cursos.ucv.cl/eie48700/referencias/CCS_C_Manual.pdf).
- [28] "Manual programador Master Prog," vol. 1, EDUTRONIKA, Ed., ed. 2009, p. 16.
- [29] N. W. C. Limited. (2010). *PCB Wizard 3 (Educational ed.)*. Available: <http://www.new-wave-concepts.com/ed/wizard.html>
- [30] N. C. Jones, "The Utilization of PCB Software to Obtain Physical Components Essential to Augmented Reality," *Clarence M. Mitchell, Jr. School of Engineering 1700 East Cold Spring Lane Baltimore, Maryland 21251*, p. 50.
- [31] ELTIMA. (2016, 2000). *Advanced Serial Port Terminal*. Available: <http://www.eltima.com/products/serial-port-terminal/>
- [32] M. Cambridge, "Tecnología sensible al tacto incorporada al diseño de las máquinas expendedoras del futuro," *Revista española de electrónica*, pp. 54-55, 2007.