



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ACUPUNTURA
ELECTRÓNICA BASADO EN LA TECNOLOGÍA DE LOS
MICROCONTROLADORES”**

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentada por:

**RONNY ANDRÉS LÓPEZ COELLO
JORGE LUIS VÁSQUEZ TERREROS**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

Aquel que ha permitido este momento especial, quien me ha bendecido con el entendimiento y la capacidad para el desarrollo de mi formación profesional, agradezco a Dios.

A mis profesores, por darme la pauta y la inspiración de seguir aprendiendo día a día de esta, una de las mejores carreras del país.

A “las primas” Alejandra y Andrea mis infinitos agradecimientos a ustedes, mis amigas incondicionales por saber soportarme durante la culminación de este proyecto.

Ronny

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestro señor, por iluminar mi camino y brindarme la sabiduría para tomar las mejores decisiones.

A mis padres, Jorge y Soraya, por estar siempre conmigo a pesar de la distancia, por darme su apoyo incondicional en todo momento.

A mis queridos abuelos, Luis y Flor, mis segundos padres, por entregarme su tiempo, su dedicación, su paciencia y su cariño.

Al ingeniero Miguel Yapur, por guiarnos en el proceso final de grado, con todo su entusiasmo, dedicación y sentimiento de amistad en todo momento.

A mis compañeros y amigos de estudio, por tantos momentos vividos.

Jorge

DEDICATORIA

Este proyecto es el más importante que he realizado en mi vida académica; claro está, que es el comienzo de nuevas metas y el fin de un peldaño, que no podría haber llevado a cabo sin ustedes mis padres, quienes con su amor y entrega han sido el motor que mueve en mí las ganas de salir adelante y triunfar.

A mis amigos, los hermanos que uno escoge, quienes durante esta etapa han hecho que este segundo hogar llamado ESPOL, no sea solo permanecer tras un libro y un pupitre, sino más bien un lugar lleno de anécdotas y buenos recuerdos.

Ronny

DEDICATORIA

Siempre destacamos los mejores momentos que han llenado de alegría, dicha y felicidad nuestras vidas, éste es uno de esos momentos importantes y trascendentales que enriquecen nuestra formación académica y profesional, cuyo logro alcanzado lo dedico especialmente a mi familia, que desde temprana edad han confiado en mí, como un representante brillante en la familia.

Mis éxitos son sus éxitos, queridos abuelitos, incondicionales padres y maravillosos hermanos, mi hogar.

Jorge

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Miguel Yapur, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN

Ing. Douglas Plaza Guingla, Phd.

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe, nos corresponde exclusivamente a nosotros; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Ronny Andrés López Coello

Jorge Luis Vásquez Terreros

RESUMEN

Hoy en día existe una variedad de tratamientos médicos alternativos que permiten dar soluciones temporales o definitivas a diferentes tipos de enfermedades. La acupuntura es una de ellas; aunque su procedimiento no es del todo soportado por los pacientes, ya que implica la introducción de finas y pequeñas agujas en diferentes partes del cuerpo donde se hallan ciertos puntos, llamados sinápticos; la cantidad y ubicación de estas agujas depende del tratamiento que se realice.

El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un equipo que detecte dichos puntos de acupuntura, en base a la variación de resistencia de la piel; y aplique estímulos de corriente sobre los puntos hallados, forzando a conducir los terminales nerviosos y producir la encefalina, que es una sustancia que permite aliviar el dolor.

De esta manera, brindar a las personas un método práctico de acupuntura electrónica, que puede ser usado en el hogar.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	VI
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VII
RESUMEN	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
CAPÍTULO 1	
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Acupuntura.....	1
1.2. Enfermedades tratadas por la Acupuntura	2
1.3. La Energía	3
1.4. Los Meridianos.....	4
1.5. Los Puntos	4
1.6. Estimulación eléctrica en el cuerpo.....	5

1.7 Onda de Estimulación	6
CAPÍTULO 2	
ASPECTOS TÉCNICOS	8
2.1 Principios de diseño del circuito	8
2.1.1 Circuito detector de puntos	8
2.1.2 Circuito estimulador	10
2.2 Características del equipo de acupuntura electrónica	11
2.3 Etapas del circuito detector de puntos	12
2.3.1 Electrodo / Medición	12
2.3.2 Osciladores	13
2.3.3 Acondicionamiento	22
2.4 Etapas del circuito estimulador	24
2.4.1 Osciladores	24
2.4.2 Elevador de voltaje	29
2.4.2 Electrodo / Estimulación	30
2.4.3 Acondicionamiento	32
2.5 Microcontrolador	33
2.5.1 Características básicas	34
2.5.2 Terminales utilizados en la operación del equipo	35

2.5.3 Diagrama ASM del microcontrolador	36
CAPÍTULO 3	
IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE ACUPUNTURA ELECTRÓNICA	38
3.1 Simulación del circuito detector de puntos.....	38
3.2 Simulación del circuito estimulador.....	41
3.3 Simulación del PIC.....	43
3.4 Alimentación del equipo	45
3.5 Diseño de la tarjeta electrónica del circuito detector de puntos	45
3.6 Diseño de la tarjeta electrónica del circuito estimulador	46
3.7 Diseño de la tarjeta electrónica del PIC	47
3.8 Implementación del puntal	48
3.9 Equipo Completo	49
CAPÍTULO 4	
PRUEBAS REALIZADAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
4.1 Detección de puntos de acupuntura	51
4.2 Estimulación de puntos de acupuntura	53
4.3 Análisis de resultados	55
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	58

BIBLIOGRAFÍA..... 60

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

ANEXO B: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL PIC

ANEXO C: DISEÑOS DE PCB

ANEXO D: MERIDIANOS

ANEXO E: TIEMPO Y NÚMERO DE SESIONES DE

TRATAMIENTO

ANEXO F: HOJA DE DATOS TÉCNICOS

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

C	Capacitor
f	Frecuencia
Hz	Hertz
I_s	Corriente del secundario del transformador
KHz	Kilohertz
KΩ	Kiloohmio
mA	miliamperio
MΩ	Megaohmio
N₁	Número de vueltas del primario del transformador
N₂	Número de vueltas del secundario del transformador
R	Resistencia
R_{eq}	Resistencia equivalente
R_{piel}	Resistencia de la piel
R_{pot}	Resistencia del potenciómetro
RV	Resistencia variable
V	Voltios
V_{in}	Voltaje de entrada
V_{out}	Voltaje de salida
V_p	Voltaje del primario del transformador
V_s	Voltaje del secundario del transformador
μA	microamperio

μF

microfaradio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Forma de Onda China	7
Figura 2.1 Diagrama de bloque del circuito detector de puntos	9
Figura 2.2 Diagrama de bloque del circuito estimulador	11
Figura 2.3 Electrodo / Medición.....	13
Figura 2.4 Potenciómetro de sensibilidad al 100% y alta resistencia de la piel	14
Figura 2.5 Resistencia equivalente del potenciómetro al 100% y alta resistencia de la piel	15
Figura 2.6 Potenciómetro de sensibilidad al 100% y baja resistencia de la piel	15
Figura 2.7 Resistencia equivalente del potenciómetro al 100% y baja resistencia de la piel	16
Figura 2.8 Potenciómetro de sensibilidad al 0% y alta resistencia de la piel	16
Figura 2.9 Resistencia equivalente del potenciómetro al 0% y alta resistencia de la piel	17
Figura 2.10 Potenciómetro de sensibilidad 0% y baja resistencia de piel	17
Figura 2.11 Resistencia equivalente del potenciómetro al 0% y baja resistencia de la piel	18
Figura 2.12 Primer Oscilador del circuito detector de puntos	20

Figura 2.13 Segundo Oscilador del circuito detector de puntos.....	21
Figura 2.14 Circuito de acondicionamiento.....	23
Figura 2.15 Circuito del primer oscilador con potenciómetro al 100%.....	25
Figura 2.16 Circuito del primer oscilador con potenciómetro al 0%.....	25
Figura 2.17 Primer oscilador del circuito estimulador.....	26
Figura 2.18 Circuito del segundo oscilador con potenciómetro al 100%.....	27
Figura 2.19 Circuito del segundo oscilador con potenciómetro al 0%.....	27
Figura 2.20 Segundo oscilador del circuito estimulador.....	28
Figura 2.21 Transformador de línea del circuito estimulador.....	29
Figura 2.22 Electrodo de estimulación.....	31
Figura 2.23 Switch de electrodos.....	32
Figura 2.24 Circuito de acondicionamiento.....	33
Figura 2.25 PIC 16F887.....	35
Figura 2.26 Diagrama de conexiones PIC 16F887.....	35
Figura 2.27 Diagrama ASM del microcontrolador.....	37
Figura 3.1 Circuito detector de puntos realizado en Proteus.....	39
Figura 3.2 Periodo del oscilador 1 sin detección de punto.....	40
Figura 3.3 Periodo del oscilador 1 con detección de punto y sensibilidad máxima.....	40
Figura 3.4 Circuito estimulador realizado en Proteus.....	41
Figura 3.5 Periodo del oscilador 1 y ráfaga de pulsos del oscilador 2 del circuito estimulador.....	42

Figura 3.6 Onda china generada por el oscilador 2	42
Figura 3.7 Visualización en LCD de detección de punto.....	43
Figura 3.8 Visualización en LCD de punto detectado	44
Figura 3.9 Visualización en LCD de la etapa de estimulación	44
Figura 3.10 Tarjeta electrónica de la fuente de alimentación +12V	45
Figura 3.11 Tarjeta electrónica del detector de puntos	46
Figura 3.12 Tarjeta electrónica del estimulador	47
Figura 3.13 Tarjeta electrónica del PIC.....	47
Figura 3.14 Puntal de detección y estimulación.....	48
Figura 3.15 Conector DB9.	48
Figura 3.16 Equipo de acupuntura electrónica	50
Figura 4.1 Localizando puntos de acupuntura	52
Figura 4.2 Visualización de frecuencia en LCD	52
Figura 4.3 Señal de punto detectado	53
Figura 4.4 Visualización de aviso de Punto detectado.....	53
Figura 4.5 Estimulando puntos de acupuntura	54
Figura 4.6 Señal de onda china de estimulación	54
Figura 4.7 Visualización de cronómetro de estimulación	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadística de los primeros pacientes tratados con acupuntura	3
Tabla 2. Los seis meridianos pares	4
Tabla 3. Detalle de los terminales o pines del conector DB9	49

INTRODUCCIÓN

La acupuntura es un método de medicina alternativa de origen oriental que ha tenido gran acogida en los últimos años, debido a los resultados positivos que se obtiene según sus pacientes. Hoy en día, este tipo de tratamiento es aplicado en diferentes partes del mundo por expertos, que han dedicado parte de su vida a conocer las técnicas necesarias para llevar a cabo este procedimiento, el mismo que ha aliviado un sinnúmero de afecciones y mejorado la calidad de vida de muchas personas.

Realizar este proceso implicaría un conocimiento avanzado del mismo, lo cual permite al tema propuesto en este trabajo, adquirir un rol importante ya que se detalla un equipo práctico y sencillo de acupuntura electrónica, desarrollado desde el diseño hasta su implementación.

En el capítulo uno se estudian de manera general los fundamentos de la acupuntura, y su aprovechamiento de la relación que tienen los puntos con la parte eléctrica y la correcta estimulación, la cual debe ser aplicada para aliviar los problemas que aquejen los pacientes; esta es la base que se toma en cuenta para el diseño e implementación del circuito.

El capítulo dos consiste en el desarrollo del diseño electrónico, en base a cálculos que permitan llevar a cabo los fundamentos teóricos ya estudiados; partiendo desde de los diagramas de bloques y el respectivo

análisis que conlleva cada etapa del circuito.

En el capítulo tres se detalla el proceso de implementación, no sin antes cerciorarse que los cálculos realizados son correctos en base a la simulación de cada circuito; posteriormente se procede al montaje de la circuitería, lo cual será el producto final y así dar paso a las pruebas y el análisis de resultados.

En el capítulo cuatro se detallan las pruebas realizadas y los datos obtenidos con los diferentes instrumentos de medición, comparando las gráficas reales con las esperadas.

CAPÍTULO 1

1.- ASPECTOS GENERALES

Es necesario conocer en qué se fundamenta la Acupuntura y como se relaciona la estimulación eléctrica con la Medicina; así, para comprender el desarrollo de esta aplicación, en base a dichos principios por medio del diseño de un equipo, el cual se espera que pueda ser incluido en el campo de la salud.

1.1 Acupuntura

La Acupuntura es un método de medicina tradicional de origen chino; su término se deriva del latín *acus*, aguja y *punctura*, punzada. Consiste en la introducción de agujas en la piel en ciertos puntos, que unidos entre sí forman líneas llamadas meridianos. Dichos puntos se interpretan como nudos a lo largo de estas líneas por donde se transporta la energía [1].

Esta energía es la encargada de mantener un equilibrio en la salud del ser humano conocida como INN (activo, dinámico, masculino) e IANG (pasivo, estático, femenino), términos que tienen un sentido de oposición o polaridad, y que se encuentra en iguales proporciones, pero distribuida de diferente manera según el meridiano; es decir, cuando dichas proporciones se ven alteradas, se encuentra con alguna enfermedad [1].

1.2 Enfermedades tratadas por la Acupuntura

Yoshio Manaka, médico quien después de obtener su título en 1935, dedicó los años de su vida al estudio de la Acupuntura, clasificó en cuatro grupos las enfermedades a tratar según su eficacia en el tratamiento [2].

Muy Eficaz en: Contusiones, calambres, dolores musculares, reumatismos, cefaleas, principios de apendicitis.

Eficaz en: Parálisis facial, reumatismos, hipotensión, diarreas.

Variables en: Diabetes, artritis, úlceras gástricas, vómitos, enfermedades renales.

Mejorías sintomáticas en: Parkinson, cáncer, tuberculosis.

Es notorio que a medida que las enfermedades son mayormente irreversibles, el tratamiento pierde eficacia.

En 1961 se realizó un estudio estadístico que duró 5 años en la antigua URSS (Unión Soviética) en el cual 10.721 pacientes fueron tratados; se debe tener presente que para dicha fecha se realizaba el primer periodo de aprendizaje en la acupuntura obteniendo [3]:

Tabla 1. Estadística de los primeros pacientes tratados con acupuntura. Fuente [3].

Curación completa o mejoría importante con remisión prolongada	3505 pacientes = 32.7%
Notable mejoría con remisión menor	3986 pacientes = 37.2%
Leve mejoría	2045 pacientes = 19.2%
Efecto nulo	1.185 pacientes = 10.9%

1.3 La Energía

El concepto de energía en el tema de la acupuntura no se fundamenta en el hecho de que es todo lo que se convierte en trabajo, sino en las fuerzas ya mencionadas: el INN e IANG, que presentan a la energía en dos estados distintos de la misma. Básicamente se distribuye de la siguiente manera [4]:

Internamente:

INN en los 5 órganos: riñón, pulmón, corazón, hígado y bazo.

IANG en 5 vísceras: intestino grueso y delgado, estómago, vesícula

biliar, vejiga.

Externamente:

INN representa la parte superior del cuerpo hasta el ombligo, mientras que el IANG desde el ombligo hasta la planta de los pies.

1.4 Los Meridianos

Como se indicó son los encargados de transportar la energía y se clasifican en varios grupos, siendo el principal en este caso el de los 6 meridianos pares, éstos representan la mayor circulación de energía [5].

Los meridianos se definen según su ubicación y son:

Tabla 2. Los seis meridianos pares. Fuente [5].

Meridiano INN	Meridiano IANG
Pulmón (P)	Intestino grueso (iG)
Bazo-páncreas (BP)	Intestino delgado (iD)
Corazón (C)	Estómago (E)
Riñón (R)	Vejiga (V)
Circulación-Sexualidad (CS)	Vesícula biliar (VB)
Hígado (H)	Triple recalentador (TR)

1.5 Los Puntos

Son aquellos que se ubican en los meridianos; éstos representan una

función de nuestro cuerpo, así como los órganos y vísceras dependiendo de su ubicación. Existen alrededor de 750 puntos, mientras que, quienes se dedican a su estudio toman como principales alrededor de 120. Existen un sinnúmero de técnicas que explican cómo hallar estos puntos, desde su distancia hasta la profundidad en la que se ubican [6].

La propiedad eléctrica que estos puntos presentan es una baja resistencia que generalmente se encuentra en el orden de 100 a 200 [KΩ], mientras que en los alrededores supera el 1 [MΩ]. Dichos valores varían dependiendo del paciente a tratar, ya que se debe tener en cuenta la humedad de la piel, la grasa, la temperatura y la edad; esta última se debe a la reducción de vasos circulatorios que bajan aún más los valores de resistencia [7].

A ciencia cierta no se tiene una explicación del por qué se presenta dicha propiedad, pero se cree que los puntos se hallan en lugares sensibles a la presión, de manera particular donde se concentran los terminales nerviosos, asociados a las sinapsis, las cuales son las ramificaciones que comunican los potenciales eléctricos entre éstos [7].

1.6 Estimulación eléctrica en el cuerpo

Nuestro cuerpo está formado en su mayor parte por agua, y ésta contiene tres iones principales: Cloro [Cl^-], Sodio [Na^+] y Potasio [K^+]. En reposo, las células mantienen un potencial debido a que al Sodio no

se le permite el paso dentro de ellas, mientras que el Potasio y Cloro se encuentran ubicados tanto dentro, como fuera de las mismas.

El movimiento muscular se produce cuando el cerebro da la orden a las células de permitir el paso del Sodio a su interior, esto genera un potencial de acción el cual ocasiona una corriente a través de los tejidos.

Aplicar estratégicamente un voltaje a nuestro cuerpo altera el potencial de reposo de las células, forzando al movimiento de los iones involuntariamente; esto se ha aprovechado en los tratamientos como en el caso de la acupuntura.

