

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones.

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELECTRO-  
ESTIMULACIÓN TEMPRANA PSICOMOTRIZ EN NIÑOS CON SÍNDROME DE  
DOWN DEL CENTRO DESPERTAR LOS ÁNGELES PARA MEJORAR LA  
MOTRICIDAD EN EXTREMIDADES SUPERIORES.**

Autor: Adalberto Faustino Armijos Cacay

Tutor: Ing. Alfonso Gunsha Morales Msc.

Riobamba - Ecuador

AÑO 2018

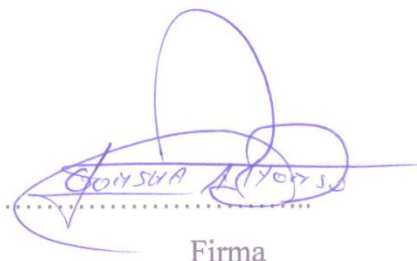
## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador revisan y aprueban el informe de investigación, sobre: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELECTRO-ESTIMULACIÓN TEMPRANA PSICOMOTRIZ EN NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN DEL CENTRO DESPERTAR LOS ÁNGELES PARA MEJORAR LA MOTRICIDAD EN EXTREMIDADES SUPERIORES. Trabajo de grado para obtener el Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, aprobado en nombre de la Universidad Nacional de Chimborazo, por el siguiente jurado examinador, del estudiante Adalberto Faustino Armijos Cacay.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Gunsha Morales Alfonso Javier

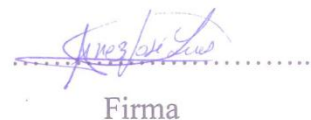
**TUTOR**



Firma

Ing. Jinez Tapia José Luis

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firma

Ing. Inca Balseca Deysi

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firma

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Adalberto Faustino Armijos Cacay expreso mediante la presente ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación titulada: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELECTRO-ESTIMULACIÓN TEMPRANA PSICOMOTRIZ EN NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN DEL CENTRO DESPERTAR LOS ÁNGELES PARA MEJORAR LA MOTRICIDAD EN EXTREMIDADES SUPERIORES. El mismo que ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfonso Gunsha Morales, en calidad de tutor y los derechos le corresponde a la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Riobamba, Marzo de 2018,



---

**Adalberto Faustino Armijos Cacay**

C.I.: 172138936-7

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Adalberto Faustino Armijos Cacay expreso mediante la presente ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación titulada: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELECTRO-ESTIMULACIÓN TEMPRANA PSICOMOTRIZ EN NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN DEL CENTRO DESPERTAR LOS ÁNGELES PARA MEJORAR LA MOTRICIDAD EN EXTREMIDADES SUPERIORES. El mismo que ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfonso Gunsha Morales, en calidad de tutor y los derechos le corresponde a la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Riobamba, Marzo de 2018,



**Adalberto Faustino Armijos Cacay**

C.I.: 172138936-7

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi familia y en especial a mis padres quienes han dado todo para hacer de mi un profesional y ante todo una persona con calidad humana guiado de la mano de Dios.

## **AGRADECIMIENTOS**

El agradecimiento sincero a mi hogar quienes son un pilar fundamental en mi vida, a mis padres, mi familia y amigos quienes han contribuido en mi éxito y realización personal, a mis docentes quienes con sus consejos y sugerencias se han ganado un amigo veraz, gracias a ese apoyo recibido he alcanzado este logro maravilloso.

**GRACIAS INFINITAS!!!**

## CONTENIDO

1. RESUMEN .....	10
2. ABSTRACT .....	11
3. INTRODUCCIÓN.....	1
4. JUSTIFICACIÓN.....	2
5. OBJETIVOS.....	3
5.1. GENERAL: .....	3
5.2. ESPECÍFICOS:.....	3
6. MARCO TEÓRICO .....	4
6.1. ANTECEDENTES DEL SÍNDROME DE DOWN.....	4
6.2. EN EL ECUADOR.....	5
6.3. LAS CARACTERÍSTICAS MOTORAS DE LOS NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN .....	7
6.4. ANTECEDENTES DE LA ELECTRÓNICA Y LA MEDICINA. ....	7
6.5. ANTECEDENTES DE LA ELECTRO ESTIMULACIÓN. ....	8
6.6. ELECTROTERAPIA .....	8
6.7. ELECTRO ESTIMULADOR. ....	9
6.8. TRATAMIENTO DE ELECTRO-ESTIMULACIÓN.....	10
6.9. ANTECEDENTES DE LOS MICRO-CONTROLADORES EN LA MEDICINA. ....	11
6.10. EQUIPOS MÉDICOS ELECTRÓNICOS.....	11
6.11. MEJORA DE LA MOTRICIDAD .....	11
6.12. RESPUESTA BENEFICIOSA DEL ORGANISMO FRENTE A LA ACTIVIDAD FÍSICA.....	13
6.13. BENEFICIOS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA REGULAR EN PERSONAS CON SD.....	14
6.14. MEJORA DEL APARATO LOCOMOTOR.....	14
6.15. OTROS BENEFICIOS .....	14
6.15.1. APARATO RESPIRATORIO .....	14
6.15.1 METABOLISMO .....	14
6.15.2 PSICOSOCIAL.....	15
7. METODOLOGÍA.....	16
7.1 HIPÓTESIS NULA.....	16
7.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	16
7.3 INVESTIGACIÓN DE LA PATOLOGÍA. ....	16

7.4	DISEÑO DEL ELECTRO ESTIMULADOR.....	18
7.5	CALCULO DE LA FRECUENCIA DE TRABAJO.....	19
7.6	ELECTRO ESTIMULADOR CON FRECUENCIA VARIABLE. ....	22
8.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	25
8.1	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	25
8.2	RESULTADOS. ....	25
8.3	DISCUSIÓN .....	27
8.4	MÉTODO CHI-CUADRADO .....	28
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	31
9.1.	CONCLUSIONES.....	31
9.2.	RECOMENDACIONES. ....	32
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	33
11.	ANEXOS .....	1

## **ILUSTRACIONES**

Ilustración 1.	Músculos a ejercitar en las extremidades superiores .....	10
Ilustración 2	Electrodo para ECG NT4.....	10
Ilustración 3.	Análisis de Curvas de los niveles de corriente permitida a inducir .....	17
Ilustración 4.	Puntos adecuados para el uso de electrodos .....	17
Ilustración 5.	Diagrama del circuito para el oscilador 555 en modo Astable. ....	19
Ilustración 6.	Configuración interna del 555. ....	21
Ilustración 7.	Configuración del 555 en modo frecuencia variable. ....	23
Ilustración 8.	Diseño del electro estimulador en Proteus.....	24
Ilustración 9	Tabla de chi-cuadrado.....	30
Ilustración 10.	Curva del chi cuadrado obtenida .....	30

## **TABLAS**

Tabla 1.	Parámetros de corriente para aplicación del electro-estimulador. ....	18
Tabla 2.	Tabla de resumen de los valores del diseño del 555.....	21
Tabla 3.	Tabla de la recuperación progresiva de los pacientes 1 y 2.....	26
Tabla 4.	Respuesta del Musculo en periodos de trabajo.....	26
Tabla 5.	Método Chi Cuadrado, tabla de la frecuencia obtenida.....	28
Tabla 6.	Método, tabla de la frecuencia esperada.....	29



## **ECUACIONES**

Ecuación 1. Tiempo en alto (TH) del oscilador 555.....	20
Ecuación 2. Tiempo en bajo (tL) del oscilador 555.....	20
Ecuación 3. Grados de Libertad.....	28
Ecuación 4. Fórmula para el cálculo de ji-cuadrado.....	29

## **GRÁFICOS**

Gráfico 1 Casos existentes de Síndrome de Down 2017.....	6
Gráfico 2 Provincias con mayor y menor cantidad de personas con síndrome de Down.....	6
Gráfico 3 Análisis de Recuperación Progresiva .....	27

## 1. RESUMEN

En este proyecto de investigación se lleva a cabo el desarrollo de un prototipo de electroestimulación temprano, que estimule los principales músculos que interviene en la motricidad de las extremidades superiores, los mismos que son imprescindibles para poder sujetar o agarrar cualquier objeto. (Renovell, 2017)

El síndrome de Down o trisomía 21 suele presentarse por un exceso del trisomía 21 en el ADN, esta rara enfermedad con frecuencia causa daños que atrofian o degradan el musculo de las extremidades tanto inferiores como superiores. Reduciendo la autonomía del infante o adulto a tal punto de llegar a depender de sus seres queridos para poder moverse de un lugar a otro e incluso quedar postrado en una silla de rueda o una cama de por vida. (Eduardo, 2015)

Con el prototipo electrónico se va prevenir o de ser necesario mitigar la degradación del músculo, para ello fue necesario establecer los parámetros ideales de las señales electromiográficas (EMG) de un musculo sano y compararlas con aquellos músculos de las personas que padecen síndrome de Down. (S. Bela, 1990) Después de haber establecido un parámetro cuantificable con el que se puede trabajar, se desarrollara un circuito electrónico que estimule los músculos que intervienen en la motricidad de las extremidades superiores y así poder prevenir el deterioro de dichos músculos o de ser posible mitigar el impacto sufrido. (Miguel, 2016)

Para poder contar con las muestras necesarias de niños con síndrome de Down y desarrollar este prototipo se contó con el apoyo del coordinador del El Centro de Atención Especial “Despertar Los Ángeles” ubicado en el Barrio “Saboya Militar”, es una de las fundaciones que atienden este particular caso de padecimiento como lo es el síndrome de Down.

## 2. ABSTRACT

### ABSTRACT

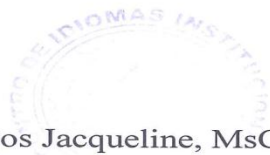
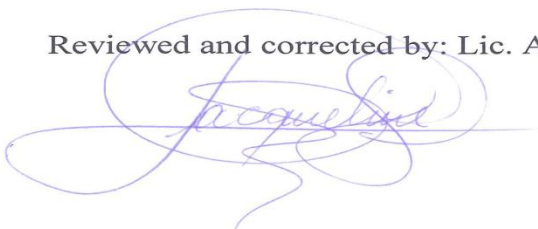
This research project is carried out for developing an early electro-stimulation prototype, which stimulates muscles mainly. It intervenes in motor skills of the upper extremities, which are essential in order to hold or grasp any object (Renovell, 2017).

Down syndrome or trisomy 21 usually occurs due to an excess of trisomy 21 in the DNA. This rare disease often causes damage that atrophies or degrades muscles from lower and upper extremities. This effect reduces the autonomy of the infant or adult to the point of becoming dependent on his relatives in order to move from one place to another; and even to be prostrated in a wheelchair or in a bed for the rest of his life (Eduardo, 2015).

