



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro  
eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario  
para bovinos”**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de Ingeniero Eléctrico y  
Electrónico**

**P R E S E N T A**

**Carlos Antonio Gutiérrez Sánchez**



**Director de tesis:  
Ing. Gloria Mata Hernández**

**Cd. Universitaria, D. F. 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **Sinodales:**

Ing. Gloria Mata Hernández

M.C.B y M.C.V. Teodomiro Humberto Romero Andrade

Dr. Lázaro Morales Acosta

Ing. Ma. Del Rosario Barragán Paz

Ing. Martín Bárcenas Escobar

## **Dedicatoria:**

Para mi papá Moisés por esforzarse en darnos siempre lo mejor, sus enseñanzas siempre las llevaré en lo más profundo de mi ser.

Para mi mamá Margarita por corregirme cuando lo necesité, por educarnos con el ejemplo y hacer de mi un hombre de bien.

A mis hermanos, Diego y Jonathan, quienes han sido un ejemplo a seguir por su perseverancia en alcanzar sus metas y regañándome cuando me he equivocado, siempre han sido un pilar importante en la familia, ahora que no están aquí con nosotros sigo aprendiendo de ustedes.

A mis amigos, que los veo más como hermanos honoris causa, Adriana, Carlos A (Roque), Carlos A (Marín).

A mi novia Lore, que nos conocimos hace más de diez años y el día de hoy es muy importante para mí.

A mis amigos de UNICA y del CDD de los que aprendí que la vida no solo es conocimiento, también es recreación, compañerismo y camaradería.

한국어 수업에 공부하는 친구들이 고마워요.

A mis amigos que he tenido a lo largo de mi vida, a todos y cada uno de ustedes los llevo en un lugar especial.

A la unidad de servicios de cómputo académico UNICA por ser parte fundamental en mi formación como profesional.

Al centro de docencia CDD por permitirme forjar experiencias únicas.

A la Facultad de Ingeniería y sus profesores altamente preparados, por darme las herramientas necesarias para enfrentar los retos laborales que se me presenten.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi segundo hogar.

## ***Agradecimientos:***

**Trabajo de tesis realizado gracias al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME), proyecto PE-204611: *Diseño de una estrategia didáctica para el mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje del área de bovinos productores de carne.***

**Agradezco infinitamente el apoyo de la UNAM por la beca recibida.**

*Agradezco de una manera especial a mis sinodales por tomarse el tiempo de retroalimentar éste trabajo de tesis: Ing. Gloria Mata Hernández, Dr. Lázaro Morales Acosta, Ing. Ma. Del Rosario Barragán Paz, Ing. Martín Bárcenas Escobar; y a mis asesores de veterinaria: M.C.B y M.C.V. Teodomiro Humberto Romero Andrade y M.V.Z. Juan Ignacio Pérez Espíritu.*

# Contenido

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Contenido.....                                                                           | 7  |
| Índice de tablas .....                                                                   | 8  |
| Índice de ilustraciones.....                                                             | 8  |
| Prólogo.....                                                                             | 1  |
| Objetivo.....                                                                            | 2  |
| Introducción.....                                                                        | 3  |
| Capítulo 1: Seguridad biomédica .....                                                    | 4  |
| 1.1 Características del diseño.....                                                      | 8  |
| Capítulo 2. Diseño, desarrollo e implementación del prototipo .....                      | 10 |
| 2.1 Diseño.....                                                                          | 10 |
| 2.1.1 Módulo de recarga de batería:.....                                                 | 11 |
| 2.1.2 Módulo indicador de carga de la batería:.....                                      | 12 |
| 2.1.3 Módulo de la fuente de poder .....                                                 | 13 |
| 2.1.4 Módulo de generación de pulsos y control I/O.....                                  | 14 |
| 2.1.5 Módulo acondicionador de señal .....                                               | 28 |
| Tarjetas de circuito impreso.....                                                        | 33 |
| Capítulo 3. Pruebas de los prototipos de electro inmovilizador y electro eyaculador..... | 44 |
| 3.1 Pruebas del prototipo.....                                                           | 44 |
| 3.2 Pruebas en animales .....                                                            | 49 |
| 3.2.1 Inmovilizador: .....                                                               | 52 |
| 3.2.2 Eyaculador:.....                                                                   | 58 |
| Conclusiones.....                                                                        | 66 |
| Glosario, términos y abreviaturas.....                                                   | 68 |
| Bibliografía .....                                                                       | 69 |
| Apéndice A: Manual de usuario del prototipo.....                                         | 71 |
| Apéndice B: LM317.....                                                                   | 77 |
| Apéndice C: LM3914.....                                                                  | 81 |
| Apéndice D: LM7805.....                                                                  | 85 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 - Efectos físicos provocados por el paso de corriente eléctrica en un segundo de contacto externo por el cuerpo humano [3] ..... | 5  |
| Tabla 2 - Señal eléctrica de corriente constante y frecuencia variable [7] .....                                                         | 7  |
| Tabla 3 - Valores nominales de recarga de batería SLA.....                                                                               | 11 |
| Tabla 4 - Configuración de los pines del microcontrolador PIC utilizado en el prototipo .....                                            | 15 |
| Tabla 5 - Comparación de datos registrados por el equipo y datos teóricos.....                                                           | 45 |
| Tabla 6 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 1.....                                   | 52 |
| Tabla 7 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 2.....                                   | 55 |
| Tabla 8 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 3.....                                   | 57 |
| Tabla 9 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 1.....                                   | 59 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 - Frecuencia variable y corriente RMS [4].....                                                                          | 7  |
| Ilustración 2 – Posible flujo de corriente eléctrica que atraviesa al bovino al conectarle el prototipo.....                          | 8  |
| Ilustración 3 – Posible flujo de corriente eléctrica que atraviesa al bovino al conectarle el prototipo con tierra independiente..... | 8  |
| Ilustración 4 - Diagrama de bloques del prototipo .....                                                                               | 10 |
| Ilustración 5 - Cargador de batería SLA 12 [v]. .....                                                                                 | 11 |
| Ilustración 6- Circuito eléctrico implementado con base en la hoja de especificaciones del circuito integrado LM3914.....             | 12 |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 7 – Fuente de voltaje implementado con base en la hoja de especificaciones del circuito integrado LM7805. ....                                      | 13 |
| Ilustración 8 - Circuito electrónico base para el desarrollo del prototipo. ....                                                                                | 17 |
| Ilustración 9 – Gráfica descriptiva de las variables en un tren de pulsos con ciclo de trabajo al 60% .....                                                     | 19 |
| Ilustración 10 - Tren de pulsos con ciclo de trabajo al 80% .....                                                                                               | 20 |
| Ilustración 11 – Tren de pulsos con ciclo de trabajo al 10% .....                                                                                               | 21 |
| Ilustración 12 - Diagrama de flujo del software del prototipo.....                                                                                              | 22 |
| Ilustración 13 - Diagrama de flujo para el uso de un botón .....                                                                                                | 24 |
| Ilustración 14 - Diagrama de flujo del control PWM del microcontrolador .....                                                                                   | 27 |
| Ilustración 15 - Circuito eléctrico a utilizar para acondicionar la señal PWM del microcontrolador a los electrodos.....                                        | 29 |
| Ilustración 16 - Circuito eléctrico equivalente al MOSFET como interruptor .....                                                                                | 30 |
| Ilustración 17 - Circuito electrónico completo del prototipo .....                                                                                              | 32 |
| Ilustración 18 - Tarjeta de circuito impreso. ....                                                                                                              | 33 |
| Ilustración 19 - Vista superior de la tarjeta de circuito impreso, lado de la serigrafía .....                                                                  | 34 |
| Ilustración 20 - Simulación de la tarjeta de circuito impreso del microcontrolador con los componentes eléctricos colocados .....                               | 34 |
| Ilustración 21 - Tarjeta de circuito impreso de la placa de los LEDs frontales .....                                                                            | 35 |
| Ilustración 22 - Simulación de la tarjeta de circuito impreso de los LEDs frontales. De derecha a izquierda: Cargando, Encendido, Activo y alerta. ....         | 35 |
| Ilustración 23 - Tarjeta de circuito impreso con los módulos acondicionador de señal, limitador de corriente y salida para los electrodos.....                  | 35 |
| Ilustración 24 - Simulación de la tarjeta de circuito impreso con los módulos acondicionador de señal, limitador de corriente y salida para los electrodos..... | 36 |
| Ilustración 25 - Transferencia del diseño de la tarjeta de circuito impreso a la placa fenólica .....                                                           | 36 |
| Ilustración 26 – Fotografía del circuito impreso después del ataque químico .....                                                                               | 37 |
| Ilustración 27 – Fotografía de la placa fenólica con componentes colocados.....                                                                                 | 37 |

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 28 - Tarjeta de circuito impreso de la placa del cargador de batería SLA 12 [V] y estado de la carga .....            | 38 |
| Ilustración 29 – Simulación tarjeta de circuito impreso de la placa del cargador de batería SLA 12 [v] y estado de la carga ..... | 38 |
| Ilustración 30 – Fotografía de la carcasa hecha de acrílico para el prototipo .....                                               | 39 |
| Ilustración 31 - Colocación de componentes y partes electrónicas en la carcasa de acrílico .....                                  | 39 |
| Ilustración 32 - Colocación de cables dentro de la carcasa de acrílico .....                                                      | 40 |
| Ilustración 33 – Fotografía del prototipo .....                                                                                   | 40 |
| Ilustración 34 - Vista frontal del prototipo .....                                                                                | 41 |
| Ilustración 35 - Vista superior del prototipo .....                                                                               | 41 |
| Ilustración 36 - Vista superior del prototipo .....                                                                               | 42 |
| Ilustración 37 - Vista trasera del prototipo, con conexión del cable tomacorriente e indicador de carga de la batería .....       | 42 |
| Ilustración 38 - Vista frontal del prototipo final.....                                                                           | 43 |
| Ilustración 39 - Prototipo en funcionamiento .....                                                                                | 43 |
| Ilustración 40 - Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 0 % .....                                                           | 46 |
| Ilustración 41 - Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 10 % .....                                                          | 47 |
| Ilustración 42- Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 25 % .....                                                           | 47 |
| Ilustración 43- Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 50 % .....                                                           | 48 |
| Ilustración 44- Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 75 % .....                                                           | 48 |
| Ilustración 45 - Prensa ganadera utilizada en un bovino adulto .....                                                              | 49 |
| Ilustración 46 - Auscultación y retiro de excremento en el bovino.....                                                            | 50 |
| Ilustración 47 - Resultados de la primera prueba realizada y parámetros observados.....                                           | 53 |
| Ilustración 48 - Resultados de la segunda prueba realizada y parámetros observados.....                                           | 55 |
| Ilustración 49 - Resultados de la tercera prueba realizada y parámetros observados.....                                           | 57 |
| Ilustración 50 - Ejemplificación del tren de pulsos utilizado para la prueba .....                                                | 60 |

## **PRÓLOGO**

El desarrollo de equipo electrónico de uso veterinario en México ha tenido pocos avances en los últimos años, principalmente en el equipo especializado para el cuidado del ganado, como el electro inmovilizador y el electro eyaculador.

El Electro Inmovilizador (EI) es un equipo auxiliar veterinario para inmovilizar un animal por medio de un generador de pulsos eléctricos controlados conectado al animal a través de un electrodo introducido vía rectal que ocasiona una tetanización de los músculos cercanos a la columna vertebral, bloqueando en su mayoría los estímulos sensoriales que viajan a través de la espina dorsal hacia el cerebro.

Este tipo de equipo es recomendado para reducir el estrés del animal al momento de una cirugía menor, como castrar, herrar, una curación en la ubre, la disminución de los cuernos, entre otras. Con esto, al estar menos estresado el animal, el veterinario tiene un menor riesgo de sufrir una lesión como consecuencia de algún movimiento brusco e imprevisto del animal.

El Electro Eyaculador (EE) es un equipo auxiliar veterinario para animales que por condiciones de edad, peso, anatomía o salud, se les dificulta la monta de la hembra, por lo que se procede a un método auxiliar que consta de introducir un electrodo vía rectal conectado a un generador de pulsos eléctricos controlados que estimula la próstata del macho bovino para estimular el proceso de eyaculación.

El problema que existe en estos equipos es el alto costo que implica la adquisición de cada uno de éstos, siendo los más económicos en el mercado un costo fuera del alcance de los veterinarios.

Un problema que existe en los equipos comerciales es el elevado costo de adquisición que implica obtener cada uno de ellos, por lo que no siempre es un equipo disponible en el campo laboral. Es por ello que se ha ideado un prototipo que cumpla con las características necesarias para la electroestimulación en los bovinos y que además sea accesible económicamente.

Ésta tesis está estructurada en cuatro capítulos que abarcan desde la introducción a los conceptos de electroestimulación, el diseño y desarrollo del prototipo, las

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

pruebas del equipo y los resultados obtenidos. Siendo el capítulo 1 la introducción a los conceptos empleados para el desarrollo, explicando los antecedentes de la electroestimulación en general y los conceptos de seguridad biomédica para obtener las características del diseño del prototipo. En el capítulo 2 se explica la arquitectura implementada en el circuito eléctrico, la cual está dividida en cinco módulos que al integrarse sirve de base para lograr la electroestimulación en el animal, así mismo, se muestran los diseños de las tarjetas de circuito impreso utilizado. En el capítulo 3 se realizan las pruebas de laboratorio al prototipo para verificar que los parámetros de seguridad biomédica se cumplan, posteriormente, se procede a realizar las pruebas de campo utilizando éste prototipo en los bovinos. Estas pruebas están divididas en las pruebas del electro inmovilizador y en las pruebas del electro eyaculador. En el capítulo 4 se explica el resultado obtenido del trabajo de tesis y las conclusiones. Por último, se incluye un glosario de términos y abreviaturas, la bibliografía consultada y el manual de usuario que explica cómo usar el prototipo.

### **OBJETIVO**

El objetivo de éste trabajo de tesis es diseñar, desarrollar e implementar un prototipo que sirva como base para la electro estimulación de uso veterinario.

De manera específica tendrá la posibilidad de contener lo necesario para lograr la electro inmovilización y la electro eyaculación.

## **INTRODUCCIÓN**

El sistema nervioso está compuesto por una red de ramificaciones nerviosas las cuales son encargadas de mantener comunicado al cuerpo. El cerebro tiene la función de procesar la información proveniente del cuerpo para dar una respuesta adecuada a cada uno de los estímulos.

Existen técnicas invasivas y no invasivas para generar estímulos en el sistema nervioso y así conseguir una respuesta deseada en alguna parte del cuerpo.

La electroestimulación en el sistema nervioso consiste en generar una serie de pulsos eléctricos enviados al sistema motor, el cual produce potenciales de acción en el nervio y músculo que son indistinguibles de los generados por la acción natural del sistema nervioso, logrando conseguir un movimiento natural del músculo y nervio y consiguiendo la respuesta deseada.

El principio de la electroestimulación consiste en generar corrientes excitomotrices, las cuales son corrientes eléctricas con la característica de lograr un estímulo en el nervio o músculo, a una frecuencia de tetanización y moduladas en forma de tren de pulsos que provocan la contracción en el músculo por estimulación directa e indirecta, con el fin de obtener una respuesta de contracción semejante a la contracción fisiológica normal. Con esto, se logra las respuestas para generar la inmovilidad del animal.

El Electro-Inmovilizador usa un electrodo que se coloca vía rectal en el bovino, estando cerca de las terminales nerviosas de la zona sacro, que produce una saturación de las señales nerviosas en el animal, activando un mecanismo de defensa que bloquea las señales nerviosas de la parte sacra del animal y deja de procesar los estímulos provenientes del sistema nervioso periférico.

El Electro-Eyaculador usa un electrodo que se coloca vía rectal en el macho bovino, estando las terminales de contacto del electrodo cerca de la próstata. Al estar activo el equipo, crea una serie de estímulos en la zona aledaña a la próstata que consigue una serie de contracciones y relajaciones, logrando la estimulación del aparato reproductor y contribuyendo a la descarga del fluido seminal.

## **CAPÍTULO 1: SEGURIDAD BIOMÉDICA**

Para la obtención de un estímulo fisiológico a partir de la corriente eléctrica es necesario que el cuerpo forme parte del circuito. Si la superficie de contacto del electrodo no hace contacto con la superficie del cuerpo debido a una mala colocación del mismo o por condiciones fisiológicas propias de la zona de contacto del animal, el circuito eléctrico estará abierto y no habrá un flujo de corriente eléctrica, por lo que el estímulo deseado no se producirá.

La magnitud de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la relación entre el voltaje y la resistencia eléctrica del tejido, comprobando que la ley de ohm también se cumple en tejido vivo. El cuerpo del animal está formado, entre otros elementos, por agua, convirtiéndolo en un buen conductor eléctrico. La parte del tejido localizado entre los electrodos forma un volumen homogéneo capaz de conducir electricidad.

El efecto que produce la corriente en el cuerpo animal varía dependiendo de diversos factores. Entre los principales efectos se encuentran los siguientes:

- La cantidad de corriente eléctrica que atraviesa el mismo.
- La frecuencia en la señal de la corriente eléctrica.
- La duración de la señal.
- La masa corporal del animal.
- Las características específicas en el punto de contacto entre el animal y el electrodo.

Los efectos fisiológicos producidos por el paso de corriente a través del cuerpo son distintos entre cada animal, por lo que no se deben considerar la mismas condiciones entre animales.

Los efectos fisiológicos que puede producir la corriente varía dependiendo de los factores previamente descritos, siendo estos efectos desde la estimulación de tejidos excitables como nervios y músculos, la contracción involuntaria del nervio y músculo, dolor y cansancio sin actividad física aparente, y, en sus consecuencias más graves, logra la inconsciencia del animal y la fibrilación cardiaca.

Los efectos físicos que puede producir la aplicación de corriente eléctrica excesiva van desde el enrojecimiento de la piel o daño en el tejido, debido al calentamiento

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

resistivo en el electrodo hasta la quemadura electroquímica por corriente directa. Otro efecto físico que puede producir el paso de corriente eléctrica por el animal son los accidentes producidos por la contracción involuntaria del músculo, por ejemplo, la caída del animal por una estimulación excesiva.

Los efectos dependientes de la intensidad de corriente eléctrica que pasa por el cuerpo han sido ampliamente estudiados aunque siempre siendo dependiente de las condiciones fisiológicas del animal para la obtención de parámetros específicos.

Los efectos logrados dependen de la intensidad de corriente eléctrica aplicada, por lo que se muestra en la tabla 1 los rangos de intensidad y su posible consecuencia.

**Tabla 1 - Efectos físicos provocados por el paso de corriente eléctrica en un segundo de contacto externo por el cuerpo humano [3]**

| <b>Intensidad de Corriente [mA]</b> | <b>Consecuencia</b>                                                                                             |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.5                                 | Umbral de percepción de la corriente eléctrica en el cuerpo.                                                    |
| 5                                   | Corriente máxima aceptada en cuestiones de seguridad.                                                           |
| 10 ( $\pm$ 2)                       | Corriente de retiro ('Let go current')*                                                                         |
| 18 – 22                             | Posible daño físico<br>Dolor<br>Fatiga                                                                          |
| 100                                 | Posible fibrilación ventricular                                                                                 |
| >1 000                              | Contracción sostenida del músculo                                                                               |
| >3 000                              | Contracción sostenida del miocardio (seguida de un ritmo cardiaco estable si la corriente es removida a tiempo) |
| >10 000                             | Quemadura severa y daño físico considerable.                                                                    |

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Es importante conocer el método por el que fue producido el estudio anterior debido a que si se modifica éstas condiciones, las consecuencias resultantes podrían variar, por ejemplo, si una corriente eléctrica atraviesa de un punto a otro sin que se interpongan órganos vitales, como el corazón, éste no se vería estimulado, por lo que la zona donde la corriente eléctrica atravesase podría soportar una intensidad mayor a los 400 [mA] sin producir fibrilación ventricular.

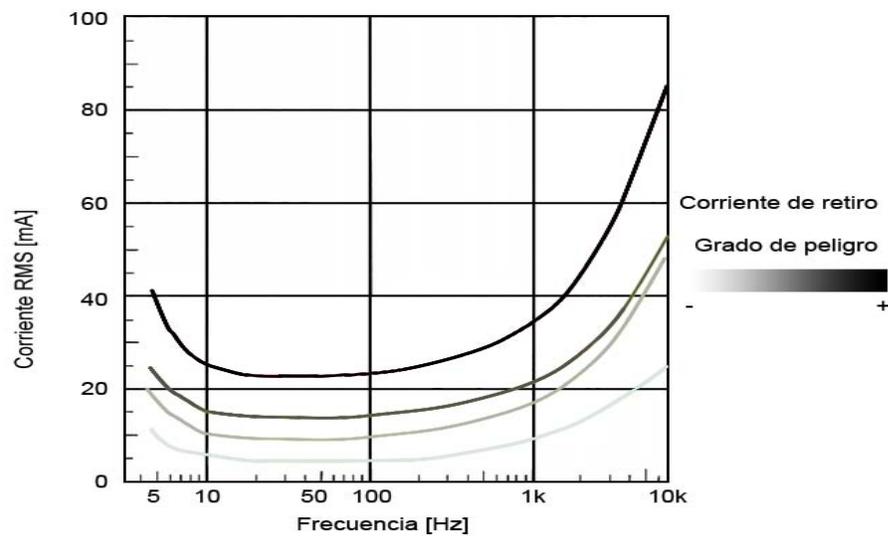
Principalmente, la corriente eléctrica puede afectar de dos diferentes maneras: Primero, la energía disipada a través de la resistencia puede causar un aumento de la temperatura. Si es mucha la energía disipada puede ocasionar quemaduras en los puntos de contacto. Segundo, la transmisión de pulsos a través del sistema nervioso involucra reacciones electroquímicas en el organismo, por lo que puede provocar una reacción en el sistema motor y lograr la tetanización de un músculo. Si el estímulo está presente por un tiempo prolongado, puede producir la máxima contracción posible por el músculo y causar fatiga.

Otro de los parámetros que influyen en la variación de la intensidad de corriente con el estímulo producido es la frecuencia de la señal. Siendo éste parámetro de gran importancia debido a que si se aplica una señal de corriente eléctrica de 10 [mA] a diferentes frecuencias se obtiene un estímulo diferente para cada una de las mismas.

Para evitar los riesgos en el animal o en el operador del prototipo se consideran parámetros de seguridad en el prototipo que reduzcan al mínimo las consecuencias de sufrir un daño directo o indirecto producto de corrientes eléctricas o estímulos no deseados.

La gráfica de la ilustración 1 muestra la relación entre la corriente de retiro (Let go current) con la frecuencia de la señal.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**



**Ilustración 1 - Frecuencia variable y corriente RMS [4]**

Al mantener la intensidad de corriente constante y variar la frecuencia de la señal, se obtiene la tabla 2.