1.7 Onda de Estimulación

Existe un tipo de onda específica, la cual aplicada en diferentes modos libera encefalinas y endorfinas, que son sustancias encargadas de la reducción del dolor. Esta onda es conocida como “Onda China” (figura 1.1), que está compuesta de un pequeño impulso rectangular positivo y una formación en punta en su parte negativa [8].

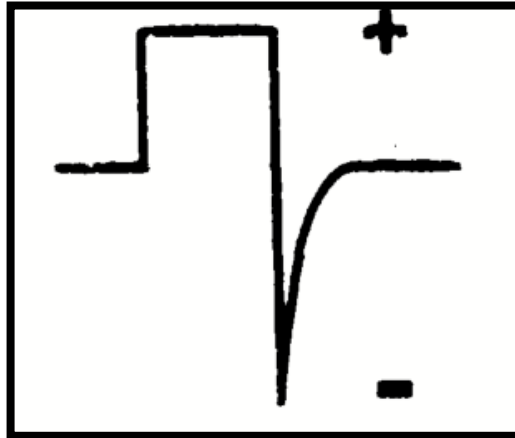


Figura 1.1 Forma de Onda China. Fuente [8].

Para un correcto tratamiento, a fin de tratar los desequilibrios de energía ya mencionados como la analgesia acupuntural, es necesario aplicar dicha onda a frecuencias variables, es decir, ciclo de trabajo en el orden de los Hz y frecuencia de estimulación en el orden de los KHz [9].

La alta frecuencia es aprovechada para eliminar los dolores rápidamente, aunque si el paciente los padece de forma aguda, el tratamiento debe prolongarse; es decir, tratarlo con alta frecuencia, y una vez atenuadas las molestias, pasar a las oscilaciones más bajas [10].

CAPÍTULO 2

2.- ASPECTOS TÉCNICOS

2.1 Principios de diseño del circuito

El equipo de acupuntura electrónica está formado por dos circuitos:

- Circuito detector de puntos
- Circuito estimulador

2.1.1 Circuito detector de puntos

Como se mencionó anteriormente, algunos estudios con técnicas electrofisiológicas han demostrado que, los puntos indicados presentan una resistencia óhmica menor que la piel circundante, la cual va desde los 100 a 200 [K Ω], mientras que en cualquier otra parte del cuerpo la resistencia sería de 1 [M Ω] o más.

Se ha aprovechado el parámetro de frecuencia en función de la resistencia de la piel para realizar el detector.

Para obtener la medición de la resistencia, se colocan dos electrodos denominados terminal de referencia y puntal detector, que entran a la etapa de los osciladores, conformada por dos circuitos integrados NE555 en configuración astable. Estas señales de tren de pulsos se acondicionan para posteriormente mostrarse en un osciloscopio virtual y/o ser procesadas en el microcontrolador; de esta forma se obtiene su frecuencia y se visualizan en un display LCD. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques del circuito.

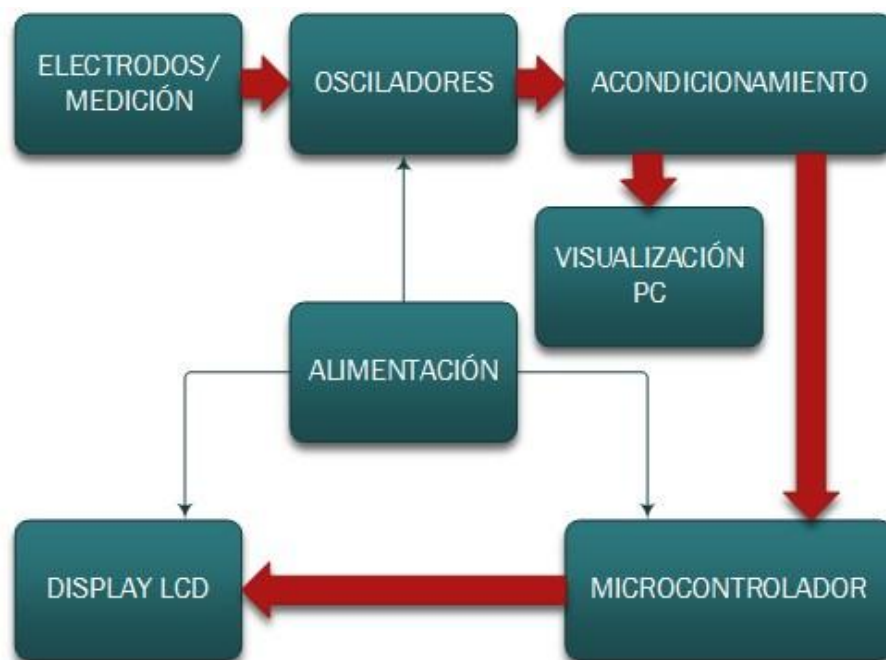


Figura 2.1 Diagrama de bloque del circuito detector de puntos.

2.1.2 Circuito estimulador

Para lograr la estimulación de los puntos equipotenciales del cuerpo, se utiliza una etapa de osciladores en configuración astable para que trabajen en un rango de frecuencias entre 1 [KHz] y 30 [KHz], luego se eleva esta señal a través de un transformador de línea para lograr una intensidad de corriente y que pueda ser transmitida por medio de los electrodos o puntales.

El tipo de señal de estimulación que se genera con este diseño se denomina “onda china”, la cual se explicó en el capítulo anterior. Esta señal pasa por un acondicionamiento y se puede mostrar en un osciloscopio real o virtual.

El microcontrolador genera el tiempo en el cual se mantiene la estimulación, el mismo que se visualiza en el display LCD.

El diseño de este circuito se basa en el diagrama de bloques como se muestra en la figura 2.2.

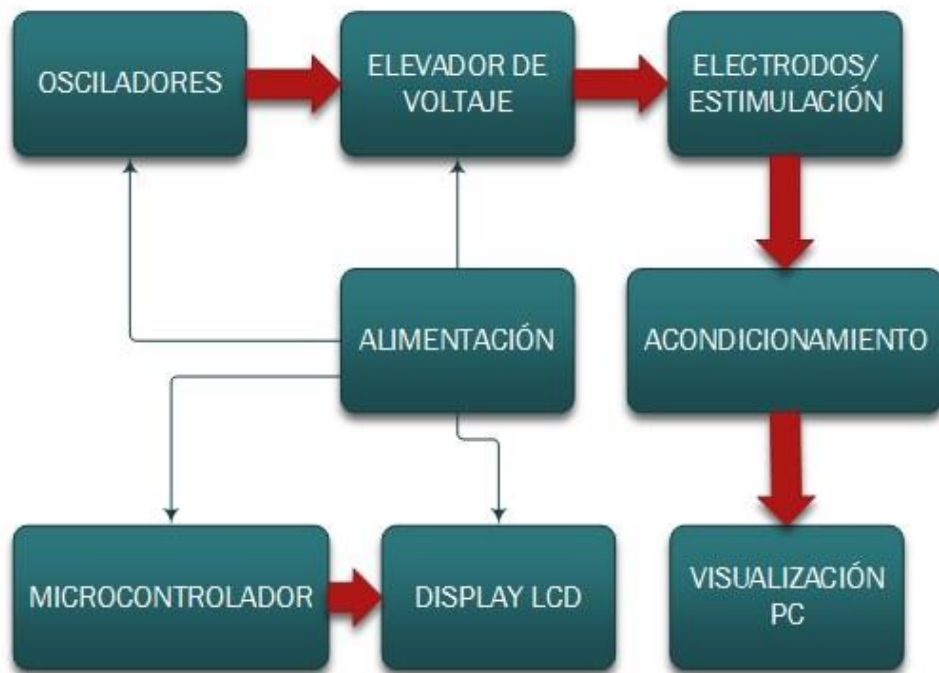


Figura 2.2 Diagrama de bloque del circuito estimulador

2.2 Características del equipo de acupuntura electrónica

El equipo de acupuntura electrónica está conformado por un circuito detector de puntos y un circuito estimulador. Cada circuito tiene varias etapas que logran generar las señales deseadas para la terapia.

Para detectar los puntos, los electrodos o puntales están conectados al oscilador astable NE555, de manera que al variar la resistencia de la piel varía la frecuencia de oscilación. Esta señal es acondicionada para ser mostrada en un osciloscopio virtual y/o procesarse en el microcontrolador para visualizar la frecuencia de detección en el display LCD.

El estimulador genera una señal a través de la etapa de oscilación en modo estable, la cual se eleva con un transformador y se procede a la estimulación por medio de los electrodos o puntales. La onda china producida es acondicionada para mostrarse en un osciloscopio virtual. En este caso el microcontrolador temporiza la estimulación y se la puede visualizar en el display LCD.

2.3 Etapas del circuito detector de puntos

Las etapas que conforman el circuito detector de puntos se detallan a continuación:

2.3.1 Electrodo / Medición

Se tiene un electrodo o terminal de referencia y un electrodo o puntal detector. Los electrodos o puntales miden la resistencia de la piel, por ello se conectan en paralelo a un potenciómetro, cuya finalidad es la de manipular la sensibilidad de detección. Con esta configuración se logra tener una resistencia equivalente entre uno de los terminales del potenciómetro y el terminal móvil o central del mismo como se muestra en la figura 2.3.

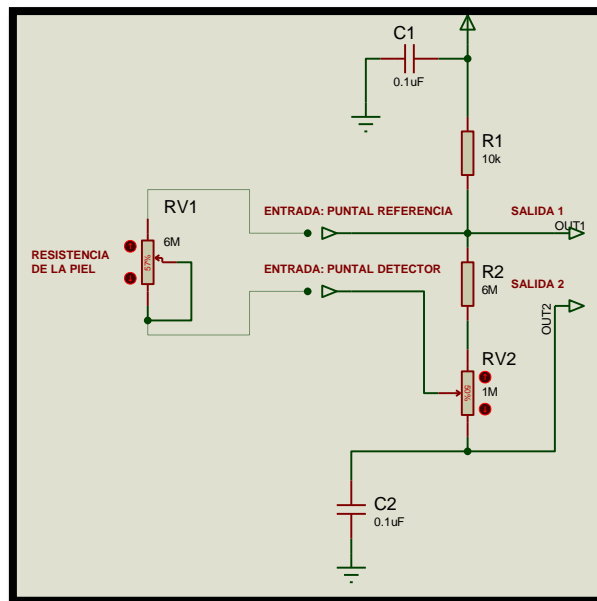


Figura 2.3 Electrodo / Medición

2.3.2 Osciladores

La etapa de osciladores está compuesta por dos circuitos integrados NE555, configurados en modo astable y ubicados en cascada de tal manera que un oscilador comanda al otro.

Se conoce que la resistencia en un punto sináptico está entre 100 [KΩ] y 200 [KΩ], mientras que en cualquier otra parte del cuerpo se tiene una resistencia de 1 [MΩ] en adelante. En la figura 2.4 se observa como el potenciómetro que controla la sensibilidad de detección se dimensiona de forma tal, que contenga dichos parámetros; así se consigue marcar una baja y alta frecuencia de oscilación.

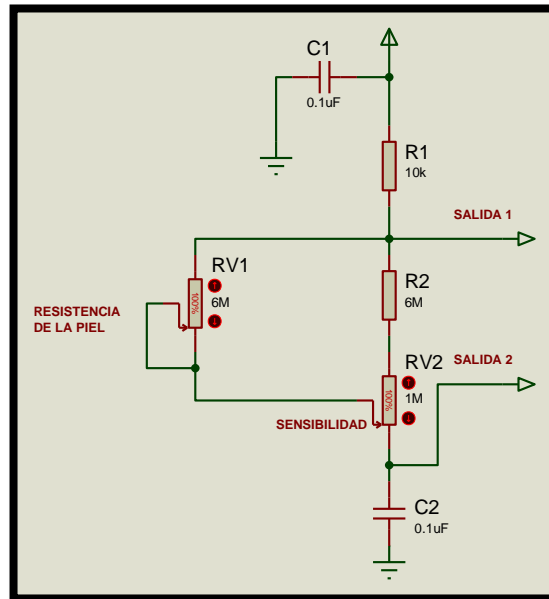


Figura 2.4 Potenciómetro de sensibilidad al 100% y alta resistencia de la piel

Se obtiene la resistencia equivalente con la siguiente ecuación:

$$R_{eq} = \frac{RV1 * (R2 + RV2)}{RV1 + (R2 + RV2)} \quad (2.1)$$

Se asume una resistencia de la piel $RV1 = 6 \text{ [M}\Omega\text{]}$, $R2 = 6 \text{ [M}\Omega\text{]}$ y el potenciómetro $RV2 = 1 \text{ [M}\Omega\text{]}$ está al 100%, como se tiene en la figura 2.5.

$$R_{eq} = 3,23 \text{ [M}\Omega\text{]} \quad (2.2)$$

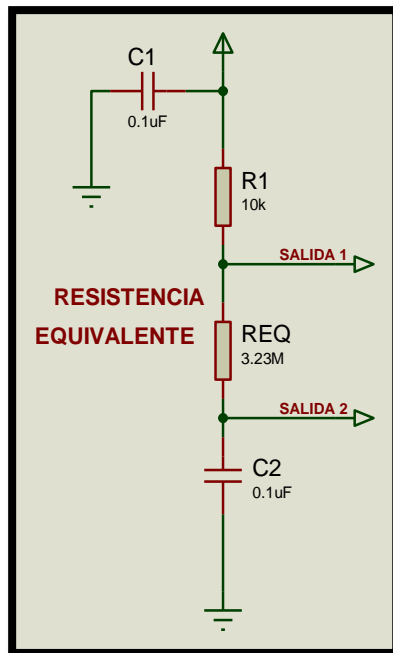


Figura 2.5 Resistencia equivalente del potenciómetro al 100% y alta resistencia de la piel

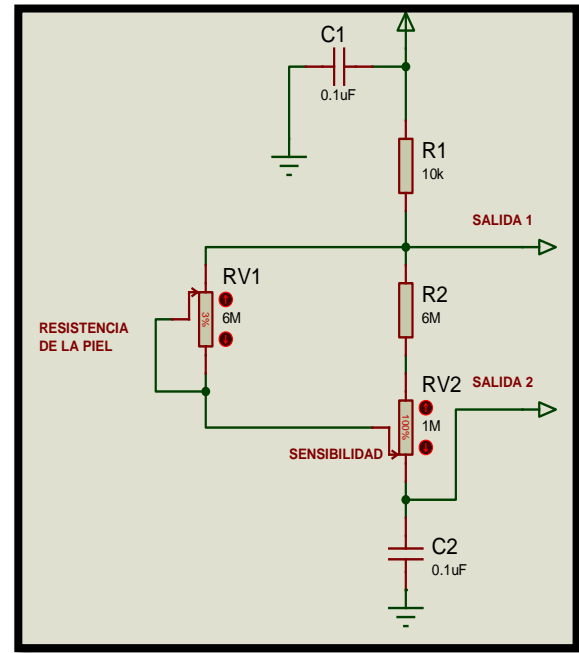


Figura 2.6 Potenciómetro de sensibilidad al 100% y baja resistencia de la piel

Ahora la resistencia de la piel se reduce en el orden de los K Ω , representados en el circuito de la figura 2.6.

Se asume una resistencia de la piel $RV1 = 200$ [K Ω], $R2 = 6$ [M Ω] y el potenciómetro $RV2 = 1$ [M Ω] está al 100%, como se representa en la figura 2.7.

$$R_{eq} = 194,44 \text{ [K}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

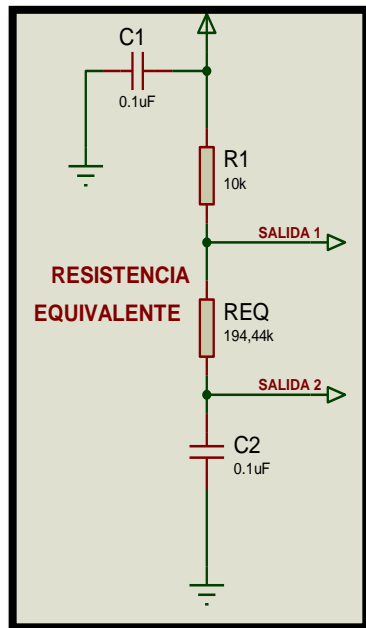


Figura 2.7 Resistencia equivalente del potenciómetro al 100% y baja resistencia de la piel

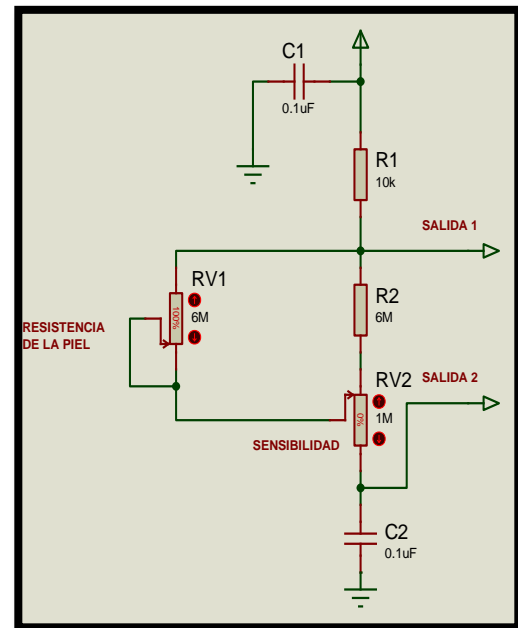


Figura 2.8 Potenciómetro de sensibilidad al 0% y alta resistencia de la piel

De acuerdo a lo detallado anteriormente, se puede notar una diferencia considerable de la resistencia equivalente en ambos casos.