The electronic prototype will prevent or mitigate the degradation of the muscles. For doing so, it was necessary to establish the ideal parameters for electromyographic signals (EMG) in a healthy muscle and compare them with people's muscles who are suffering from Down syndrome (S. Bela, 1990). After having established a quantifiable parameter that can be worked with an electronic circuit, it will stimulate the involved muscles in the motor function from upper extremities; and thus to prevent the deterioration of these muscles and possibly to mitigate the suffered impact (Miguel, 2016).

For having the necessary samples of children with Down syndrome and to develop this prototype, this research had coordinator's support of the Special Attention Center " Despertar Los Ángeles " which is located in "Saboya Militar" neighborhood. It is one of the foundations that assist patients with this particular suffering case such as Down syndrome.

Reviewed and corrected by: Lic. Armijos Jacqueline, MsC.



### **3. INTRODUCCIÓN**

#### **3.1 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la gran mayoría el cuadro patológico que presentan los niños con Síndrome de Down o trisomía 21 se debe al error aleatorio de la división o duplicación del cromosoma al que le debe el nombre, en un individuo sano después de la fecundación se presentan 23 cromosomas cosa que no sucede en un individuo con síndrome de Down. El cromosoma 21 se duplica afectando directa o indirectamente al momento del desarrollo embrionario impidiendo el normal desarrollo del feto y su futura capacidad psicomotriz.

Al crecer y desarrollarse el individuo aprende sus primeras habilidades que es común ver atrofiadas por su disminuida capacidad psicomotriz afectada de manera degenerativa, parcial o total. Al no ser tratadas a tiempo o incluso con tratamiento de dichas enfermedades en muchos de los casos se hace prácticamente imposible tratar la psicomotricidad de una manera directa, atacando directamente a los músculos que intervienen. (Rodríguez, 2018)

La fisioterapia de estimulación temprana ayuda a trabajar los músculos que intervienen en una extremidad de manera íntegra, con el prototipo de electro estimulación temprana se atacara directamente al musculo deteriorado, ejercitando de manera continua con suaves masajes adaptados a diferentes frecuencias de trabajo.

El prototipo intervendrá de manera directa con el paciente ayudando a ejercitar de manera directa y mejorar la función músculos específicos optimizando el tiempo de trabajo en un individuo y permitiendo atender a muchos más en menor tiempo.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

La medicina evoluciona de mano con la tecnología y crece a pasos gigantes haciendo posible mejorar los tratamientos convencionales que se han ejercidos durante las últimas décadas, dando así paso a la investigación tecnológica en nuevos campos y métodos de aplicación a los tratamientos existentes en la actualidad.

La implementación de este proyecto en un paciente con síndrome de Down busca satisfacer la necesidad de la mejora de la calidad de vida y la capacidad psicomotriz y así brindar calidad y calidez al entorno familiar, social y emocional.

Para este proyecto fue planteado como objetivo mejorar la calidad de vida en función de la mejora de la capacidad psicomotriz de un individuo con Síndrome de Down, permitiéndole a este ser autosuficiente e independiente en sus tareas del diario vivir. Para ello se usó un electro-estimulador aplicado en las extremidades superiores del paciente.

Mediante electro-estimulación de las extremidades superiores se consiguió ejercitar nuevamente músculos que hayan sufrido atrofia por efectos de la enfermedad, para ello se aplicó corriente de bajo amperaje (máximo 90mA) y bajas frecuencias (máximo 5Hz) en las zonas afectadas que interviene y predominan la motricidad, lo cual permitirá al paciente realizar ejercicios cómodos y sin fatigas, de esta manera su recuperación o mitigación de los efectos de la atrofia muscular podría reducirse significativamente.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. GENERAL:**

Diseñar e implementar prototipo de electro-estimulación temprana psicomotriz en niños con síndrome de Down del Centro Despertar los ángeles para mejorar la motricidad en extremidades superiores

### **5.2. ESPECÍFICOS:**

- Diseñar un prototipo de electro-estimulación para niños con síndrome de Down
- Implementar el prototipo de electro-estimulación en el Centro de Atención Especial “Despertar Los Ángeles”.
- Evaluar los resultados obtenidos con la implementación del prototipo de electro-estimulación.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. ANTECEDENTES DEL SÍNDROME DE DOWN**

El síndrome de Down es la duplicación por error del cromosoma 21 del ADN, este cromosoma altera la normal evolución del feto al momento de la gestación generando efectos adversos e impidiendo el desarrollo de características esenciales en un individuo sano. (Gutiérrez, 2012)

En España en los últimos años se ha desarrollado una prueba no invasiva de alta exactitud que permite identificar esta condición en el primer trimestre de embarazo. (Perez, 2016) Se realiza con una simple muestra de sangre de la madre y analiza el estatus cromosómico permitiendo detectar el síndrome de Down, Síndrome de Edwards y otras anomalías fetales en las primeras semanas de gestación, y con mayor exactitud a las 12 semanas. (Papalia, Wendkos, & Duskin, 204)

Las personas que no se plantean el aborto no se someten a algunas de ellas, como la amniocentesis, que a su vez ya implica un riesgo de aborto debido a la agresividad de la prueba. Una vez revelado el diagnóstico, es decisión libre de los padres seguir o no con el embarazo.

Para América latina y países de tercer mundo como es considerado Ecuador para un neonato se practica la prueba de talón bífido que permite saber con exactitud si hay afección del síndrome. Los neonatos por lo general no suelen recibir atención en los primeros 4 años de vida, esto lleva a que la enfermedad avance sin prevención alguna. (Perez, 2016)

En varios casos el paciente sufre afecciones severas e irreversibles en otros casos los síntomas son menores o de grado torio. En los casos en que el paciente pierde movilidad paulatinamente se suele llevar a cabo diversos tratamientos de inclusión y estimulación neuronal con mascotas entrenadas o caballos. Según la Doctora De La Cueva Carcelén hay

diversas formas de colaborar y aprender de un paciente con síndrome de Down en su manual para padres menciona algunos de ellos. (Papalia, Wendkos, & Duskin, 204)

- ✓ Estimulación temprana.
- ✓ Estimulación temprana en casa.
- ✓ Estimulación motriz
- ✓ Estimulación cognitiva.
- ✓ Estimulación emocional
- ✓ Estimulación de lenguaje.
- ✓ Juegos de sala y cuna.

## **6.2. EN EL ECUADOR**

Según datos del CONADIS hasta el 2011 en Ecuador existían un registro de aproximadamente 800 personas que padecen síndrome de Down, para el 2017 hay un registro exorbitante de entre 3100 y 3400 personas según la Fundación manuela Espejo y el Ministerio de Salud Pública (MSP), además que posee la segunda tasa más alta de natalidad de síndrome de Down en una alarmante cifra de (2 por Cada 1000) nacidos vivos.

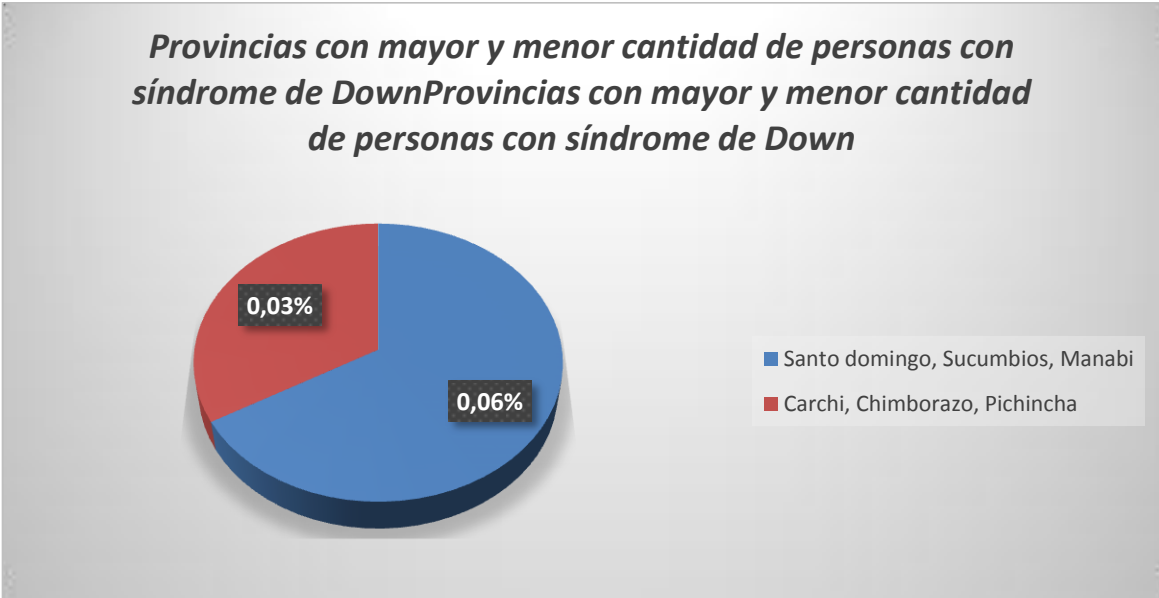
Para el 2018 según una publicación realizada por la Fundación Manuela Espejo la cifra de paciente con síndrome de Down aumento a la alarmante cantidad de 7457, de esta cifra la gran mayoría son varones con un 51.76% de afectados y un 48.24% son mujeres.





**Gráfico 1 Casos existentes de Síndrome de Down 2017.**

Prevalencia por cada 100 habitantes está dada por las provincias de Manabí, Santo Domingo y Sucumbíos con un 0.06% de total de su población, la más baja es de Chimborazo, Pichincha y Carchi con un 0.03%.



**Gráfico 2 Provincias con mayor y menor cantidad de personas con síndrome de Down.**

### **6.3. LAS CARACTERÍSTICAS MOTORAS DE LOS NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN**

Según la biblioteca de medicina de Estados Unidos (EE.UU) las características motoras de los niños con síndrome de Down son: Disminución del tono muscular al nacer, Exceso de piel en la nuca, Nariz achatada, Uniones separadas entre los huesos del cráneo (suturas), Pliegue único en la palma de la mano, Orejas pequeña, Boca pequeña, Ojos inclinados hacia arriba, Manos cortas y anchas con dedos cortos. (Núñez Sandoval, 2011)

### **6.4. ANTECEDENTES DE LA ELECTRÓNICA Y LA MEDICINA.**

La presencia de la Electrónica en la vida cotidiana es indiscutible, hasta el punto de que, por ser tan común, apenas merece la atención respectiva. El despertador, la radio, el reloj, los ordenadores y otras máquinas en fábricas y oficinas, el control del tráfico, el teléfono y el televisor, son algunos de los frutos de la electrónica que a los más jóvenes hasta les cuesta creer que no haya acompañado siempre al hombre.