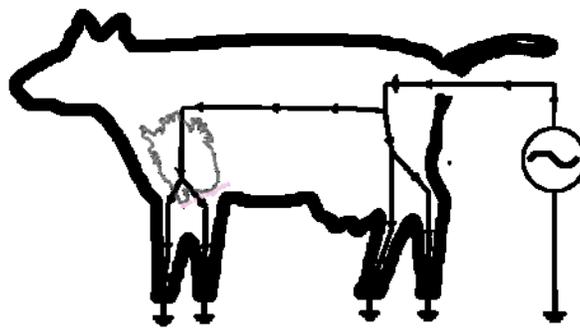
**Tabla 2 - Señal eléctrica de corriente constante y frecuencia variable [7]**

| Frecuencia [Hz] | Estimulo                                                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2 – 4           | Efecto relajante en el músculo excitado                                         |
| 4 – 8           | Efecto relajante intenso y segregación de endorfinas                            |
| 8 – 12          | Elevación de trefismo                                                           |
| 12 – 40         | Excitación de las fibras lentas (Tipo I)                                        |
| 40 – 60         | Excitación de fibras musculares intermedias y rápidas (Tipo IIa y IIb)          |
| 60 – 80         | Excitación de las fibras musculares rápidas (Tipo IIb)                          |
| 80 – 120        | Trabajo de fibras musculares rápidas, produce agotamiento físico y psicológico. |

## **1.1 CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO**

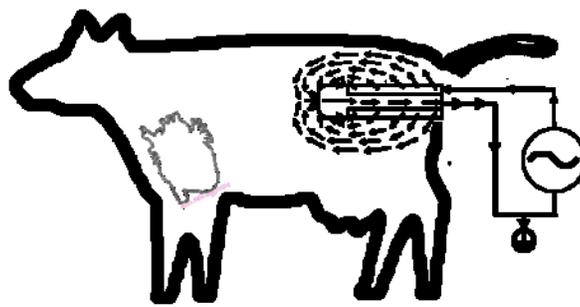
En el diseño del prototipo, un aspecto importante a considerar es el uso de una tierra eléctrica independiente.

Si no se aísla al animal y el prototipo, la corriente aplicada podría pasar por órganos vitales del animal y posiblemente obtener resultados no deseados, como la fibrilación ventricular, si es que ésta corriente eléctrica pasa por el corazón.



*Ilustración 2 – Posible flujo de corriente eléctrica que atraviesa al bovino al conectarle el prototipo.*

Para evitar esta consecuencia que podría resultar letal para el animal, el equipo debe contar con una tierra independiente, con lo cual se logra que el estímulo eléctrico solo tenga un posible camino para cerrar el circuito.



*Ilustración 3 – Posible flujo de corriente eléctrica que atraviesa al bovino al conectarle el prototipo con tierra independiente.*

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Otro parámetro que se debe controlar en el diseño del prototipo es la corriente eléctrica máxima que podrá suministrarse al animal, teniendo en cuenta los estímulos que se requieren obtener y evitando al máximo las consecuencias de daño permanente al animal. Al mismo tiempo, cada animal actúa diferente al mismo estímulo eléctrico, por lo que debe tener adaptabilidad para lograr abarcar la mayor parte de las muestras.

El prototipo utiliza estímulos eléctricos en forma de tren de pulsos, por lo que la frecuencia de la señal debe cumplir con los criterios explicados, para lograr la mayor eficacia al momento del estímulo eléctrico.

El prototipo debe contener un sistema de alerta que funcione como indicador de parámetros no deseados hacia el usuario, alguno de ellos serán los indicadores de batería baja, equipo activo y tiempo de uso superior a cinco minutos. Este sistema deberá de contener elementos sensoriales fáciles de detectar, como sonido o luz, de tal manera que el operador tenga facilidad de detectarlos y corregir el posible error.

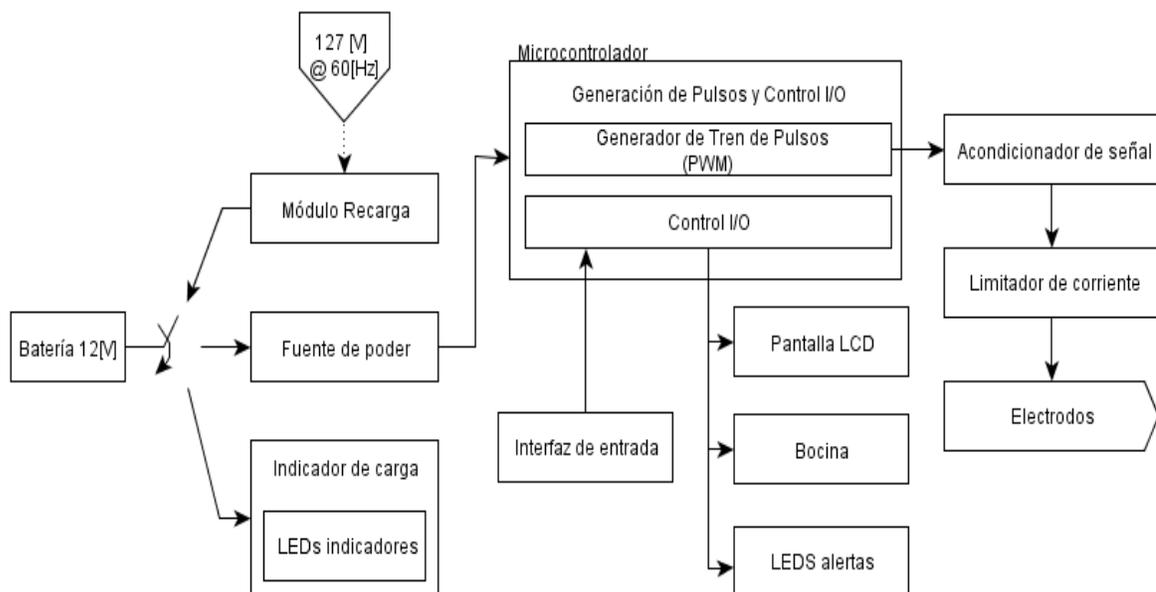
## **CAPÍTULO 2. DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO**

### **2.1 DISEÑO**

Para cumplir con el objetivo de la tesis, es necesario tomar en cuenta las condiciones descritas anteriormente. Para ello, el diseño del equipo se dividirá en módulos para hacer cumplir objetivos específicos.

La razón por la cual se opta por el diseño modular es por la facilidad que se tiene en el momento en que se requiere de verificar si está cumpliendo con el objetivo del mismo. Al estar por separado se facilita el diseño del prototipo.

El diagrama de bloques del prototipo se muestra a continuación:



**Ilustración 4 - Diagrama de bloques del prototipo**

Basado en la arquitectura del diagrama de bloques de la ilustración 4, se procede a diseñar los diferentes bloques que conforma el prototipo.

### 2.1.1 MÓDULO DE RECARGA DE BATERÍA:

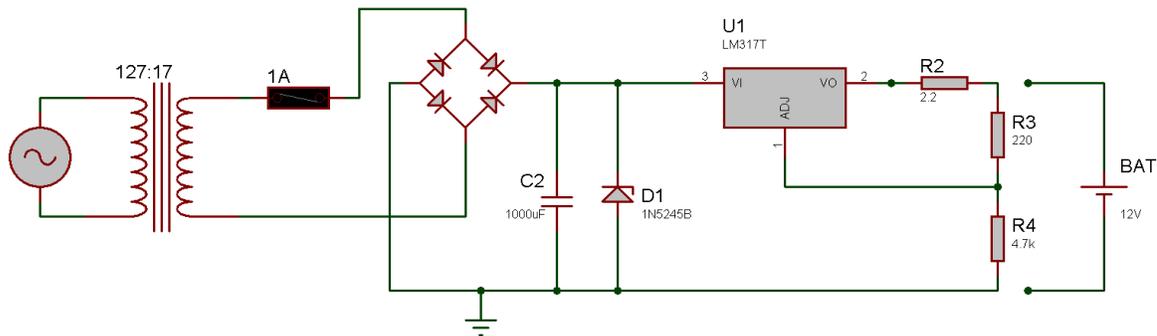
Se utiliza una batería recargable del tipo ácido de plomo (SLA battery), la cual una de sus ventajas es la facilidad que se tiene de conseguir un repuesto y una instalación rápida en caso de un reemplazo. El módulo de recarga de batería está diseñado para una recarga continua, usando un contacto común.

Para recargar este tipo de baterías es necesario regular la tensión y la corriente suministrada, con lo cual, el diseño debe de tener diferentes etapas.

Las baterías SLA comunes tienen dos estados para recargar, los cuales son recarga en reposo y recarga en uso. Esta información se puede encontrar grabada en la misma batería o en la hoja de especificaciones del fabricante.

*Tabla 3 - Valores nominales de recarga de batería SLA*

| Aplicación            | Voltaje [V]      | Corriente [mA] |
|-----------------------|------------------|----------------|
| En reposo (Sin carga) | 13.5 a 13.8 C.D. | Sin limite     |
| En uso                | 14.4 a 15.0 C.D. | 400            |



*Ilustración 5 - Cargador de batería SLA 12 [v].*

La función del circuito de la ilustración 5 es la de disminuir la amplitud del voltaje suministrado por un contacto común de 127 [V] (RMS) a 17 [V] (RMS), se agrega un fusible de protección, se rectifica la señal, se filtra y se estabiliza a 15 [V] C.D. Esta señal se suministra al circuito integrado LM317 para proporcionar una señal

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

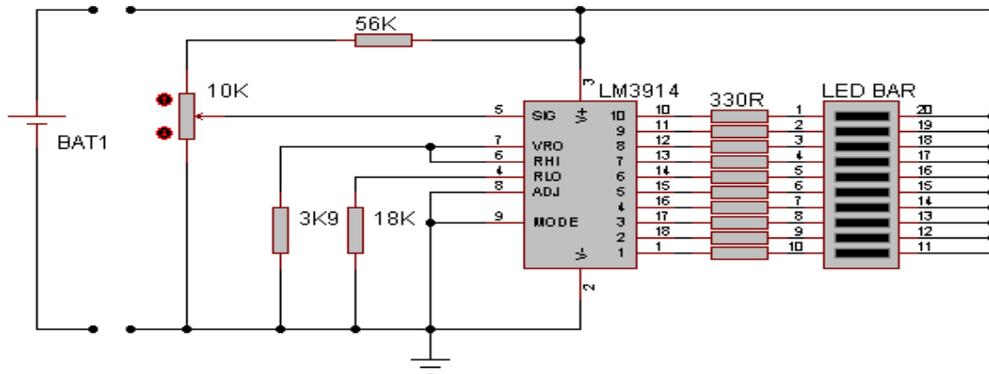
regulada en voltaje y corriente para la recarga de la batería SLA, implementando el circuito eléctrico proporcionado por la hoja de especificaciones del fabricante el cual se puede revisar en el Apéndice B.

Al implementar el circuito de la ilustración 5 se logra la carga completa de la batería SLA al entrar en un estado flotante, el cual consiste en mantener la carga al 100% desactivando el circuito cuando la batería llega al 100% y activando nuevamente cuando el estado de la carga disminuye.

### 2.1.2 MÓDULO INDICADOR DE CARGA DE LA BATERÍA:

En un circuito aislado, para mostrar el estado de la carga que tiene la batería en tiempo real se utiliza el circuito integrado LM3914, el cual está compuesto por una serie de amplificadores operacionales en configuración de comparador conectados en cascada, con lo cual, este circuito integrado hace la función de un comparador de voltaje. A la salida de este circuito integrado se conecta una tira de LEDs la cual muestra visualmente el resultado de la carga. Si prende un LED, significa que tiene el 10% de carga, si prenden dos LEDs significa que tiene el 20% de carga y sucesivamente con los 10 LEDs.

La hoja de especificaciones del circuito integrado LM3914 se puede revisar en el Apéndice C.



**Ilustración 6-** Circuito eléctrico implementado con base en la hoja de especificaciones del circuito integrado LM3914.

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

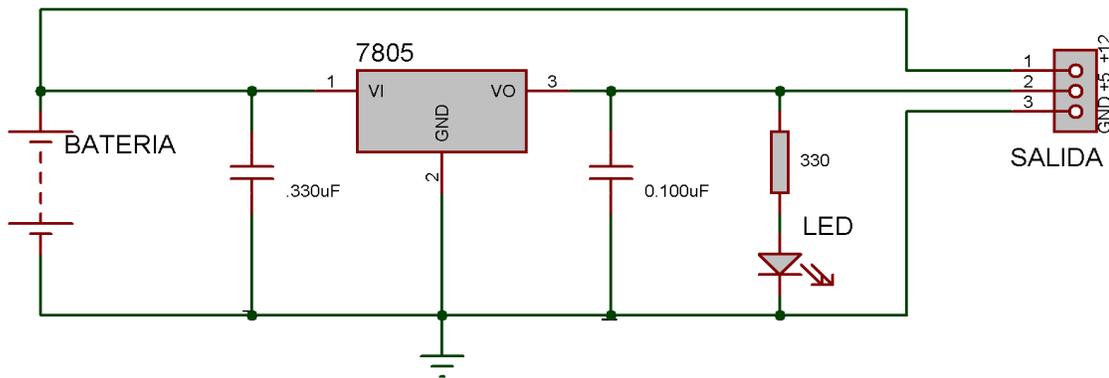
---

Con los circuitos eléctricos de la ilustración 5 y 6 se logra el control de la batería SLA que alimenta el prototipo. Mientras que un circuito eléctrico se encarga de recargar la batería, el otro circuito se encarga de mostrar visualmente el estado de la misma.

### 2.1.3 MÓDULO DE LA FUENTE DE PODER

Para poder conectar el módulo de generación de pulsos y control de entrada/salida, es necesario tener un voltaje de 5 [V] C.D., por lo cual se procede a realizar una fuente de voltaje utilizando la batería SLA a 12 [V] como voltaje de entrada en un circuito regulador de voltaje implementando el diseño proporcionado por la hoja de especificaciones del circuito integrado LM7805 y añadiendo el indicador de encendido.

La hoja de especificaciones del circuito integrado LM7805 se puede revisar en el Apéndice D.



*Ilustración 7 – Fuente de voltaje implementado con base en la hoja de especificaciones del circuito integrado LM7805.*

La función del circuito eléctrico de la ilustración 7 es regular el voltaje de la batería SLA a un voltaje de 5 [V] C.D., apto para el microcontrolador y la pantalla LCD, además de tener un indicador luminoso de encendido del prototipo.

### **2.1.4 MÓDULO DE GENERACIÓN DE PULSOS Y CONTROL I/O**

Para el desarrollo del prototipo se utiliza un microcontrolador de la familia PIC16F de la empresa Microchip Technology®, el microcontrolador PIC16F887®.

Entre las características principales de este microcontrolador, por la cual se decide utilizar en el desarrollo del equipo, está la facilidad de implementación, ya que al ser un circuito integrado que contiene pocas instrucciones lógicas facilita la programación del mismo. Otra característica es la precisión con la que maneja el procesamiento de datos y el bajo consumo de potencia.

Las características a utilizar del PIC16F son:

- Velocidad de reloj a 20 [MHz].
- Voltaje de operación a 5 [V].
- Capacidad de interrupción en las instrucciones.
- Reset por Brown-Out (por bajo voltaje de alimentación).
- Bajo consumo de potencia (220 [µA] @ 5 [V] en modo Stand By o Suspendido).
- Alta corriente de salida en sus terminales.
- ICSP (In Circuit Serial Programmer).

Estas características del microprocesador facilita el desarrollo del prototipo con la fiabilidad que se requiere.

El microcontrolador tiene la función de controlar la información de entrada y salida del sistema, tales como la interfaz de entrada, que es el teclado con el que se controla el equipo, la interfaz de salida, que es la pantalla LCD donde se despliega la información de estado y la bocina que sirve para indicaciones auditivas, y el generador de tren de pulsos que habilitan el uso de los electrodos para el prototipo.

Antes de desarrollar lo necesario para la electroestimulación, se configura el microcontrolador para que sea capaz de controlar la interfaz de entrada; se conecta la pantalla LCD y se configura el brillo; se conecta la bocina y la interfaz de LEDs de alerta; y se configuran los pines necesarios para el uso de ICSP (In Circuit Serial Programmer), con la configuración de pines descrita en la tabla 4, además se muestra el diagrama de conexiones en la ilustración 8.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

El modo ICSP solo funciona para programar el microcontrolador de una manera más segura, ya que al no tener que conectar y desconectar el microcontrolador del prototipo no sufre de fatiga en los pines, además de que se protege del riesgo de sufrir una corriente eléctrica no deseada producida por una descarga electrostática al manipularlo. Éste modo no tendrá ninguna relación con la función principal del prototipo al momento de utilizarse.

**Tabla 4 - Configuración de los pines del microcontrolador PIC utilizado en el prototipo**

| <b>Conexiones del Microprocesador PIC16F887</b> | <b>Función</b>                                               |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Puertos $V_{SS}$                                | Conectado a la tierra del circuito                           |
| Puertos $V_{DD}$                                | Conectado a la polarización 5 [V]                            |
| Puertos RB0, RB1, RB2                           | Manejo de estados de la pantalla LCD                         |
| Puerto RB3                                      | Liberación de corriente en modo ICSP                         |
| Puertos RB4, RB5, RB6, RB7                      | Flujo de bits de información a la pantalla LCD               |
| Puertos RB6, RB7                                | Manejo de PGC y PGD, para la programación ICSP               |
| Puertos OSC1, OSC2                              | Configuración de reloj externo                               |
| Puerto $\overline{MCLR}$                        | Reset manual del sistema;<br>$V_{pp}$ para programación ICSP |
| Puerto RA0                                      | Control de alerta auditiva                                   |
| Puerto RA1                                      | Control de alerta visual 1                                   |
| Puerto RA2                                      | Control de alerta visual 2                                   |
| Puerto RD0, RD1, RD2, RD3                       | Entradas de información interfaz del usuario                 |
| Puertos RC0, RC1, RC2, RC3, RC4,                | Configurado como salida binaria                              |

---

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| RC5, RC6, RC7              |                 |
| Puertos RA3, RA4, RA5      | No configurados |
| Puertos RE0, RE1, RE2      | No configurados |
| Puertos RD4, RD5, RD6, RD7 | No configurados |

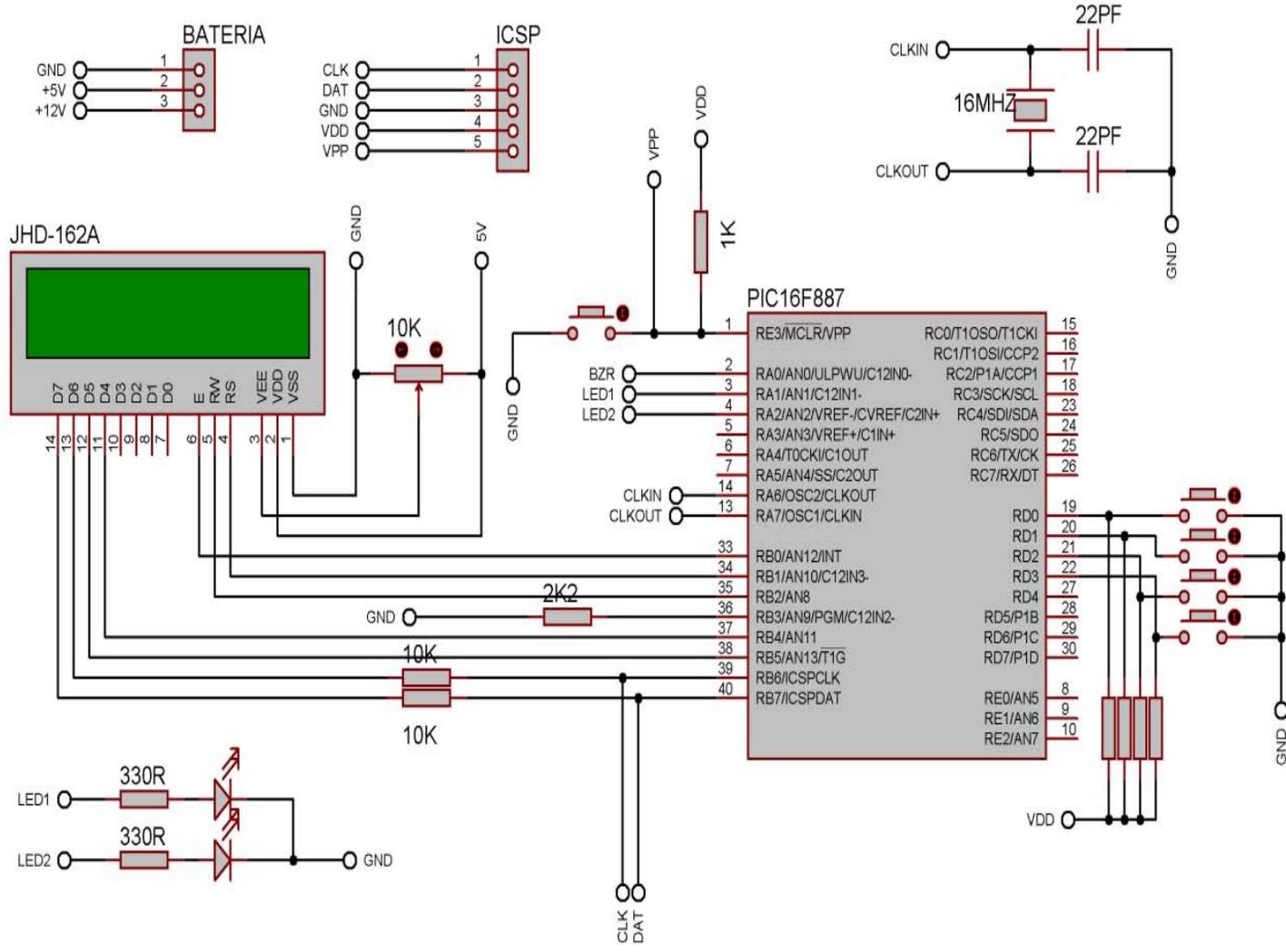


Ilustración 8 - Circuito electrónico base para el desarrollo del prototipo.

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

El circuito eléctrico de la ilustración 8 es la base para el desarrollo del prototipo, el cual controla la interfaz de entrada y salida y genera el tren de pulsos requerido por el módulo de acondicionamiento de señal para la electroestimulación del animal.

Para lograr la estimulación necesaria en el animal, la señal debe cumplir con los requisitos de frecuencia y corriente. Tomando en cuenta los parámetros de seguridad biomédica en la parte eléctrica, se deberá tener un límite de corriente máximo para no producir quemaduras por corriente eléctrica y una frecuencia baja para lograr el estímulo necesario.

Para la electroestimulación se implementa un control de corriente por medio de control por ancho de pulso, o PWM por sus siglas en inglés Pulse Width Modulation.