En la figura 2.8 se observa el circuito con el potenciómetro al 0% y se representan los casos de alta y baja resistencia de la piel.

Se asume una resistencia de la piel $RV1 = 6 \text{ [M}\Omega\text{]}$, $R2 = 6 \text{ [M}\Omega\text{]}$ y el potenciómetro $RV2$ está al 0%, como se visualiza en la figura 2.9.

$$R_{eq} = \left(\frac{RV1 * R2}{RV1 + R2} \right) + RV2 \quad (2.4)$$

$$R_{eq} = 4 \text{ [M}\Omega\text{]} \quad (2.5)$$

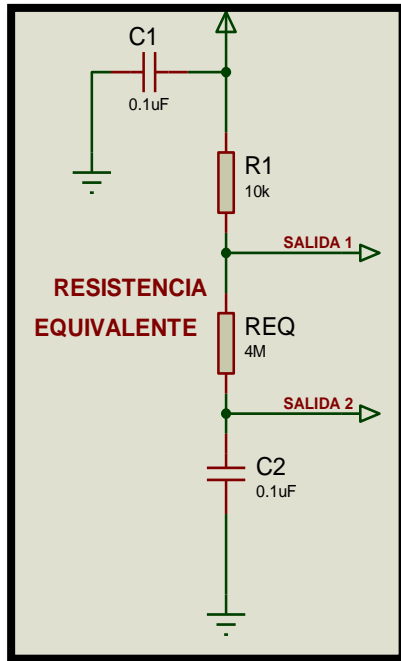


Figura 2.9 Resistencia equivalente del potenciómetro al 0% y alta resistencia de la piel

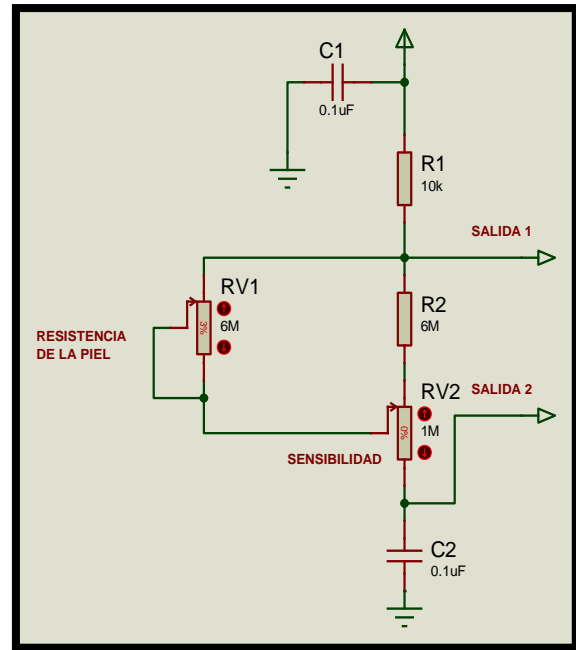


Figura 2.10 Potenciómetro de sensibilidad 0% y baja resistencia de piel

Con baja resistencia de la piel, tenemos el circuito de la figura 2.10.

Se asume una resistencia de la piel $RV1 = 200 \text{ [K}\Omega\text{]}$, $R2 = 6 \text{ [M}\Omega\text{]}$ y el potenciómetro $RV2$ está al 0%, como se muestra en la figura 2.11.

$$R_{eq} = \left(\frac{RV1 * R2}{RV1 + R2} \right) + RV2 \quad (2.6)$$

$$R_{eq} = 1,19 \text{ [M}\Omega\text{]} \quad (2.7)$$

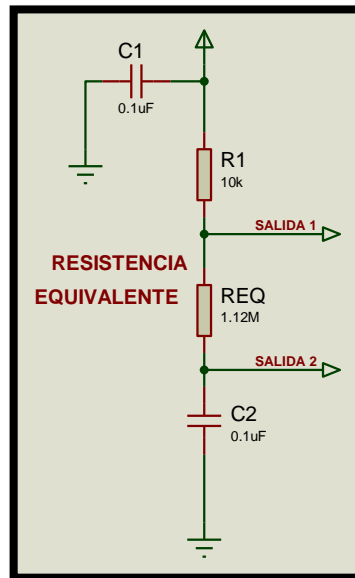


Figura 2.11 Resistencia equivalente del potenciómetro al 0% y baja resistencia de la piel

Para calcular la frecuencia de oscilación se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C2 * (R1 + 2Req)} \quad (2.8)$$

Al reemplazar los valores de $C2 = 0,1 \text{ [}\mu\text{F]}$, $R1 = 10 \text{ [K}\Omega\text{]}$ y $Req = 3,23 \text{ [M}\Omega\text{]}$ se tiene:

$$f \approx 2,2 \text{ [Hz]} \quad (2.9)$$

Esta frecuencia se obtiene cuando existe una alta resistencia en la piel y el potenciómetro está al máximo valor.

Con los valores de $C2 = 0,1 \text{ } [\mu\text{F}]$, $R1 = 10 \text{ } [\text{K}\Omega]$ y $R_{eq} = 194,44 \text{ } [\text{K}\Omega]$ se tiene:

$$f \approx 36,17 \text{ } [\text{Hz}] \quad (2.10)$$

Esta frecuencia de oscilación se genera cuando existe una baja resistencia en la piel y el potenciómetro está al máximo valor.

Al cambiar los datos de $C2 = 0,1 \text{ } [\mu\text{F}]$, $R1 = 10 \text{ } [\text{K}\Omega]$ y $R_{eq} = 4 \text{ } [\text{M}\Omega]$ se tiene:

$$f \approx 1,8 \text{ } [\text{Hz}] \quad (2.11)$$

Este valor de frecuencia se obtiene con el potenciómetro de sensibilidad al mínimo y alta resistencia en la piel.

Al reemplazar el valor de $C2 = 0,1 \text{ } [\mu\text{F}]$, $R1 = 10 \text{ } [\text{K}\Omega]$ y $R_{eq} = 1,19 \text{ } [\text{M}\Omega]$ se tiene:

$$f \approx 6,03 \text{ } [\text{Hz}] \quad (2.12)$$

Este valor se obtiene con el potenciómetro de sensibilidad al mínimo y una baja resistencia de la piel.

Con esto se muestra la amplia variación en el rango de frecuencia que se produce al manipular el potenciómetro de sensibilidad RV2.

A la salida del primer circuito integrado NE555, se coloca un led con el que se visualiza la variación de voltaje del tren de pulsos a la frecuencia establecida, para habilitar al segundo oscilador a través del pin de reset, como se observa en la figura 2.12.

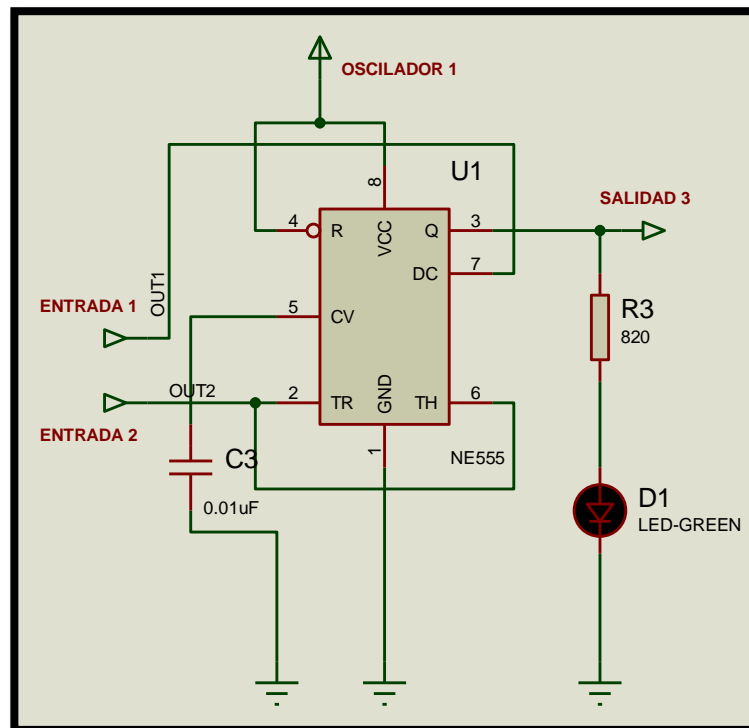


Figura 2.12 Primer Oscilador del circuito detector de puntos

En la figura 2.13 se muestra el segundo oscilador configurado de tal manera que, cuando la señal de salida del primer oscilador está en alto, éste funciona en modo astable, mientras que cuando la señal está en bajo, se resetea el integrado.

Este oscilador se encarga de entregar el tren de pulsos de alta frecuencia que alimenta al dispositivo de sonido.

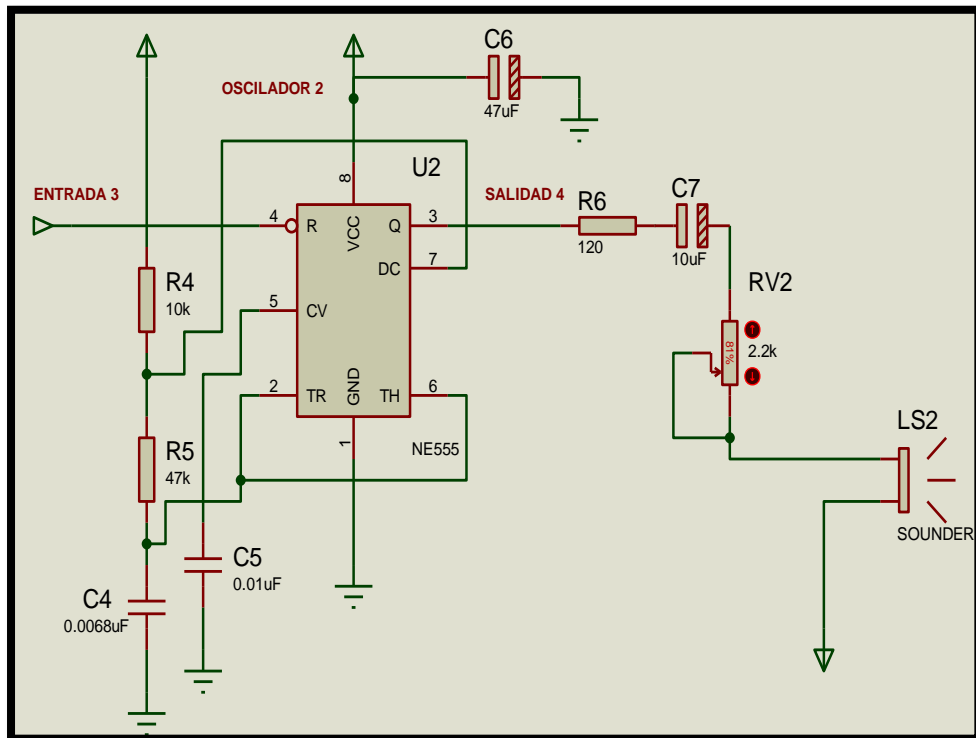


Figura 2.13 Segundo oscilador del circuito detector de puntos

Se utiliza la siguiente ecuación de frecuencia:

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C4 * (R4 + 2R5)} \quad (2.13)$$

De la ecuación 2.13 se despeja R5:

$$R5 = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{\ln(2) * C4 * f} - R4 \right) \quad (2.14)$$

Para el diseño del circuito se asume $C4 = 0,0068 \text{ } [\mu\text{F}]$, $R4 = 10[\text{K}\Omega]$ y $f = 2 \text{ } [\text{KHz}]$.

$$R5 = 48 \text{ } [\text{K}\Omega] \quad (2.15)$$

2.3.3 Acondicionamiento

En la etapa de acondicionamiento se reduce el nivel de voltaje del tren de pulsos generado por el primer oscilador para que se pueda procesar en el microcontrolador, de acuerdo a lo establecido en su hoja técnica. Además, esta etapa permite visualizar la señal a través de un osciloscopio virtual, con una tarjeta de adquisición de datos dentro de su rango de voltaje permitido.

Para efectuar esto, se usa un divisor de voltaje formado por resistencias, donde se tiene un voltaje máximo de 12 [V] a la salida del oscilador y se requiere un voltaje de 5 [V] en la señal de entrada al PIC.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (2.16)$$

Se asume una resistencia $R_2 = 3,3 \text{ [K}\Omega\text{]}$, $V_{in} = 12 \text{ [V]}$, $V_{out} = 5 \text{ [V]}$ y se despeja R_1 de la ecuación 2.16, así:

$$R_1 = \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} * R_2 \right) - R_2 \quad (2.17)$$

$$R_1 = 4,6 \text{ [K}\Omega\text{]} \quad (2.18)$$

En la figura 2.14 se observa el divisor de tensión mencionado.

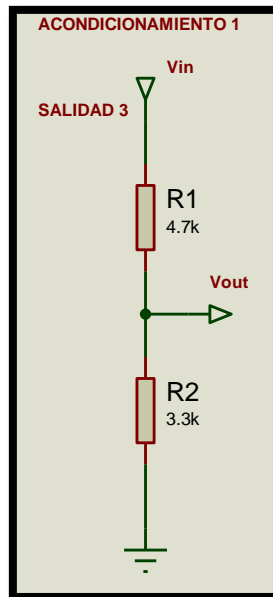


Figura 2.14 Circuito de acondicionamiento

2.4 Etapas del circuito estimulador

El circuito estimulador se basa en las etapas que se detallan a continuación:

2.4.1 Osciladores

La etapa de osciladores está compuesta por dos circuitos integrados NE555 en cascada, es decir, que el uno comanda al otro. El modo de operación de ambos integrados es de forma astable o tren de pulsos.

Para el diseño del circuito, en el caso del primer oscilador, se considera la frecuencia de estimulación mínima de 0,07 [Hz], es decir, un ciclo de trabajo de 7 segundos.

Se parte de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C1 * (R1 + 2R2)} \quad (2.19)$$

De la ecuación 2.19 se despeja R2:

$$R2 = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{\ln(2) * C1 * f} - R1 \right) \quad (2.20)$$

Para obtener el ciclo de trabajo de 7 segundos, se fijan valores de $R1 = 2,2 \text{ [K}\Omega\text{]}$, $C1 = 100 \text{ [}\mu\text{F]}$ y $f = 0,07 \text{ [Hz]}$.

$$R2 = 102 \text{ [K}\Omega\text{]} \quad (2.21)$$

Con el resultado obtenido, en la figura 2.15 se muestra el potenciómetro R2 con un valor de 100 [KΩ].

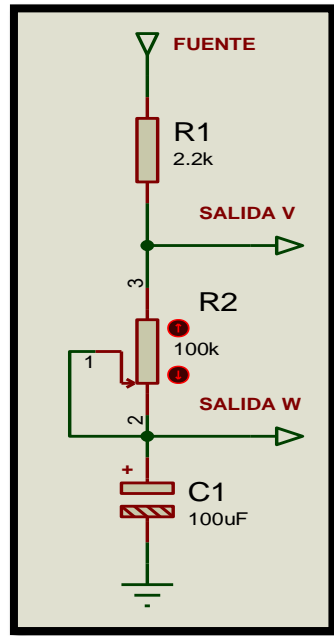


Figura 2.15 Circuito del primer oscilador con potenciómetro al 100%

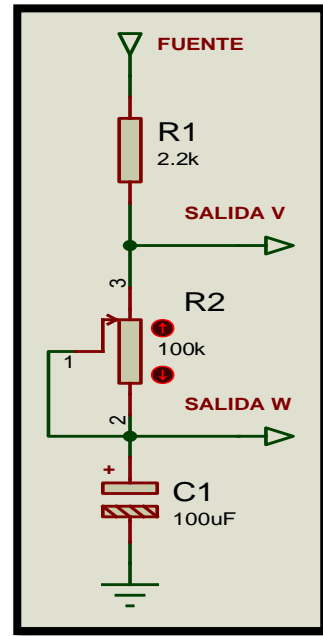


Figura 2.16 Circuito del primer oscilador con potenciómetro al 0%

La frecuencia máxima de oscilación del circuito se la obtiene con la ecuación 2.19, considerando el potenciómetro R2 al 0% mostrado en la figura 2.16.

Si $R2 = 0 \text{ } [\Omega]$, $R1 = 2,2 \text{ } [K\Omega]$ y $C1 = 100 \text{ } [\mu F]$, se tiene:

$$f \approx \frac{1}{\ln(2) * C1 * (R1)} \quad (2.22)$$

$$f \approx 7 \text{ [Hz]} \quad (2.23)$$

A la salida del oscilador se coloca un transistor Darlington TIP-122 que opera en la zona de corte y saturación acorde al tren de pulsos, escogido como medida de protección para el integrado, por la demanda de corriente del circuito. Además, se coloca un diodo led a la salida del transistor para observar la oscilación, tal como se indica en la figura 2.17.

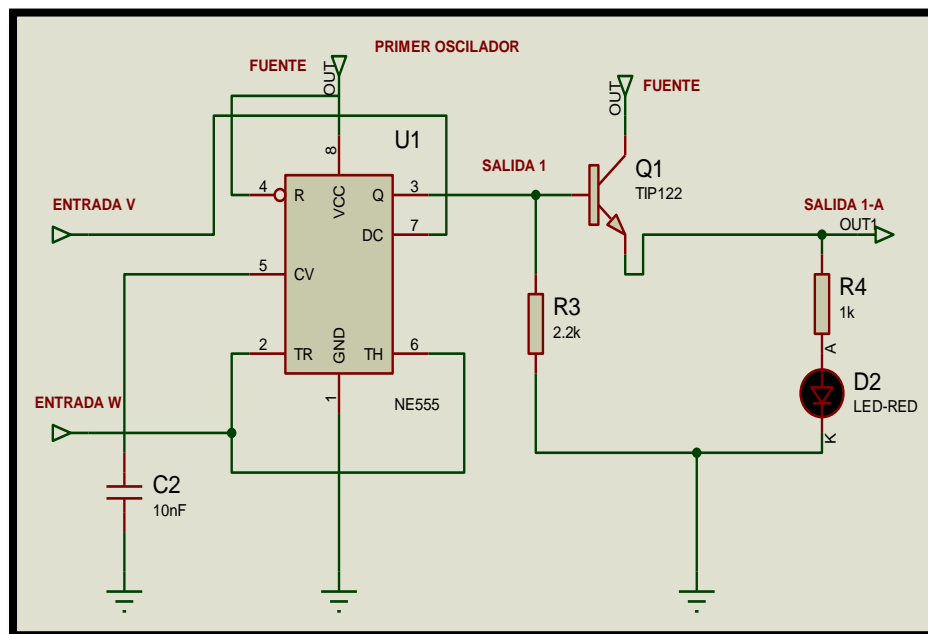


Figura 2.17 Primer oscilador del circuito estimulador

El segundo oscilador NE555 opera con el ciclo de trabajo del primer integrado por medio del TIP-122 antes mencionado.