En cambio, la presencia de la Electrónica en la Medicina pasa desapercibida para la mayor parte de nuestra sociedad, a pesar de que está presente desde el embarazo hasta la muerte. Desde la detección del ritmo cardíaco fetal (mediante ultrasonidos) y las primeras imágenes del feto (con ecógrafos), pasando por los monitores de partos (para detectar las contracciones uterinas y a veces el sufrimiento fetal), las incubadoras (con control de temperatura y humedad), las radiografías y escáner, los medidores automáticos de la presión sanguínea en farmacias y los limpiadores ultrasónicos para la higiene bucal, hasta llegar a las unidades coronarias o de vigilancia intensiva (UVI), todo un sinfín de aparatos médicos (la mayoría electrónicos), ayudan al diagnóstico, ofrecen terapias o simplemente mejoran nuestra calidad de vida. (Cifuentes, 2010.)

## **6.5. ANTECEDENTES DE LA ELECTRO ESTIMULACIÓN.**

Según García, N., Martínez, A. y Tabuenca, A. (2005) esta es considerada como la unidad biológica del músculo. Mientras que para Izquierdo, M. (2008) es la unidad funcional del músculo; es la célula más pequeña de la musculatura esquelética, bastante alargada con cuantiosos núcleos. Su forma está relacionada a su tarea, debido a que la actina y miosina son proteínas contráctiles que sólo pueden cumplir óptimamente su función si están situadas en función de la contracción deseada.

La molécula de miosina está compuesta por una parte alargada (cola) y otra redonda (cabeza); en el proceso de desarrollo de la fuerza, es preciso contar con una distribución adecuada de fibras musculares en el deportista, ya que como el músculo precisa de 2 tipos de fibras (las fibras rojas o de contracción lenta y fibras blancas o de contracción rápida) la proporción de éstas en el organismo esta designada genéticamente por lo que no es posible adquirir un numero de fibras musculares especialmente para un deporte en específico, con el entrenamiento lo que sí es posible lograr es incrementar la participación porcentual en la superficie del músculo de éstas y cuanto mayor sea su participación o reclusión en el movimiento, mayor será la fuerza muscular y la 16 velocidad que se imponga a este. Según Kolt, G. (2004), Snyder, L. (2004), el grado de fuerza que puede ejercer una fibra muscular en una contracción máxima está en dependencia del número de puentes que tenga establecidos la actina y la miosina y también la fibra muscular en relación a su capacidad glúcólica según Barbany, J. (2002), permite un mejor desempeño en el campo deportivo.

## **6.6. ELECTROTERAPIA**

Sucesivamente, se repite lo mismo con otro tiempo inmediatamente inferior hasta completar los señalados en la gráfica con sus puntos correspondientes, los cuales se unirán con una serie de rectas sucesivas (no de una curva continuada y redondeada). Es importante dedicarse a la observación directa de la respuesta de contracción sin estar pendiente de lo

marcado por el miliamperímetro, hasta que se haya decidido que la respuesta palpada es suficiente. Después, se lee el miliamperímetro y se toma nota de lo señalado; mejor así para evitar subjetividades, si se observa el amperaje y la frecuencia aplicada será factible determinar el valor eficaz preciso para el proyecto. (Plaja, 1998)

Dado que los pulsos muy largos molestan al paciente, se debe estar raudos en los primeros puntos (entre 1.000 ms y 200 ms). Cuando se adquiere práctica, normalmente se cambian los tiempos de pulso, acortándolos, hasta notar que se pierde la respuesta con la intensidad inicial. En ese punto vuelve atrás para recuperar la respuesta motora con la intensidad ajustada de inicio. Ya se obtendrá una línea recta entre 1.000 ms y el punto útil (que posteriormente se observara). Este atajo se utiliza únicamente en las curvas I/T o cuadrangulares.

#### **6.7. ELECTRO ESTIMULADOR.**

La electro estimulación muscular (EEM) o estimulación neuromuscular eléctrica (ENE) o electro estimulación, es la generación de contracción muscular usando impulsos eléctricos. Los impulsos se generan en un dispositivo que se aplica con electrodos en la piel próxima a los músculos que se pretenden estimular. (Martin, 2014) Los impulsos imitan el potencial de acción proveniente del sistema nervioso central, causando la contracción muscular.



## **Ilustración 1. Músculos a ejercitar en las extremidades superiores**

Los electrodos generalmente se adhieren a la piel. La EEM es una forma de electroterapia o de entrenamiento muscular. Se cita por diversos autores como una técnica complementaria para el entrenamiento deportivo, existiendo numerosos estudios publicados al respecto. (Martin, “Electroterapia de baja frecuencia”, Agentes físicos terapéuticos., 2008)

### **6.8. TRATAMIENTO DE ELECTRO-ESTIMULACIÓN**

Los diferentes tipos de fibras musculares ofrecen distintas respuestas a los impulsos eléctricos. Teniendo en cuenta esto, se deben conocer algunos parámetros para determinar el tipo de tratamiento de electro-estimulación que se desea.



**Ilustración 2 Electrodo para ECG NT4**

## **6.9. ANTECEDENTES DE LOS MICRO-CONTROLADORES EN LA MEDICINA.**

Durante los últimos años el uso de sistemas electrónicos basados en microprocesador ha supuesto un hito muy importante en la evolución de la electrónica y por ende, también en todos los ámbitos en los que se emplean medios electrónicos. La medicina es sin duda uno de estos ámbitos en los que gracias a la integración del microprocesador hoy se dispone de equipos de diagnóstico y tratamiento más potentes, precisos y fiables, y a su vez menos invasivos y menos dañinos para la salud del paciente.

Este tras bajo precisa de un análisis de algunos de los equipos electrónicos más utilizados en medicina, caracterizarlos atendiendo al uso que necesitan hacer de los microprocesadores, y finalmente comentar algunas de las soluciones existentes en el mercado.

## **6.10. EQUIPOS MÉDICOS ELECTRÓNICOS**

En este apartado se a analizar algunos equipos concretos, para comprender su funcionamiento y analizar aquellos problemas que se pueden resolver haciendo uso de sistemas electrónicos basados en microprocesador.

## **6.11. MEJORA DE LA MOTRICIDAD**

### **6.11.1 TERAPIA DE ELECTRO ESTIMULACIÓN**

El Neurofeedback (NF) es una técnica de condicionamiento operante donde los participantes aprenden a modificar su actividad eléctrica cerebral mediante ejercicios de estimulación. (Vernon D, 2003)

Esta técnica ha resultado ser de gran utilidad en patologías relacionadas con una regulación disfuncional del arousal (procesos que controlan la alerta, la vigilia y la activación) como la epilepsia, el déficit de atención o el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). Además, está comenzando a implementarse como tratamiento no farmacológico

en otras patologías como el síndrome de Down para mantener a los músculos en forma y evitar músculos atrofiados y además para el deterioro cognitivo tipo Alzheimer, ya que la regulación de la actividad cerebral parece influenciar el procesamiento cognitivo. Esta técnica permite a cada paciente trabajar a su propio ritmo, produciendo cambios en las ondas y la actividad eléctrica cerebral que se registran a través de un electroencefalograma (EEG).

Las ondas cerebrales tienen dos características básicas que son la amplitud y la frecuencia. Cada onda tiene un rango de frecuencia característico medido en hercios (Alpha 8.5-12.5 Hz, por ejemplo). (Capote, 2009)

La técnica del NF se utiliza con el objetivo de modificar la amplitud de una determinada onda y con ello la actividad neuronal. (Martin, 2014)

Así, se ha encontrado en diversos estudios que los pacientes con deterioro cognitivo tipo Alzheimer a los que se ha sometido a este tipo de tratamiento complementario mantienen estables sus funciones cognitivas, incluso llegando a mejorar en algunos casos funciones como la capacidad de reconocimiento y el recuerdo de la información.

- El músculo se ejercita más rápido que de la forma tradicional
- La electro-estimulación es eficaz ya que mediante el tratamiento se activan aproximadamente 10 músculos de una manera intensa y profunda.
- También es bueno porque se consigue una mayor activación muscular y contracción de fibras, algo que a veces con el ejercicio de toda la vida no se alcanza de la misma manera.
- Ayuda a corregir la postura corporal.

- Tiene muy poco riesgo de lesión ósea y de afectar a las articulaciones ya que los electrodos actúan sobre el músculo y, huesos y articulaciones no se ven afectados ni sobrecargados como puede pasar cuando se realiza deporte.
- Alivia problemas de espalda ya que los músculos que están alrededor de la columna raramente se entrenan y con los electrodos sí se puede trabajarlos. Y esto ayuda a que los músculos se hagan más fuertes y nuestros dolores de espalda disminuyan.

## **6.12. RESPUESTA BENEFICIOSA DEL ORGANISMO FRENTE A LA ACTIVIDAD FÍSICA**

El uso del ejercicio para prevenir y tratar las enfermedades es un concepto muy antiguo, pero sólo recientemente tiene una evidencia científica apoyada por sus amplios beneficios (Goldberg y Elliot, 1994). La actividad física es importante para los individuos "sanos", ya que disminuye la mortalidad y aumenta el bienestar; y, a la vez, muestra un rol imprescindible entre aquellos individuos con diversos problemas. (Guerra Balic, 2000)

Aparte de sus efectos beneficiosos en la prevención de enfermedades (prevención primaria), el ejercicio inhibe o retrasa la presentación clínica de problemas médicos (prevención secundaria) y puede mejorar la capacidad funcional o incluso pueden revertir enfermedades (prevención terciaria). A este respecto, Goldberg y Elliot (1994) expresan: "estamos seguras de que si los efectos del ejercicio pudiesen ser embotellados, sería la medicina más ampliamente recetada".

A partir de ello, se deduce que la calidad de vida mejora con la práctica regular y no esporádica de ejercicio físico. Esto hace pensar en que debería considerarse a la práctica de ejercicio como una necesidad vital, y no sólo como una herramienta para cubrir tratamientos, espacios de ocio (distracción) o educativos (Perán, 1997). Y los organismos de salud pública deberían esforzarse en obtener "más gente más activa durante más tiempo" (ACSM, 1995).



### **6.13. BENEFICIOS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA REGULAR EN PERSONAS CON SD**

Los beneficios que una población con SD puede obtener con la actividad física no se han estudiado directamente, sino que se suelen deducir de los beneficios que se pueden encontrar en la población general. Además, en ciertos aspectos, puede llegar a haber controversia por los resultados de otras investigaciones.