Para el control PWM de la señal generada, se tiene un tren de pulsos de frecuencia fija en la cual se controla el ciclo de trabajo, que es el tiempo en que permanece positivo la señal (cuando la amplitud de la señal está en alto) con relación al periodo de la misma, logrando controlar la energía suministrada con relación al ancho de pulso. Tal que:

$$0 \leq t \leq T$$

El ciclo de trabajo está definido como:

$$D = \frac{t_1}{T}$$

Dónde:

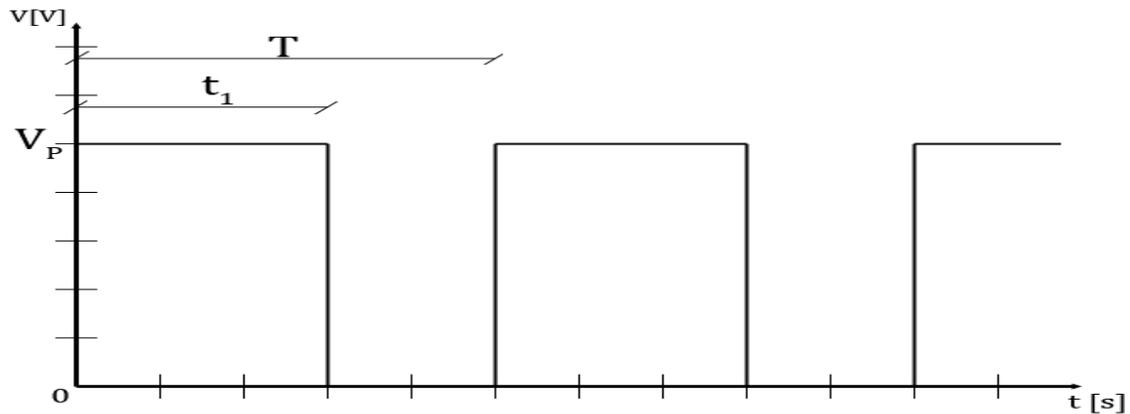
$D$  es el ciclo de trabajo

$t_1$  es el tiempo de la señal en positivo

$T$  es el periodo de la señal

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---



**Ilustración 9 – Gráfica descriptiva de las variables en un tren de pulsos con ciclo de trabajo al 60%**

La función de la señal PWM es:

$$f(t) = \begin{cases} V_P & 0 \leq t < t_1 \\ 0 & t_1 \leq t < T \end{cases}$$

La potencia asociada a una resistencia es:

$$P_R(t) = \frac{v^2(t)}{R}$$

Si se considera un resistor de valor unitario, entonces la potencia promedio, en un periodo  $T$  de la señal PWM es:

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T P_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v^2(t)}{R} dt = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt$$

Por lo que el voltaje equivalente C.D. (o voltaje RMS) de una señal modulada por ancho de pulso es:

$$V_{RMS} = \sqrt{P_{avg}}$$

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_1} v^2(t) dt}$$

Se sustituye la ecuación por la función de la señal PWM:

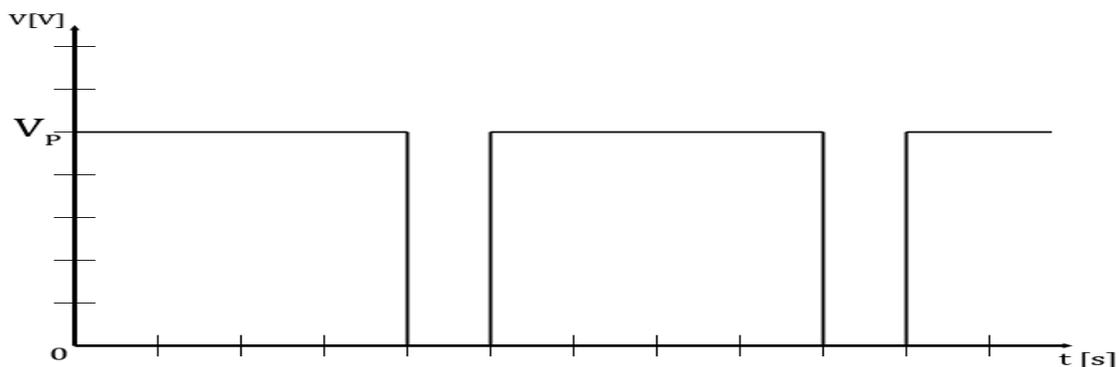
$$V_{RMS}^2 = \frac{1}{T} \left( \int_0^{t_1} V_P^2 dt + \int_{t_1}^T 0 dt \right) = \frac{V_P^2}{T} (t_1) - \frac{V_P^2}{T} (0)$$

$$V_{RMS}^2 = \frac{V_P^2}{T} (t_1)$$

Despejando la ecuación y sustituyendo el ciclo de trabajo, obtenemos la ecuación equivalente al voltaje RMS de la señal PWM en base al ciclo de trabajo.

$$V_{RMS} = V_P \sqrt{\frac{t_1}{T}} = V_P \sqrt{D}$$

Por ejemplo, si se tiene un tren de pulsos con ciclo de trabajo al 80% (ilustración 10):



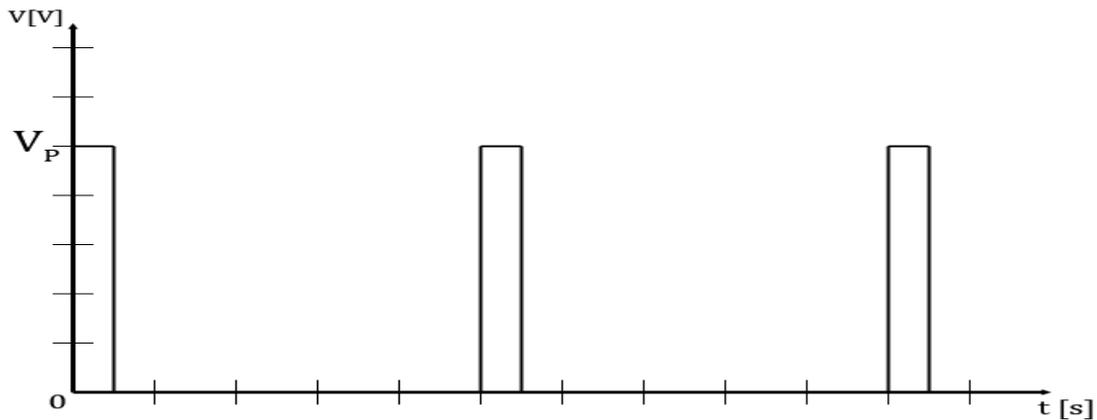
**Ilustración 10 - Tren de pulsos con ciclo de trabajo al 80%**

---

El voltaje RMS sería de:

$$V_{RMS} = V_P \sqrt{0.8} \approx 0.8944 V_P$$

En otro caso, si se tiene un tren de pulsos con ciclo de trabajo al 10% (ilustración 11):



**Ilustración 11 – Tren de pulsos con ciclo de trabajo al 10%**

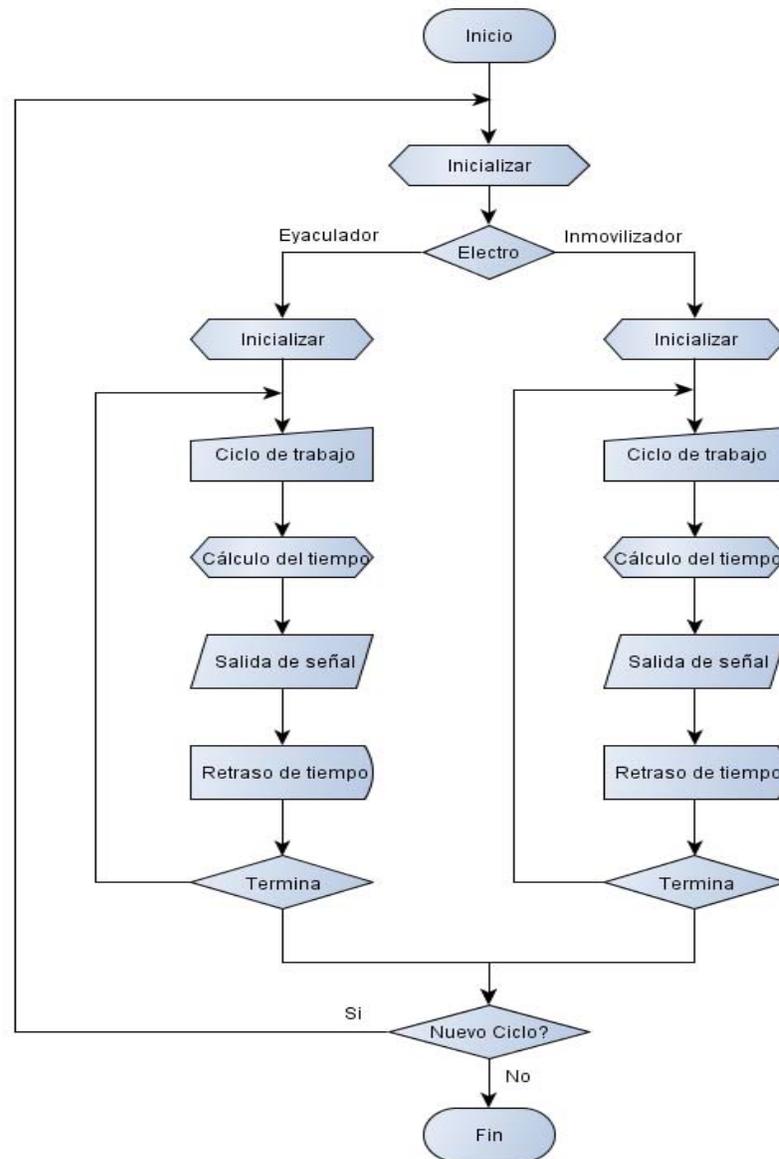
$$V_{RMS} = V_P \sqrt{0.10} \approx 0.3162 V_P$$

Por lo que entre mayor sea el ciclo de trabajo de la señal PWM, mayor será el voltaje RMS de la señal modulada por ancho de pulso y, por ende, mayor potencia estará asociada a la señal de salida.

#### **2.1.4.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL MICROCONTROLADOR:**

El software del microcontrolador está desarrollado para unificar las funciones de los módulos en un control de entrada y salida de datos y controlar el generador de tren de pulsos, además de controlar las alertas visuales y auditivas para indicar elementos claves en el funcionamiento.

El algoritmo de la ilustración 12 muestra el funcionamiento básico del prototipo.



**Ilustración 12 - Diagrama de flujo del software del prototipo.**

El software está programado siguiendo la estructura del diagrama de flujo en base a la ilustración 12 y se utiliza el lenguaje de programación C, debido a que está considerado de nivel medio, el cual significa que dispone de estructuras de control de alto nivel y las funciones de manipulación de los datos a bajo nivel.

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

Utilizando el programa de PIC C ®, que permite utilizar el lenguaje de programación C para desarrollar código ensamblador que es compatible con los microcontroladores de la familia PIC ® de la empresa Microchip ®, se desarrolla el código fuente para posteriormente compilar el código y cargarlo en el microcontrolador PIC16F887A por medio del protocolo ICSP.

Para configurar el compilador es necesario indicarle en el código fuente que microcontrolador se utilizará:

```
#include <16f887.h> //Biblioteca del PIC
#include "flex_lcd.c" //Biblioteca del Display LCD
```

Se configuran los parámetros globales de las funciones de control que tendrá el microcontrolador:

```
#FUSES NOWDT //No Watch Dog Timer
#FUSES HS //High speed Osc (>10 MHz for PCD)
#FUSES NOPUT //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG //No Debug mode for ICD
#FUSES BORV21 //brownout reset
#FUSES NOCPD //No EE protection
#FUSES MCLR //Master clear pin used for I/O
#FUSES FCMEN //Fail-safe clock monitor enable
#FUSES NOWRT //Program memory not write protected
```

Se configura el reloj interno y se configura la velocidad de intercambio de información:

```
#USE delay(clock=20000000) //Reloj externo a 20 [MHz]
#USE fast_io(C) //Intercambio rápido de Entrada/Salida en puerto C
```

Por último, se configura los pines del microcontrolador como constantes globales en el código fuente, esto con la finalidad de facilitar la programación.

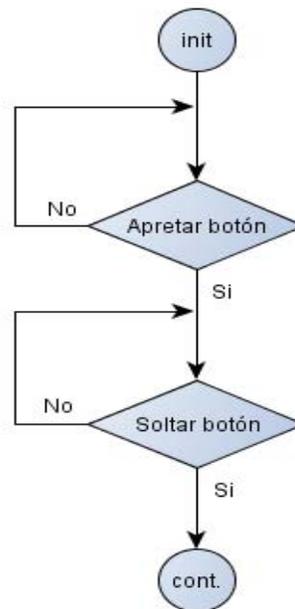
```
#define use_portb_lcd TRUE //Puerto B para LCD
#define b_1 PIN_D1 //botón ACEPTAR conectado en PIN_D1
#define b_2 PIN_D3 //botón CANCELAR conectado en PIN_D3
```

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

```
#define b_3 PIN_D2 //botón INCREMENTO conectado en PIN_D2
#define b_4 PIN_D0 //botón DECREMENTO conectado en PIN_D0
#define PPWM2 pin_c1 //salida PWM2 en PIN_C1
#define PPWM1 pin_c0 //salida PWM1 en PIN_C0
#define bocina PIN_A0 //salida control de bocina en PIN_A0
#define ledrojo PIN_A1 //salida control LED ROJO en PIN_A1
#define ledazul PIN_A2 //salida control LED AZUL en PIN_A2
```

Para no mantener presionado el botón, dentro de la ejecución del software, se opta por utilizar estructuras de control dentro del código fuente, para eso, se utiliza el diagrama de flujo de la ilustración 13.



**Ilustración 13 - Diagrama de flujo para el uso de un botón**

Este mismo diagrama de flujo sirve para todos los botones que se programen, si no se utilizara este diagrama el botón se podría bloquear y causar procedimientos no deseados.

```
do{
    //apretar botón
}
```

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

```
while(!boton);  
do{  
    //soltar botón  
}  
while(boton);
```

Con este código se evita que avance la ejecución del programa hasta que apriete y libere el botón deseado.

Otra de las funciones a utilizar en el microcontrolador es la de disponer el voltaje en algún puerto o pin del mismo, utilizando dos de las funciones que brinda el compilador, que son:

```
output_high( PIN );  
output_low( PIN );
```

y funcionan para tener un '0' lógico o '1' lógico, al permitir tener un convertidor DAC de un bit de resolución que tienen el rango de voltaje de salida de:

$$0_{lógico} = [ 0 , 0.8 ) [V]$$

$$1_{lógico} = ( 2.8 , 5.5 ][V]$$

El control PWM del tren de pulsos generado por el prototipo se basa en calcular el tiempo en que el PIN de salida tiene  $1_{lógico}$  con respecto al tiempo del periodo en que mantiene  $0_{lógico}$ , por lo que la variable directa es el ciclo de trabajo que se ingresa y se calculan los periodos de tiempo de la señal controlada.

Para la implementación del control PWM se utiliza como constante la frecuencia de la señal deseada; como variable, el ciclo de trabajo que se desea en la señal; y como resultados, el tiempo que dura el  $1_{lógico}$  y el  $0_{lógico}$ .

| Constante  | Variable | Resultados               |
|------------|----------|--------------------------|
| $f [ Hz ]$ | $D$      | $t_{alto}$<br>$t_{bajo}$ |

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Por lo que se consideran las ecuaciones:

Periodo de la señal:

$$T = \left( \frac{1}{f \text{ [Hz]}} \right) [s]$$

Por lo que el periodo de la señal permanecerá constante, se debe calcular en tiempo real los demás valores dada la ecuación:

$$T = t_{\text{alto}} + t_{\text{bajo}} [s]$$

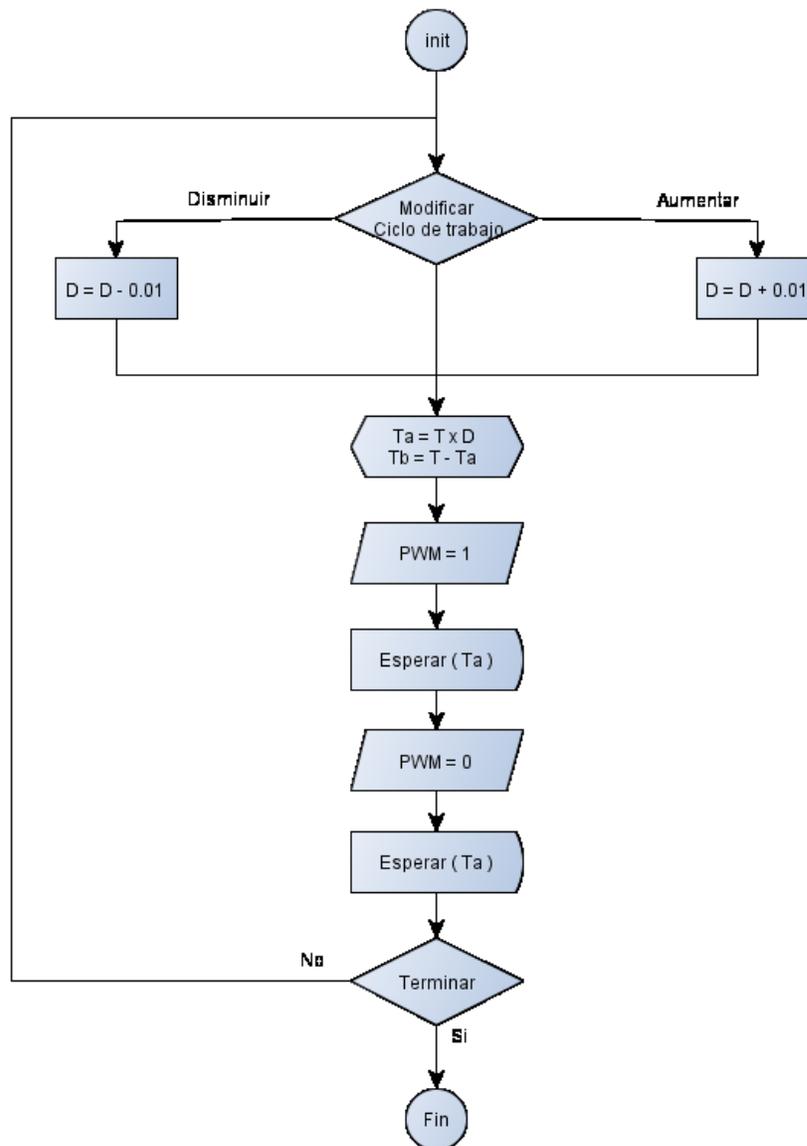
Tiempo en que permanecerá en alto la señal:

$$t_{\text{alto}} [s] = T (D) [s]$$

Tiempo en que permanecerá en estado bajo la señal:

$$t_{\text{bajo}} [s] = T - t_{\text{alto}} = T (1 - D) [s]$$

Por lo que el diagrama de flujo con el que se controla el PWM se basa en el de la ilustración 14, que implementa la lectura de datos de la interfaz de entrada para controlar el ciclo de trabajo, además de tener la opción de terminar el ciclo repetitivo que hace funcionar la electro estimulación.



**Ilustración 14 - Diagrama de flujo del control PWM del microcontrolador**

```
T = 20; // Tiempo en milisegundos
while(true) // Inicio ciclo repetitivo
{
    if(!input(b_3)) // Incremento del ciclo de trabajo
        if(DutyC < 1) // Verifica si puede incrementarse
            DutyC += 0.01; //Incrementa
```

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

```
if(!input(b_4)) // Decremento del ciclo de trabajo
  if(DutyC > 0) // Verifica si puede decrementarse
    DutyC -= 0.01; // Decrementa
if(!input(b_2)) // Botón para salir
  break; // Rompe el ciclo While
Ta = T * DutyC; // Calcula tiempo en alto
output_high(PPWM2); // Manda 1 logico
delay_ms(Ta); // Espera un tiempo Ta
output_low(PPWM2); // Manda 0 logico
delay_ms(T - Ta); // Espera un tiempo T-Ta
}
```

Una vez terminado el software, se compila y se carga al microcontrolador.

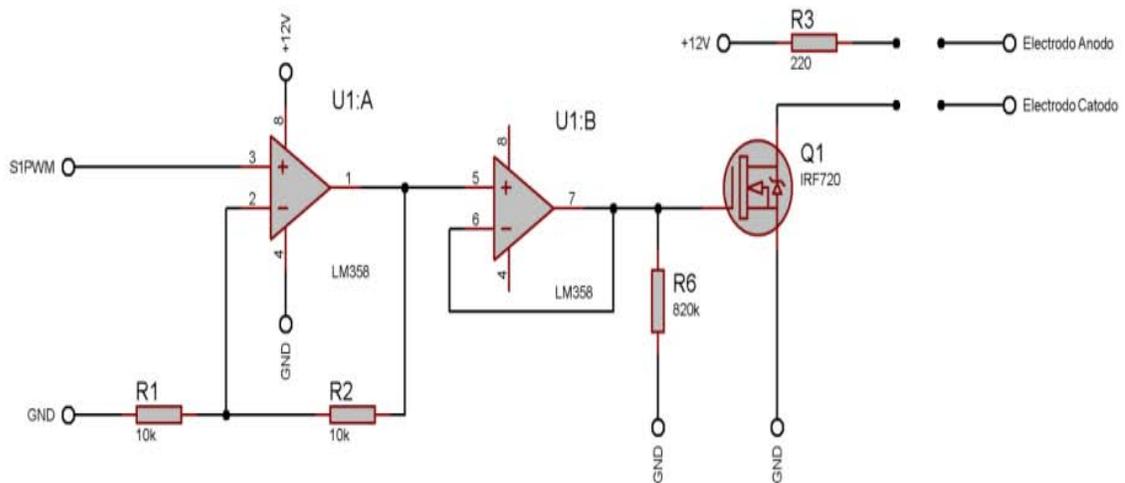
### 2.1.5 MÓDULO ACONDICIONADOR DE SEÑAL

Para generar el estímulo en el animal, la señal proporcionada por el microcontrolador debe ser acondicionada para los electrodos, cuidando la corriente eléctrica máxima que podrá proporcionar el circuito para proteger al animal.

La señal proporcionada por el microcontrolador es una señal donde su voltaje es de 5 [V], por lo que se debe acondicionar a un voltaje con amplitud correcta para el MOSFET, que en el circuito integrado IRF720 requiere de un voltaje de activación de 12 [V] en GATE (compuerta).

La función que tendrá el MOSFET es la de conmutar la señal que de acuerdo con los pulsos generados por el microcontrolador, el PWM, esto utilizando la función propia del MOSFET de aislar el circuito eléctrico y, al mismo tiempo, utilizarlo como un interruptor entre el DRAIN y SOURCE (drenado y fuente) para permitir el paso de corriente eléctrica entre la batería, los electrodos y descargarse en la tierra del circuito.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**



**Ilustración 15 - Circuito eléctrico a utilizar para acondicionar la señal PWM del microcontrolador a los electrodos.**

La señal del PWM pasa por un amplificador operacional en configuración no inversor el cual amplía la señal de 5 [V] a 12 [V]. Posteriormente la señal amplificada es utilizada por un amplificador operacional en configuración de seguidor de tensión, el cual tiene una alta impedancia de entrada y muy baja impedancia de salida.

Esta señal se conecta en el GATE del MOSFET, con la cual hará la conmutación de la señal.

El circuito MOSFET hace un circuito en serie con la fuente de voltaje, los electrodos y la tierra del circuito, funcionando como conmutador; al tener un voltaje de 12 [V] en el GATE, el MOSFET actúa como un corto, el cual se cierra el circuito y permite el paso de corriente a través de los electrodos; en caso contrario, cuando se tiene 0 [V] en el GATE, el MOSFET actúa como un circuito abierto, por lo que no permite el paso de corriente.