Se parte de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{\ln(2) * C3 * (R5 + 2R6)} \quad (2.24)$$

De la ecuación 2.24 se despeja R6:

$$R6 = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{\ln(2) * C3 * f} - R5 \right) \quad (2.25)$$

Se fijan valores de $R5 = 4,7 \text{ [K}\Omega\text{]}$, $C3 = 0,01 \text{ [}\mu\text{F]}$ y $f = 1 \text{ [KHz]}$.

$$R6 = 69,8 \text{ [K}\Omega\text{]} \quad (2.26)$$

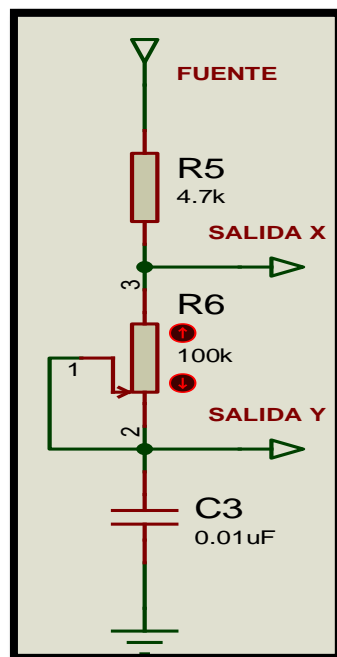


Figura 2.18 Circuito del segundo oscilador con potenciómetro al 100%

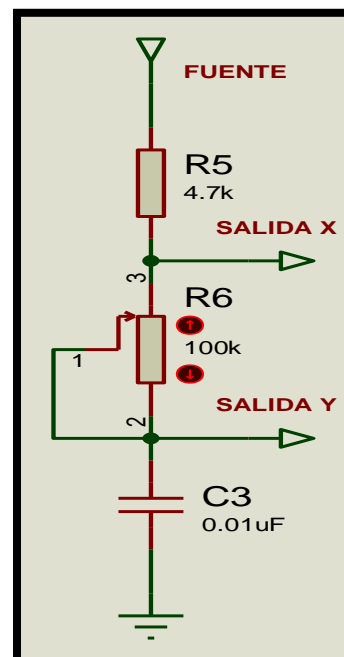


Figura 2.19 Circuito del segundo oscilador con potenciómetro al 0%

En la figura 2.18 se observa que, para el resultado obtenido, se coloca un potenciómetro de 100 [K Ω].

La frecuencia máxima, que se obtiene con esta configuración, se calcula utilizando la ecuación 2.24, considerando $R5 = 4,7$ [K Ω], $C3 = 0,01$ [μ F] y $R6 = 0$ [Ω], tal como se observa en la figura 2.19.

$$f \approx 30,7 \text{ [KHz]} \quad (2.27)$$

Para controlar la potencia que entrega el segundo oscilador al circuito, se acopla otro transistor Darlington TIP-122 a la salida del integrado, el mismo que opera en la zona de corte y saturación, mostrado en la figura 2.20.

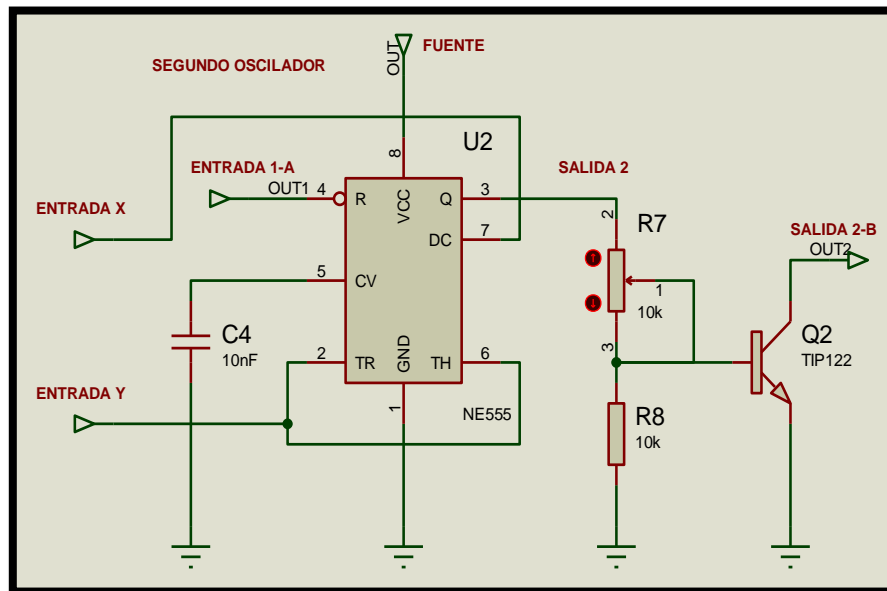


Figura 2.20 Segundo oscilador del circuito estimulador

2.4.2 Elevador de voltaje

Es un transformador de línea o flyback, y es capaz de trabajar con altas frecuencias; el primario es conectado entre la fuente y el colector del transistor para elevar el voltaje 10 veces en el secundario. El transformador, al ser inductivo, se opone a los cambios bruscos de corriente que se producen por la conmutación del TIP-122, generando la conocida onda china que se mencionó en el primer capítulo. En la figura 2.21 se presenta la conexión del transformador.

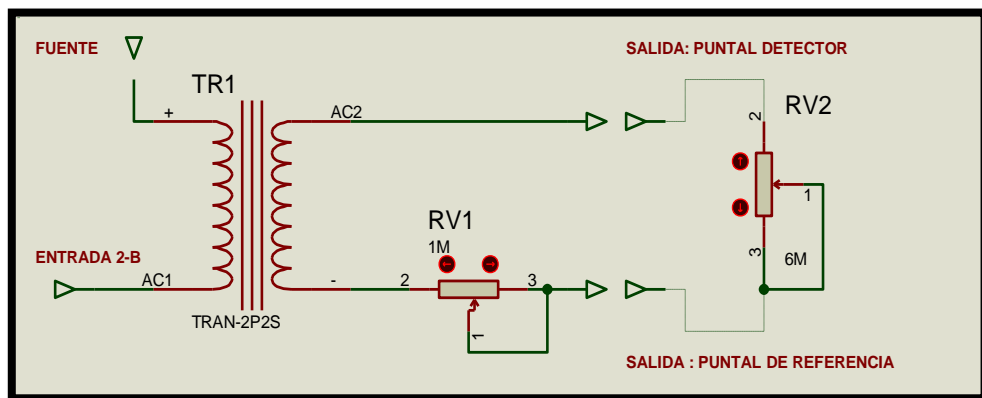


Figura 2.21 Transformador de línea del circuito estimulador

Para el voltaje de salida se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.28)$$

Se despeja V_s de la ecuación 2.28

$$V_s = \frac{N_2}{N_1} * V_p \quad (2.29)$$

Se reemplaza $V_p = 12[V]$, $N_1 = 1$ y $N_2 = 10$, y se tiene:

$$V_s = 120 [V] \quad (2.30)$$

El voltaje que se obtiene en el secundario del transformador es con un tap de 100%, pero para este diseño se utiliza un tap de 30% obteniendo el voltaje de salida siguiente:

$$V_s = 0,30 * 120 [V] \quad (2.31)$$

$$V_s = 36 [V] \quad (2.32)$$

2.4.2 Electrodo / Estimulación

Se tiene un terminal de referencia y un puntal estimulador, los cuales van conectados a los terminales del secundario del transformador de línea, como se muestra en la figura 2.22.

Un potenciómetro se utiliza para controlar la intensidad de corriente que circula por los electrodos a la piel. Para saber el valor del potenciómetro a utilizar, se calcula la corriente del secundario, cuando la resistencia de la piel es alta y cuando es baja.

$$I_s = \frac{V_s}{R_{piel}} \quad (2.33)$$

Se reemplaza el valor $V_s = 36$ [V] y se asume $R_{piel} = 6$ [M Ω]

$$I_s = 6 \text{ } [\mu\text{A}] \quad (2.34)$$

Asumiendo la $R_{piel} = 200$ [K Ω], se obtiene:

$$I_s = 0,18 \text{ } [\text{mA}] \quad (2.35)$$

Con estos umbrales de corriente, un potenciómetro de 1 [M Ω] es suficiente para reducir intensidades del orden de miliamperios a microamperios, así tenemos:

$$I_s = \frac{V_s}{R_{piel} + R_{pot}} \quad (2.36)$$

Reemplazando $V_s = 36$ [V] y $R_{piel} = 200$ [K Ω] y $R_{pot} = 1$ [M Ω]

$$I_s = 30 \text{ } [\mu\text{A}] \quad (2.37)$$

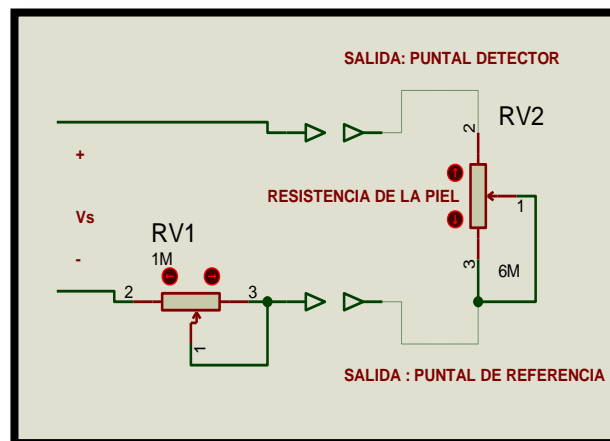


Figura 2.22 Electrodo de estimulación

Los electrodos o puntales, tanto del circuito detector de puntos como del circuito estimulador, son acoplados a un conmutador dual, como se representa en la figura 2.23.

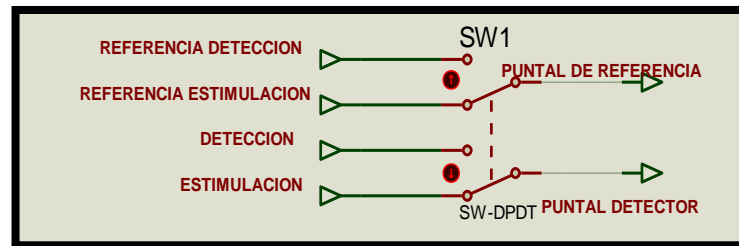


Figura 2.23 Switch de electrodos

2.4.3 Acondicionamiento

En esta etapa se acondiciona el nivel de voltaje con que se estimula para que la señal se pueda visualizar por medio de un osciloscopio real o virtual.

Para llevar a cabo este proceso, se usa un divisor de tensión formado por resistencias. Se tiene un voltaje máximo de 36 [V] a la salida del secundario del transformador y se requiere un voltaje de 10 [V] para efectos de visualización de la señal.

Se asume una resistencia $R2 = 1 \text{ [K}\Omega\text{]}$, $V_{in} = 36 \text{ [V]}$, $V_{out} = 10 \text{ [V]}$ y se despeja $R1$ de la ecuación 2.17, como se muestra en la figura 2.24.

$$R1 = 2,6 \text{ [K}\Omega\text{]} \quad (2.38)$$

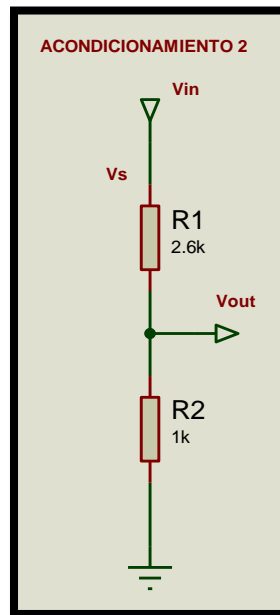


Figura 2.24 Circuito de acondicionamiento

2.5 Microcontrolador

El microcontrolador que se utiliza para el procesamiento de señales en el equipo es el PIC 16F887 de Microchip, que para el propósito de acupuntura electrónica, se lo ha seleccionado de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Rango amplio de aplicaciones
- Alta calidad
- Gran disponibilidad
- Bajo precio

2.5.1 Características básicas

Entre las características principales de operación que maneja este integrado se detallan a continuación [11]:

- Frecuencia de operación de 0 – 20 [MHz]
- Oscilador interno de alta precisión
- Voltaje de fuente de alimentación de 2,2 [V] a 5,5 [V]
- 35 pines de entrada / salida
- Memoria ROM de 8K con tecnología FLASH (chip re-programable hasta 100K veces)
- 368 bytes de memoria RAM
- 256 bytes de memoria EEPROM (datos se pueden grabar más de 1M veces)
- Convertidor A/D de 14 canales con resolución de 10 bits
- 3 temporizadores / contadores independientes
- Temporizador perro guardián
- Módulo comparador analógico dual
- Módulo PWM
- Módulo USART mejorado (comunicación serial RS-485, Rs-282)
- Puerto serie síncrono (modo SPI e I2C)

El PIC cuenta con la disposición de pines que se muestra en la figura 2.25.

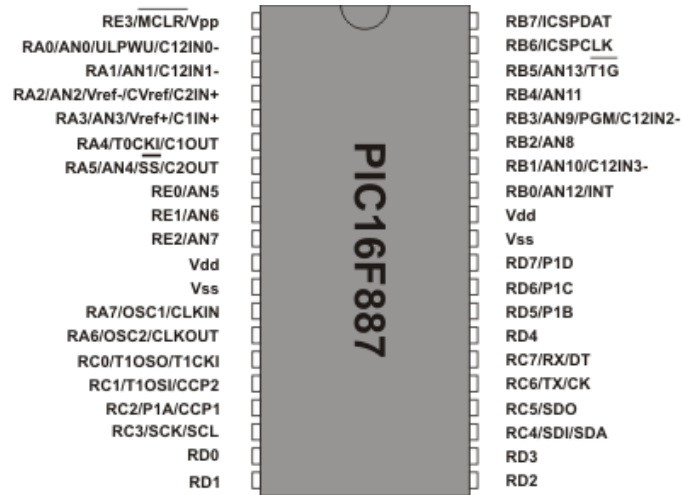


Figura 2.25 PIC 16F887. Fuente [11].

2.5.2 Terminales utilizados en la operación del equipo

Los terminales o pines (figura 2.26) que se utilizan en la operación del equipo de acupuntura electrónica son:

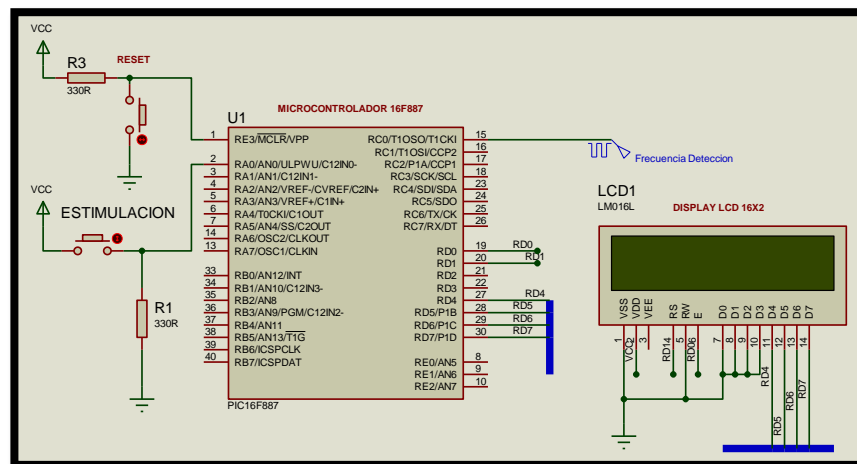


Figura 2.26 Diagrama de conexiones PIC 16F887

- Pin RE3/MCLR/VPP: Se configura como reset o MCLR, es decir, un nivel lógico bajo en este pin reinicia el microcontrolador.
- Pin RA0/AN0/ULPWU/C12IN0-: Se configura como pin E/S de propósito general en el puerto A del PIC. En este caso, recibe un nivel lógico alto procedente de un pulsador para habilitar el cronometro de estimulación.
- Pin RC0/T1OSO/T1CKL: Se configura como entrada de reloj del Timer 1. En modo contador, cuenta los pulsos que ingresan por el pin y de esta manera se calcula la frecuencia de oscilación de la señal entrante.
- Pines RD0, RD1, RD4, RD5, RD6, RD7: Se configuran como pines E/S de propósito general en el puerto D del PIC. En este diseño se conectan a los pines correspondientes del Display LCD.

2.5.3 Diagrama ASM del microcontrolador

En la figura 2.27 se muestra como el proceso empieza con un texto de bienvenida mostrado en el display LCD, luego se inicializan variables, contantes y se configuran los registros de los respectivos temporizadores. Acto seguido, se procede a ejecutar en segundo plano el Timer 1 en modo contador, de tal forma que cuente el número de pulsos de la señal que ingresa al PIC; durante este proceso se pregunta por el pulsador de estimulación. En estado “off” del pulsador se determina la frecuencia de la señal entrante, verificando si ésta es

mayor a 10 [Hz]; si esto no se cumple se muestra en el display LCD el valor de frecuencia, caso contrario, se muestra el texto de aviso de detección de punto.