### **6.14. MEJORA DEL APARATO LOCOMOTOR**

Hay una mejoría de los niveles de fuerza después de un programa de entrenamiento (Rimmer y Kelly, 1991; Croce y Horvat, 1992; Suomi, Surburg y Lecius, 1995). Por tanto, es un factor positivo añadido de cara al mundo laboral. Al igual que en población general, podría haber un retraso en la aparición de osteoporosis gracias a la actividad física, así como menores efectos de la artrosis. En cambio, se debe destacar que en la población con SD no se va a buscar un aumento de la movilidad articular cuando existe una hiperlaxitud, sino que lo que se pretende es realizar un aumento del trabajo muscular para reforzar las articulaciones, mejorar la postura del individuo y evitar la hipermovilidad articular, frenando la hipotonía muscular propia del SD.

### **6.15. OTROS BENEFICIOS**

#### **6.15.1. APARATO RESPIRATORIO**

Los individuos con SD pueden tener un efecto positivo de la actividad física frente al aparato respiratorio, ya que debido a su especial anatomía, el trabajo respiratorio suele ser deficiente. Por tanto, al practicar deporte, estas personas presentarían una mejoría del trabajo respiratorio.

#### **6.15.1 METABOLISMO**

Si se tuviese en cuenta la respuesta del organismo frente al metabolismo lipídico en la población general, se deduce que existiría una mejoría de este metabolismo, así como sobre control del sobrepeso, siendo beneficioso también en caso de diabetes y de hiperuricemia. Pero a la vista de las cifras del perfil lipídico que las personas con SD presentan, se aprecia una incongruencia, ya que su perfil lipídico es totalmente opuesto al que coincide con un alto riesgo cardiovascular.

### **6.15.2 PSICOSOCIAL**

Desde el punto de vista psicológico, los efectos del ejercicio físico en la mejora del concepto de sí mismos y en las conductas asociadas a la inteligencia en las personas con SD son esperanzadores. También es evidente un desarrollo de procesos cognitivos a partir y a través de la práctica deportiva. Por tanto, con la práctica de ejercicio físico, es posible obtener los siguientes logros:

1. Mejorar el estado general de salud física y psíquica.
2. Iniciarse en la práctica deportiva y aprender a practicar actividad física individualmente o en equipo.
3. Experimentar una deceleración en el ritmo de vida frente a las exigencias de la competitividad.
4. Disminuir y canalizar la agresividad verbal y física.
5. Aplicar los conocimientos y habilidades motrices durante la práctica de actividad física.
6. Desarrollar la memoria motriz.
7. Aprender a reflexionar y a programar las respuestas antes de actuar.
8. Organizar el tiempo de cada actividad en concreto.
9. Desarrollar o mejorar el autocontrol y frenar la impulsividad.
10. Potenciar el grado de socialización, mejorando la relación con los demás.
11. Respetar las opiniones de los demás y asumir las decisiones tomadas por la mayoría.
12. Aumentar el grado de autoestima.

13. Aprender a cuidar las herramientas y materiales que se utilicen en las actividades, respetando el entorno de práctica deportiva.

14. Aprender a cuidar la integridad y salud de sus compañeros de práctica deportiva.

15. Adquirir hábitos: higiénicos, dietéticos, de orden, de respeto a normas, de respeto a los demás, de convivencia y de diálogo.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 HIPÓTESIS NULA.**

El Diseñar e implementar prototipo de electro-estimulación temprana psicomotriz en niños con síndrome de Down no mejorará la motricidad en extremidades superiores del infante.

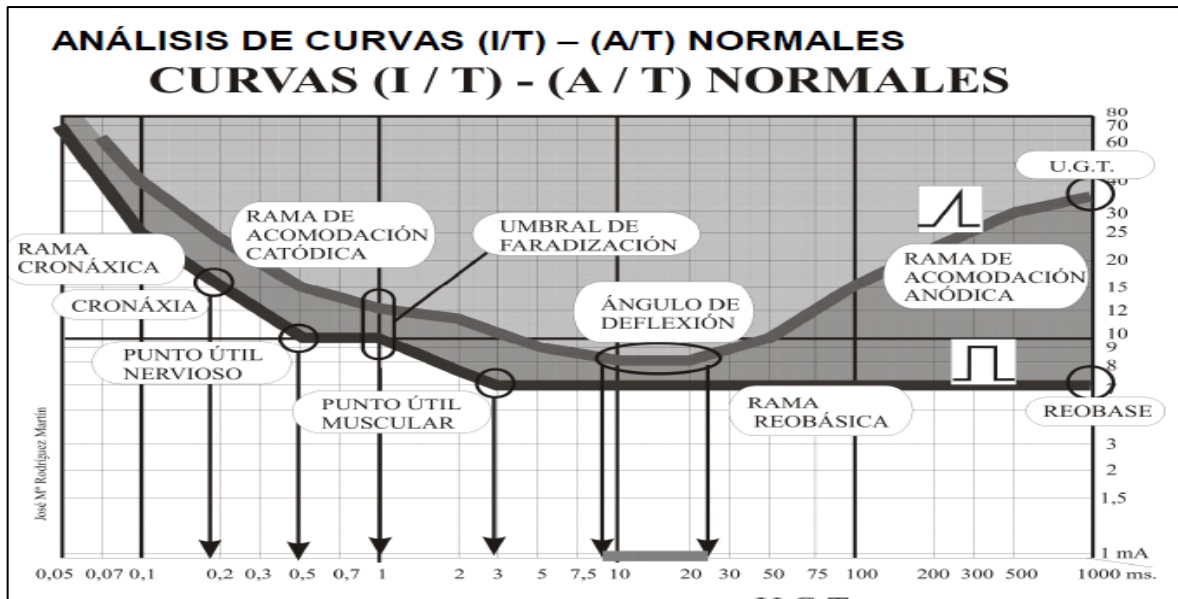
### **7.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA.**

El Diseñar e implementar prototipo de electro-estimulación temprana psicomotriz en niños con síndrome de Down mejorará la motricidad en extremidades superiores del infante.

### **7.3 INVESTIGACIÓN DE LA PATOLOGÍA.**

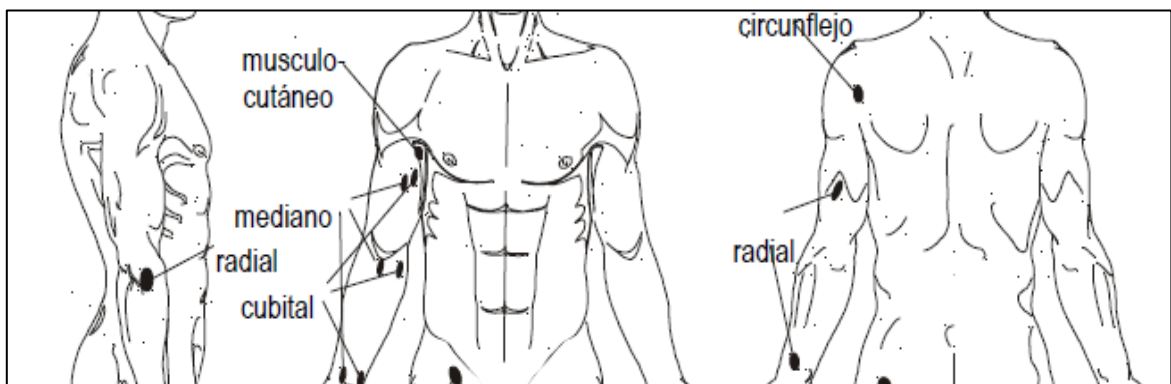
Para poder establecer los parámetros requeridos en el diseño del electro-estimulador fue imprescindible contar con el criterio de profesionales del Centro Despertar los Ángeles el cual permitió establecer parámetros tales como, frecuencia de trabajo, amperaje de aplicación máximo permitido según el grado de deterioración de un musculo, periodos de aplicación en un mismo día.

De acuerdo a los estudios previos realizados por el Dr. José Rodríguez Martí, una aplicación desmesurada de la electroterapia podría equivaler a una fatiga muscular obtenida por un deportista de elite (ver ilustración 3), para poder conservar el musculo y asegurar una recuperación progresiva del musculo afectado se debe considerar varios parámetros para el diseño de un electro-estimulador.



**Ilustración 3. Análisis de Curvas de los niveles de corriente permitida a inducir**

También se debe considerar los puntos adecuados de los músculos que interviene en la motricidad de las extremidades superiores y que se ven afectados por el síndrome de Down (ver ilustración 4), para ello se usó dos electrodos polarizados para una aplicación preliminar de la terapia, en los diferentes puntos de aplicación.



**Ilustración 4. Puntos adecuados para el uso de electrodos**

De acuerdo al estudio publicado por el Dr. Martín Rodríguez los parámetros ideales para un electro estimador de rehabilitación deben considerarse con frecuencias y corrientes inducidas bajas (ver tabla 1).

<b>Frecuencia / AMPERAJE (HZ/ mA)</b>	<b>PARÁMETROS DEL AMPERAJE SEGÚN LA FRECUENCIA APLICADA</b>
<b>1</b>	10 mA
<b>2</b>	30 mA
<b>3</b>	50 mA
<b>4</b>	70 mA
<b>5</b>	90 mA