Además, se contempla que la carga del circuito podría ser de una impedancia que varía entre 50 [ $\Omega$ ] hasta 0 [ $\Omega$ ] debido a las condiciones de la superficie de contacto que es la cavidad rectal del animal, húmeda por naturaleza y con alta probabilidad de tener fluidos corporales. En el peor de los casos, si la impedancia de la piel fuera de 0 [ $\Omega$ ], se diseña el limitador de corriente para que con esta condición no se dañe al animal, ya que con esta impedancia mínima, cualquier voltaje aplicado,

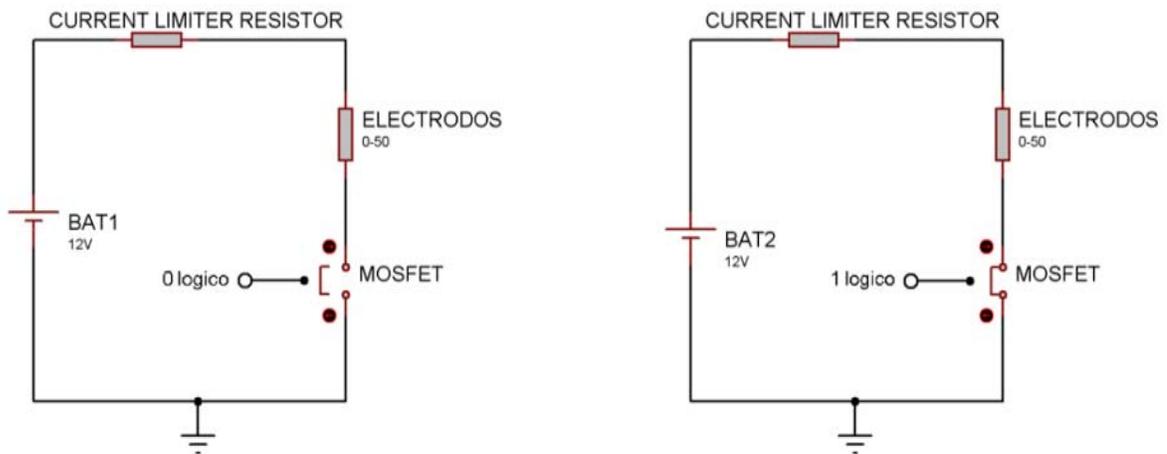
**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

sin importar el ciclo de trabajo, la corriente tendería a infinito durante el tiempo que permanezca activo el ancho del pulso.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0} = \infty [A]$$

Con los valores proporcionados anteriormente, se diseña el circuito para una corriente máxima.



**Ilustración 16 - Circuito eléctrico equivalente al MOSFET como interruptor**

El diseño de corriente limitada se basa en el circuito anterior, el cual se aplica la ecuación de la Ley de Ohm y se calcula el límite de corriente.

Si se requiere de implementa un limitador de corriente a 50 [mA], se considera la condición de impedancia 0 a través de los electrodos y el animal ( 0 [ $\Omega$ ] ), con lo cual se calcula la resistencia limitadora de corriente a un parámetro de intensidad de corriente máximo seguro para la piel:

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

$$V = RI$$

$$R = \frac{V_{Bateria}}{I} = \frac{12 [V]}{0.05 [A]} = 240 [\Omega]$$

Valor comercial más cercano a 240 [ $\Omega$ ]:

$$R = 220 [\Omega]$$

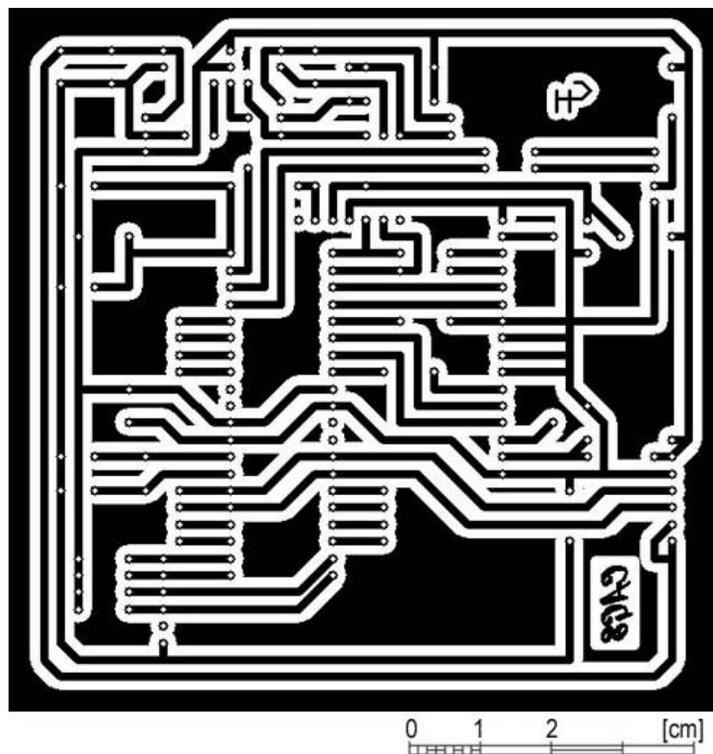
Finalmente, se integran los módulos para formar el circuito electrónico a implementar, quedando el diseño del circuito eléctrico del prototipo de la ilustración 17.



## **2.2 TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO**

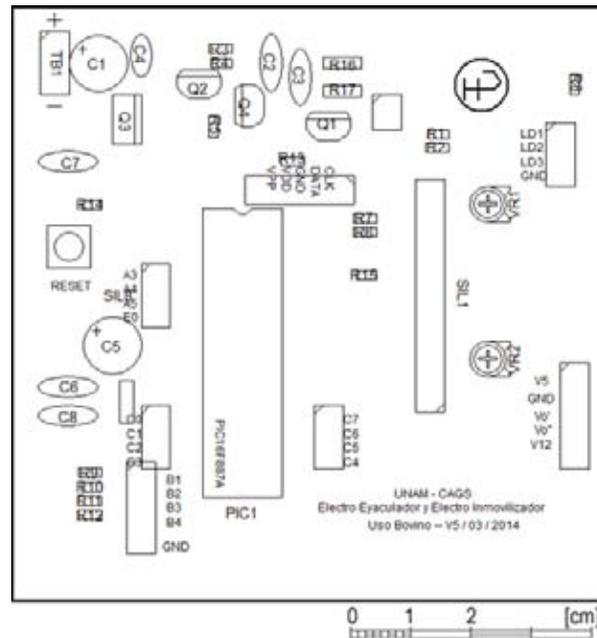
Para la implementación del prototipo se procede a realizar el diseño de la tarjeta de circuito impreso o PCB.

La tarjeta de circuito impreso principal contiene la fuente de poder, a la cual se le conecta la batería SLA, el módulo de generación de tren de pulsos, la interfaz de salida de datos con la pantalla LCD y la bocina, además de contener todos los contactos necesarios para el teclado y los indicadores LEDs de funcionamiento, el diseño se muestra en la ilustración 18.

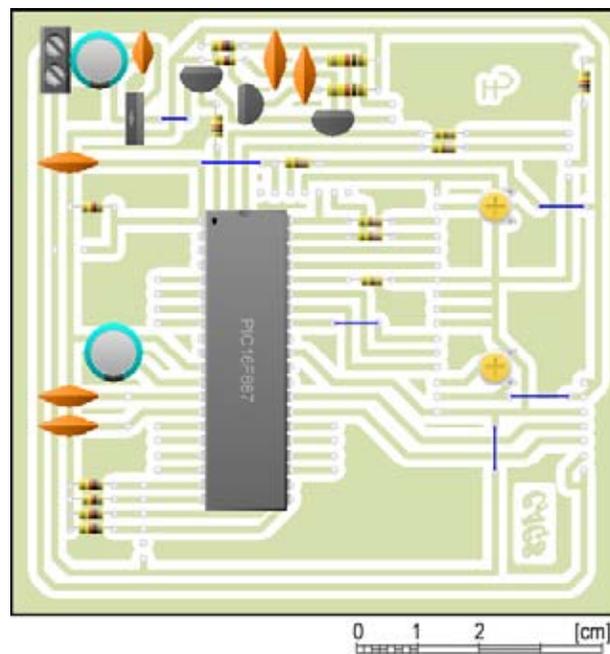


*Ilustración 18 - Tarjeta de circuito impreso.*

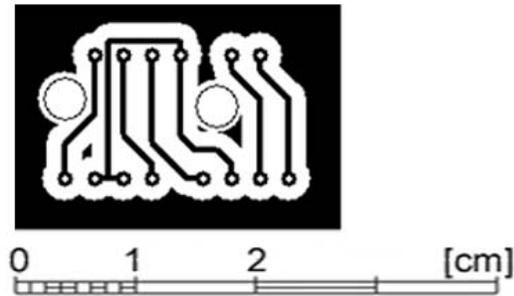
**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**



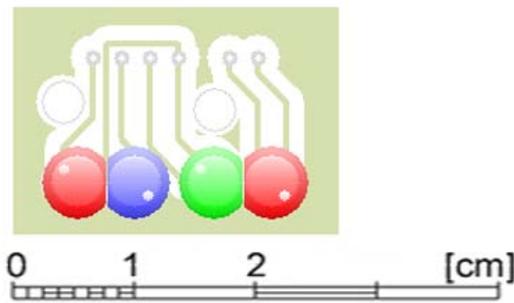
*Ilustración 19 - Vista superior de la tarjeta de circuito impreso, lado de la serigrafía*



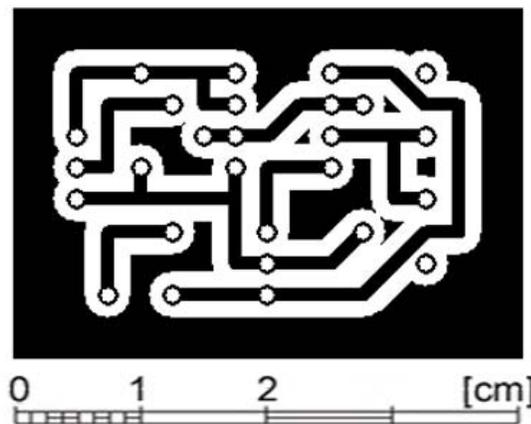
*Ilustración 20 - Simulación de la tarjeta de circuito impreso del microcontrolador con los componentes eléctricos colocados*



***Ilustración 21 - Tarjeta de circuito impreso de la placa de los LEDs frontales***



***Ilustración 22 - Simulación de la tarjeta de circuito impreso de los LEDs frontales. De derecha a izquierda: Cargando, Encendido, Activo y alerta.***

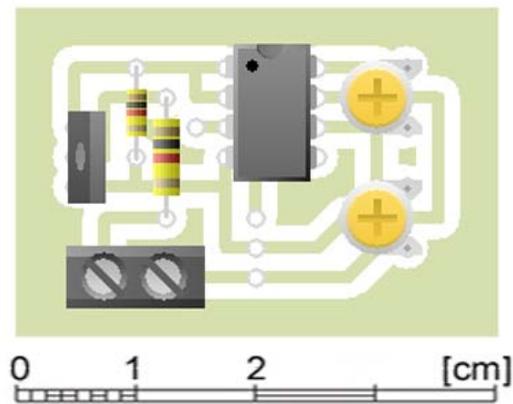


***Ilustración 23 - Tarjeta de circuito impreso con los módulos acondicionador de señal, limitador de corriente y salida para los electrodos***

---

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---



***Ilustración 24 - Simulación de la tarjeta de circuito impreso con los módulos acondicionador de señal, limitador de corriente y salida para los electrodos***

El prototipo se realiza utilizando la técnica de planchado, la cual consiste en imprimir el diseño a transferir en una impresora de tóner en un papel termo transferible, el cual, mediante calor directo (una plancha casera) se transfiere la tinta a la placa fenólica. Es necesaria la aplicación de suficiente calor para que la placa fenólica retenga la mayor cantidad de tóner posible.

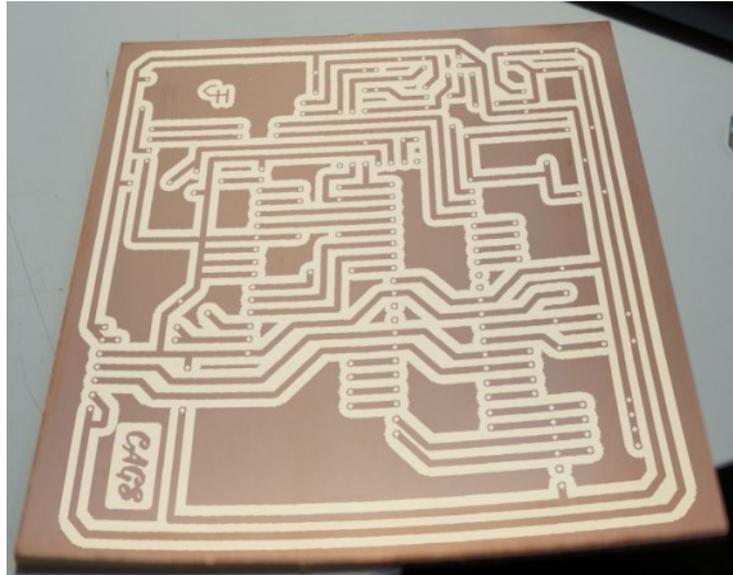


***Ilustración 25 - Transferencia del diseño de la tarjeta de circuito impreso a la placa fenólica***

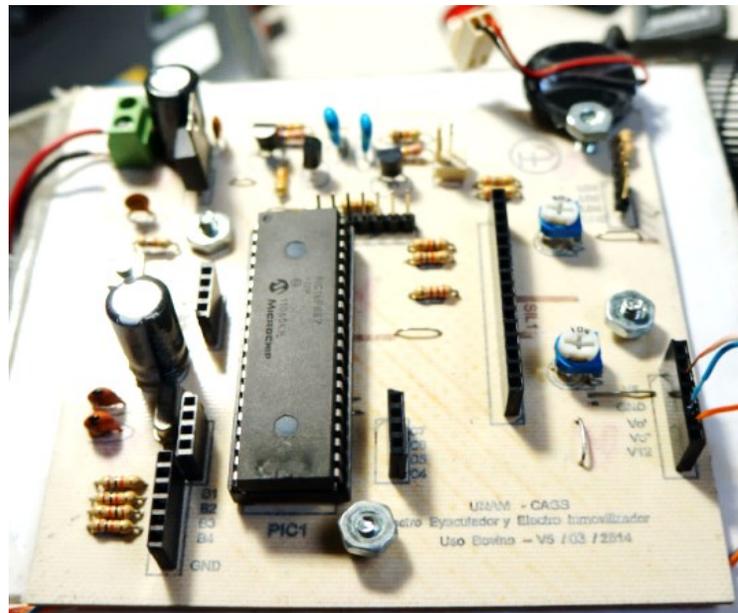
---

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

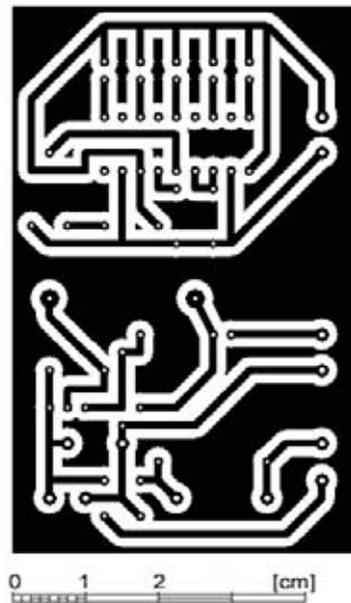
---



*Ilustración 26 – Fotografía del circuito impreso después del ataque químico*



*Ilustración 27 – Fotografía de la placa fenólica con componentes colocados*



***Ilustración 28 - Tarjeta de circuito impreso de la placa del cargador de batería SLA 12 [V] y estado de la carga***

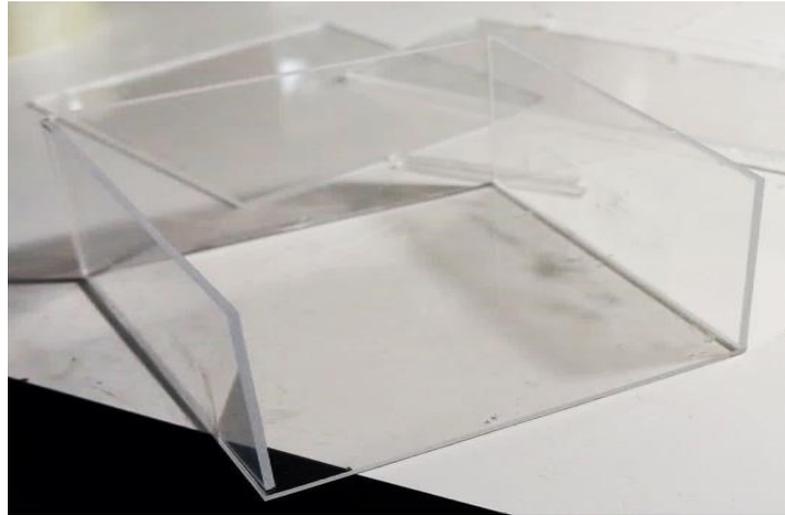


***Ilustración 29 – Simulación tarjeta de circuito impreso de la placa del cargador de batería SLA 12 [v] y estado de la carga***

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

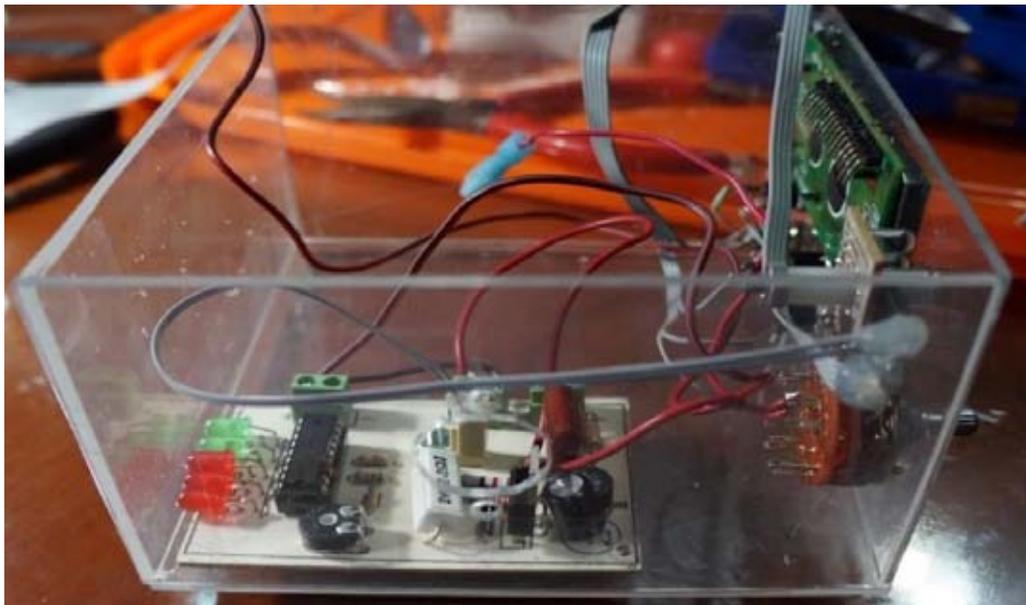
---

Para la realización de la carcasa del prototipo se utiliza un material acrílico transparente de 3.5 mm de grosor, lo suficientemente grueso para poder sujetar bien los componentes en un ambiente controlado de trabajo.



*Ilustración 30 – Fotografía de la carcasa hecha de acrílico para el prototipo*

Colocación y montaje de los diferentes circuitos electricos.



*Ilustración 31 - Colocación de componentes y partes electrónicas en la carcasa de acrílico*



*Ilustración 32 - Colocación de cables dentro de la carcasa de acrílico*



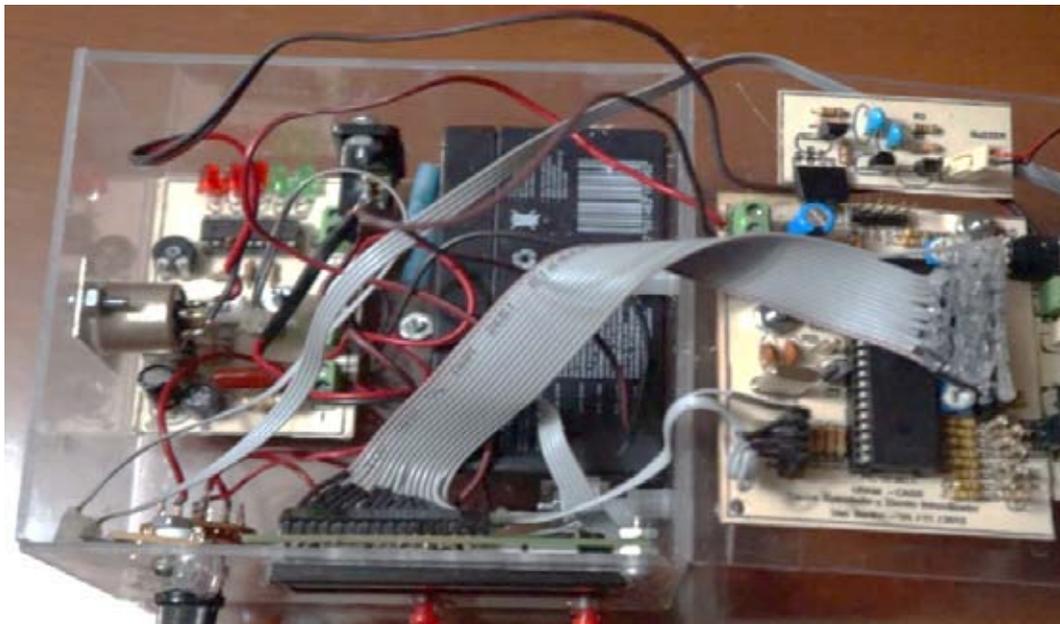
*Ilustración 33 – Fotografía del prototipo*

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---



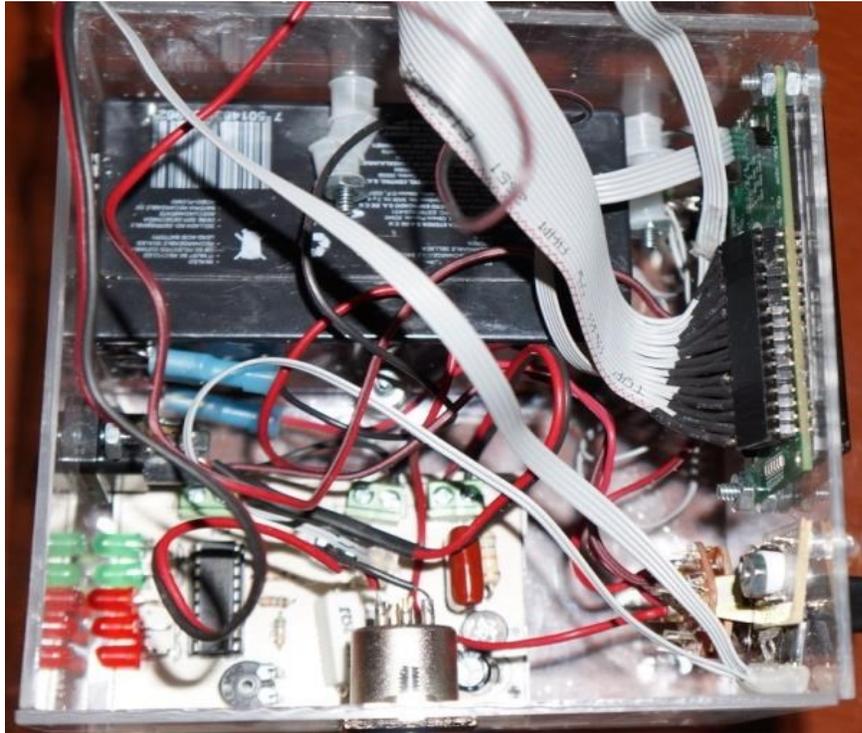
*Ilustración 34 - Vista frontal del prototipo*



*Ilustración 35 - Vista superior del prototipo*

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---



*Ilustración 36 - Vista superior del prototipo*



*Ilustración 37 - Vista trasera del prototipo, con conexión del cable tomacorriente e indicador de carga de la batería*

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---



*Ilustración 38 - Vista frontal del prototipo final*



*Ilustración 39 - Prototipo en funcionamiento*

## **CAPÍTULO 3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LOS PROTOTIPOS DE ELECTRO INMOVILIZADOR Y ELECTRO EYACULADOR**

### **3.1 PRUEBAS DEL PROTOTIPO**

Para las pruebas controladas en el prototipo, se utiliza un osciloscopio digital marca USB-INSTRUMENTS modelo DS1M12, el cual se conecta por medio del puerto USB a una computadora para generar la interfaz de comunicación digital.