En estado “on” del pulsador se habilita el Timer 0 como temporizador, para generar un cronometro que brinda el tiempo de estimulación a través del display LCD.

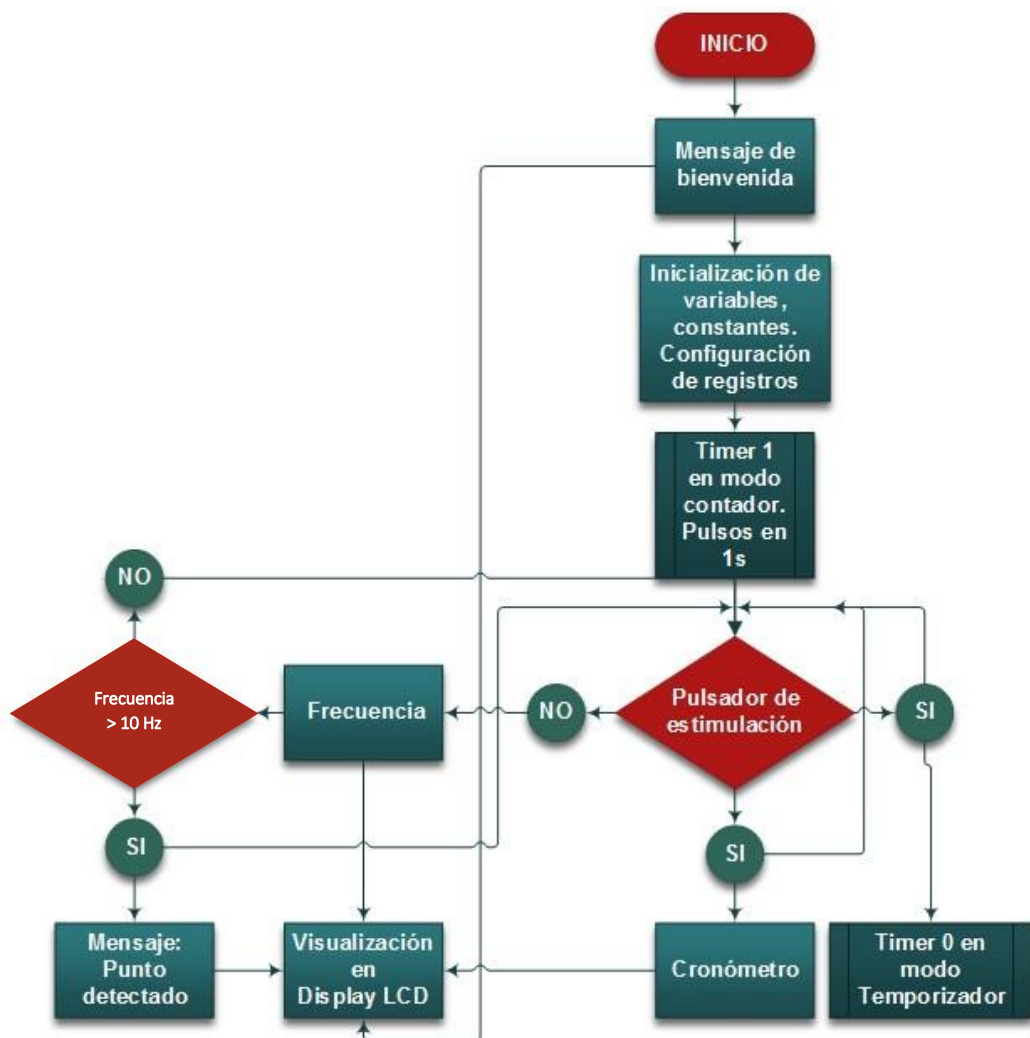


Figura 2.27 Diagrama ASM del microcontrolador

CAPÍTULO 3

3.- IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE ACUPUNTURA ELECTRÓNICA

3.1 Simulación del circuito detector de puntos

La figura 3.1 muestra el esquema general del circuito detector de puntos, el mismo que está compuesto por 3 etapas; primera es la etapa de medición, la cual para fines de simulación se consideró insertar una resistencia variable de 6 [M Ω], la misma que en su valor máximo, al ser una impedancia alta, se considera como partes alejadas a los puntos. Las etapas del oscilador 1 y oscilador 2, ambos en configuración astable con el uso del integrado 555. Se diferencian por la frecuencia de trabajo, baja en el primero según el diseño ya planteado, y alta para el segundo, esta última es la que genera el sonido.

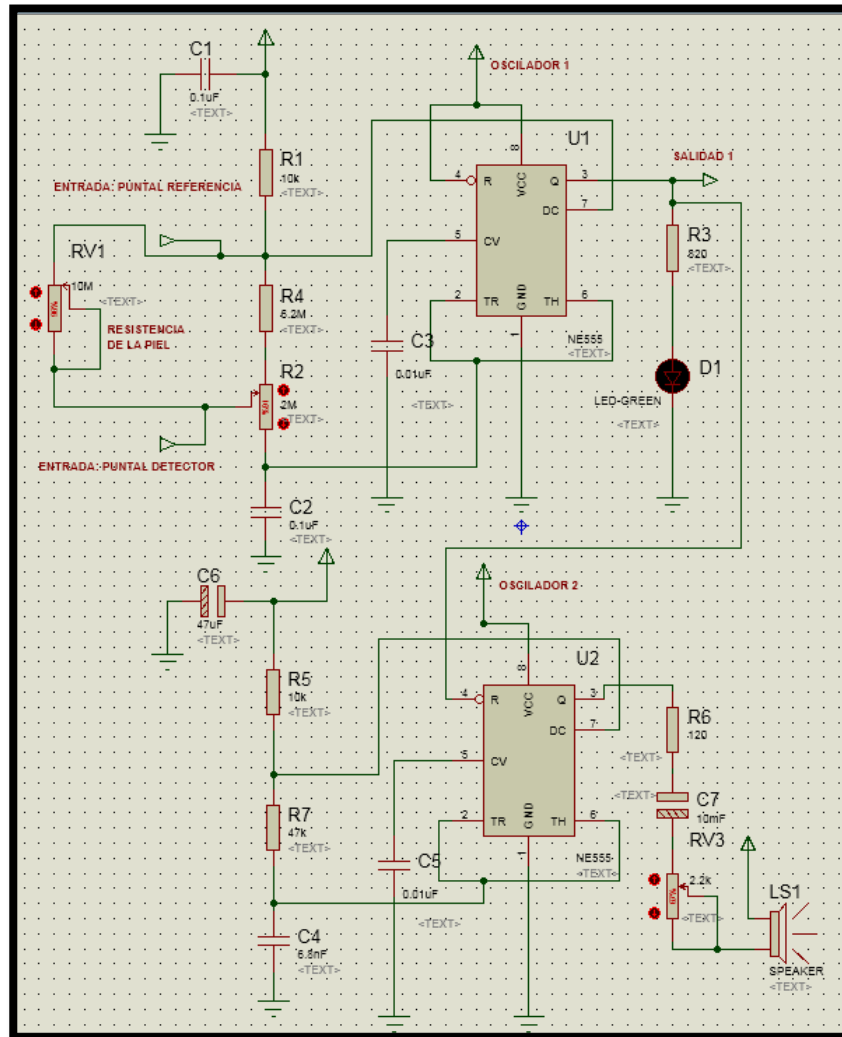


Figura 3.1 Circuito detector de puntos realizado en Proteus

En la figura 3.2; la onda en color azul muestra el periodo del oscilador 1 que, dado por la diferencia de tiempo entre los cursores, se obtiene 1,12 segundos cuando no se encuentra detectando algún punto. La onda en color naranja indica la ráfaga de pulsos generado por el oscilador 2 cuando el oscilador 1 lo habilita; esto permite escuchar al elemento de audio instalado.

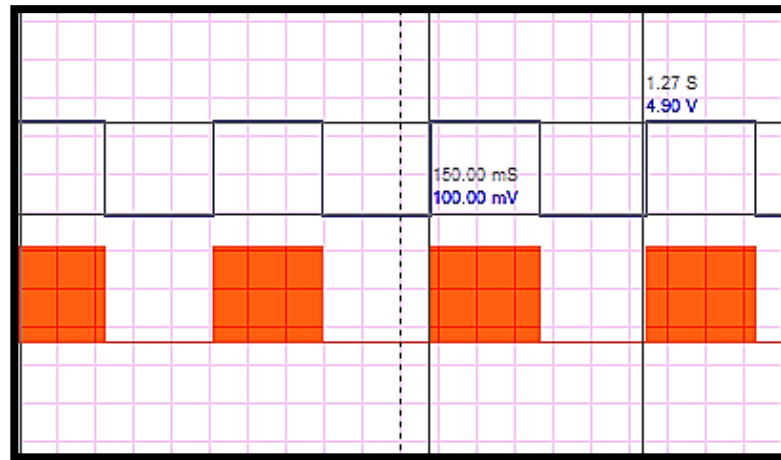


Figura 3.2 Periodo del oscilador 1 sin detección de punto

La figura 3.3 muestra el mismo esquema de simulación para ambos osciladores, tomando en cuenta que se ha detectado un punto y la sensibilidad se ha ajustado al máximo.

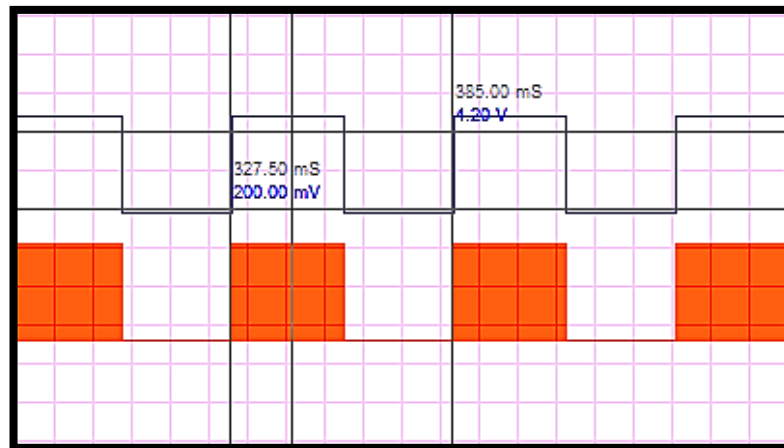


Figura 3.3 Periodo del oscilador 1 con detección de punto y sensibilidad máxima

3.2 Simulación del circuito estimulador

El esquema del circuito estimulador se muestra en la figura 3.4; básicamente está configurado igual que el detector de puntos, con dos osciladores en modo astable; el primero en baja y el segundo en alta frecuencia; a diferencia del anterior, la señal de salida del oscilador 2 es elevada por un transformador de línea.

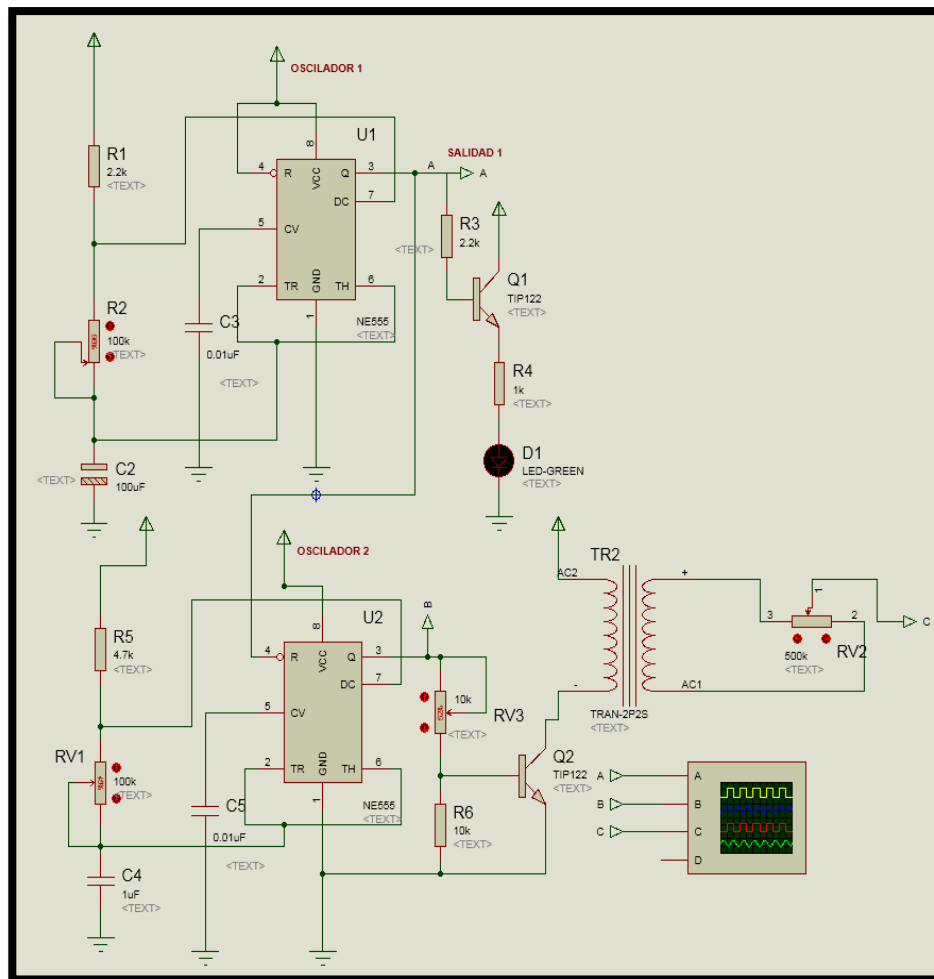


Figura 3.4 Circuito estimulador realizado en Proteus

En la figura 3.5; la gráfica en color azul es la obtenida por el primer oscilador, la diferencia de tiempo entre ambos cursores indica un periodo de 2.09 segundos para una calibración aproximada de 14 [K Ω]; la ráfaga de pulsos en color naranja es generada por el segundo oscilador.

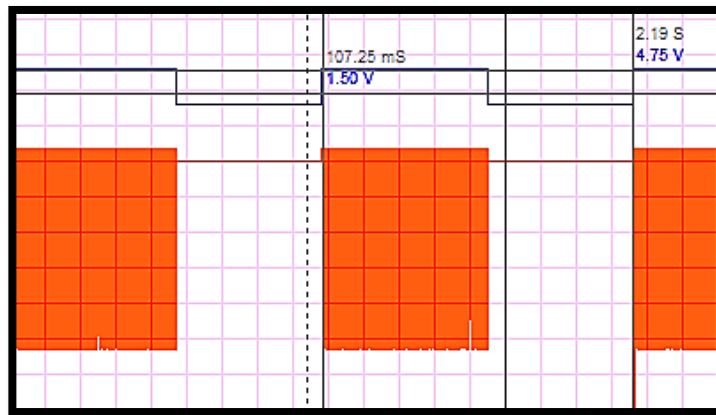


Figura 3.5 Periodo del oscilador 1 y ráfaga de pulsos del oscilador 2 del circuito estimulador

En la figura 3.6 se observa la forma de onda china de la señal.

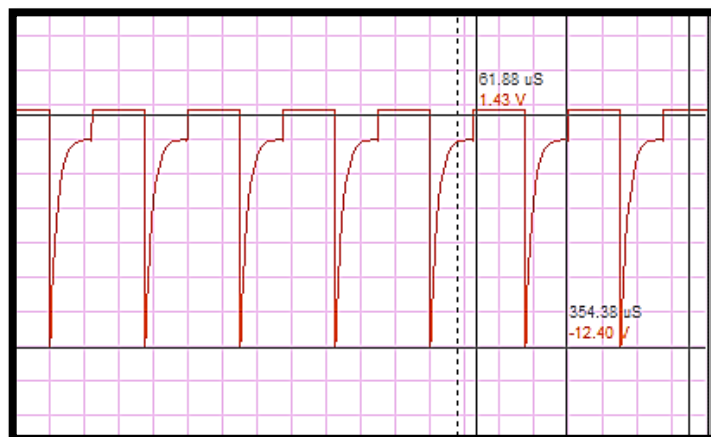


Figura 3.6 Onda china generada por el oscilador 2

El voltaje pico a pico de la onda china es alrededor de 14 voltios, con el potenciómetro de ajuste de potencia al 40% y un valor de frecuencia establecido en 3.4 KHz; este último manipulado por la resistencia variable del segundo oscilador.

3.3 Simulación del PIC

En la figura 3.7 se presenta en el display LCD el estado de detección, cuando no se encuentra un punto de acupuntura. Se aprecia el valor de frecuencia que genera el circuito detector de puntos.

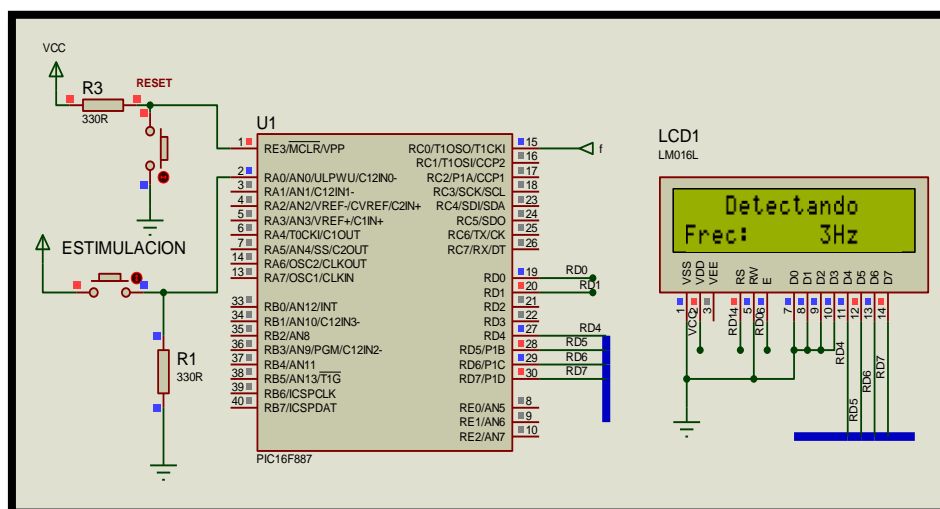


Figura 3.7 Visualización en LCD de detección de punto

En la figura 3.8 se observa el mensaje de punto detectado en el display LCD, cuando el valor de frecuencia corresponde al valor programado en el PIC que indica dicho estado.