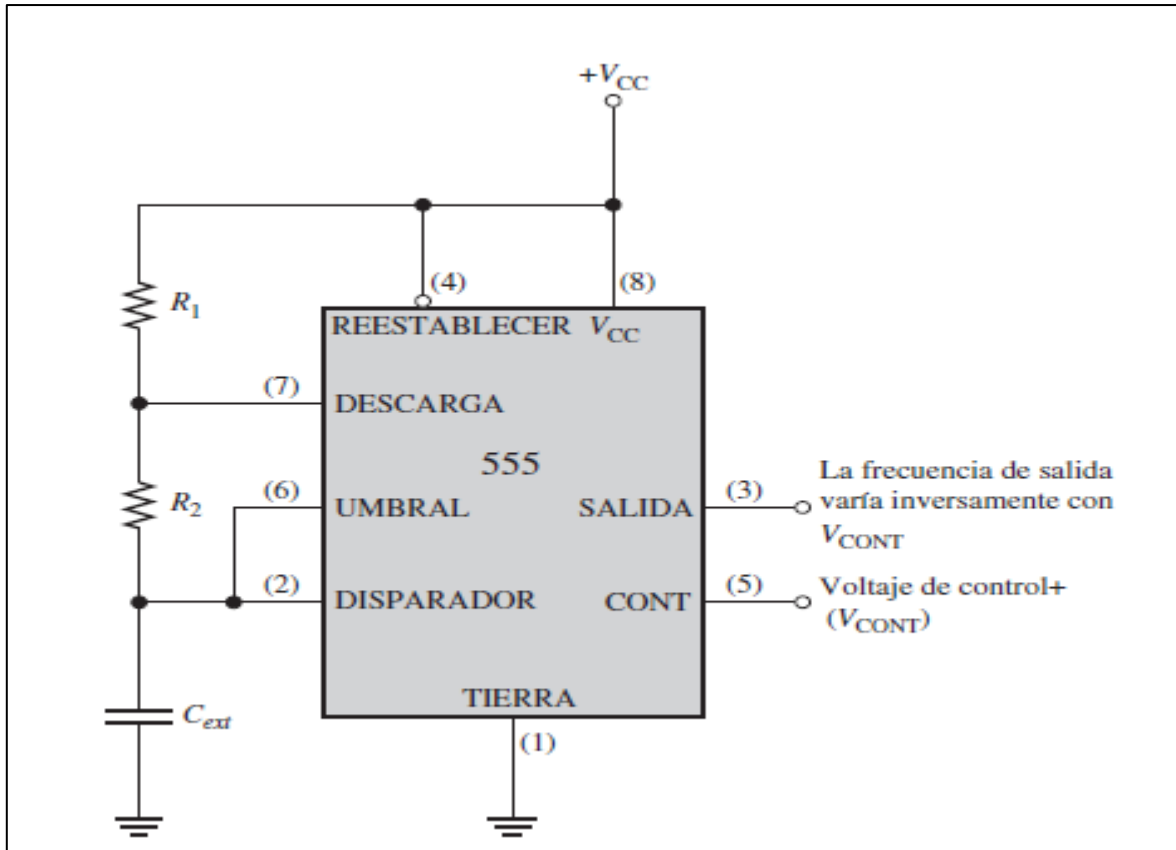
**Tabla 1. Parámetros de corriente para aplicación del electro-estimulador.**

#### **7.4 DISEÑO DEL ELECTRO ESTIMULADOR.**

De acuerdo a los datos ya establecidos se puede calcular la frecuencia del oscilador para lo cual se implementó un oscilador 555 en modo astable, esta frecuencia la establece las resistencias conectadas en el pin 7 como resistencia de carga y 6 como de descarga, el diseño es tomado del libro de Floyt. Para conseguir un frecuencia variable que es la prescindible en nuestro caso se debe aplicar un voltaje a pin 5 del integrado consiguiendo así aumentar y disminuir el tiempo de carga y descarga del circuito.

Para establecer el valor de las resistencias requeridas se partió de la frecuencia base de oscilación del circuito, de acuerdo a los parámetros de la tabla N° 1 la frecuencia inicial está establecida en 1Hz para conseguir una frecuencia variable se aplicó un voltaje variable al pin 5 del integrado.

El diagrama usado para el diseño es el de un oscilador 555 en configuración astable con frecuencia variable (ver ilustración 5).



**Ilustración 5. Diagrama del circuito para el oscilador 555 en modo Astable.**

### 7.5 CALCULO DE LA FRECUENCIA DE TRABAJO.

Para el cálculo de la resistencia  $R_1$  y  $R_2$  es necesario establecer la frecuencia de trabajo deseada, de acuerdo a los parámetros de frecuencia establecidos en la tabla N° 1 se busca que el temporizador 555 oscile en una frecuencia de 1 a 5 Hz, para lo cual se debe partir con la frecuencia mínima desde la cual debe ser calculada.

La frecuencia de subida o tiempo en alto (TH) está dada por la suma de las resistencias  $R_1$ ,  $R_2$  y la multiplicación de 0.694 veces con el capacitor de descarga  $C_{xt}$  de 10uF ( ver ilustración N° 5), en cuya configuración excitan el capacitor interno del dispositivo que permanece en  $1/3$  de  $V_{cc}$ , al iniciar la excitación del pin uno activa la carga del capacitor interno del dispositivo provocando que el capacitor alcance  $2/3$  de  $V_{cc}$  por lo que se

obtuvo un 1 lógico a la salida del pin tres del 555(ver en anexo 1), Obteniendo con la ecuación N° 1 el tiempo en alto o TH del dispositivo (ver ecuación 1).

$$tH = 0.694 * (R1 + R2) * Cxt$$

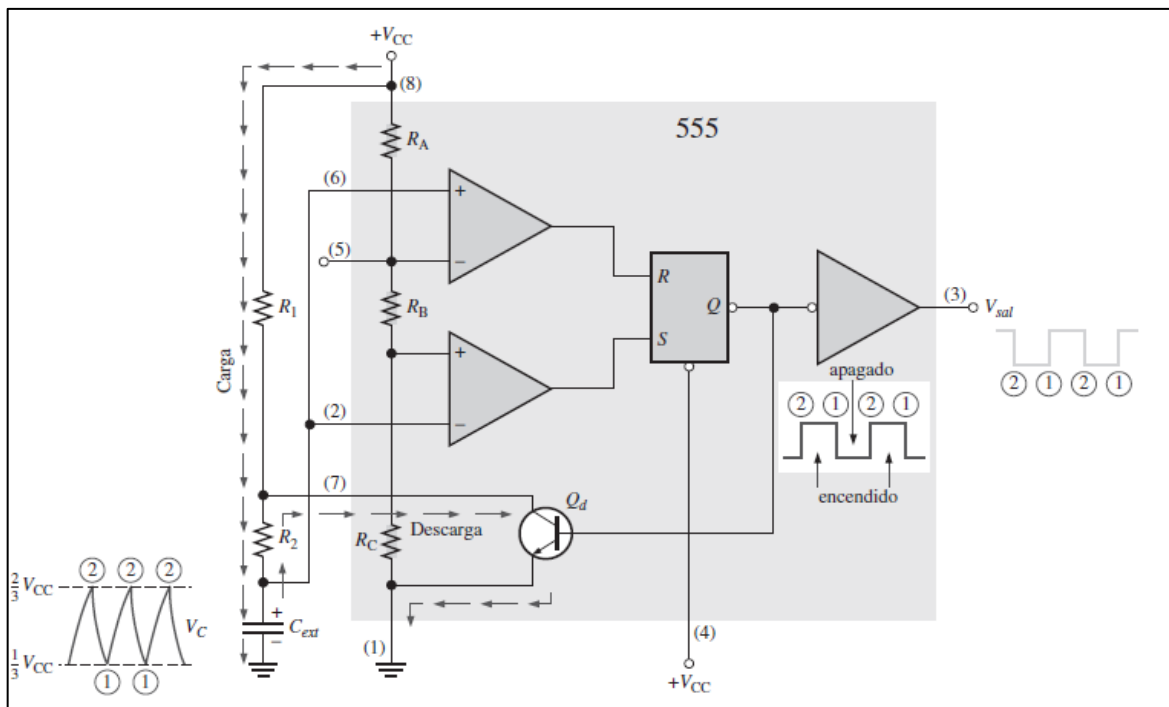
**Ecuación 1. Tiempo en alto (TH) del oscilador 555**

La descarga está dada por 0.694 veces de la resistencia R2 y la multiplicación con el capacitor de descarga Cxt de 10uF, provocando que el capacitor interno del dispositivo se descargue y regrese a su estado inicial de 1/3 de Vcc. La ecuación de descarga o tiempo en bajo (tL) esta expresada de la siguiente manera (ver ecuación 2):

$$tL = 0.694 * R2 * Cxt$$

**Ecuación 2. Tiempo en bajo (tL) del oscilador 555.**

En la ilustración 6 se puede observar la configuración externa e interna del oscilador 555 en modo astable, las resoluciones de las ecuaciones se puede observar en el anexo 1 del documento.



### Ilustración 6. Configuración interna del 555.

Con las ecuaciones de los tiempos en alto y en bajo se puede calcular la frecuencia deseada o inicial, en nuestro caso la deseada es de 1hz, partiendo de las ecuaciones de los tiempos en alto y bajo por separado, primero se establece el tiempo en bajo para resolver las dos ecuaciones y las dos variables (ver anexo 1).

El tiempo en bajo fue adecuado a 400ms (ver cálculos en anexo1) y como la frecuencia inicial deseada fue de 1Hz por lo que queda establecido el tiempo en alto de 600ms debido a que  $t = \frac{1}{f}$ .

Estableciendo los valores de los tiempos en alto y en bajo es factible determinar los valores de las resistencia necesarias para que el dispositivo se ajuste a los parámetros requeridos de este proyecto, previamente señalados en la tabla 1.

RESISTENCIAS	VALORES IDEALES	VALORES REALES
<b>R1</b>	28.8 KΩ	26.3 KΩ
<b>R2</b>	57.6 KΩ	55.5 KΩ
FRECUENCIA	VALOR IDEAL	VALOR REAL
<b>Hz</b>	1 Hz	1.018 Hz
TIEMPOS EN ALTO Y BAJO	VALOR IDEAL	VALOR REAL
<b>tH</b>	600 ms	582.2 ms
<b>tL</b>	400 ms	399.7 ms
<b>T</b>	1000 ms	981.9 ms