Las condiciones de control a utilizar durante la realización de las pruebas son considerando que la resistencia de la piel del animal será de 1 [ $\Omega$ ] (muy baja impedancia). El voltaje que se registra es el voltaje presente en la resistencia de control. La corriente será la que atraviese a la misma.

El equipo no posee un ciclo de trabajo de 100 % debido a que ese ciclo de trabajo convierte la señal eléctrica en una señal de corriente constante o D.C., misma que podría lastimar al aplicarse sobre la piel. El ciclo de trabajo máximo a manejar será de 95 %.

Se configura el prototipo para tener una corriente máxima de 50 [mA], con lo cual se realizan los cálculos:

$$R = \frac{V_{Bateria}}{I} = \frac{12 [V]}{0.05 [A]} = 240 [\Omega]$$

Resistencia comercial próxima al valor calculado:

$$R = 220 [\Omega]$$

El voltaje máximo proporcionado por el equipo es de 12 [V], sin embargo, el osciloscopio registra una caída de tensión en la resistencia limitadora de corriente y en el MOSFET, por lo que el voltaje pico proporcionado en la resistencia de 1 [ $\Omega$ ] es de:

$$V_p = 8.05 [V]$$

Este voltaje registrado será el utilizado para los cálculos teóricos.

---

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Ecuaciones utilizadas en la tabla:

$$V_{RMS_{teórico}} = V_p \sqrt{D}$$

$$\% \text{ de error} = \left| \frac{\text{Valor Real} - \text{Valor Teórico}}{\text{Valor Teórico}} \right| (100)$$

$$I_{RMS_{MAX}} = \frac{8.05[V]}{220[\Omega]} = 0.036 [A]$$

$$I_{RMS_{teórico}} = (0.036[A]) \left( D \left[ \frac{1}{100} \right] \right)$$

Los datos registrados se muestran en la tabla 5:

**Tabla 5 - Comparación de datos registrados por el equipo y datos teóricos**

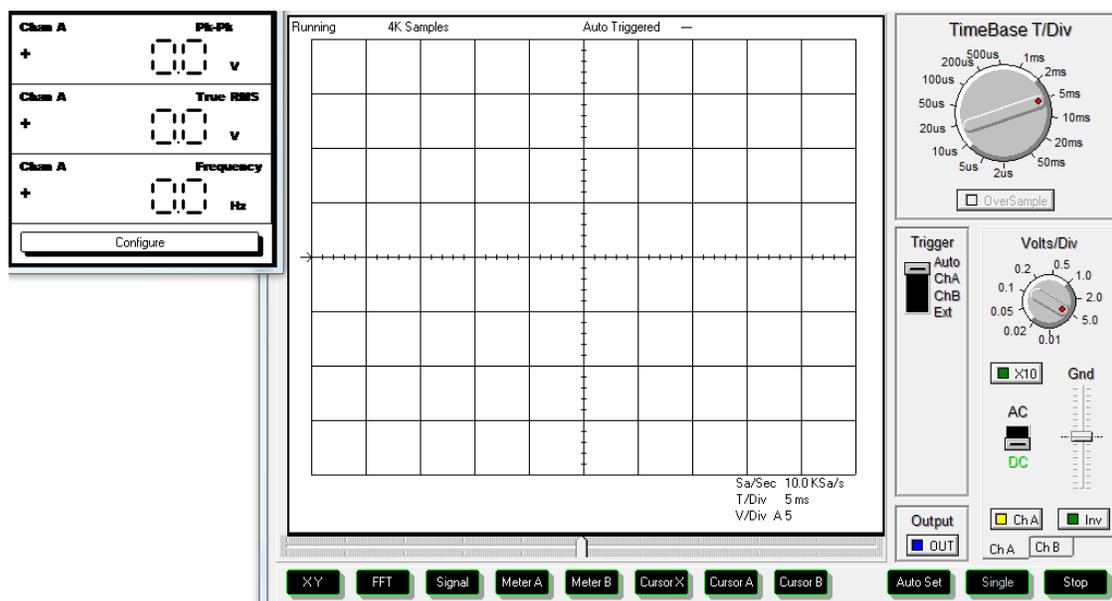
| Ancho de pulso [%] | Voltaje RMS teórico [V] | Voltaje RMS real [V] | % de error voltaje RMS [%] | Corriente RMS teórica [mA] | Corriente RMS [mA] real | % de error corriente RMS [%] |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 0                  | 0.000                   | 0.000                | 0.000                      | 0.000                      | 0.000                   | 0.000                        |
| 5                  | 1.800                   | 1.659                | 7.833                      | 1.800                      | 2.100                   | 16.667                       |
| 10                 | 2.546                   | 2.334                | 8.327                      | 3.600                      | 4.100                   | 13.889                       |
| 15                 | 3.118                   | 2.857                | 8.371                      | 5.400                      | 6.200                   | 14.815                       |
| 20                 | 3.600                   | 3.302                | 8.278                      | 7.200                      | 8.100                   | 12.500                       |
| 25                 | 4.025                   | 3.691                | 8.298                      | 9.000                      | 10.300                  | 14.444                       |
| 30                 | 4.409                   | 4.026                | 8.687                      | 10.800                     | 12.200                  | 12.963                       |
| 35                 | 4.762                   | 4.377                | 8.085                      | 12.600                     | 14.200                  | 12.698                       |
| 40                 | 5.091                   | 4.677                | 8.132                      | 14.400                     | 16.200                  | 12.500                       |
| 45                 | 5.400                   | 4.944                | 8.444                      | 16.200                     | 18.200                  | 12.346                       |
| 50                 | 5.692                   | 5.208                | 8.503                      | 18.000                     | 20.100                  | 11.667                       |
| 55                 | 5.970                   | 5.462                | 8.509                      | 19.800                     | 21.900                  | 10.606                       |

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

|     |       |       |       |        |        |        |
|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 60  | 6.236 | 5.898 | 5.420 | 21.600 | 23.800 | 10.185 |
| 65  | 6.490 | 5.938 | 8.505 | 23.400 | 25.700 | 9.829  |
| 70  | 6.735 | 6.119 | 9.146 | 25.200 | 27.400 | 8.730  |
| 75  | 6.972 | 6.363 | 8.735 | 27.000 | 29.300 | 8.519  |
| 80  | 7.200 | 6.572 | 8.722 | 28.800 | 31.100 | 7.986  |
| 85  | 7.422 | 6.760 | 8.919 | 30.600 | 32.500 | 6.209  |
| 90  | 7.637 | 6.959 | 8.878 | 32.400 | 33.800 | 4.321  |
| 95  | 7.846 | 7.160 | 8.743 | 34.200 | 35.000 | 2.339  |
| 100 | 8.050 | N.A.  | N.A.  | 36.000 | N.A.   | N.A.   |

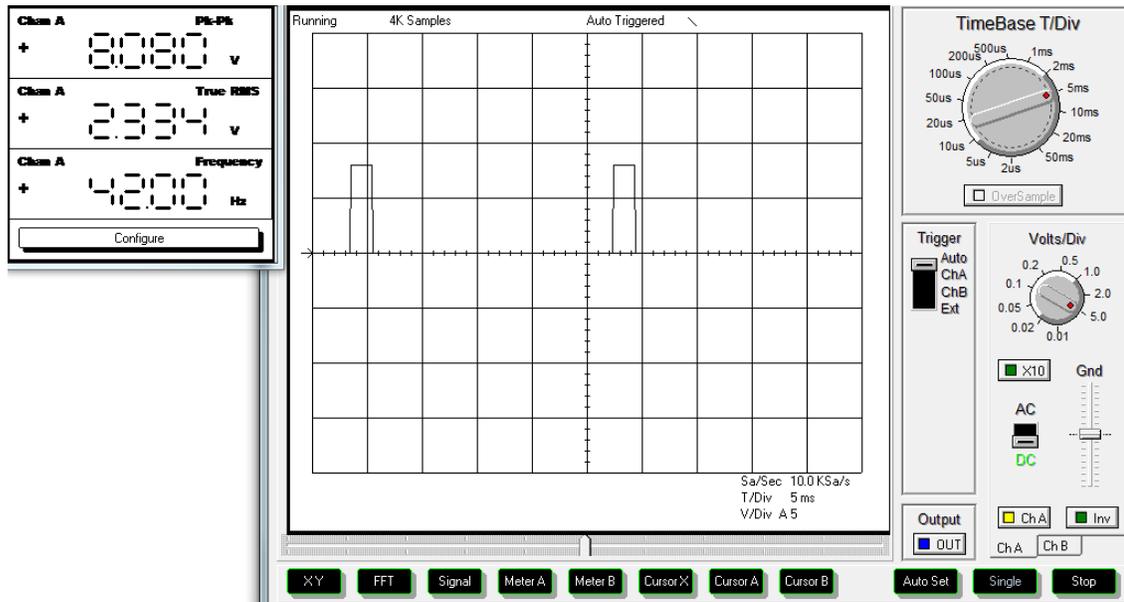
\*N.A. – No aplica

Las gráficas que se muestran a continuación son algunas de las que se tomaron para la realización de la tabla.

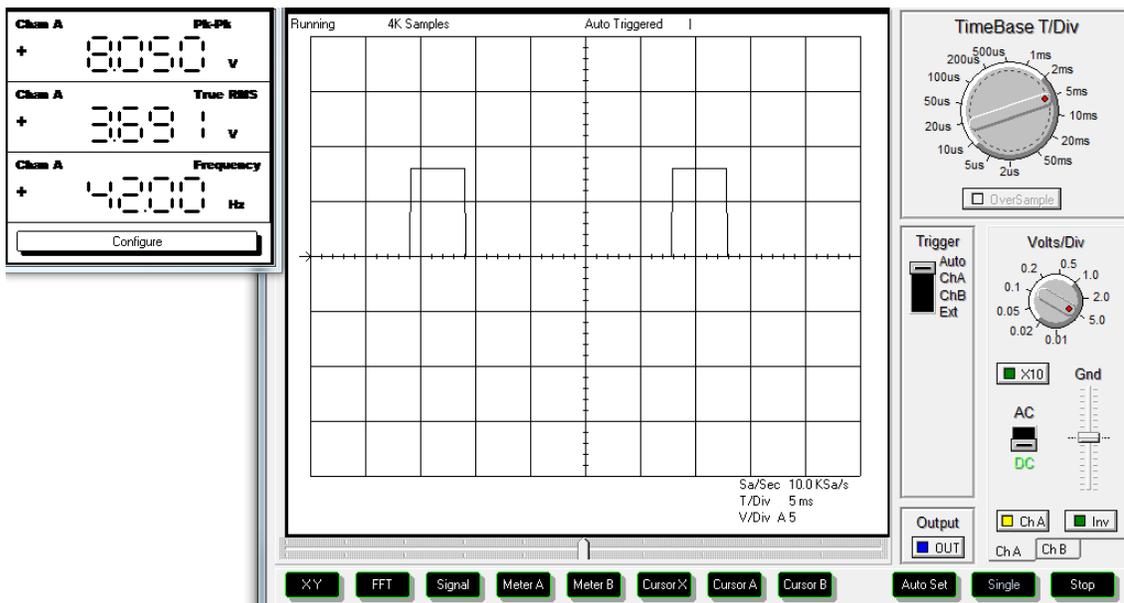


**Ilustración 40 - Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 0 %**

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

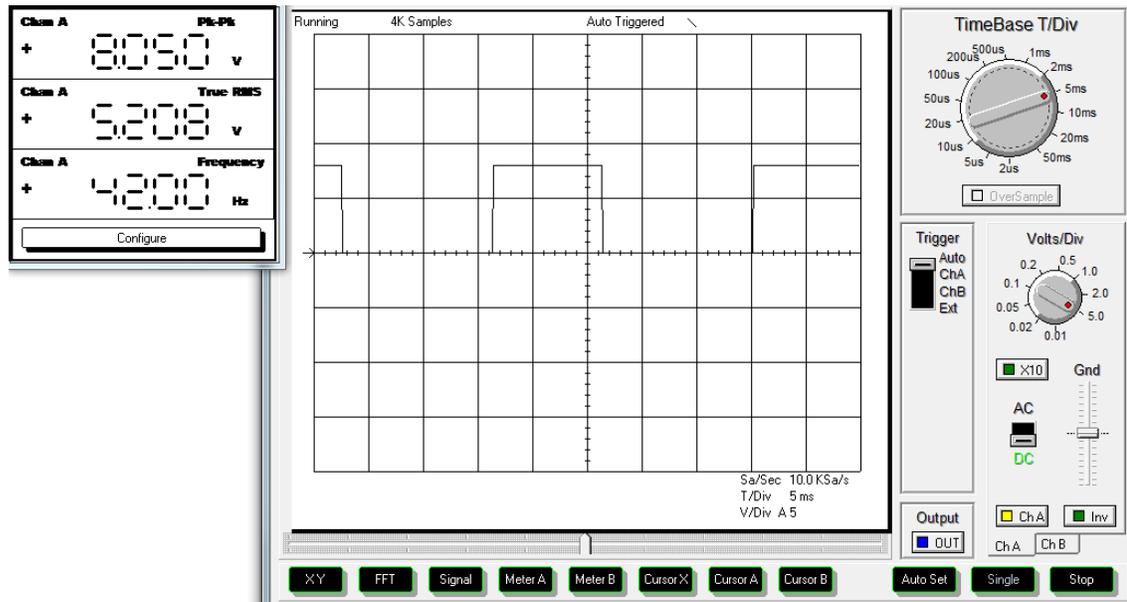


**Ilustración 41 - Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 10 %**

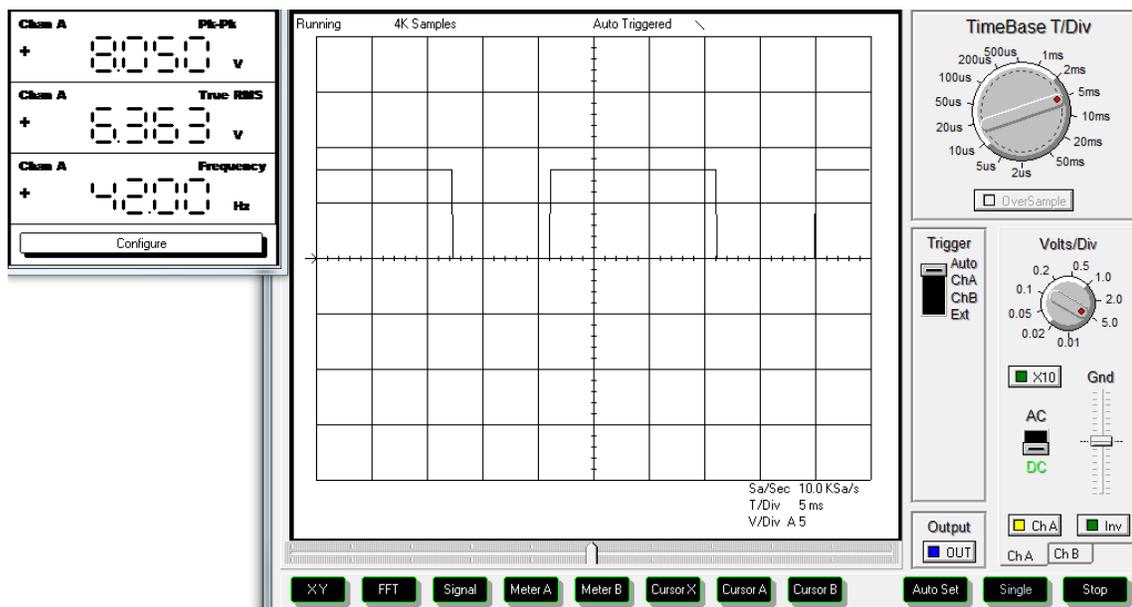


**Ilustración 42- Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 25 %**

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**



**Ilustración 43- Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 50 %**



**Ilustración 44- Gráfica del prototipo con Ciclo de Trabajo = 75 %**

### **3.2 PRUEBAS EN ANIMALES**

Las pruebas realizadas en los bovinos se dividieron en dos partes, las pruebas correspondientes al uso del electro inmovilizador y las pruebas correspondientes al uso del electro eyaculador.

Primero, las pruebas del Electro Inmovilizador, realizadas en un grupo de 5 bovinos hembra de diferentes razas. Estas pruebas fueron realizadas en el Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal, CEIPSA, Topilejo, Tlalpan, D.F., en colaboración con Médicos Veterinarios Zootecnistas y personal del lugar.

Para la realización de las pruebas se elabora un protocolo para utilizar el prototipo, el cual se pretende implementar en cada una de las pruebas para facilitar la adquisición de datos que ayuden en la retroalimentación del prototipo EEyEI.

El protocolo que se implementa al realizar las pruebas es:

- Aislar a los animales sujetos a las pruebas, con la finalidad de no estresar al animal y facilitar el uso del equipo Electro Inmovilizador.
- Al aislar al animal se procura la inmovilización parcial con el uso de sogas o el equipo especializado como la prensa (ubicada en el mismo lugar), además de que se recomienda tener especial cuidado con las patas traseras del animal por que podría lanzar patadas durante la manipulación del equipo antes o después de activar su funcionamiento.



***Ilustración 45 - Prensa ganadera utilizada en un bovino adulto***

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

- Realizar una auscultación al animal y retirar todo el excremento posible para procurar un mejor contacto entre la cavidad rectal del animal y el electrodo.



***Ilustración 46 - Auscultación y retiro de excremento en el bovino***

- Lubricar el electrodo para facilitar la colocación y e introducirlo completamente vía rectal en el animal.
- Corroborar que el equipo esté apagado al momento de la colocación del electrodo para evitar que se aplique una señal eléctrica en otra parte del cuerpo del animal o en el veterinario al manipularlo.
- Encender el prototipo y configurar en Electro Inmovilizador.
- En este momento, la señal de salida tendrá un ciclo de trabajo de 0, para que se aumenta gradualmente el valor de salida hasta lograr que el animal se encorve ligeramente, esto se percibe visualmente al ver que el animal aumenta ligeramente el lomo y las patas traseras se tensan.
- Se aumenta ligeramente la potencia para garantizar la inmovilización del animal.
- Para garantizar que la inmovilización del animal es efectiva, se intenta mover al animal para comprobar que no puede moverse a voluntad, un ejemplo es empujarlo ligeramente de la parte lateral para sacarlo un poco de equilibrio, al estar tenso de las patas traseras no podrá pisar a voluntad. Otra forma de ver que la inmovilidad es efectiva es verificar sus patas

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

traseras, cuando el electrodo está acomodado en una posición inclinada hacia algún costado, la pata de esa dirección está más rígida, e incluso, está levantada, dejando el peso en la otra extremidad.

- El equipo se deja encendido durante la inmovilización, revisando la condición del animal. Si el animal tiene una pierna levantada durante la inmovilización, se recomienda cambiar la posición del electrodo cada 5 minutos, esto con el fin de que no se cansé el animal de cargar su propio peso con una sola extremidad y evitar que se deje caer por cansancio.
- Al terminar con el uso del equipo, es necesario bajar el ciclo de trabajo al mínimo, de tal manera que el animal deje de estar inmovilizado. En este momento, el equipo puede apagarse.
- Se retira el electrodo y se lava con suficiente agua y jabón.

Las condiciones a tener en cuenta durante la prueba:

- La batería del equipo debe estar cargada al menos al 60% de su capacidad para no presentar ningún problema ocasionado por la falta de energía del mismo.
- Debido a que las patas traseras del animal se tetanizan con el uso del equipo, se recomienda que el electrodo no esté trabajando más de 5 minutos sin cambiarlo de posición, esto debido a que el animal puede sufrir de cansancio y dejarse caer, pudiendo producir alguna lesión interna, algún daño al equipo y/o a las personas cercanas.
- El electrodo debe limpiarse antes de introducir en el animal con la finalidad de no transmitir ninguna enfermedad entre animales. Otra de las ventajas que se tiene con este proceso es que, al estar húmedo el electrodo, facilita la introducción en la cavidad rectal del animal.

### **3.2.1 INMOVILIZADOR:**

#### **3.2.1.1 PRUEBA 1:**

Para la prueba se seleccionan cinco bovinos al azar, los cuales son apartados sin conocer previamente su nivel de estrés y se aíslan en el embudo para posteriormente tener control del animal en la prensa.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

Frecuencia de la señal:

$$f = 42 [Hz]$$

Corriente eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo está al máximo:

$$I_{max} = 35 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.0078$$

$$Intervalos = 127$$

$$\Delta_I = 0.2755 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

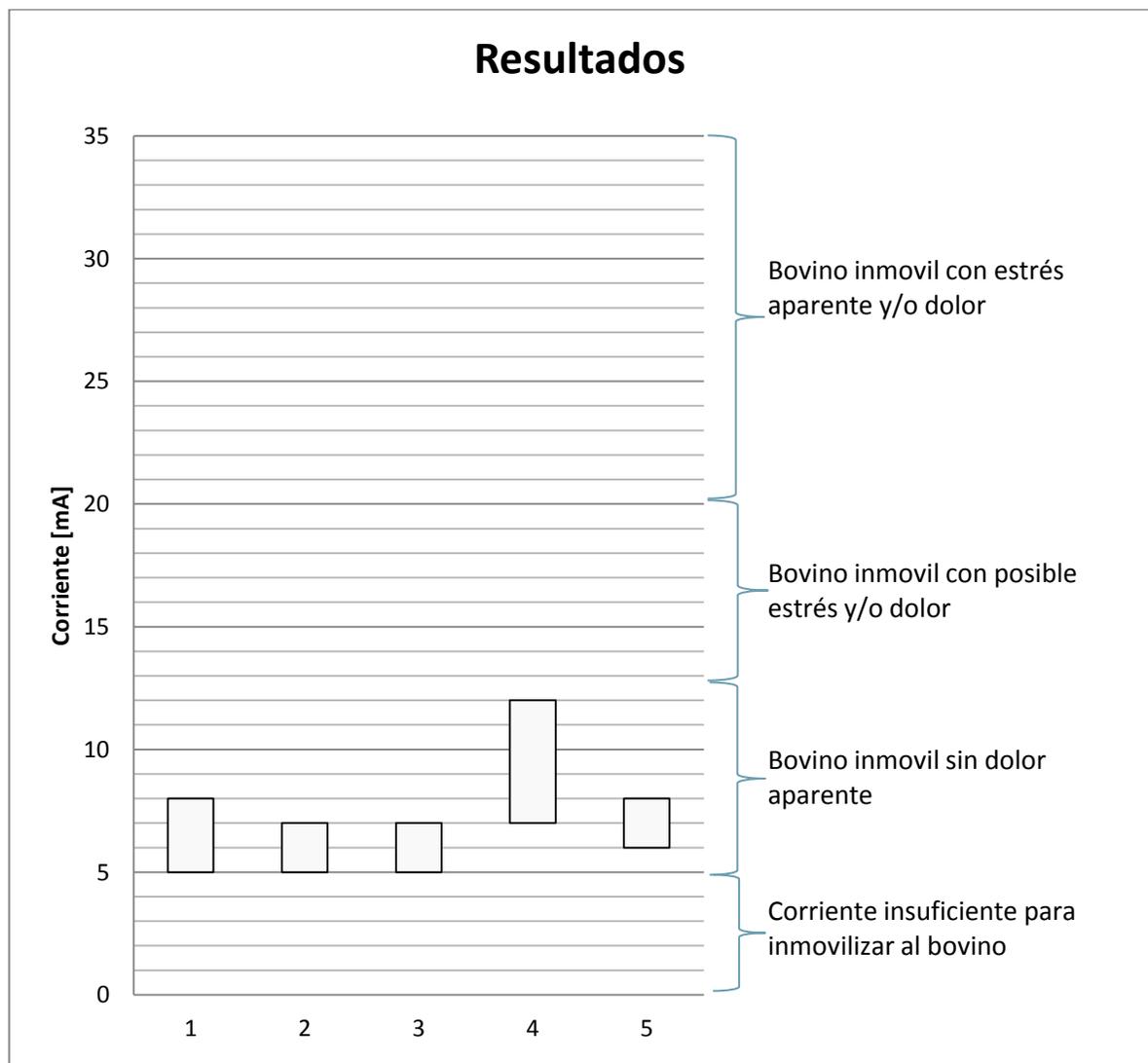
Resultados de la prueba:

**Tabla 6 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 1.**

| <b>Bovino</b> | <b>Intervalo de Corriente eléctrica requerida para la inmovilización del animal</b> | <b>Duración de la inmovilización</b> | <b>Reacción del animal</b> |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1             | 5 – 8 [mA]                                                                          | ~60 [s]                              | Sin estrés aparente        |

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

|   |             |         |                     |
|---|-------------|---------|---------------------|
| 2 | 5 – 7 [mA]  | ~30 [s] | Sin estrés aparente |
| 3 | 5 – 7 [mA]  | ~60 [s] | Sin estrés aparente |
| 4 | 7 – 12 [mA] | ~90 [s] | Sin estrés aparente |
| 5 | 6 – 8 [mA]  | ~60 [s] | Sin estrés aparente |



**Ilustración 47 - Resultados de la primera prueba realizada y parámetros observados**

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Al terminar con la prueba individual se observó que el animal no presentaba signos de estrés, como agresividad hacia las personas o a los animales presentes. Además, al retirar el dispositivo, el animal no presenta contracciones involuntarias en las extremidades traseras.