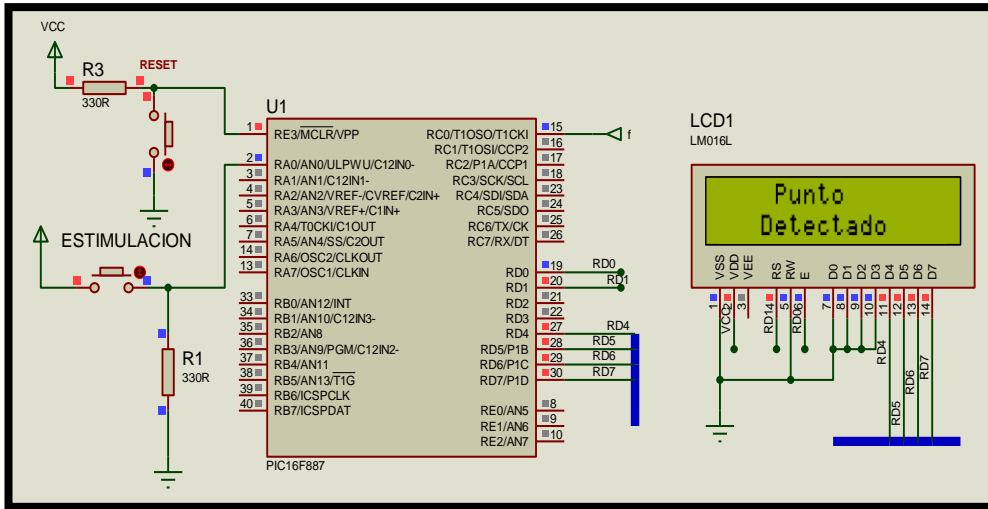


Figura 3.8 Visualización en LCD de punto detectado

En la figura 3.9 se muestra la visualización del cronómetro que indica el tiempo de estimulación. El formato de tiempo está dado en “minutos:segundos:milisegundos”.

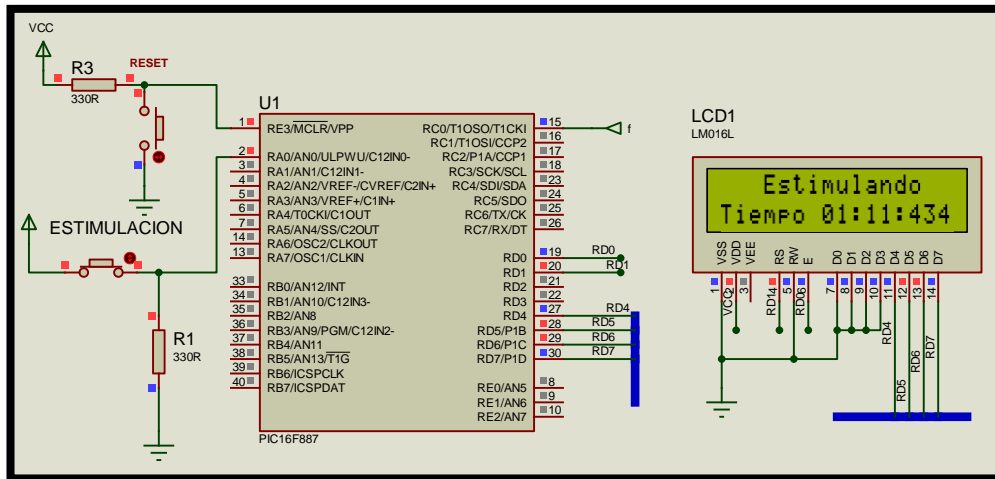


Figura 3.9 Visualización en LCD de la etapa de estimulación

3.4 Alimentación del equipo

Para el correcto uso del equipo, es necesario alimentarlo con una fuente de 12 voltios, el mismo que se distribuye hacia los integrados y la circuitería en general. En la figura 3.10 se aprecia la implementación de la fuente.

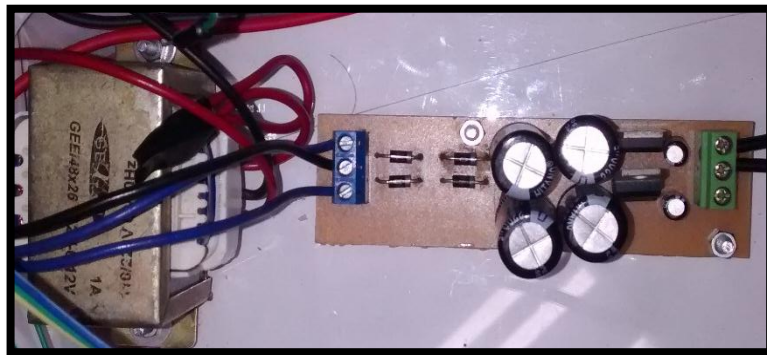


Figura 3.10 Tarjeta electrónica de la fuente de alimentación +12V

3.5 Diseño de la tarjeta electrónica del circuito detector de puntos

En la figura 3.11 se muestra la placa con los elementos que comprenden el circuito detector de puntos. En su diseño se procuró dejar borneras de entrada para su alimentación y salida hacia la resistencia variable representada por la sensibilidad de detección, además, la bornera de salida del pin 3 del oscilador 1, que es la señal necesaria para los requerimientos planteados en el PIC, y finalmente la bornera hacia el puntal y la referencia.

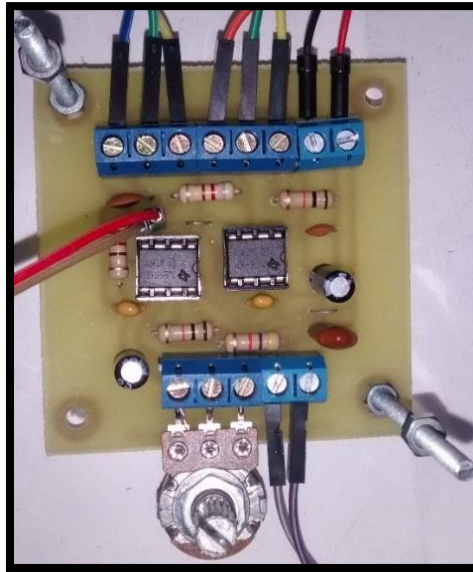


Figura 3.11 Tarjeta electrónica del detector de puntos

3.6 Diseño de la tarjeta electrónica del circuito estimulador

La placa del circuito estimulador se observa en la figura 3.12; al igual que la anterior fue necesario dejar entradas y salidas definidas con borneras en la que se encuentran: la manipulación de frecuencia para ambos osciladores, la alimentación, el pulsador que permite la energización de todo el circuito, la salida del potenciómetro que regula el voltaje de aplicación al cuerpo, el puntal, la referencia, entrada y salida del transformador de línea.

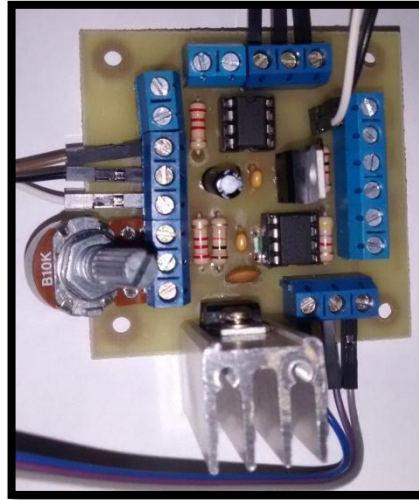


Figura 3.12 Tarjeta electrónica del estimulador

3.7 Diseño de la tarjeta electrónica del PIC

La placa del PIC, figura 3.13, contiene el acondicionamiento de las señales mencionadas recibidas por las dos placas anteriores a través de sus borneras, además de las salidas hacia el LCD.

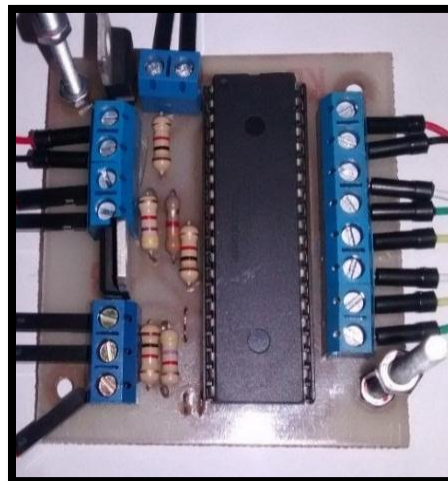


Figura 3.13 Tarjeta electrónica del PIC

3.8 Implementación del puntal

El puntal y la masa de referencia, mencionados en los circuitos de detección y estimulación, se acoplaron de tal manera que pueda ser conmutado por medio de un switch, y su uso sea fijado para uno u otro circuito tal como se muestra en la figura 3.14; además se implementó una botonera que permite energizar la placa del estimulador así como un diodo led indicador.



Figura 3.14 Puntal de detección y estimulación

Todas las señales son adaptadas a un terminal DB9 serial, mostrado en la figura 3.15, del cual se detalla sus terminales o pines en la tabla 3.

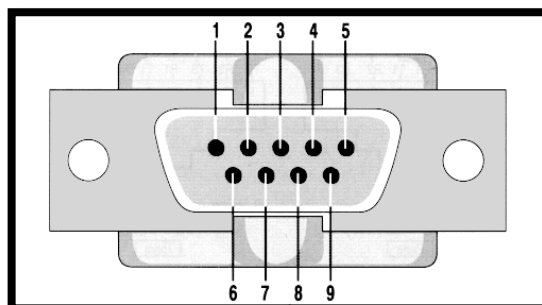


Figura 3.15 Conector DB9. Fuente [12].

Tabla 3. Detalle de los terminales o pines del conector DB9.

Pin 1	Entrada de alimentación al pulsador tomado de la placa de estimulación.
Pin 2	Salida de alimentación del pulsador hacia la placa de estimulación.
Pin 3	Tierra para al diodo led indicador de alimentación.
Pin 4	Salida del terminal de referencia.
Pin 5	Sin usar.
Pin 6	Entrada del terminal detector de puntos.
Pin 7	Entrada del terminal de referencia del circuito detector de puntos.
Pin 8	Entrada del terminal de referencia del circuito estimulador.
Pin 9	Entrada del terminal estimulador.

3.9 Equipo Completo

El equipo completo y funcional consta de los siguientes ajustes manuales:

- Sensibilidad de detección
- Volumen del dispositivo de sonido
- Frecuencia de trabajo
- Frecuencia de estimulación

- Intensidad de corriente

En la figura 3.16 se observa el equipo con el puntal detector/estimador, el terminal de referencia, y las borneras que permiten la visualización de la señal de detección y estimulación de los puntos.



Figura 3.16 Equipo de acupuntura electrónica

CAPÍTULO 4

4.- PRUEBAS REALIZADAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Detección de puntos de acupuntura

Usando el electrodo o puntal detector y el electrodo o terminal de referencia, se procede a inspeccionar el área de la piel midiendo su resistencia, como se observa en la figura 4.1.

Cuando la resistencia de la piel es alta, tanto el led como el sonido son intermitentes a una frecuencia baja, visualizándose el valor en el display LCD como se muestra en la figura 4.2.

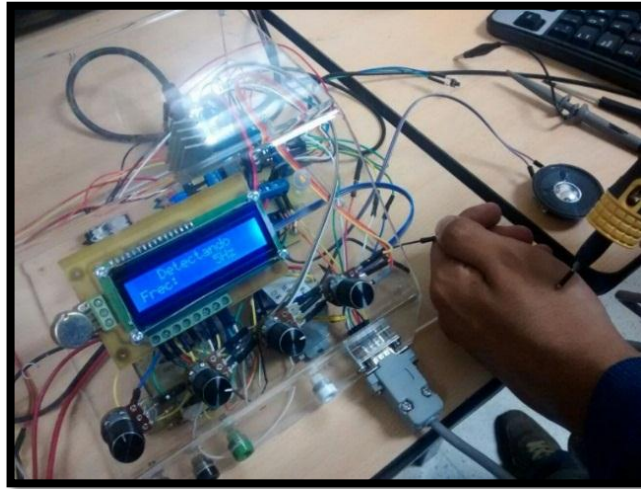


Figura 4.1 Localizando puntos de acupuntura



Figura 4.2 Visualización de frecuencia en LCD

Cuando la resistencia de la piel es baja, se tiene el led y un sonido intermitentes a una frecuencia alta, ver figura 4.3, visualizándose en el LCD el mensaje de punto detectado, como se aprecia en la figura 4.4



Figura 4.3 Señal de punto detectado



Figura 4.4 Visualización de aviso de punto detectado

4.2 Estimulación de puntos de acupuntura

Una vez encontrado el punto, se procede a estimularlo con un tren de pulsos de alta frecuencia en ciclos de trabajo de 7 segundos o menos, como se muestra en la figura 4.5. El tiempo y la intensidad de estimulación del punto varían respecto al tipo de paciente y al tipo de dolencia a tratarse.

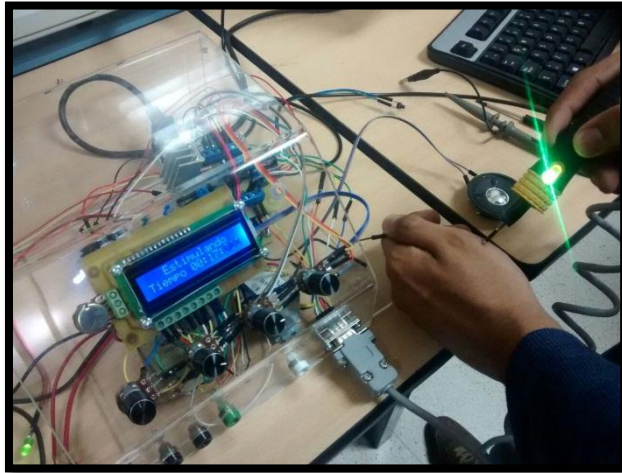


Figura 4.5 Estimulando puntos de acupuntura

En la figura 4.6 se tiene la señal en alta frecuencia de onda china con que se estimula, mientras que en la figura 4.7 se observa el cronómetro de estimulación en el display LCD.

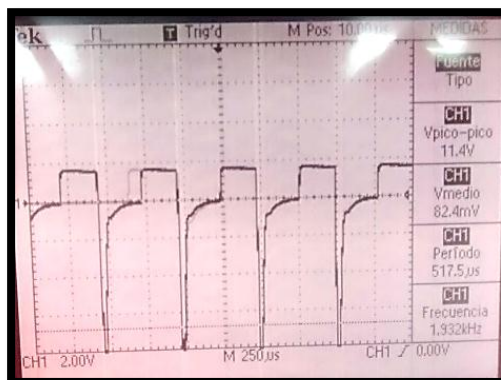


Figura 4.6 Señal de onda china de estimulación



Figura 4.7 Visualización de cronómetro de estimulación

4.3 Análisis de resultados

En la etapa de detección de punto, dependiendo el tipo de piel y el estado físico del paciente, la sensibilidad en la detección de punto juega un papel importante para encontrar el punto de forma rápida y precisa.

Se puede apreciar que la señal del tren de pulsos, cuando se detecta un punto, tiene una frecuencia de 34 [Hz] en las pruebas realizadas con máxima sensibilidad, y se comprueba que está dentro del rango de los 36 [Hz] calculados teóricamente. Además, el PIC procesa adecuadamente la señal para indicar en el LCD que se ha detectado un punto de acupuntura.

En la etapa de estimulación, el control de la intensidad de los pulsos que se aplican al paciente, hace que se pueda tolerar el tratamiento durante el tiempo que dure la sesión. Se manipula el ciclo de trabajo del tren de pulsos y la frecuencia de la onda china de 1 [KHz] en adelante, como fue calculado teóricamente. Se aprecia como la onda china corresponde a los parámetros descritos en los capítulos anteriores, tanto en cálculos teóricos como en las simulaciones.

CONCLUSIONES

1. El potenciómetro de ajuste de sensibilidad es crucial para determinar la rapidez y precisión con que se detecta un punto de acupuntura en diversos tipos de piel.
2. La onda china que se requiere para la estimulación debe ser de forma limpia, tal como se aprecia en las simulaciones junto a las pruebas realizadas, para poder controlar la intensidad de corriente en base a la tolerancia del paciente.
3. El equipo fue diseñado para trabajar en alta frecuencia, de acuerdo a los requerimientos teóricos planteados inicialmente; esto llevó a seleccionar un transformador de línea, cuya característica es la operación en altas frecuencias.

4. La colocación de un capacitor en paralelo al pulsador, como mecanismo anti-rebote; y el uso de cable apantallado, fue esencial para evitar distorsiones en las señales de detección y estimulación.
5. Finalmente, el equipo posee características para uso práctico, tales como el control de frecuencia e intensidad de estimulación, facilitando al terapeuta una adecuada aplicación. Además, puede ser usado desde la comodidad del hogar por el propio paciente, una vez familiarizado con este tipo de tratamiento.