**Tabla 2. Tabla de resumen de los valores del diseño del 555**



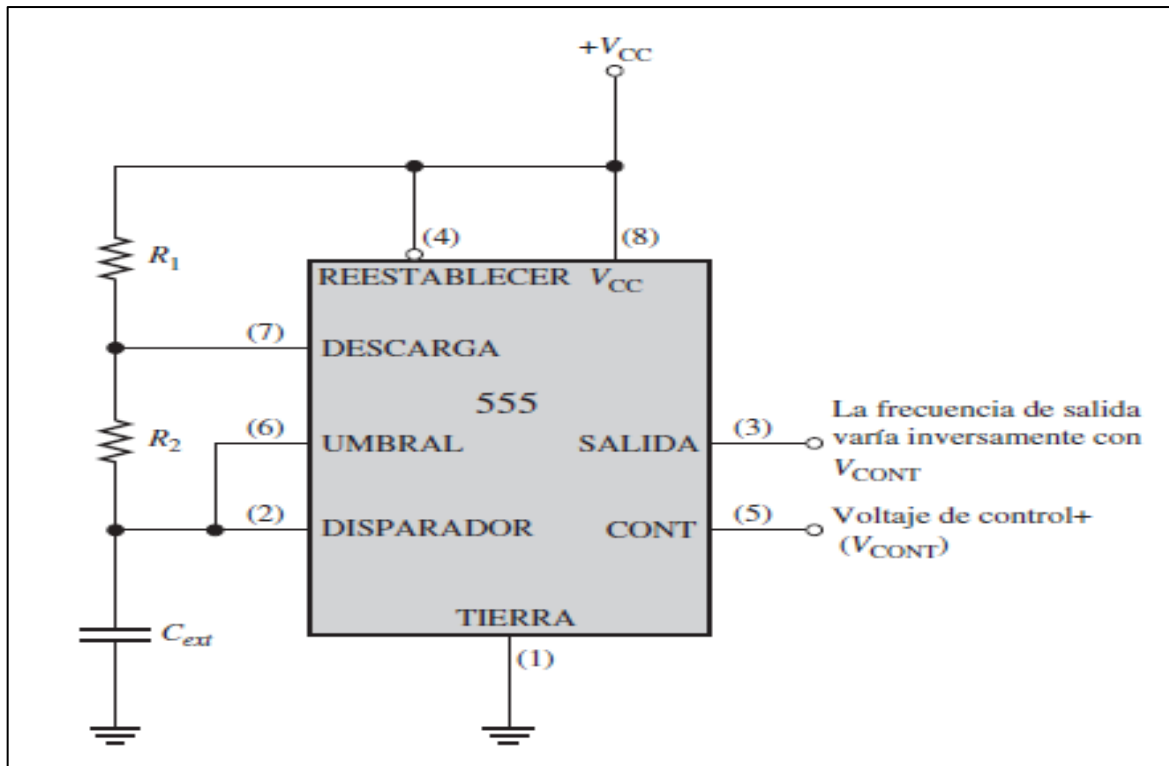
Como se puede observar en la tabla N°2 de resumen, el diseño se obtiene dos diferentes valores para un diseño electrónico, los valores ideales y el valor reales. Los valores ideales están dados por los cálculos realizados (ver anexo1). Los valores reales se ajustan a los elementos encontrados en el mercado, es decir, los valores medios por el multímetro de las resistencias comerciales obtenidas.

Al diferir los valores reales y comerciales por ende también cambian los tiempos de oscilación en alto y bajo además de la frecuencia.

## **7.6 ELECTRO ESTIMULADOR CON FRECUENCIA VARIABLE.**

Para poder ajustar el diseño del electro-estimulador la característica imprescindible de frecuencia variable es necesario aplicar voltaje al pin 5 del dispositivo, el cual acelera el voltaje de carga y descarga aumentando así la frecuencia de oscilación y los periodos de trabajo o carga y descarga del capacitor interno del dispositivo.

La función de este voltaje en el pin 5 es la de excitar el capacitor obteniendo que se cargue a  $1/3$  de  $V_{cc}$  y no a  $2/3$  de  $V_{cc}$ , esto varía la frecuencia partiendo de la frecuencia de diseño adquirida con antelación.

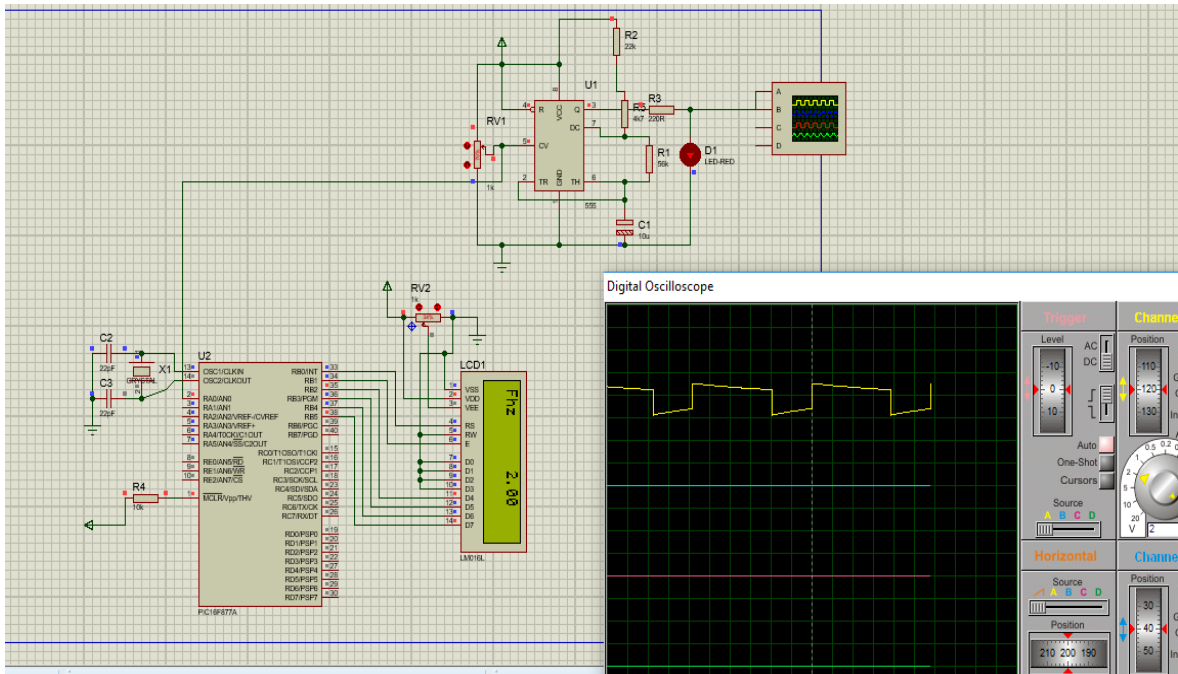


**Ilustración 7. Configuración del 555 en modo frecuencia variable.**

### 7.7 VISUALIZACIÓN DE LA FRECUENCIA.

Para poder visualizar la frecuencia se utilizó un LCD en su configuración base y un micro controlador de microchip como en la configuración de ADC, conectando el pin A0 del micro-controlador a la entrada de pin 5 del integrado 555 se puede establecer la frecuencia de trabajo aplicada, de acuerdo al libro de Floyd un voltaje variable en el pin 5 cambia los valores de umbral de  $1/3V_{CC}$  y  $2/3V_{CC}$  de los comparadores internos. Esto acelera el proceso de descarga del integrado como se puede ver examinando el diagrama interno del temporizador 555.

Aplicando este concepto se puede establecer en el programa MikroC las ecuaciones para calcular frecuencia variable a la que está siendo sometido el sistema considerando que con 5 (v) en el pin 5 obtuvo 1Hz y con un voltaje menor a 2(v) que es igual a 5 Hz, para ver la línea de código que fue usada en mikroC se puede ver el anexo 2 del documento.



**Ilustración 8. Diseño del electro estimador en Proteus.**

## **8. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **8.1 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

Mediante El Centro Despertar los Ángeles fue posible acceder a una población finita de niños en la Ciudad de Riobamba Provincia de Chimborazo-Ecuador. La población y muestra con la que se trabajó en este proyecto es de 2 infantes con edades de 9 y 11 años que padecen síndrome de Down.

### **8.2 RESULTADOS.**

En los cuadros siguientes muestra la evolución obtenida con dos pacientes del CENTRO DESPERTAR LOS ÁNGELES en los cuales se aplicó un tratamiento continuo durante 10 días laborables. Para poder medir el valor a la reacción a la frecuencia inducida al paciente fue reflejada con valores digitales (0 y 1). Siendo que 0 fue representado cuando no hay respuesta física observada y 1 cuando hay una respuesta física observada a la aplicación de la electroterapia.

En el primer paciente se observa una reacción a la electroterapia desde el primer día de estimulación eléctrica, esto con una corriente de 90 mA, a 20 Ma de la zona de riesgo de aplicación eléctrica al cuerpo humano.

Se podría decir que el daño muscular por la atrofia provocada por el síndrome de Down es alta, también se observa que al décimo día el paciente recupera una movilidad de un 40y responde a una corriente menor aplicada.

En el caso del segundo paciente la respuesta a la estimulación eléctrica es más lenta pero su recuperaciones más rápida que en el primer caso. En ambos caso no se logra llegar a una aplicación mínima de corriren de 10mA, pues no se consigue respuesta del musculo trabajado. (Ver tablas 1 y 2).

TABLA 1		Tabla de Reacción observada, paciente 2.								
Fr/Días	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
1 Hz a 10 mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Hz a 30 mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3 Hz a 50 mA	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
4 Hz a 70 mA	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5 Hz a 90 mA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TABLA 2		Tabla de Reacción observada, paciente 2.								
Fr/Días	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
1 Hz a 10 mA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Hz a 30 mA	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
3 Hz a 50 mA	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
4 Hz a 70 mA	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
5 Hz a 90 mA	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

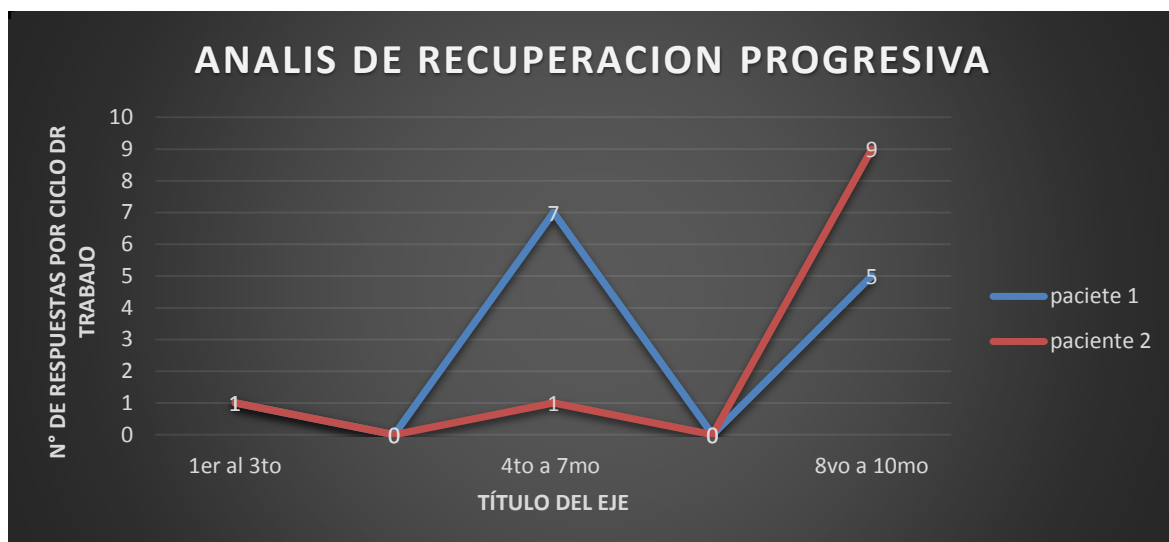
**Tabla 3. Tabla de la recuperación progresiva de los pacientes 1 y 2**

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de veces que responde el musculo en un periodo de aplicación de 20 segundos y un descanso de 40 segundos de la electroterapia, (Y. Kim, 2013) teniendo en cuenta que los periodos de aplicación de la electroterapia no debes ser muy prolongados para no fatigar el musculo o estresar al paciente.