### **3.2.1.2 PRUEBA 2:**

Para la prueba se seleccionan cinco bovinos al azar, los cuales son apartados sin conocer previamente su nivel de estrés y se aíslan en el embudo para posteriormente tener control del animal en la prensa.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros

Frecuencia de la señal:

$$f = 25 [Hz]$$

Corriente máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo está al máximo:

$$I_{max} = 20 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.0333$$

$$Intervalos = 30$$

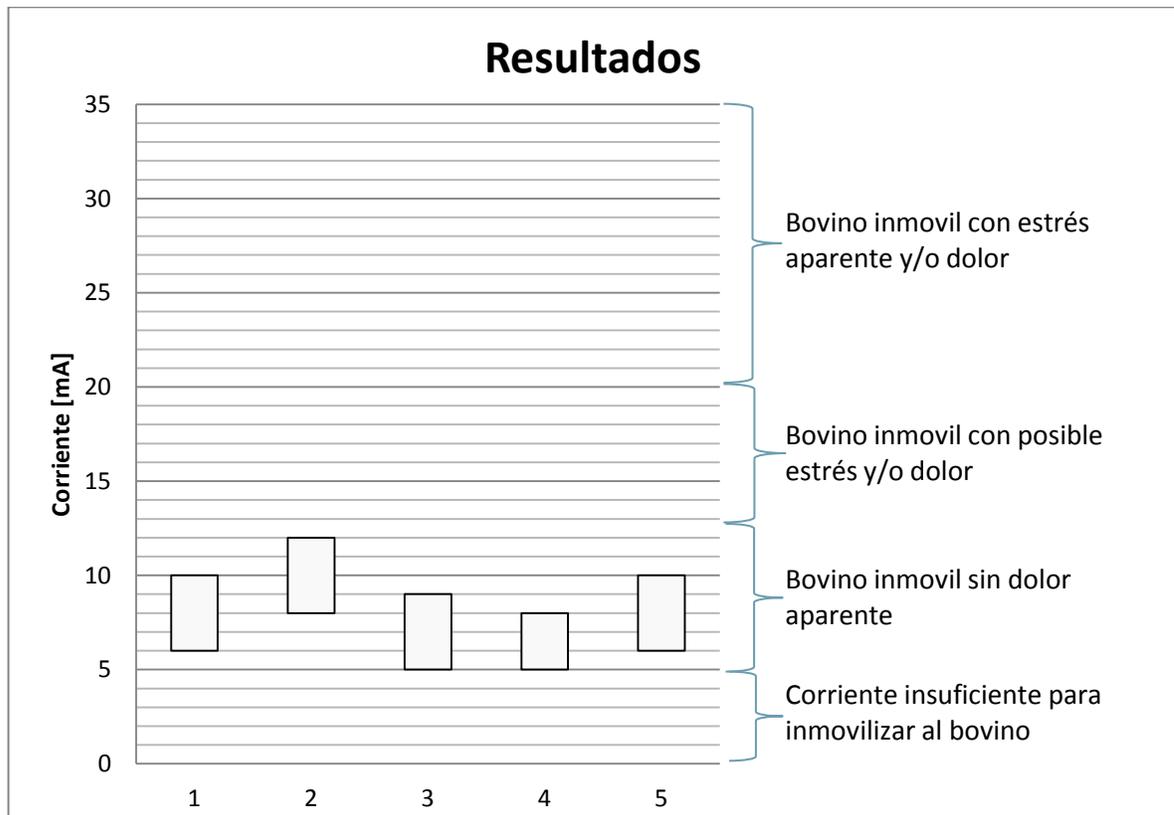
$$\Delta_I = 0.6667 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

Se utilizan 5 bovinos escogidos al azar para la realización de la prueba, tomando en cuenta que al someterlos a la prueba estén lo menos estresado posible.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

**Tabla 7 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 2.**

| Bovino | Intervalo de Corriente eléctrica requerida para la inmovilización del animal. | Duración de la inmovilización | Reacción del animal |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1      | 6 – 10 [mA]                                                                   | ~30 [s]                       | Sin estrés aparente |
| 2      | 8 – 12 [mA]                                                                   | ~30 [s]                       | Sin estrés aparente |
| 3      | 5 – 9 [mA]                                                                    | ~60 [s]                       | Sin estrés aparente |
| 4      | 5 – 8 [mA]                                                                    | ~30 [s]                       | Sin estrés aparente |
| 5      | 6 – 10 [mA]                                                                   | ~60 [s]                       | Sin estrés aparente |



**Ilustración 48 - Resultados de la segunda prueba realizada y parámetros observados**

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Al terminar con la prueba individual se observó que el animal no presentaba signos de estrés aparente, mostrando un comportamiento similar al presentado antes de la prueba.

### **3.2.1.3 PRUEBA 3:**

Para la prueba se seleccionan tres bovinos al azar, los cuales son apartados sin conocer previamente su nivel de estrés y se aíslan en el embudo para posteriormente tener control del animal en la prensa.

Para esta prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

Frecuencia de la señal:

$$f = 40 [Hz]$$

Corriente máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo está al máximo:

$$I_{max} = 30 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.02$$

$$Intervalos = 50$$

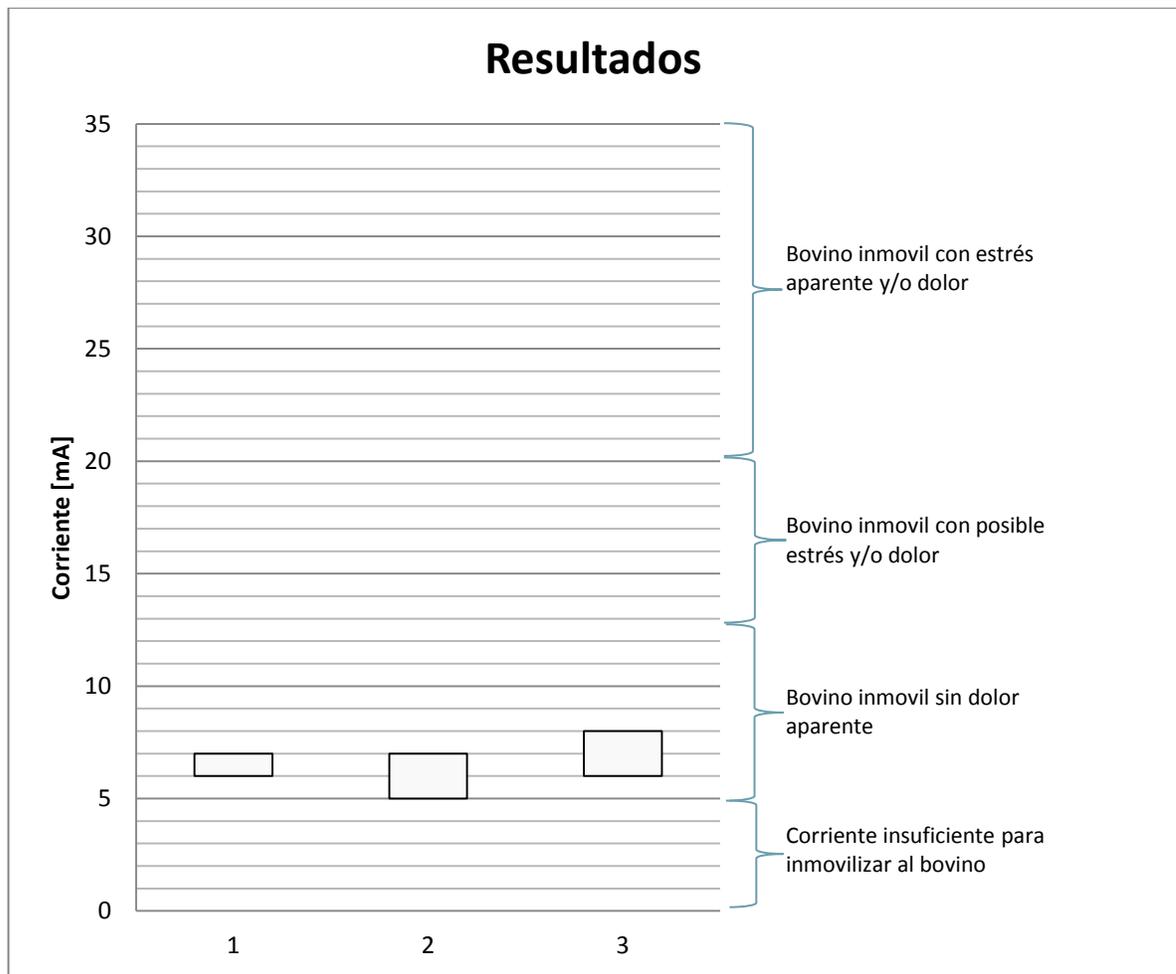
$$\Delta_I = 0.6 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

Se utilizan tres bovinos escogidos al azar para la realización de la prueba, tomando en cuenta que al someterlos a la prueba estén lo menos estresado posible.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

**Tabla 8 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 3.**

| Bovino 1 | Corriente eléctrica promedio requerido para la inmovilización del animal. | Reacción del animal |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1        | 6 – 7 mA                                                                  | Sin estrés          |
| 2        | 5 – 7 mA                                                                  | Sin estrés          |
| 3        | 6 – 8 mA                                                                  | Sin estrés          |



**Ilustración 49 - Resultados de la tercera prueba realizada y parámetros observados**

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Al terminar con la prueba individual se observó que el animal no presentaba signos de estrés, como agresividad hacia las personas o los animales presentes. Además, al retirar el dispositivo, el animal no presenta contracciones involuntarias en las extremidades traseras, sin embargo, la inmovilización de las extremidades traseras producen cansancio en el animal al tener que sostener su peso en las otras extremidades, por lo que algunos animales se dispusieron a pastar.

### **3.2.2 EYACULADOR:**

#### **3.2.2.1 PRUEBA 1:**

Para la prueba, se seleccionan 2 bovinos al azar, los cuales son apartados sin conocer previamente su nivel de estrés y se aíslan en el embudo para posteriormente tener control del animal en un apartado donde se pueda tener inmovilizado parcialmente al bovino y así procurar el bienestar de los operadores del equipo.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

Frecuencia de la señal:

$$f = 20 [Hz]$$

Corriente eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo se encuentra al máximo:

$$I_{MAX} = 20 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.0333$$

$$Intervalos = 30$$

$$\Delta_I = 0.6665 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

Resultados de la prueba:

**Tabla 9 - Corriente eléctrica suministrada y observación de la reacción del animal en la prueba 1.**

| <b>Bovino 1</b> | <b>Corriente eléctrica promedio requerido para la inmovilización del animal.</b> | <b>Reacción del animal</b>         |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1               | 0 - 20 mA                                                                        | Sin estrés y sin objetivo cumplido |
| 2               | 0 – 20 mA                                                                        | Sin estrés y sin objetivo cumplido |

En esta configuración de los parámetros para el equipo electro eyaculador no se logró cumplir con el objetivo.

La estimulación para que el bovino excretara líquido seminal no fue la indicada bajo ningún intervalo de intensidad de corriente eléctrica. La duración de la prueba en los animales fue el adecuado para saber que no se lograría la estimulación y se estableció terminar con la prueba para evitar un posible daño en el bovino.

Las condiciones del animal durante la prueba fueron las óptimas, así que se le atribuye la no estimulación al prototipo. Los posibles variables que pudieron afectar la estimulación son la frecuencia o la intensidad de la señal eléctrica, por lo que se modificará el prototipo para otros parámetros de la señal.

### **3.2.2.2 PRUEBA 2:**

Para la prueba, se seleccionan 3 bovinos al azar, los cuales son apartados sin conocer previamente su nivel de estrés y se aíslan en el embudo para posteriormente tener control del animal en un apartado donde se pueda tener inmovilizado parcialmente al bovino y así procurar el bienestar de los operadores del equipo.

La prueba se realiza utilizando un sistema automático para controlar el ciclo de trabajo en la señal y la intensidad de la corriente eléctrica suministrada a los

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

electrodos. Esta prueba se realiza en base a la comparativa con otros productos Electro Eyaculadores existentes en el mercado, por lo que se plantea un sistema equivalente utilizando PWM.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

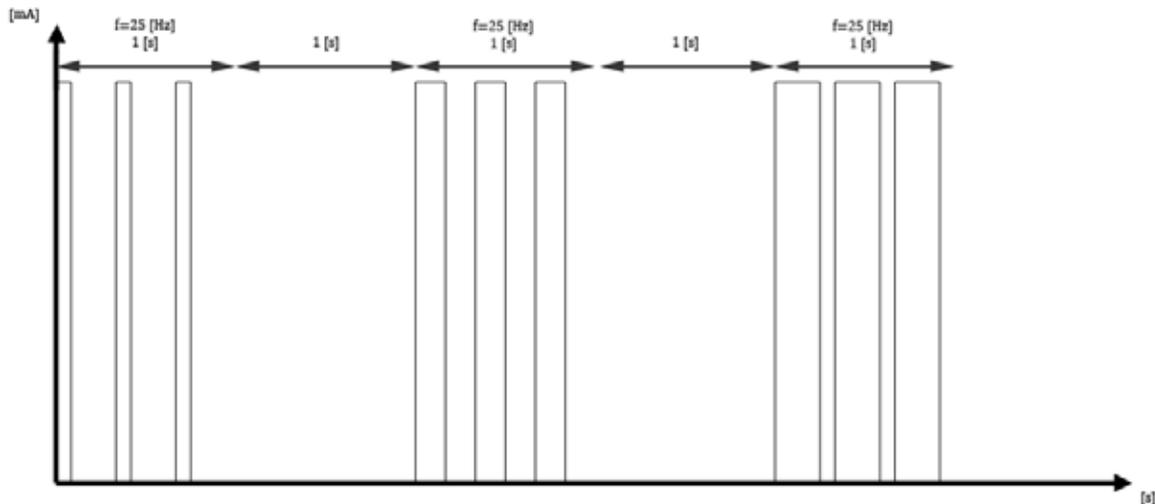
Frecuencia de la señal:

$$f = 25 \text{ [Hz]}$$

Corriente eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo se encuentra al máximo:

$$I_{MAX} = 50 \text{ [mA]}$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo automático con periodos de tiempo de excitación y relajación constante e intensidad de corriente eléctrica incrementado paulatinamente hasta una corriente eléctrica máxima.



**Ilustración 50 - Ejemplificación del tren de pulsos utilizado para la prueba**

Para esta configuración, se utiliza un tren de pulsos a la frecuencia señalada y con un ancho de pulso mínimo por periodos de un segundo, posteriormente se entra

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

en un estado de relajación en el cual el ancho de pulso es 0, se repite el proceso aumentando paulatinamente el ancho de pulso hasta llegar al máximo.

$$\Delta_D = 0.0500$$

$$\text{Intervalos} = 20$$

$$\Delta_I = 2.2 \left[ \frac{mA}{\text{intervalo}} \right]$$

Resultados de la prueba:

En esta configuración de los parámetros para el equipo electro eyaculador no se logró cumplir con el objetivo.

La estimulación para que el bovino excretara líquido seminal no fue la indicada bajo ningún intervalo de intensidad de corriente eléctrica. La duración de la prueba en los animales fue el adecuado para saber que no se lograría la estimulación y se estableció terminar con la prueba para evitar un posible daño en el bovino.

Las condiciones del animal durante la prueba fueron las óptimas, así que se le atribuye la no estimulación al prototipo. Los posibles variables que pudieron afectar la estimulación son la frecuencia o la intensidad de la señal eléctrica, por lo que se modifica el prototipo para otros parámetros de la señal.

### **3.2.2.3 PRUEBA 3:**

Para la prueba, se seleccionan 4 bovinos al azar, los cuales son apartados sin conocer previamente su nivel de estrés y se aíslan en el embudo para posteriormente tener control del animal en un apartado donde se pueda tener inmovilizado parcialmente al bovino y así procurar el bienestar de los operadores del equipo.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

Frecuencia de la señal:

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

$$f = 12 [Hz]$$

Corriente eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo se encuentra al máximo:

$$I_{MAX} = 40 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.02$$

$$Intervalos = 50$$

$$\Delta_I = 0.8000 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

Resultados de la prueba:

Para esta configuración de parámetros se logró una estimulación ligera en el bovino, sin lograr el objetivo de hacer eyacular al bovino.

La estimulación para que el bovino excretara líquido seminal no fue la indicada bajo ningún intervalo de la corriente, aplicando el estímulo durante un tiempo adecuado para saber que no se lograría la estimulación, logrando en este tiempo solo obtener unas gotas de líquido preseminal sin lograr la etapa de eyaculación. Por lo tanto, se estableció terminar con la prueba para evitar un posible daño al bovino.

Las condiciones del animal durante la prueba fueron las óptimas, así que se le atribuye la no estimulación al prototipo. Los posibles variables que pudieron afectar la estimulación son la frecuencia o la intensidad de la señal eléctrica, por lo que se modifica el prototipo para otros parámetros de la señal.

### **3.2.2.4 PRUEBA 4:**

Para la prueba, se seleccionan 1 bovino al azar, el cual es apartado sin conocer previamente su nivel de estrés y se aísla en un corral para posteriormente

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

tener control del animal en un apartado donde se pueda tener inmovilizado parcialmente al bovino y así procurar el bienestar de los operadores del equipo.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

Frecuencia de la señal:

$$f = 10 [Hz]$$

Corriente eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo se encuentra al máximo:

$$I_{MAX} = 30 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.02$$

$$Intervalos = 50$$

$$\Delta_I = 0.6000 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

Resultados de la prueba:

La configuración de parámetros en el prototipo logró una estimulación ligera en el bovino, sin lograr el objetivo de la eyaculación probablemente por el nivel de estrés presente en el animal al momento de la prueba.

La estimulación inducida no fue la indicada para lograr que la eyaculación, sin embargo, la señal eléctrica fue suficiente para lograr que el bovino excretara líquido preseminal. Se estimuló el tiempo suficiente para concluir que no se lograría la eyaculación del bovino, por lo tanto, se estableció terminar con la prueba para evitar un posible daño al bovino.

Las condiciones del animal durante la prueba fueron las óptimas, así que se le atribuye la no estimulación al prototipo. Los posibles variables que pudieron

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

afectar la estimulación son la frecuencia o la intensidad de la señal eléctrica, por lo que se modifica el prototipo para otros parámetros de la señal.

### **3.2.2.5 PRUEBA 5:**

Para la prueba, se selecciona un bovino, el cual es apartado sin conocer previamente su nivel de estrés y se aísla en un corral apartado para posteriormente tener control del animal y se pueda tener inmovilizado parcialmente al bovino para procurar el bienestar de los operadores del equipo.

Para la prueba se configura el prototipo con los siguientes parámetros:

Frecuencia de la señal:

$$f = 8 [Hz]$$

Corriente eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo cuando el ciclo de trabajo se encuentra al máximo:

$$I_{MAX} = 35 [mA]$$

Intervalo de cambio del ciclo de trabajo:

$$\Delta_D = 0.0285$$

$$Intervalos = 35$$

$$\Delta_I = 1.0000 \left[ \frac{mA}{intervalo} \right]$$

Resultados de la prueba:

Previo a la prueba, al comenzar a arrear al bovino para el corral donde se realizaría la prueba, el bovino demostró características de tensión y estrés debido a su experiencia previa en otras manipulaciones. El bovino al estar inmovilizado presenta signos de estrés y agresividad.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

En la realización de la prueba se logró la estimulación parcial del bovino para la eyaculación, con lo que se observó una cantidad muy limitada de líquido seminal en el pene del bovino pero no se logró la estimulación y erección total del animal, con lo cual se dificulta la tarea de recolección de la muestra.

Una de las hipótesis para no lograr completamente la estimulación es que la intensidad de la corriente eléctrica utilizada en la prueba fue menor a la requerida, sin embargo, si se aumentaba se podría haber puesto en riesgo al bovino, por lo que se consideró no aumentarla por periodos largos de tiempo.

## **CONCLUSIONES**

Se ha cumplido con el objetivo de la tesis de diseñar, desarrollar e implementar un prototipo base para generar la electroestimulación necesaria en los bovinos con una implementación de bajo costo.

Si bien se ha logrado obtener un prototipo satisfactorio para la electroestimulación, también se han identificado algunos aspectos técnicos que no fueron concluyentes para la electro eyaculación.

Las pruebas realizadas para la electro inmovilización demostraron que se puede variar la frecuencia de la señal entre 20 [Hz] y 42 [Hz] en los electrodos sin afectar directamente la intensidad de la corriente eléctrica necesaria para la inmovilización, viendo los resultados deseados en los animales inmovilizados y sin afectar el temperamento de los animales después de la prueba.

La corriente eléctrica mínima obtenida en las pruebas para lograr la inmovilización con este prototipo ha sido de 5 [mA], mientras que la corriente máxima que se observó antes de cambiar el comportamiento del animal fue de 12 [mA]. Sin embargo, estos parámetros pueden variar debido a las variables incontrolables que afectan el uso del equipo, como las condiciones físicas del animal, por ejemplo, si se dejó excremento que evite el buen contacto del electrodo, entre otras posibilidades, por lo que se recomienda aumentar lentamente la intensidad de corriente eléctrica de acuerdo a la reacción que esté teniendo el animal.

Los animales a los cuales se les aplicó la inmovilización permanecieron con el mismo estado de ánimo y su grado de estrés permaneció semejante entre el inicio de la prueba y después de la misma.