RECOMENDACIONES

1. El puntal detector/estimador no se debe presionar sobre la piel, solo es necesario apoyarlo suavemente para detectar un punto de acupuntura.
2. Se debe desplazar lentamente el puntal detector/estimador para no pasar por alto algún punto.
3. Evitar utilizar el equipo sobre la piel irritada o lacerada.
4. La zona donde se van a localizar puntos debe limpiarse con alcohol, para personas con sudoración excesiva, y con agua normal o ligeramente salada para personas con piel seca.

5. Es recomendable localizar y marcar cada punto a tratar, para posteriormente aplicar la estimulación a los mismos.

6. Se debe encerrar el cronómetro de estimulación, antes de proceder con otro punto, llevando de esta manera un control de estimulación de cada uno de éstos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. J. Sussmann, Acupuntura Teoría y Práctica, Octava ed., Buenos Aires: KIER, S.A., 1967, p. 21.
- [2] D. J. Sussmann, Acupuntura Teoría y Práctica, Octava ed., Buenos Aires: KIER, S.A., 1967, p. 42.
- [3] D. J. Sussmann, Acupuntura Teoría y Práctica, Octava ed., Buenos Aires: KIER, S.A., 1967, p. 44.
- [4] D. J. Sussmann, Acupuntura Teoría y Práctica, Octava ed., Buenos Aires: KIER, S.A., 1967, p. 45.
- [5] D. J. Sussmann, Acupuntura Teoría y Práctica, Octava ed., Buenos Aires: KIER, S.A., 1967, p. 56.
- [6] D. J. Sussmann, Acupuntura Teoría y Práctica, Octava ed., Buenos Aires: KIER, S.A., 1967, p. 70-71.
- [7] C. Inza, «Acupuntura-Orgón,» Carlos Inza is associated with ~3 other domains, 17 Noviembre 2005. [En línea]. Available: <http://www.acupuntura-orgon.com.ar/mediciones2.htm>. [Último acceso: 17 Enero 2015].
- [8] N. Zeta, «Scribd - Read Unlimited Books,» Carlos Inza is associated with ~3 other domains, 14 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/184267142/Localizador-electronico-de-puntos-de-acupuntura>. [Último acceso: 17 Enero 2015].

- [9] M. R. Z. Angel Regueiro Gómez, «Redalyc. Redalyc. Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal Scientific Journals Network.,» 8 Octubre 2003. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/304/30400204.pdf>. [Último acceso: 05 Febrero 2015].
- [10] R. N. Electrónica, «Electro Raggio,» 13 Abril 2010. [En línea]. Available: http://www.electroraggio.com/fs_files/user_img/VARIOS/estimulador%20de%20efecto%20analg%C3%83%C2%A9sico.pdf. [Último acceso: 5 Febrero 2015].
- [11] M. JOVANOVIC, « MikroElektronika - Development tools, Compilers, Books,» MikroElektronika, 11 Junio 2004. [En línea]. Available: <http://www.mikroe.com/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/>. [Último acceso: 15 Enero 2015].
- [12] R. F. Lara, «Blogger,» Google Inc., 12 Junio 2012. [En línea]. Available: http://2.bp.blogspot.com/-MbYXpvGzxw/T9gGloolhII/AAAAAAAAAJc/ILOp9ZH_1QQ/s400/capturaradarpj. [Último acceso: 2 Febrero 2015].
- [13] EFISIOTERAPIA, «eFisioterapia: Web de fisioterapia | Artículos, cursos, empleo, foro, clínicas y fisioterapeutas...,» ELECTROMEDICAL MEDITERRANEA SL, 19 Abril 2007. [En línea]. Available: <http://www.efisioterapia.net/articulos/t-e-n-s-estimulacion-nerviosa-transcutanea>. [Último acceso: 17 Febrero 2015].

ANEXOS

ANEXO A

MANUAL DE USUARIO

La vista frontal del equipo (Figura A) consta de los siguientes componentes:

S: Sensibilidad a la detección.

F1: Ciclo de trabajo.

F2: Frecuencia de estimulación.

PS: Intensidad de corriente, controla la potencia aplicada al paciente en la estimulación.

A: Control de volumen del dispositivo de detección.

LED1: LED Indicador de frecuencia de detección.

LED2: LED Indicador de frecuencia de estimulación.

R: Reset para contabilizar la estimulación en el nuevo punto.

M: Masa de referencia para la estimulación y detección.

P: Puntal de estimulación y detección.

L1: Salida para visualización de la onda del oscilador detector de punto.

N1: Referencia para la visualización de la onda del oscilador detector de punto.

L2: Salida para visualización de onda china.

N2: Referencia para visualización de onda china.

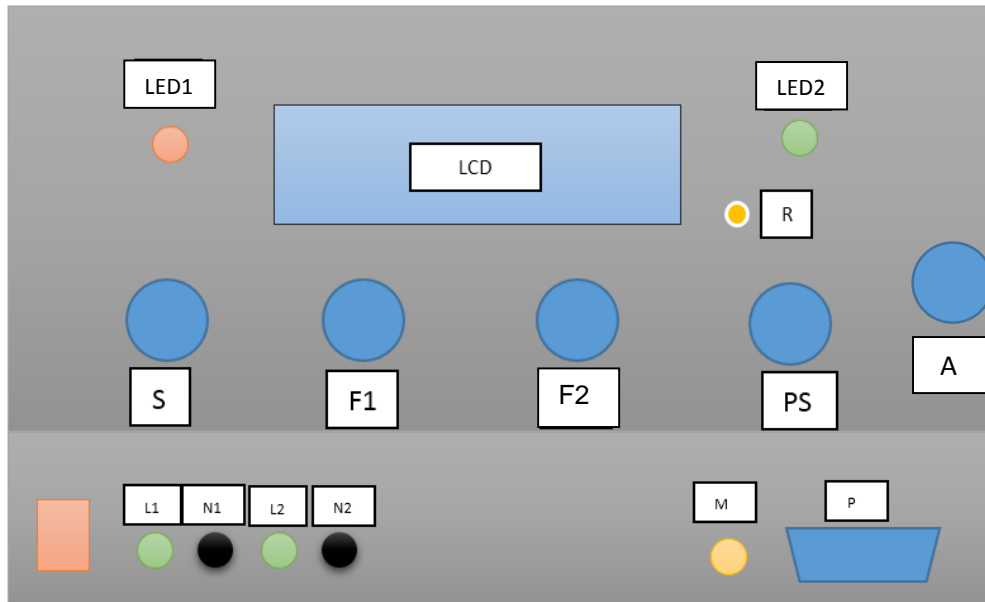


Figura A

Energizado el equipo el usuario puede controlar las perillas de sensibilidad, frecuencia de estimulación, ciclo de trabajo, amplificación de sonido en la detección de puntos y la intensidad de potencia a la salida del puntal.

Además, una vez detectado un punto, se podrá estimular y contabilizar el tiempo de aplicación, visualizando en la LCD.

Nota importante: Se recalca que, para encerrar el tiempo de estimulación de un nuevo punto, se deberá resetear el equipo.

El puntal consta de un conmutador C, el cual permite separar la detección de puntos con la estimulación al paciente.

Para estimular, el usuario deberá presionar el botón B añadido al puntal, asegurando se estimule una vez localizado el punto.



Figura B

ANEXO B

Código de Programación del PIC

```

//FRECUENCIMETRO

// CONEXIONES DE LCD
sbit LCD_RS at RD1_bit;
sbit LCD_EN at RD0_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISD1_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD0_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
// FIN DE CONEXIONES LCD
////////////////////////////////////
// cronometro
sbit Zerar at PORTB.B7;

typedef struct
{

```

```

char minutos;
char segundos;
unsigned mSegundos;
}Cronometro;
Cronometro Crono = {0,0,0};

//1ms
void Timer0_Init()
{
    OPTION_REG = 0x81; //prescaler 1:4
    TMR0 = 6; // (4/clock) * (256 - 6) * 4 = 1ms
    TMR0IE_Bit = 0; //stop
}
////////////////////////////////////
int CONTADOR=0;           // VARIABLES DECLARADAS
int op1=0;
char txt1[] = "Acupuntura";
char txt2[] = "Electronica";
char txt3[] = "Detectando";
char txt4[] = "Punto";
char txt5[] = "Detectado";
char txt6[] = "Estimulando";
char txt7[] = "Frec:";
char txt8[] = "Tiempo ";

void interrupt()         //VECTOR DE INTERRUPCIONES
{

```

```
if (PIR1.TMR1IF==1)
{
CONTADOR++;
PIR1.TMR1IF=0;
}
if( TMR0IF_Bit )
{
TMR0IF_Bit = 0;
TMR0 = 6;

Crono.mSegundos++;
if( Crono.mSegundos >= 1000 )
{
Crono.mSegundos = 0;
Crono.segundos++;
if( Crono.segundos >= 60 )
{
Crono.segundos = 0;
Crono.minutos++;
if( Crono.minutos >= 99 )
{
Crono.minutos = 0;
}
}
}
}
}
```



```

void main()
{
char MUESTRA[8];
int ALTO=25,BAJO=23, FRECUENCIA;
TRISC.B0=1;           //HABILITACION DEL PORTC.B0 COMO
TRISA.B0=1;           //ENTRADA PARA CONTAR PULSOS
ANSEL=0;
ANSELH=0;

Lcd_Init();
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);

Lcd_Out(1,4,txt1);     // Write text in first row
Lcd_Out(2,4,txt2);     // Write text in second row
Delay_ms(2000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);  // Clear display

DELAY_MS(100);
INTCON=0B11000000;    //INTERRUPCIONES GENERALES Y
PERIFERICAS HABILITADAS
PIE1.TMR1IE=1;        //HABILITACIÓN DEL LA
                        //INTERRUPCION DEL TIMER1
PIR1.TMR1IF=0;        //SE COLOCA A CERO LA BANDERA

```

```
//DE INDICACIÓN DEL DESBORDAMIENTO
//DEL TIMER1
```

```
T1CON=0B00000110;           //CONFIGURACIÓN DEL TIMER1
                               //COMO MODO CONTADOR ASINCRÓNICO
                               //Y EN ESTE MOMENTO APAGADO

// CMCON = 7;
Timer0_Init();
while (1)
{

if (PORTA.B0==1)
{
  TMR0IE_Bit =1;
  Lcd_Out(1,4,txt6);
  Lcd_Out(2,1,txt8);
  Lcd_Chr( 2, 8, Crono.minutos/10 + '0' );
  Lcd_Chr_CP( (Crono.minutos%10) + '0' );
  Lcd_Chr_CP(':');
  Lcd_Chr_CP( Crono.segundos/10 + '0' );
  Lcd_Chr_CP( (Crono.segundos%10) + '0' );
  Lcd_Chr_CP(':');
  Lcd_Chr_CP( Crono.mSegundos/100 + '0' );
  Lcd_Chr_CP( (Crono.mSegundos/10%10) + '0' );
  Lcd_Chr_CP( (Crono.mSegundos%10) + '0' );

}
}
```

```

else
{
TMR0IE_Bit =0;
TMR0IF_Bit =0;
TMR0 =6;
TMR1H=0;           //REGISTRO DEL TIMER1 TMR1L Y
                   //TMR1H SE COLOCAN A 0

TMR1L=0;

T1CON.TMR1ON=1;    //SE ENCIENDE EL TIMER1
DELAY_MS(1000);    //TIEMPO NECESARIO PARA
                   //REGISTRAR EL NUMERO DE PULSOS Y ASI
                   //CALCULAR LA FRECUENCIA

T1CON.TMR1ON=0;

ALTO=TMR1H;        //SE GUARDAN EN VARIABLES LOS
                   //VALORES DE LOS REGISTROS TMR1H Y TRM1L

BAJO=TMR1L;

FRECUENCIA=((ALTO*256)+BAJO+(CONTADOR*65536));

INTTOSTR(FRECUENCIA,MUESTRA);

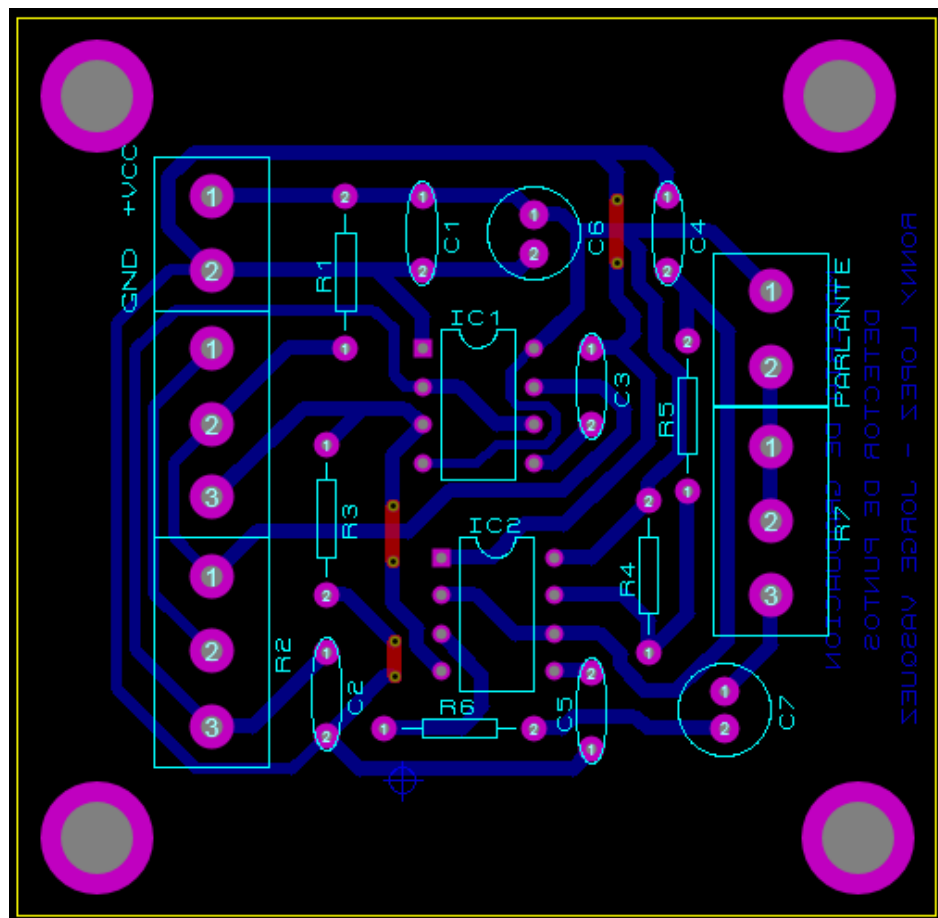
if (FRECUENCIA >= 10)
{
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,5,txt4);
Lcd_Out(2,4,txt5);
//Delay_ms(500);
}
else

```

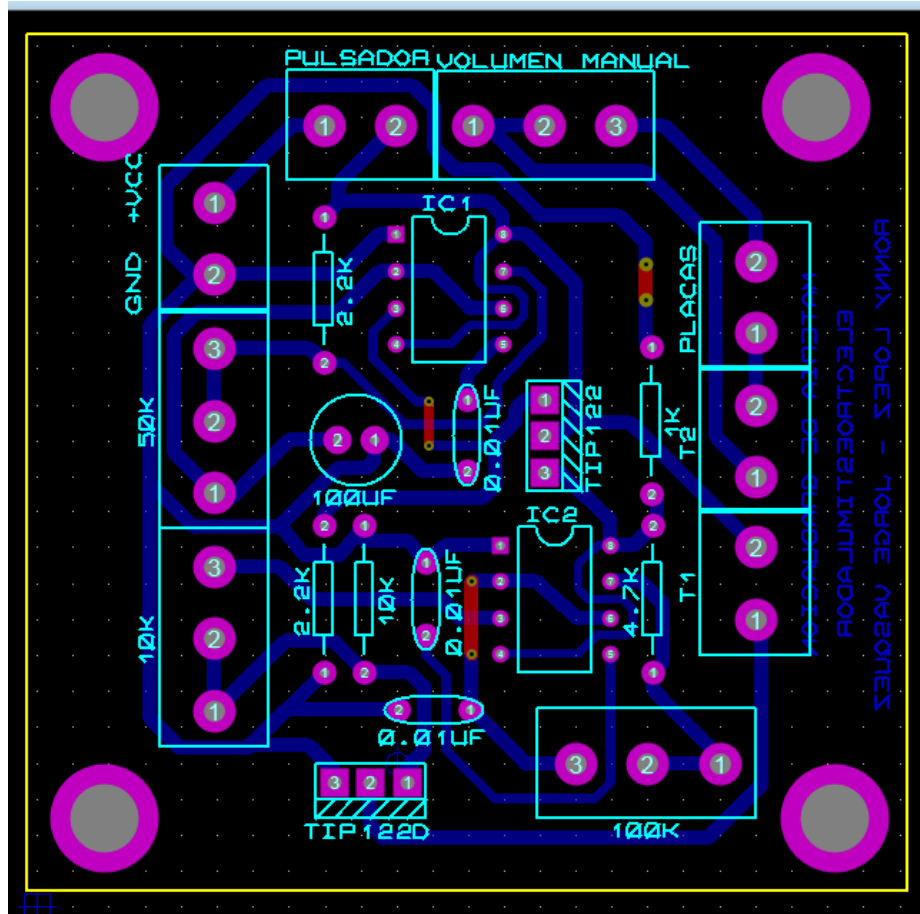
```
{  
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);  
  Lcd_Out(1,4,txt3);  
  Lcd_Out(2,1,txt7);  
  Lcd_Out(2,6,MUESTRA);  
  Lcd_Out_Cp("Hz");  
}  
DELAY_MS(100);  
CONTADOR=0;  
}  
}  
}
```