REACCIÓN POR PERIODO	PERIODOS DE APLICACIÓN DE 20 SEGUNDOS Y 40 DE REPOSO				
	1 Hz	2 Hz	3 Hz	4 Hz	5 Hz
<b>paciente 1 N° de reacciones</b>	8	18	34	48	84
<b>paciente 2 N° de reacciones</b>	10	23	39	61	88

**Tabla 4. Respuesta del Musculo en periodos de trabajo**

Como se puede observar la reacción al tratamiento es paulatina pero no es la ideal requerida, aunque los resultados parecen ser comprometedores (Ver tabla).



**Gráfico 3 Análisis de Recuperación Progresiva**

### 8.3 DISCUSIÓN

En lo practico la nueva modalidad del tratamiento de estimulación temprana mediante electro-estimulación resulto bastante confortable para los pacientes, este les permite interactuar con otros pacientes mientras están siendo tratados además durante la aplicación de tratamiento los pacientes reaccionaron de una manera positiva a la interacción mediante el cual no eran forzados a realizar ejercicios frustrantes en algunos de los casos.

La aplicación del tratamiento se realizó mediante la supervisión de especialista del Centro despertar Los Ángeles, en ninguno de los casos se forzó se observó estrés o fatiga durante la aplicación de la terapia a su vez les resultaba divertido la reacción involuntaria presentada en sus extremidades superiores.

## 8.4 MÉTODO CHI-CUADRADO

Para la comprobación de la hipótesis de nuestro proyecto se hizo uso del método de ji-cuadrado o chi-cuadrado, la cual permite aceptar o rechazar la hipótesis nula, para ello se utilizó los datos obtenidos en el Centro despertar los Angeles.

La tabla corresponde a los datos que se obtuvo reacción física observada en el proceso de aplicación de la terapia con electro-estimulación. Los parámetros de evaluación están dados por ceros y unos, es decir uno si hay reacción física y cero si no la hay reacción.

Para poder evaluar el método chi-cuadrado fue necesario realizar un conteo de las veces que reaccionaba el musculo al estímulo eléctrico inducido en un periodo de 20 segundos de trabajo y 40 segundos de reposo.

<b>PERIODOS DE APLICACIÓN DE 20 SEGUNDOS Y 40 DE REPOSO</b>				
<b>p/dt</b>	1er al 3to	4to a 7mo	8vo a 10mo	<b>TGENERAL</b>
<b>paciente 1</b>	0	7	5	12
<b>paciente 2</b>	0	1	9	10
<b>T GENERAL</b>	0	8	14	22

**Tabla 5. Método Chi Cuadrado, tabla de la frecuencia obtenida**

$$\text{Grados de libertad} = (\# \text{ de fila} - 1) * (\# \text{ de columnas} - 1)$$

$$gl = (2 - 1) * (3 - 1)$$

$$gl = 2$$

### **Ecuación 3. Grados de Libertad**

FRECUENCIA ESPERADA				
p/dt	1er al 3er	4to a 7mo	8vo a 10mo	TGENERAL
paciente 1	0	4.363636364	7.63636364	12
paciente 2	0	3.636363636	3.63636364	7.272727273
TGENERAL	0	8	11.2727273	19.27272727

**Tabla 6. Método, tabla de la frecuencia esperada**

La fórmula para el cálculo de ji-cuadrado es la siguiente:

$$x^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$$

$$x^2 = 0 + 0 + 1.64 + 1.94 + 0.88 + 7.58$$

$$x^2 = 12.22$$

*valo de p = 1 - nivel de significancia*

$$valo de p = 1 - 0.05$$

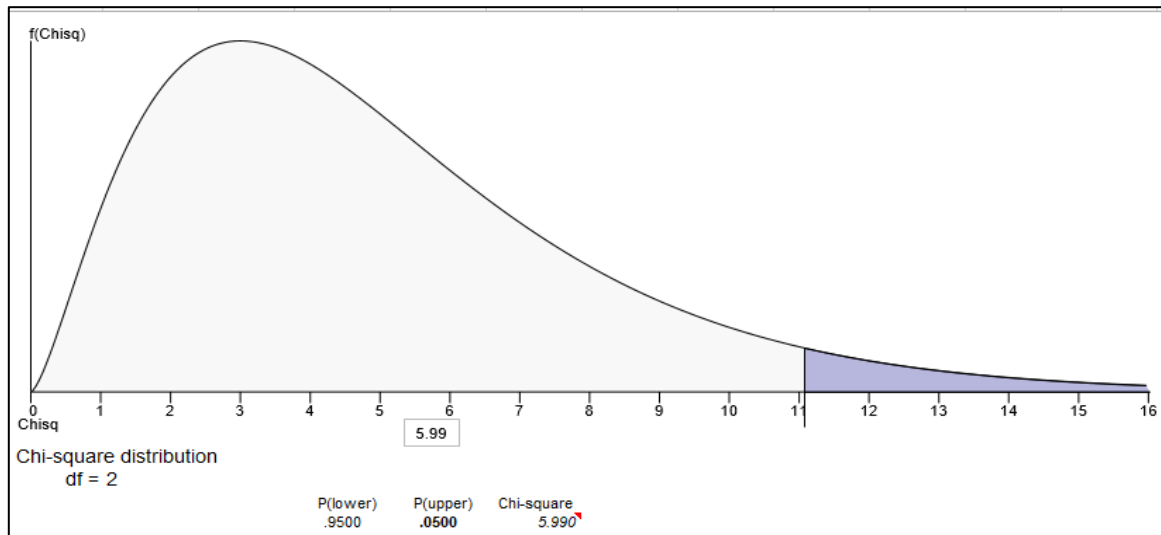
$$valo de p = 0.95$$

**Ecuación 4. Fórmula para el cálculo de ji-cuadrado**



DISTRIBUCION DE $\chi^2$												
Grados de libertad	Probabilidad											
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001	
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83	
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82	
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27	
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47	
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52	
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46	
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32	
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12	
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88	
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59	
	No significativo								Significativo			

**Ilustración 9** Tabla de chi-cuadrado



**Ilustración 10.** Curva del chi cuadrado obtenida

Con el método chi-cuadrado se rechaza la hipótesis nula por que el valor calculado es mayor al valor crítico basado en la tabla del chi-cuadrado

## **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **9.1. CONCLUSIONES**

- El prototipo del electro estimulador responde a los parámetros de diseño establecidos en el proyecto.
  
- Los parámetros establecidos en la aplicación de corrientes analgésicas fueron muy útiles para poder establecer los parámetros de electro-estimulación muscular para rehabilitación.
  
- La implementación del proyecto fue satisfactoria debido la colaboración de los especialistas del Centro de Atención Especial “Despertar Los Ángeles”.
  
- La respuesta a la aplicación del tratamiento mediante el electro-estimulación no fue inmediata, esta se presentó al segundo y tercer día de tratamiento.
  
- El tiempo de aplicación del electro estimulación se realizó en periodos de trabajo cortos y sesiones medianamente largas.

## **9.2. RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda contar con el apoyo de personal capacitado en fisioterapia para facilitar la aplicación del tratamiento.
- Los tratamientos prolongados en los que intervienen los músculos del cuerpo suelen ser traumatizantes para dicho musculo, por lo que se recomienda tener en cuenta los pesos de aplicación y descanso, estos deben aplicarse según el caso lo requiera.
- Se recomienda limitar la corriente inducida al cuerpo humano, esta podría provocar atrofas irreparables en los músculos.
- Se recomienda implementar un prototipo que permita censar las señales EMG y así poder observar de mejor manera la evolución de un musculo durante su recuperación.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Capote, A. (2009). *Electroterapia de baja y media frecuencia, agentes físicos*. Cuba: Ed. Ciencias Médicas, pp. 193-275.
- Cifuentes, I. A. (2010.). "*Diseño y construcción de un sistema para la detección de señales electromiográficas*". Mexico: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Eduardo, M. S. (28 de julio de 2015). *Reista Mexivana de Ingenieria Biomedicina*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-95322016000100017](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322016000100017)
- Guerra Balic, M. (2000). Síndrome de down y respuesta al esfuerzo físico . *Escola de Medicina de l'Educació Física i l'Esport*.
- Gutiérrez, J. F. (2012). *Agentes mutagénicos y su daño en el ADN*. Guadalajara: CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS.
- Martin, R. (2008). "*Electroterapia de baja frecuencia*", *Agentes físicos terapéuticos*. Cuba: Ed. Ciencias Médicas.
- Martin, R. (2014). "Corrientes más utilizadas en fisioterapia". En R. Martin, *Electroterapia en fisioterapia* (págs. pp. 35-63.). España: Ed. Médica Panamericana.
- Martin, R. (2014). "Forma de las ondas en las corrientes de baja y media frecuencia empleadas en electroterapia". En R. Martin, *Prácticas de Electroterapia en fisioterapia*. (págs. pp. 55-87.). España: Ed. Médica Panamericana.
- Miguel, L. M. (14 de septiembre de 2016). *Levante*. Obtenido de Levante El mercantil Valenciano: <http://www.levante-emv.com/blogs/salud-y-cosmetica/la-electroestimulacion-aplicada-a-la-medicina-y-la-sexualidad.html>
- Núñez Sandoval, R. (Diciembre de 2011). *Características motrices de niños y niñas con síndrome de down*. Obtenido de efdeportes.com: <http://www.efdeportes.com/efd163/caracteristicas-motrices-de-ninos-con-sindrome-de-down.htm>
- Pérez Machado, J. L., & Álamo Arce, D. D. ((ENERO-MARZO), de 2001, ). Estudio comparativo entre los estiramientos musculares mediante tensión activa y electroestimulación. *Fundación Dialnet, Vol. 23, (Nº. 1)*, págs. 10-14.
- Plaja, J. (1998). "Corrientes analgésicas". *Guía práctica de Electroterapia*. , pp. 35-40.
- Renovell, A. (12 de Mayo de 2017). *Efisioterapia*. Obtenido de efisioterapia.net: <https://www.efisioterapia.net/articulos/breve-historia-electroestimulacion>

Rodríguez, D. R. (05 de 01 de 2018). *Psicovida*. Obtenido de Aprendiendo a Cambiar es Aprender a Vivir: <http://www.psico-vida.com/2014/11/motricidad-psicomotricidad-fina-y-gruesa/>

S. Bela, R. S. (1990). "A Data Acquisition and Signal Processing System for EMG and Acceleration Signáis.". IEEE Proceedings.