Al aplicarles una corriente eléctrica superior, el animal mostró un cambio de la tensión en los músculos del cuerpo, mismos que al corregir la corriente eléctrica dejaban de tener los signos de contracción y sin mostrar un cambio de comportamiento. La corriente eléctrica utilizada en la electroestimulación nunca llegó a una intensidad que pudiera haber lastimado al animal, sin embargo, para poder observar el cambio de estado se aumentaba ligeramente la intensidad de corriente eléctrica por periodos de tiempo menores a 10 segundos para evitar un posible daño en el animal.

## **Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

En cuanto al prototipo electro eyaculador, en las pruebas realizadas se consideraron los parámetros de la intensidad de corriente eléctrica, sin que alcanzara los 50 [mA] en un periodo de tiempo de 100 [ms], y la frecuencia de la señal utilizada en los electrodos en un rango que fue desde los 40 [Hz] hasta los 5 [Hz], obteniendo una mejor respuesta al estímulo al utilizar una frecuencia de 8 [Hz], sin embargo, ésta estimulación no logró inducir la eyaculación del animal.

Desafortunadamente, la variación de la frecuencia influye notoriamente en la estimulación lograda con el animal, por lo que los resultados observados varía entre los diferentes bovinos que fueron sometidos a las pruebas y no se logró obtener una electroestimulación óptima para conseguir que el animal eyaculara, por lo tanto, se optó por mantener la intensidad de corriente por debajo de los parámetros de seguridad biomédica para evitar un posible daño físico en el animal.

Otro motivo que pudo haber sido un factor importante para no conseguir el estímulo necesario para la electro eyaculación del animal es el cabezal con los electrodos utilizados, debido a que era un cabezal que estaba dañado antes de iniciar con el desarrollo de éste trabajo de tesis y se logró adaptar el mismo a las necesidades de éste prototipo, sin embargo pudo haber sido rehabilitado con alguna falla que evitara un funcionamiento adecuado.

El costo del material utilizado para el desarrollo del prototipo, incluyendo el material de construcción de la carcasa y los componentes electrónicos pero omitiendo el costo del desarrollo de los electrodos ha sido significativamente menor con respecto al costo de un sólo equipo comercial que se consigue en el mercado. Además, los componentes eléctricos utilizados se pueden conseguirse en tiendas de componentes electrónicos generales, por lo que las piezas son de fácil adquisición y de disponibilidad estándar.

Éste trabajo de tesis establece la base para continuar con el desarrollo del equipo de electro estimulación de uso veterinario, pudiendo ser adaptado para otras especies animales o con otros objetivos específicos.

## **GLOSARIO, TÉRMINOS Y ABREVIATURAS**

Corriente excitomotriz – Corriente eléctrica que provoca contracción al aplicar en un musculo o grupo de músculos por estimulación directa o indirecta del músculo o nervio.

DAC – Digital to Analog Converter (Convertidor Digital a Analógico).

C. D. – Corriente Directa

EE – Electro Eyaculador.

EI – Electro Inmovilizador.

Let go current o corriente de retiro – Intensidad de corriente máxima a la que un músculo puede controlar la contracción o estímulo.

PCB – Printed Circuit Board (Tabla de circuito impreso).

PWM – Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso en una señal).

RMS – Root Mean Square (Raíz Media cuadrática).

Tetanización – Proceso de contracción repetida de un músculo a una frecuencia que evite la relajación muscular entre las distintas contracciones.

Trofismo – Todas aquellas funciones del organismo que están vinculadas a la nutrición, el desarrollo y la conservación de un tejido.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] D. Barrios, Consideraciones básicas acerca de la extracción de semen de toros mediante electro eyaculador, Venezuela: Producción animal, 2005.
- [2] A. E. A. Yamasaki, Diseño y construcción de electro eyaculador para ovinos y caprinos, Chiapas: Facultad de medicina veterinaria y zootecnista, campus II, 2005.
- [3] C. Dalziel, Electric shock, advances in biomedical engineering, Washington: J. H. V. Brown and J. F. Dickson III, 1973.
- [4] J. Webster, Medical instrumentation: application and design, New York: Wiley, 1998.
- [5] R. Plonsey, Encyclopedia of medical devices and instrumentation, New York: Wiley, 1988.
- [6] L. Cromwell, Biomedical instrumentation and measurements, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1973.
- [7] M. Martínez, Principios de electroestimulación y terminología electroterapéutica, Colombia: Universidad del Rosario, 2006.
- [8] U. p. d. Valência, Servicio integrado de prevención en riesgos laborales: Energía eléctrica, efectos sobre el organismo, Valência, 2012.
- [9] Various, Linear data book, California: National Semiconductor Corp., 1980.
- [10] R. D. Frandson, Anatomía y fisiología de los animales domésticos, México: Mc Graw Hill, 1986.
- [11] E. Ballester, Electrónica de potencia: principios fundamentales y estructuras básicas, México: Alfa omega, 2012.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

- [12] N. Moham, Power electronics, converters, applications and design, New York: John Wiley and Sons, 2003.
- [13] A. Méndez, Diseño de algoritmos y su programación en C, México: Alfaomega, 2013.
- [14] H. Vallejo, Estimulador muscular, México: Club SE, 1996.
- [15] B. Kernighan, The C programming language, New Jersey: Prentice Hall, 1988.

## **APÉNDICE A: MANUAL DE USUARIO DEL PROTOTIPO**

### **Índice:**

1. Manejo del prototipo electro inmovilizador
2. Modo de uso del prototipo electro inmovilizador
3. Especificaciones del prototipo electro inmovilizador
4. Uso del prototipo electro inmovilizador
5. Limpieza del equipo

### **Contenido**

#### **1. Manejo del prototipo electro inmovilizador**

Utilizar el prototipo en posición vertical preferentemente. No someterlo a caídas o movimientos bruscos que puedan hacer que las piezas internas sufran de averías. Evitar sumergirlo en agua. Se debe evitar que los botones del teclado sean sometidos a una presión excesiva.

#### ***PRECAUCIONES:***

El prototipo debe de mantenerse seco. Al ser un prototipo de estimulación por electricidad, las piezas utilizadas deben de estar en buenas condiciones para reducir al mínimo el riesgo de choque eléctrico en el animal y en el operador.

#### **2. Modo de uso del prototipo electro inmovilizador**

El prototipo cuenta con accesorios para su manejo.

El cable tomacorriente del equipo debe ser IEC 60320 C8 y soportar una corriente mínima de 1A.

El electrodo utilizado para el electro inmovilizador debe contener el conector tipo XLR hembra y diseñado para este equipo.

#### **▼ NOTAS:**

Se recomienda que los electrodos solo estén conectados mientras se utiliza la función específica para cada uno de ellos.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

**⚠ PRECAUCIONES:**

Si el equipo se almacenará por un periodo mayor a un mes, se recomienda que la batería se recargue al 100% para evitar que se descomponga.

**3. Especificaciones del prototipo electro inmovilizador**

El equipo se compone físicamente en la parte frontal por un teclado de cuatro botones de color rojo, una perilla de 5 posiciones, una pantalla LCD con retroiluminación y cuatro LEDs; en la parte lateral izquierda contiene un conector tipo XLR macho; y en la parte posterior contiene un conector tipo IEC 60320 C8 (Macho) y cinco LEDs que indican el estado de la batería.

|                                                      |                            |
|------------------------------------------------------|----------------------------|
| Tensión nominal                                      | 127 V 60 Hz                |
| Batería                                              | Tipo SLA a 12 V y 1200 mAh |
| Cable tomacorriente                                  | Tipo IEC 60320 C7          |
| Conector para electodos                              | Tipo XLR hembra            |
| Tiempo de recarga promedio desde 10% a 80%           | 5 h                        |
| Tiempo de recarga promedio desde 80% a 100%          | 4 h                        |
| Corriente máxima suministrada en electrodo           | 50 mA                      |
| Temperatura de funcionamiento                        | 0 °C ~ 45 °C               |
| Temperatura de almacenamiento                        | -20 °C ~ 60 °C             |
| Humedad                                              | 5% ≤ RH ≤ 85%              |
| Tamaño (sin electrodo y sin tomacorriente conectado) | 130 mm x 85 mm x 140 mm    |

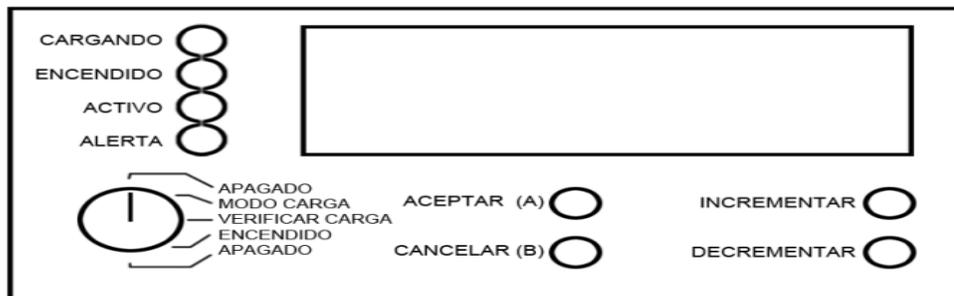
**▼ NOTAS:**

Se recomienda usar el prototipo en posición vertical. Evitar someterlo a caídas o movimientos bruscos. Evitar sumergirlo en agua.

**4. Uso del prototipo electro inmovilizador**

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---



La perilla cuenta con 5 posiciones para el manejo del equipo. En la primera y la última posición (extremos) el equipo se está apagado. En la segunda posición el equipo está en “Modo carga”, se debe conectar el equipo a un tomacorriente de 127 V – 60 Hz con el cable tomacorriente. Al estar correctamente conectado en el equipo, el LED indicador “CARGANDO” se encenderá en color rojo y permanecerá así hasta que se desconecte el equipo del tomacorriente.

### ▼ **NOTAS:**

Se recomienda recargar la batería en su totalidad si se almacenará el equipo por un periodo mayor a un mes.

Se recomienda que el cable tomacorriente se encuentre conectado solo cuando se encuentra en la función de recarga.

### ▲ **PRECAUCIONES:**

El sistema para recargar la batería está hecho para las baterías SLA, por lo que no se recomienda cambiar el tipo de batería. El tiempo recomendado de recarga es de 6 horas continuas.

No se recomienda dejar conectado el equipo al tomacorriente por más de 12 horas, la batería podría sufrir una avería irreversible.

Es recomendable que el equipo se encuentre en reposo, alejado de fuentes de calor y humedad al estar en modo recarga.

En la tercera posición “Verificar carga” se activarán los LEDs que se encuentran en la parte posterior, indicando el estado de la batería.

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

---

**▼ NOTAS:**

Se recomienda usar el equipo solo cuando al menos un LED verde se encuentra encendido.

Se recomienda recargar la batería de inmediato si no se enciende ningún LED verde.

**⚠ PRECAUCIONES:**

Si solo se enciende un LED rojo, es probable que requiera cambiar la batería. Para verificar, recargue la batería por al menos 6 horas, si después de esto el indicador del estado de la batería solo prende los LEDs rojos, se recomienda cambiar la batería por una compatible.

Si no se enciende ningún LED, la batería está averiada, por lo que se recomienda el cambio por una batería compatible.

El equipo no puede ser utilizado mientras está conectado al tomacorrientes.

En la cuarta posición “Encendido” inicia el uso de la interfaz.

**4.1 Uso de la interfaz:**

El sistema consta de cuatro botones en la parte frontal, los cuales son:

- ACEPTAR (A)
- CANCELAR (B)
- INCREMENTAR
- DECREMENTAR

Además, consta de tres LEDs en la parte frontal:

- ENCENDIDO
- ACTIVO
- ALERTA

Y por último, una bocina tipo zumbador que hará un sonido de advertencia cuando se requiera especial atención en el funcionamiento.

## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

Al iniciar la interfaz, el sistema cargará lo necesario para iniciar, al mismo tiempo, probará todos los componentes.

El LED “Encendido” emitirá luz verde y se mantendrá así mientras el equipo esté en uso, la bocina emitirá un zumbido corto.

CARGANDO: 25%

Al terminar de cargar, la interfaz se mantendrá en reposo hasta que se apriete el botón “Aceptar”

Aceptar para continuar...

Al oprimir “Aceptar (A)”, se podrá seleccionar el modo de uso del equipo: Electro Inmovilizador

E. Inmoviliza

Si se oprime la tecla A, comenzará el modo Electro Inmovilizador.

Al seleccionar el modo, podremos continuar en el o regresar a la pantalla anterior.

Aceptar  
Cancelar

Si se oprime la tecla “Aceptar (A)” comenzará a funcionar el electrodo y el LED “ACTIVO” se encenderá en color azul.

POTENCIA: 0

La potencia de salida comenzará en 0 (nula), la cual es semejante a estar apagado el sistema. Con los botones de “INCREMENTO” y “DECREMENTO” podemos aumentar o disminuir la potencia de salida.

POTENCIA: 45

Teniendo el valor máximo de salida de 95 unidades.

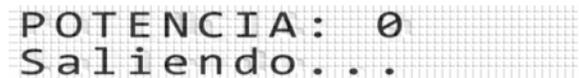
## Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

---

### ▼ **NOTA:**

Este número no tiene ninguna relación con alguna medida internacional. Solo es para denotar la potencia, siendo 0 la mínima y 95 la máxima.

Para salir del modo “Activo”, se oprime el botón “Cancelar (B)”. Inmediatamente se decrementará la potencia al mínimo (0) y saldrá a la ventana inicial, cargando todos los componentes nuevamente.



POTENCIA: 0  
Saliedo...

### ▼ **NOTA:**

La pantalla contiene retroiluminación, por lo que se podrá utilizar con poca luz. Si la pantalla empieza a perder contraste con las letras, es recomendable recargar la batería por un corto periodo, sin importar que el indicador encienda los cinco LEDs.

## 5. Limpieza del prototipo

Para realizar la limpieza es necesario que el equipo permanezca apagado y desconectado del tomacorriente.

Se puede limpiar el prototipo con un trapo húmedo. No se recomienda rociar ninguna sustancia en el prototipo.

### ▼ **NOTA:**

Si algún líquido se llegara a derramar dentro del equipo, se deberá apagar inmediatamente hasta que se seque en su totalidad para evitar posibles fallos en las piezas eléctricas por un corto circuito, sin embargo, no es garantía de que funcione nuevamente.

Para limpiar los electrodos deberán estar desconectados del equipo. Se recomienda limpiarlos con agua y jabón. No se recomienda el uso de productos abrasivos ya que podrían acelerar el proceso de oxidación de las partes conductoras del electrodo.

## APÉNDICE B: LM317



LM117, LM317A, LM317-N

www.ti.com

SNVS774O – MAY 2004 – REVISED JANUARY 2014

### LM117/LM317A/LM317-N Three-Terminal Adjustable Regulator

Check for Samples: [LM117](#), [LM317A](#), [LM317-N](#)

#### FEATURES

- Specified 1% Output Voltage Tolerance (LM317A)
- Specified max. 0.01%/V Line Regulation (LM317A)
- Specified max. 0.3% Load Regulation (LM117)
- Specified 1.5A Output Current
- Adjustable Output Down to 1.2V
- Current Limit Constant with Temperature
- P<sup>+</sup> Product Enhancement tested
- 80 dB Ripple Rejection
- Output is Short-Circuit Protected

#### DESCRIPTION

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2004–2014, Texas Instruments Incorporated

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

## LM117, LM317A, LM317-N



SNVS774O –MAY 2004–REVISED JANUARY 2014

[www.ti.com](http://www.ti.com)

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)(2)</sup>

|                                   |                                        |                    |
|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| Power Dissipation                 |                                        | Internally Limited |
| Input-Output Voltage Differential |                                        | +40V, -0.3V        |
| Storage Temperature               |                                        | -65°C to +150°C    |
| Lead Temperature                  | Metal Package (Soldering, 10 seconds)  | 300°C              |
|                                   | Plastic Package (Soldering, 4 seconds) | 260°C              |
| ESD Tolerance <sup>(3)</sup>      |                                        | 3 kV               |

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not ensure specific performance limits. For ensured specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The ensured specifications apply only for the test conditions listed.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

### OPERATING TEMPERATURE RANGE

|                        |  |                                 |
|------------------------|--|---------------------------------|
| LM117                  |  | -55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C |
| LM317A                 |  | -40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C |
| LM317-N                |  | 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C   |
| <b>Preconditioning</b> |  |                                 |
| Thermal Limit Burn-In  |  | All Devices 100%                |

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

## LM117, LM317A, LM317-N



SNVS774D –MAY 2004–REVISED JANUARY 2014

www.ti.com

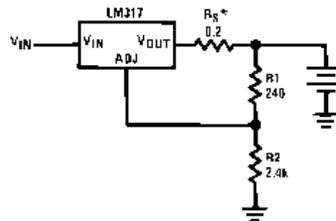
### LM317A and LM317-N ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)</sup>

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and  $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ .

| Parameter                                                                  | Conditions                                                                                              | LM317A            |                      |                     | LM317-N     |                     |                     | Units              |   |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|---|
|                                                                            |                                                                                                         | Min               | Typ                  | Max                 | Min         | Typ                 | Max                 |                    |   |
| Reference Voltage                                                          |                                                                                                         | 1.238             | 1.250                | 1.262               | -           | 1.25                | -                   | V                  |   |
|                                                                            | $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ ,<br>$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}^{(1)}$ | <b>1.225</b>      | <b>1.250</b>         | <b>1.270</b>        | <b>1.20</b> | <b>1.25</b>         | <b>1.30</b>         | V                  |   |
| Line Regulation                                                            | $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}^{(2)}$                                               |                   | 0.005<br><b>0.01</b> | 0.01<br><b>0.02</b> |             | 0.01<br><b>0.02</b> | 0.04<br><b>0.07</b> | %/V                |   |
| Load Regulation                                                            | $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}^{(1)(2)}$                                                       |                   | 0.1<br><b>0.3</b>    | 0.5<br><b>1</b>     |             | 0.1<br><b>0.3</b>   | 0.5<br><b>1.5</b>   | %                  |   |
| Thermal Regulation                                                         | 20 ms Pulse                                                                                             |                   | 0.04                 | 0.07                |             | 0.04                | 0.07                | %/W                |   |
| Adjustment Pin Current                                                     |                                                                                                         |                   | <b>50</b>            | <b>100</b>          |             | <b>50</b>           | <b>100</b>          | $\mu\text{A}$      |   |
| Adjustment Pin Current Change                                              | $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}^{(1)}$<br>$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$   |                   | <b>0.2</b>           | <b>5</b>            |             | <b>0.2</b>          | <b>5</b>            | $\mu\text{A}$      |   |
| Temperature Stability                                                      | $T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$                                                                         |                   | <b>1</b>             |                     |             | <b>1</b>            |                     | %                  |   |
| Minimum Load Current                                                       | $(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$                                                                       |                   | <b>3.5</b>           | <b>10</b>           |             | <b>3.5</b>          | <b>10</b>           | mA                 |   |
| Current Limit                                                              | $(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$                                                                    | NDS, KTT Packages | -                    | -                   | -           | <b>1.5</b>          | <b>2.2</b>          | <b>3.4</b>         | A |
|                                                                            |                                                                                                         | DCY, NDE Packages | <b>1.5</b>           | <b>2.2</b>          | <b>3.4</b>  | <b>1.5</b>          | <b>2.2</b>          | <b>3.4</b>         |   |
|                                                                            |                                                                                                         | NDT Package       | <b>0.5</b>           | <b>0.8</b>          | <b>1.8</b>  | <b>0.5</b>          | <b>0.8</b>          | <b>1.8</b>         |   |
|                                                                            | $(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$                                                                       | NDS, KTT Packages | -                    | -                   | -           | 0.15                | 0.40                |                    | A |
|                                                                            |                                                                                                         | DCY, NDE Packages | 0.15                 | 0.40                |             | 0.15                | 0.40                |                    |   |
|                                                                            |                                                                                                         | NDT Package       | 0.075                | 0.20                |             | 0.075               | 0.20                |                    |   |
| RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$                                           | $10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$                                                                |                   | 0.003                |                     |             | 0.003               |                     | %                  |   |
| Ripple Rejection Ratio                                                     | $V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$                         |                   | <b>65</b>            |                     |             | <b>65</b>           |                     | dB                 |   |
|                                                                            | $V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$                        | <b>66</b>         | <b>80</b>            |                     | <b>66</b>   | <b>80</b>           |                     | dB                 |   |
| Long-Term Stability                                                        | $T_J = 125^\circ\text{C}$ , 1000 hrs                                                                    |                   | 0.3                  | 1                   |             | 0.3                 | 1                   | %                  |   |
| Thermal Resistance, $\theta_{JC}$<br>Junction-to-Case                      | NDS (TO-3) Package                                                                                      |                   | -                    |                     |             | 2                   |                     | $^\circ\text{C/W}$ |   |
|                                                                            | NDE (TO-220) Package                                                                                    |                   | 4                    |                     |             | 4                   |                     |                    |   |
|                                                                            | KTT (TO-263) Package                                                                                    |                   | -                    |                     |             | 4                   |                     |                    |   |
|                                                                            | DCY (SOT-223) Package                                                                                   |                   | 23.5                 |                     |             | 23.5                |                     |                    |   |
|                                                                            | NDT (TO) Package                                                                                        |                   | 21                   |                     |             | 21                  |                     |                    |   |
|                                                                            | NDP (TO-252) Package                                                                                    |                   | 12                   |                     |             | 12                  |                     |                    |   |
| Thermal Resistance, $\theta_{JA}$<br>Junction-to-Ambient<br>(No Heat Sink) | NDS (TO-3) Package                                                                                      |                   | -                    |                     |             | 39                  |                     | $^\circ\text{C/W}$ |   |
|                                                                            | NDE (TO-220) Package                                                                                    |                   | 50                   |                     |             | 50                  |                     |                    |   |
|                                                                            | KTT (TO-263) Package <sup>(3)</sup>                                                                     |                   | -                    |                     |             | 50                  |                     |                    |   |
|                                                                            | DCY (SOT-223) Package <sup>(3)</sup>                                                                    |                   | 140                  |                     |             | 140                 |                     |                    |   |
|                                                                            | NDT (TO) Package                                                                                        |                   | 186                  |                     |             | 186                 |                     |                    |   |
|                                                                            | NDP (TO-252) Package <sup>(3)</sup>                                                                     |                   | 103                  |                     |             | 103                 |                     |                    |   |

- $I_{MAX} = 1.5\text{A}$  for the NDS (TO-3), NDE (TO-220), and KTT (TO-263) packages.  $I_{MAX} = 1.0\text{A}$  for the DCY (SOT-223) package.  $I_{MAX} = 0.5\text{A}$  for the NDT (TO) and NDP (TO-252) packages. Device power dissipation ( $P_D$ ) is limited by ambient temperature ( $T_A$ ), device maximum junction temperature ( $T_J$ ), and package thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ). The maximum allowable power dissipation at any temperature is:  $P_{D(MAX)} = ((T_{J(MAX)} - T_A)/\theta_{JA})$ . All Min. and Max. limits are ensured to TI's Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.
- When surface mount packages are used (TO-263, SOT-223, TO-252), the junction to ambient thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area that is thermally connected to the package. See the **APPLICATION HINTS** section for heatsink techniques.

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.



$$I_{D_S} = \text{output impedance of diode} + 2I_{D_S} - P_D \left( 1 - \frac{R_{\theta J C}}{R_{\theta J A}} \right)$$

Use of  $R_S$  allows low charging rates with fully charged battery.