ANEXO C DISEÑOS DE PCB

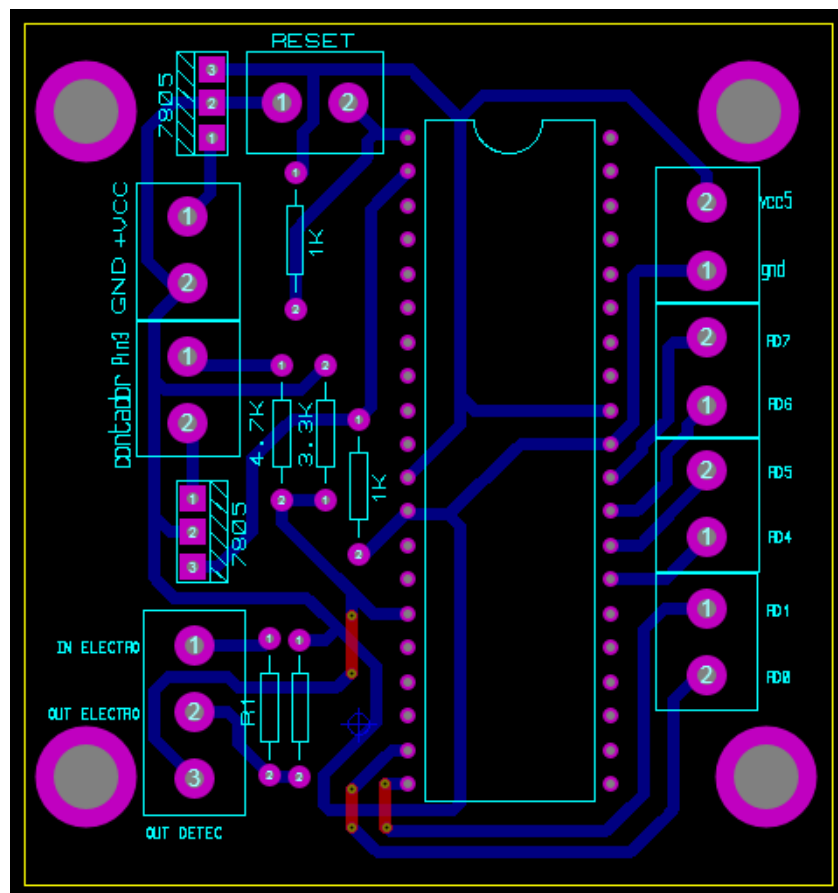
CIRCUITO DETECTOR DE PUNTOS

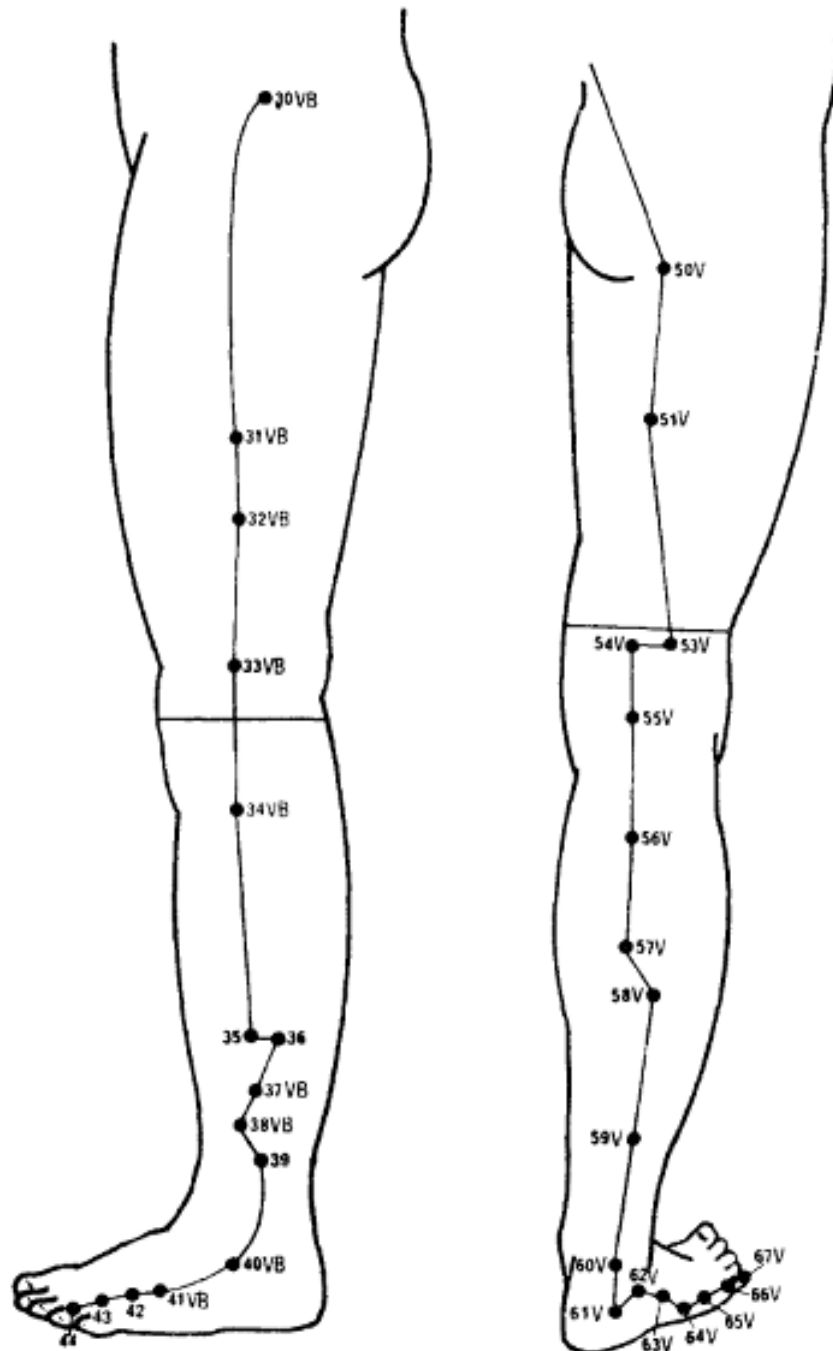


CIRCUITO ESTIMULADOR



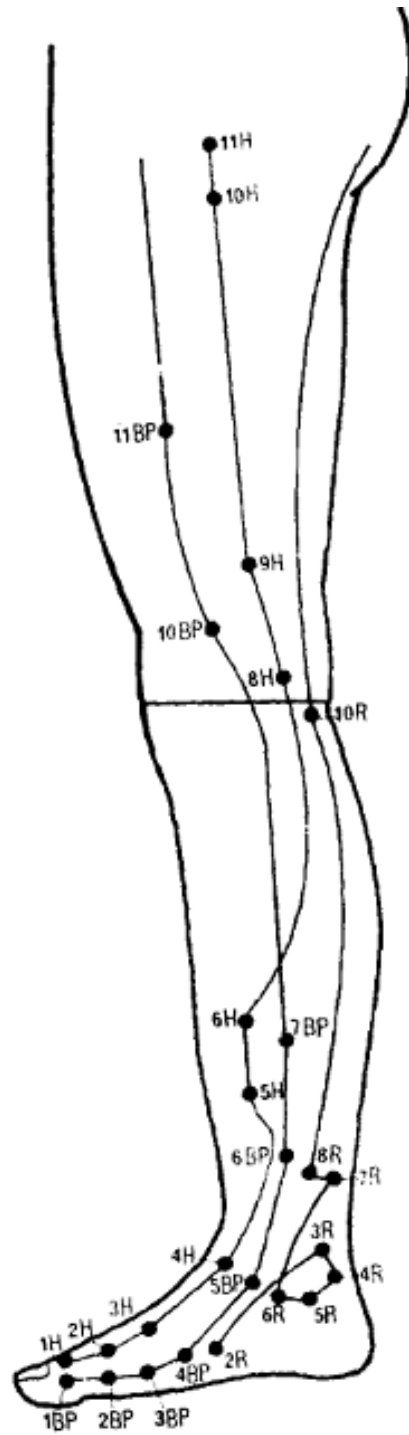
MICROCONTROLADOR



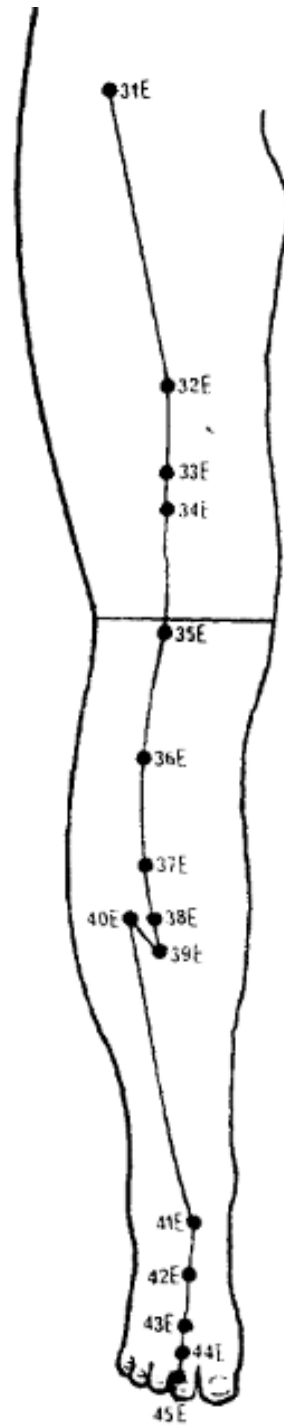


Meridianos de la Vesícula biliar

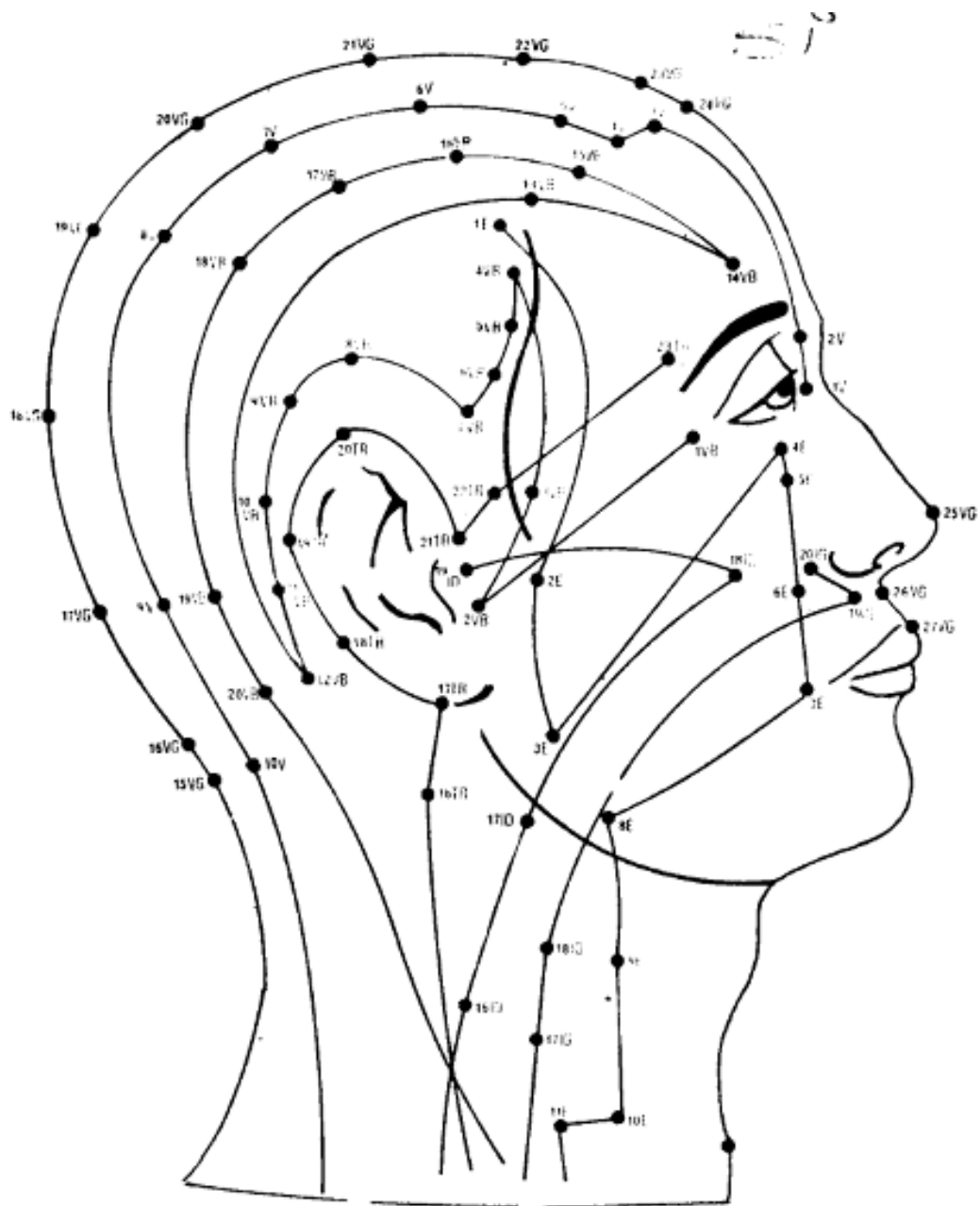
Meridianos de la Vejiga



Meridianos del Hígado, Bazo-Páncreas y Riñón



Meridiano del Estómago



Meridianos IANG

ANEXO E

TIEMPO Y NÚMERO DE SESIONES DE TRATAMIENTO

El tiempo de duración de una sesión se categoriza en:

- Corta duración: Hasta 20 minutos.
- Mediana duración: Desde 20 minutos hasta 2 horas.
- Larga duración: Desde 2 horas en adelante, inclusive días.

El número total de sesiones es variable dependiendo del tipo de tratamiento, se puede utilizar el tiempo necesario, mientras no se presenten complicaciones durante el procedimiento.

En el tratamiento del paciente con dolor crónico, con diez sesiones se puede lograr un eficiente control del dolor, aunque obviamente, deba procederse a reiterar los tratamientos.

La frecuencia de las sesiones depende de la duración de cada aplicación, es decir, sesiones de mediana y larga duración tienen intervalos mayores, mientras que las de corta duración, pueden aplicarse dos veces el mismo día [13].

ANEXO F

HOJA DE DATOS TÉCNICOS



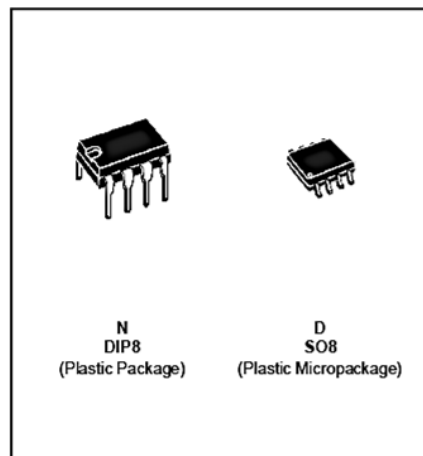
NE555
SA555 - SE555

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

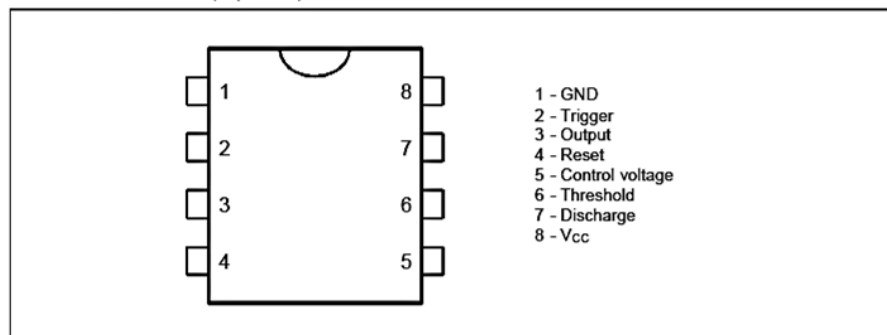
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

PIN CONNECTIONS (top view)



OPERATING CONDITIONS

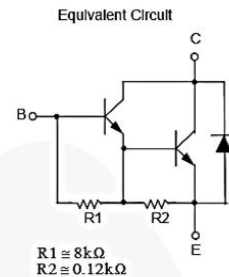
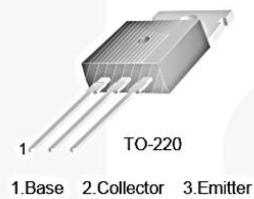
Symbol	Parameter	SE555	NE555 - SA555	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	4.5 to 18	4.5 to 18	V
V _{th} , V _{trig} , V _{ct} , V _{reset}	Maximum Input Voltage	V _{CC}	V _{CC}	V



TIP120 / TIP121 / TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor

Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP125 / TIP126 / TIP127



Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A
I_B	Base Current (DC)	120	mA
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	TIP120	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 0$	60	V
		TIP121		80	
		TIP122		100	
I_{CEO}	Collector Cut-Off Current	TIP120	$V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$	0.5	mA
		TIP121	$V_{CE} = 40\text{ V}, I_B = 0$	0.5	
		TIP122	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_B = 0$	0.5	
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	TIP120	$V_{CB} = 60\text{ V}, I_E = 0$	0.2	mA
		TIP121	$V_{CB} = 80\text{ V}, I_E = 0$	0.2	
		TIP122	$V_{CB} = 100\text{ V}, I_E = 0$	0.2	
I_{EBO}	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = 5\text{ V}, I_C = 0$		2	mA
h_{FE}	DC Current Gain ⁽¹⁾	$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 0.5\text{ A}$	1000		
		$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$	1000		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾	$I_C = 3\text{ A}, I_B = 12\text{ mA}$ $I_C = 5\text{ A}, I_B = 20\text{ mA}$		2.0 4.0	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage ⁽¹⁾	$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$		2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 0.1\text{ MHz}$		200	pF

FIG-4 SMALL-SIGNAL CURRENT GAIN