Vernon D, E. T. (2003). *The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance*. Int J Psychophysiol.

Y. Kim, S. K. (2013). "A method for gait rehabilitation training using EMG fatigue analysis,". Int. Conf. ICT Converg. pp. 52 55.

## 11. ANEXOS

✓ Anexo 1 ecuaciones :

➤ Calculo de la frecuencia del tiempo en alto ( $t_H$ ) de oscilación, parámetros ideales.

$$t_H = 0.694(R_1 + R_2)C_{ext}$$

$$600ms = 0.694 (R_1 + 57.6 K\Omega) * 10\mu F$$

$$\frac{600ms}{0.694 * 10 \mu F} = R_1 + 57.6 K\Omega$$

$$86.46 K\Omega = R_1 + 57.6 K\Omega$$

$$R_1 = 86.46 K\Omega - 57.6 k\Omega$$

$$R_1 = 28.86 k\Omega$$

➤ Calculo de la frecuencia del tiempo en bajo ( $t_L$ ) de oscilación, parámetros ideales

$$t_L = 0.694 * R_2 * C_{xt}$$

$$400 ms = 0.694 * R_2 * 10\mu F$$

$$\frac{400 ms}{0.694 * 10\mu F} = R_2$$

$$R_2 = 57.6 K\Omega$$

➤ Calculo de frecuencia de oscilación con tiempos en bajo y alto parámetros reales.

$$t_H = 0.694 * (26.3 K\Omega * 57.6 K\Omega) * 10\mu F$$

$$tH = 582.2 \text{ ms}$$

$$tL = 0.694 * (57.6k\Omega) * 10\mu F$$

$$tL = 399.7 \text{ ms}$$

- **Calculo de la frecuencia de oscilación parámetro ideal.**

$$fr = \frac{1.44}{(R1 + 2R2) * Cext}$$

$$fr = \frac{1.44}{(28.8 K\Omega + 2 * 57.6 K\Omega) * 10\mu F}$$

$$fr = 1 \text{ Hz}$$

- **Calculo de la frecuencia de oscilación en parámetros reales.**

$$fr = \frac{1.44}{(R1 + 2R2) * Cext}$$

$$fr = \frac{1.44}{(26.3 K\Omega + 2 * 55.5 K\Omega) * 10\mu F}$$

$$fr = 1.49 \text{ Hz}$$

- **Cálculo del Transistor para corte y saturación.**

$$vce = vcc = 8.43$$

$$Ic(sat) = \frac{Vcc}{Rc} = \frac{8.43v}{8\Omega} = 40 \text{ mA}$$

$$IBmin = \frac{Ic}{Bcd} = \frac{40 \text{ mA}}{200} = 210 \text{ uA}$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ v}$$

$$V_{RB} = v_i - V_{BE} = 3.4 - 0.7 = 2.7 \text{ v}$$

$$R_{Bmax} = \frac{V_{rb}}{I_{Bmin}} = \frac{2.7 \text{ v}}{210 \text{ uA}} = 13.5 \text{ K}\Omega$$

➤ **Ecuaciones del método chi-cuadrado.**

$$\begin{aligned} x^2 = & \frac{(8 - 3.71)^2}{3.71} + \frac{(18 - 8.36)^2}{8.36} + \frac{(34 - 15.81)^2}{15.81} + \frac{(48 - 22.31)^2}{22.31} + \frac{(84 - 39.05)^2}{39.05} \\ & + \frac{(10 - 5.35)^2}{5.35} + \frac{(23 - 12.3)^2}{12.3} + \frac{(39 - 20.86)^2}{20.86} + \frac{(61 - 32.64)^2}{32.64} \\ & + \frac{(88 - 47.09)^2}{47.09} \end{aligned}$$



✓ ANEXO 2

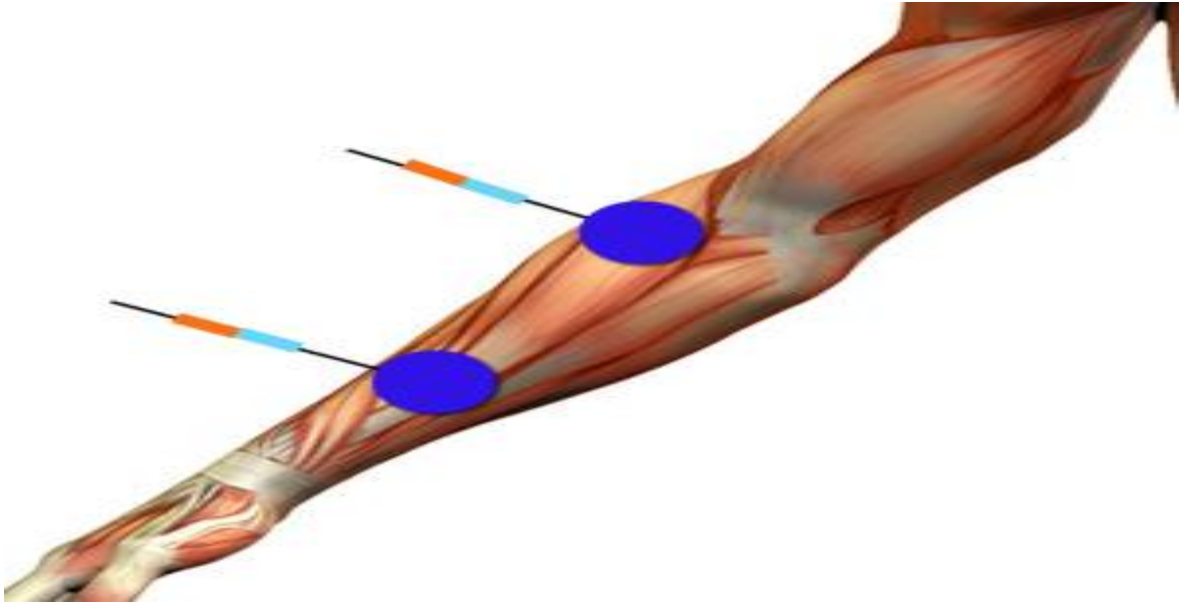
➤ Tablas.

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7366	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7987	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361

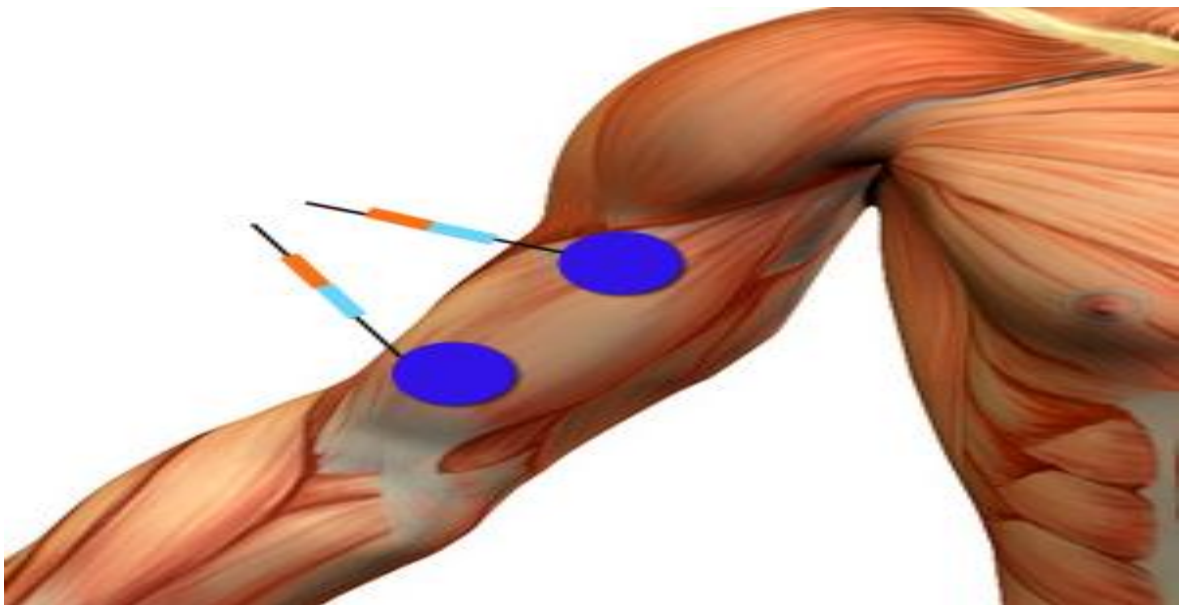
Tablas 1. Tabla de distribución completa del Chi-cuadrado







*Ilustración. 4 Ubicación d electros en el antebrazo*



*Ilustración. 5 Ubicación de electrodos en los tríceps*

➤ **ANEXO 4: Líneas de código en MikroC**

```
# include <built_in.h>  
unsigned int adc;  
    unsigned int adc1;  
// LCD module connections
```

```

sbit LCD_RS at RB0_bit;
sbit LCD_EN at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB2_bit;
sbit LCD_D5 at RB3_bit;
sbit LCD_D6 at RB4_bit;
sbit LCD_D7 at RB5_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB5_bit;

// End LCD module connections
// End LCD module connections

char txt1[] = "UNACH 2017";
char txt2[] = "FRECUENCIA";
char txt3[] = "Fhz";
char txt4[] = "DEL TRATAMIENTO";
char txt5[] = "ADALBERTO ARMIJOS";

float i,b,a;
char itxt[4];
char itxt1[4];
char itxt2[4];
char itxt3[4];

void main() {

    // CMCON = 7; // Disable Comparators
    ADCON1 = 0; // For ADC Module configuration
    ADCON0=1;
    TRISA = 1; // PORTA is input (ADC Input)

```

```

Lcd_Init();
adc_init();
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      // Clear display
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
Lcd_Init();                // Initialize LCD

Lcd_Out(1,3,txt1);        // Write text in first row
Lcd_Out(2,1,txt5);        // Write text in second row
Delay_ms(2000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,3,txt2);        // Write text in first row
Lcd_Out(2,3,txt4);        // Write text in second row
Delay_ms(2000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
do
{
    adc = ADC_Read(0); // Get 10-bit results of AD conversion of channel 1
    delay_us(20);
    adc1=adc<<2;
    b=adc1/256;
    i=b/3;
    Lcd_Out(1,1,txt3);
    if (i>=5){
        a=1;
    } else{
        if (i>=4){
            a=2;
        } else{ if (i>=3){
            a=3;
        } else{ if (i>2){

```

```
    a=4;
}
else{
    a=5;
}
}
}
}
floattostr(a,itxt);
Lcd_Out(1,10,itxt);
}
while(1);
}.
```