Figure 53. 12V Battery Charger

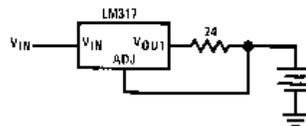


Figure 54. 50mA Constant Current Battery Charger

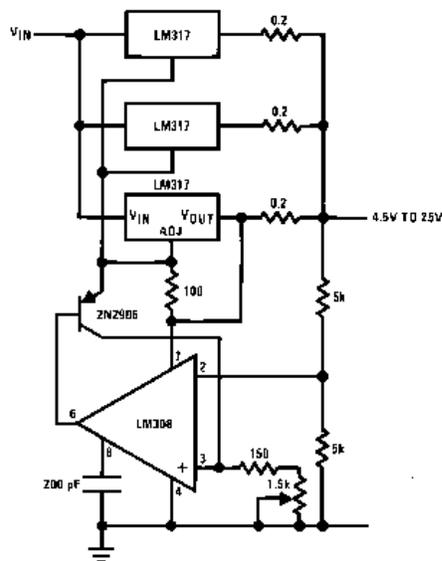


Figure 55. Adjustable 4A Regulator

## APÉNDICE C: LM3914



LM3914

www.ti.com

SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

### LM3914 Dot/Bar Display Driver

Check for Samples: [LM3914](#)

#### FEATURES

- Drives LEDs, LCDs or Vacuum Fluorescents
- Bar or Dot Display Mode Externally Selectable by User
- Expandable to Displays of 100 Steps
- Internal Voltage Reference from 1.2V to 12V
- Operates with Single Supply of Less than 3V
- Inputs Operate Down to Ground
- Output Current Programmable from 2 mA to 30 mA
- No Multiplex Switching or Interaction Between Outputs
- Input Withstands  $\pm 35V$  without Damage or False Outputs
- LED Driver Outputs are Current Regulated, Open-collectors
- Outputs can Interface with TTL or CMOS Logic
- The Internal 10-step Divider is Floating and can be Referenced to a Wide Range of Voltages

#### DESCRIPTION

The LM3914 is a monolithic integrated circuit that senses analog voltage levels and drives 10 LEDs, providing a linear analog display. A single pin changes the display from a moving dot to a bar graph. Current drive to the LEDs is regulated and programmable, eliminating the need for resistors. This feature is one that allows operation of the whole system from less than 3V.

The circuit contains its own adjustable reference and accurate 10-step voltage divider. The low-bias-current input buffer accepts signals down to ground, or  $V^-$ , yet needs no protection against inputs of 35V above or below ground. The buffer drives 10 individual comparators referenced to the precision divider. Indication non-linearity can thus be held typically to  $\frac{1}{2}\%$ , even over a wide temperature range.

Versatility was designed into the LM3914 so that controller, visual alarm, and expanded scale functions are easily added on to the display system. The circuit can drive LEDs of many colors, or low-current incandescent lamps. Many LM3914s can be "chained" to form displays of 20 to over 100 segments. Both ends of the voltage divider are externally available so that 2 drivers can be made into a zero-center meter.

The LM3914 is very easy to apply as an analog meter circuit. A 1.2V full-scale meter requires only 1 resistor and a single 3V to 15V supply in addition to the 10 display LEDs. If the 1 resistor is a pot, it becomes the LED brightness control. The simplified block diagram illustrates this extremely simple external circuitry.

When in the dot mode, there is a small amount of overlap or "fade" (about 1 mV) between segments. This assures that at no time will all LEDs be "OFF", and thus any ambiguous display is avoided. Various novel displays are possible.

Much of the display flexibility derives from the fact that all outputs are individual, DC regulated currents. Various effects can be achieved by modulating these currents. The individual outputs can drive a transistor as well as a LED at the same time, so controller functions including "staging" control can be performed. The LM3914 can also act as a programmer, or sequencer.

The LM3914 is rated for operation from 0°C to +70°C. The LM3914N-1 is available in an 18-lead PDIP (NFK) package.

The following typical application illustrates adjusting of the reference to a desired value, and proper grounding for accurate operation, and avoiding oscillations.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

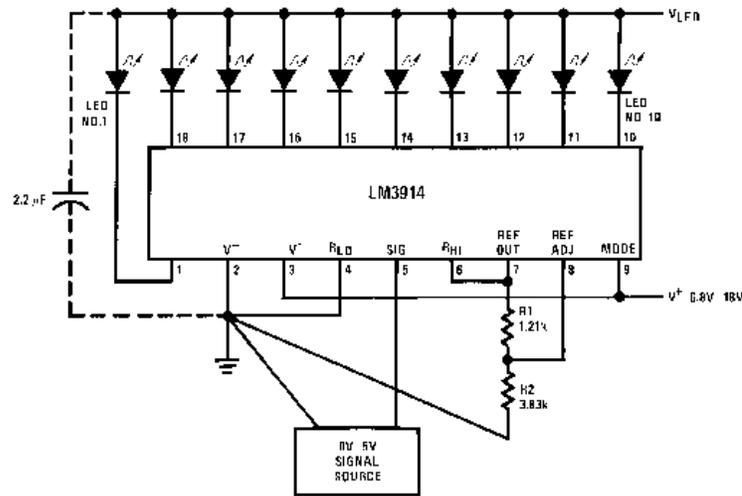
LM3914



SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

## TYPICAL APPLICATIONS



$$R_2 = \text{CAL } V \times 10^3 \left( 1 - \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$I_{FD} \approx \frac{12.5}{R_1}$$

**Note:** Grounding method is typical of *all* uses. The 2.2µF tantalum or 10 µF aluminum electrolytic capacitor is needed if leads to the LED supply are 6" or longer.

Figure 1. 0V to 5V Bar Graph Meter

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.



LM3914

www.ti.com

SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)(2)</sup>

|                                                                 |                           |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Power Dissipation <sup>(3)</sup><br>PDIP (NFK)                  | 1365 mW                   |
| Supply Voltage                                                  | 25V                       |
| Voltage on Output Drivers                                       | 25V                       |
| Input Signal Overvoltage <sup>(4)</sup>                         | ±35V                      |
| Divider Voltage                                                 | -100 mV to V <sup>+</sup> |
| Reference Load Current                                          | 10 mA                     |
| Storage Temperature Range                                       | -55°C to +150°C           |
| Soldering Information<br>PDIP Package<br>Soldering (10 seconds) | 260°C                     |
| PLCC Package<br>Vapor Phase (60 seconds)                        | 215°C                     |
| Infrared (15 seconds)                                           | 220°C                     |

See <http://www.ti.com> for other methods of soldering surface mount devices.

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensure specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not specified for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) The maximum junction temperature of the LM3914 is 100°C. Devices must be derated for operation at elevated temperatures. Junction to ambient thermal resistance is 55°C/W for the PDIP (NFK package).
- (4) Pin 5 input current must be limited to ±3mA. The addition of a 39k resistor in series with pin 5 allows ±100V signals without damage.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)(2)</sup>

| Parameter                                       | Conditions <sup>(1)</sup>                                          | Min | Typ | Max | Units |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| <b>COMPARATOR</b>                               |                                                                    |     |     |     |       |
| Offset Voltage, Buffer and First Comparator     | $0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$ ,<br>$I_{LED} = 1 \text{ mA}$ |     | 3   | 10  | mV    |
| Offset Voltage, Buffer and Any Other Comparator | $0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$ ,<br>$I_{LED} = 1 \text{ mA}$ |     | 3   | 15  | mV    |
| Gain ( $\Delta I_{LED}/\Delta V_{IN}$ )         | $I_{L(REF)} = 2 \text{ mA}$ , $I_{LED} = 10 \text{ mA}$            | 3   | 8   |     | mA/mV |
| Input Bias Current (at Pin 5)                   | $0V \leq V_{IN} \leq V^+ - 1.5V$                                   |     | 25  | 100 | nA    |
| Input Signal Overvoltage                        | No Change in Display                                               | -35 |     | 35  | V     |
| <b>VOLTAGE-DIVIDER</b>                          |                                                                    |     |     |     |       |
| Divider Resistance                              | Total, Pin 6 to 4                                                  | 8   | 12  | 17  | kΩ    |
| Accuracy                                        | <sup>(3)</sup>                                                     |     | 0.5 | 2   | %     |

- (1) Unless otherwise stated, all specifications apply with the following conditions:  
 $3 V_{DC} \leq V^+ \leq 20 V_{DC}$      $V_{REF}, V_{RHI}, V_{RLO} \leq (V^+ - 1.5V)$   
 $3 V_{DC} \leq V_{LED} \leq V^+$      $0V \leq V_{IN} \leq V^+ - 1.5V$   
 $-0.015V \leq V_{RLO} \leq 12V_{DC}$      $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $I_{L(REF)} = 0.2 \text{ mA}$ ,  $V_{LED} = 3.0V$ , pin 9 connected to pin 3 (Bar Mode).  
 $-0.015V \leq V_{RHI} \leq 12 V_{DC}$  For higher power dissipations, pulse testing is used.
- (2) Pin 5 input current must be limited to ±3mA. The addition of a 39k resistor in series with pin 5 allows ±100V signals without damage.
- (3) Accuracy is measured referred to +10.000V<sub>DC</sub> at pin 6, with 0.000 V<sub>DC</sub> at pin 4. At lower full-scale voltages, buffer and comparator offset voltage may add significant error.

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

LM3914



SNVS761B – JANUARY 2000 – REVISED MARCH 2013

www.ti.com

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)(2)</sup> (continued)

| Parameter                                                          | Conditions <sup>(1)</sup>                                                                       | Min                                            | Typ  | Max  | Units         |               |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------|------|---------------|---------------|
| <b>VOLTAGE REFERENCE</b>                                           |                                                                                                 |                                                |      |      |               |               |
| Output Voltage                                                     | $0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$ ,<br>$V^* = V_{LED} = 5V$                    | 1.2                                            | 1.28 | 1.34 | V             |               |
| Line Regulation                                                    | $3V \leq V^* \leq 18V$                                                                          |                                                | 0.01 | 0.03 | %/V           |               |
| Load Regulation                                                    | $0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$ ,<br>$V^* = V_{LED} = 5V$                    |                                                | 0.4  | 2    | %             |               |
| Output Voltage Change with Temperature                             | $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ , $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$ ,<br>$V^* = 5V$ |                                                | 1    |      | %             |               |
| Adjust Pin Current                                                 |                                                                                                 |                                                | 75   | 120  | $\mu\text{A}$ |               |
| <b>OUTPUT DRIVERS</b>                                              |                                                                                                 |                                                |      |      |               |               |
| LED Current                                                        | $V^* = V_{LED} = 5V$ , $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$                                              | 7                                              | 10   | 13   | mA            |               |
| LED Current Difference (Between Largest and Smallest LED Currents) | $V_{LED} = 5V$                                                                                  | $I_{LED} = 2 \text{ mA}$                       | 0.12 | 0.4  | mA            |               |
|                                                                    |                                                                                                 | $I_{LED} = 20 \text{ mA}$                      | 1.2  | 3    |               |               |
| LED Current Regulation                                             | $2V \leq V_{LED} \leq 17V$                                                                      | $I_{LED} = 2 \text{ mA}$                       | 0.1  | 0.25 | mA            |               |
|                                                                    |                                                                                                 | $I_{LED} = 20 \text{ mA}$                      | 1    | 3    |               |               |
| Dropout Voltage                                                    | $I_{LED(ON)} = 20 \text{ mA}$ , $V_{LED} = 5V$ ,<br>$\Delta I_{LED} = 2 \text{ mA}$             |                                                |      | 1.5  | V             |               |
| Saturation Voltage                                                 | $I_{LED} = 2.0 \text{ mA}$ , $I_{L(REF)} = 0.4 \text{ mA}$                                      |                                                | 0.15 | 0.4  | V             |               |
| Output Leakage, Each Collector                                     | (Bar Mode) <sup>(4)</sup>                                                                       |                                                | 0.1  | 10   | $\mu\text{A}$ |               |
| Output Leakage                                                     | (Dot Mode) <sup>(4)</sup>                                                                       | Pins 10–18                                     |      | 0.1  | 10            | $\mu\text{A}$ |
|                                                                    |                                                                                                 | Pin 1                                          | 60   | 150  | 450           | $\mu\text{A}$ |
| <b>SUPPLY CURRENT</b>                                              |                                                                                                 |                                                |      |      |               |               |
| Standby Supply Current (All Outputs Off)                           | $V^* = 5V$ ,<br>$I_{L(REF)} = 0.2 \text{ mA}$                                                   |                                                | 2.4  | 4.2  | mA            |               |
|                                                                    |                                                                                                 | $V^* = 20V$ ,<br>$I_{L(REF)} = 1.0 \text{ mA}$ |      | 6.1  | 9.2           | mA            |

(4) Bar mode results when pin 9 is within 20mV of  $V^*$ . Dot mode results when pin 9 is pulled at least 200mV below  $V^*$  or left open circuit. LED No. 10 (pin 10 output current) is disabled if pin 9 is pulled 0.9V or more below  $V_{LED}$ .

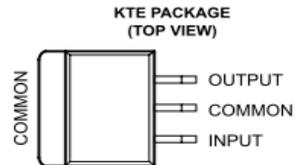
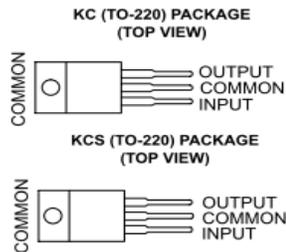
## APÉNDICE D: LM7805

### μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection

- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



#### description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

#### ORDERING INFORMATION

| T <sub>J</sub> | V <sub>O(NOM)</sub><br>(V) | PACKAGE†                     |              | ORDERABLE<br>PART NUMBER | TOP-SIDE<br>MARKING |
|----------------|----------------------------|------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|
| 0°C to 125°C   | 5                          | POWER-FLEX (KTE)             | Reel of 2000 | μA7805CKTER              | μA7805C             |
|                |                            | TO-220 (KC)                  | Tube of 50   | μA7805CKC                | μA7805C             |
|                |                            | TO-220, short shoulder (KCS) | Tube of 20   | μA7805CKCS               |                     |
|                | 8                          | POWER-FLEX (KTE)             | Reel of 2000 | μA7808CKTER              | μA7808C             |
|                |                            | TO-220 (KC)                  | Tube of 50   | μA7808CKC                | μA7808C             |
|                |                            | TO-220, short shoulder (KCS) | Tube of 20   | μA7808CKCS               |                     |
|                | 10                         | POWER-FLEX (KTE)             | Reel of 2000 | μA7810CKTER              | μA7810C             |
|                |                            | TO-220 (KC)                  | Tube of 50   | μA7810CKC                | μA7810C             |
|                | 12                         | POWER-FLEX (KTE)             | Reel of 2000 | μA7812CKTER              | μA7812C             |
|                |                            | TO-220 (KC)                  | Tube of 50   | μA7812CKC                | μA7812C             |
|                |                            | TO-220, short shoulder (KCS) | Tube of 20   | μA7812CKCS               |                     |
|                | 15                         | POWER-FLEX (KTE)             | Reel of 2000 | μA7815CKTER              | μA7815C             |
|                |                            | TO-220 (KC)                  | Tube of 50   | μA7815CKC                | μA7815C             |
|                |                            | TO-220, short shoulder (KCS) | Tube of 20   | μA7815CKCS               |                     |
|                | 24                         | POWER-FLEX (KTE)             | Reel of 2000 | μA7824CKTER              | μA7824C             |
|                |                            | TO-220 (KC)                  | Tube of 50   | μA7824CKC                | μA7824C             |

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**  
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

1

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

## μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

### recommended operating conditions

|       |                                        | MIN            | MAX  | UNIT |    |
|-------|----------------------------------------|----------------|------|------|----|
| $V_I$ | Input voltage                          | μA7805C        | 7    | 25   | V  |
|       |                                        | μA7808C        | 10.5 | 25   |    |
|       |                                        | μA7810C        | 12.5 | 28   |    |
|       |                                        | μA7812C        | 14.5 | 30   |    |
|       |                                        | μA7815C        | 17.5 | 30   |    |
|       |                                        | μA7824C        | 27   | 38   |    |
| $I_O$ | Output current                         |                | 1.5  | A    |    |
| $T_J$ | Operating virtual junction temperature | μA7800C series | 0    | 125  | °C |

### electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$ , $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

| PARAMETER                                 | TEST CONDITIONS                                               | $T_J$ †      | μA7805C |       |      | UNIT  |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|---------|-------|------|-------|
|                                           |                                                               |              | MIN     | TYP   | MAX  |       |
| Output voltage                            | $I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ ,<br>$P_D \leq 15\text{ W}$ | 25°C         | 4.8     | 5     | 5.2  | V     |
|                                           |                                                               | 0°C to 125°C | 4.75    |       | 5.25 |       |
| Input voltage regulation                  | $V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$                             | 25°C         |         | 3     | 100  | mV    |
|                                           | $V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$                             |              |         | 1     | 50   |       |
| Ripple rejection                          | $V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$ ,<br>$f = 120\text{ Hz}$    | 0°C to 125°C | 62      | 78    |      | dB    |
| Output voltage regulation                 | $I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$                           | 25°C         |         | 15    | 100  | mV    |
|                                           | $I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$                        |              |         | 5     | 50   |       |
| Output resistance                         | $f = 1\text{ kHz}$                                            | 0°C to 125°C |         | 0.017 |      | Ω     |
| Temperature coefficient of output voltage | $I_O = 5\text{ mA}$                                           | 0°C to 125°C |         | -1.1  |      | mV/°C |
| Output noise voltage                      | $f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$                          | 25°C         |         | 40    |      | μV    |
| Dropout voltage                           | $I_O = 1\text{ A}$                                            | 25°C         |         | 2     |      | V     |
| Bias current                              |                                                               | 25°C         |         | 4.2   | 8    | mA    |
| Bias current change                       | $V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$                             | 0°C to 125°C |         |       | 1.3  | mA    |
|                                           | $I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$                             |              |         |       | 0.5  |       |
| Short-circuit output current              |                                                               | 25°C         |         | 750   |      | mA    |
| Peak output current                       |                                                               | 25°C         |         | 2.2   |      | A     |

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

# Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.

## μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 14\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

| PARAMETER                                 | TEST CONDITIONS                                                                                      | $T_J$ †      | μA7808C |     |     | UNIT  |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|-----|-----|-------|
|                                           |                                                                                                      |              | MIN     | TYP | MAX |       |
| Output voltage                            | $I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $V_I = 10.5\text{ V to }23\text{ V}$ ,<br>$P_D \leq 15\text{ W}$ | 25°C         | 7.7     | 8   | 8.3 | V     |
|                                           |                                                                                                      | 0°C to 125°C | 7.6     |     | 8.4 |       |
| Input voltage regulation                  | $V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$                                                                 | 25°C         | 6       |     |     | mV    |
|                                           | $V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$                                                                   |              | 2       |     |     |       |
| Ripple rejection                          | $V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$                                         | 0°C to 125°C | 55      | 72  |     | dB    |
| Output voltage regulation                 | $I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$                                                                  | 25°C         | 12      |     |     | mV    |
|                                           | $I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$                                                               |              | 4       |     |     |       |
| Output resistance                         | $f = 1\text{ kHz}$                                                                                   | 0°C to 125°C | 0.016   |     |     | Ω     |
| Temperature coefficient of output voltage | $I_O = 5\text{ mA}$                                                                                  | 0°C to 125°C | -0.8    |     |     | mV/°C |
| Output noise voltage                      | $f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$                                                                 | 25°C         | 52      |     |     | μV    |
| Dropout voltage                           | $I_O = 1\text{ A}$                                                                                   | 25°C         | 2       |     |     | V     |
| Bias current                              |                                                                                                      | 25°C         | 4.3     |     |     | mA    |
| Bias current change                       | $V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$                                                                 | 0°C to 125°C | 1       |     |     | mA    |
|                                           | $I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$                                                                    |              | 0.5     |     |     |       |
| Short-circuit output current              |                                                                                                      | 25°C         | 450     |     |     | mA    |
| Peak output current                       |                                                                                                      | 25°C         | 2.2     |     |     | A     |

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 17\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

| PARAMETER                                 | TEST CONDITIONS                                                                                      | $T_J$ †      | μA7810C |     |      | UNIT  |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|-----|------|-------|
|                                           |                                                                                                      |              | MIN     | TYP | MAX  |       |
| Output voltage                            | $I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $V_I = 12.5\text{ V to }25\text{ V}$ ,<br>$P_D \leq 15\text{ W}$ | 25°C         | 9.6     | 10  | 10.4 | V     |
|                                           |                                                                                                      | 0°C to 125°C | 9.5     | 10  | 10.5 |       |
| Input voltage regulation                  | $V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$                                                                 | 25°C         | 7       |     |      | mV    |
|                                           | $V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$                                                                   |              | 2       |     |      |       |
| Ripple rejection                          | $V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$                                             | 0°C to 125°C | 55      | 71  |      | dB    |
| Output voltage regulation                 | $I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$                                                                  | 25°C         | 12      |     |      | mV    |
|                                           | $I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$                                                               |              | 4       |     |      |       |
| Output resistance                         | $f = 1\text{ kHz}$                                                                                   | 0°C to 125°C | 0.018   |     |      | Ω     |
| Temperature coefficient of output voltage | $I_O = 5\text{ mA}$                                                                                  | 0°C to 125°C | -1      |     |      | mV/°C |
| Output noise voltage                      | $f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$                                                                 | 25°C         | 70      |     |      | μV    |
| Dropout voltage                           | $I_O = 1\text{ A}$                                                                                   | 25°C         | 2       |     |      | V     |
| Bias current                              |                                                                                                      | 25°C         | 4.3     |     |      | mA    |
| Bias current change                       | $V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$                                                                 | 0°C to 125°C | 1       |     |      | mA    |
|                                           | $I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$                                                                    |              | 0.5     |     |      |       |
| Short-circuit output current              |                                                                                                      | 25°C         | 400     |     |      | mA    |
| Peak output current                       |                                                                                                      | 25°C         | 2.2     |     |      | A     |

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



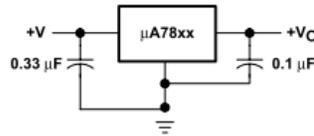
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**Tesis: Diseño, desarrollo e implementación de un equipo electro eyaculador y electro inmovilizador de uso veterinario para bovinos.**

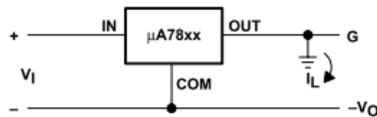
**μA7800 SERIES  
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

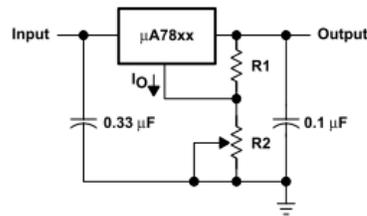
**APPLICATION INFORMATION**



**Figure 1. Fixed-Output Regulator**



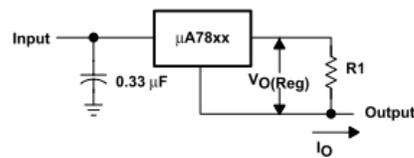
**Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration ( $V_I$  Must Float)**



NOTE A: The following formula is used when  $V_{xx}$  is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left( \frac{V_{xx}}{R1} + I_O \right) R2$$

**Figure 3. Adjustable-Output Regulator**



$$I_O = (V_O/R1) + I_O \text{ Bias Current}$$

**Figure 4. Current Regulator**

