



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA PREVENCIÓN
Y REHABILITACIÓN DE OSTEOARTRITIS EN MANOS
MEDIANTE UN GENERADOR DE PULSOS
ELECTROMAGNÉTICOS DE BAJA FRECUENCIA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

JUAN CARLOS ECHEVERRÍA CAÑADAS

DIRECTOR: DANIEL ALEJANDRO MIDEROS MORA PhD.

Quito, octubre 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2017.

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo ECHEVERRÍA CAÑADAS JUAN CARLOS, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Carlos Echeverría', is written over a horizontal line.

ECHEVERRÍA CAÑADAS JUAN CARLOS

1719278937

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **“Diseño y construcción de equipo para prevención y rehabilitación de osteoartritis en manos mediante un generador de pulsos electromagnéticos de baja frecuencia”**, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Echeverría Cañadas Juan Carlos**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniel Mideros', is written over a horizontal line.

Daniel Mideros PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres por brindarme su apoyo y cariño incondicional, por siempre creer en mí y ser mi guía en todas las etapas de mi vida. A mis hermanos por estar a mi lado en todo momento y por ser mis soportes en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por toda su ayuda, dedicación y constancia por criarnos y educarnos de la mejor manera a mis hermanos y a mí ya que sin ellos la culminación de esta etapa de mi vida nunca se hubiera concretado. Agradezco a mis hermanos por darme las fuerzas para seguir adelante y por siempre estar en todos momentos a mi lado.

Agradezco a mis amigos y profesores por su ayuda y guía para terminar este proyecto y así la culminación de una etapa más de mi vida.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1719278937
APELLIDO Y NOMBRES:	ECHEVERRÍA CAÑADAS JUAN CARLOS
DIRECCIÓN:	EL PROGRESO N5-64 Y GEOVANNI CALLES SECTOR CALDERON
EMAIL:	jecheverri1589@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	02 2037327
TELÉFONO MOVIL:	0987859410

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PARA PREVENCIÓN Y REHABILITACIÓN DE OSTEOARTRITIS EN MANOS MEDIANTE UN GENERADOR DE PULSOS ELECTROMAGNÉTICOS DE BAJA FRECUENCIA
AUTOR O AUTORES:	Echeverría Cañadas Juan Carlos
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	2017/10/03
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Dr. Daniel Mideros
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>En la actualidad existen métodos alternativos para la prevención y tratamiento de la osteoartritis, entre estos se encuentra la utilización de ondas electromagnéticas controladas a baja frecuencia. El presente proyecto diseña un equipo para tratar la osteoartritis en las extremidades superiores de las personas por medio de un flujo magnético controlado a baja frecuencia.</p> <p>La estructura física que se utiliza para</p>

	<p>el tratamiento es una bobina tipo solenoide con núcleo de aire que permitirá al paciente colocar su mano dentro del orificio del cilindro para que reciba toda la dosis de radiación en un tiempo controlado por medio de un micro controlador. Al utilizar una fuente de alta intensidad, la bobina tiende a calentarse por lo que el interior del solenoide se aísla con una espuma aislante de poliuretano para evitar irritación y quemaduras por la elevada temperatura generada.</p> <p>La función del micro controlador es controlar tanto el paso de corriente a la bobina como la frecuencia que se utilice para el tratamiento. También es necesario el control del tiempo de cada sesión debido a que una prolongada exposición a radiación de baja frecuencia puede alterar la estructura celular que puede conllevar a otro tipo de afecciones causadas por radiación.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Ondas electromagnéticas, baja frecuencia, estructura celular, micro controlador, bobina solenoide, núcleo de aire, radiación.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>Currently there are alternative methods for the prevention and treatment of osteoarthritis, among which is the use of electromagnetic waves controlled at low frequency. The present project designs a machine to treat osteoarthritis in the upper limbs of people by means of a low frequency controlled magnetic flux.</p> <p>The physical structure used for the treatment is a solenoid type coil with</p>

	<p>treatment is a solenoid type coil with air core that will allow the patient to place his hand inside the hole of the cylinder to receive the entire dose of radiation in a time controlled by a micro controller. When using a high intensity source, the coil tends to heat up so that the inside of the solenoid is insulated with polyurethane insulation foam to avoid irritation and burns due to the high temperature generated.</p> <p>The function of the micro controller is to control both the current flow to the coil and the frequency used for the treatment. It is also necessary to control the time of each session because prolonged exposure to low frequency radiation can alter the cellular structure that can lead to other types of conditions caused by radiation.</p>
KEYWORDS	<p>Electromagnetic waves, low frequency, cellular structure, microcontroller, solenoid coil, air core, radiation.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f. 

ECHVERRIA CAÑADAS JUAN CARLOS

1719278937

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, ECHEVERRÍA CAÑADAS JUAN CARLOS, CI 1719278937 autor del proyecto titulado: Diseño y construcción de equipo para prevención y rehabilitación de osteoartritis en manos mediante un generador de pulsos electromagnéticos de baja frecuencia, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 13 de septiembre del 2017

f. _____



ECHEVERRÍA CAÑADAS JUAN CARLOS

1719278937

INDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO.....	14
2.1 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES PARA EL EQUIPO DE TERAPIA DE OSTEOARTRITIS CON ELECTROMAGNÉTISMO	11
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL	12
2.3 DISEÑO ESPECÍFICO.....	17
DISEÑO DE ESTRUCTURA PARA LA BOBINA SOLENOIDE	19
DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL	21
DISEÑO DE CIRCUITO DE POTENCIA	22
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
ANÁLISIS ECONÓMICO	29
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES	31
BIBLIOGRAFÍA.....	33

INDICE DE TABLA

	PÁGINA
Tabla 1. Comparación de las características de productos	1
Tabla 2. Reacción Celular con ELF PEMF	7
Tabla 3. Mediciones de corriente, campo magnético y temperatura a diferentes frecuencias	25
Tabla 4. Datos estadísticos para la corriente y campo magnético.....	26
Tabla 5. Porcentaje de variación de campo magnético teórico vs práctico	28
Tabla 6. Costo de mano de obra y componentes electrónicos	29

INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Espectro Electromagnético	2
Figura 2. Modelo en V	11
Figura 3. Gráfica de accesorios electrónicos y conexión	12
Figura 4. Diagrama de comandos	13
Figura 5. Selección de Frecuencia.....	14
Figura 6. Selección de Tiempo.....	14
Figura 7. Inicialización de tratamiento.....	15
Figura 8. Diseño SolidWorks de Panel de Control	15
Figura 9. Diagrama de proceso para el control de interfaz	16
Figura 10. Simulación de solenoide con líneas de campo magnético.....	18
Figura 11. Diseño de la base para el solenoide. Medidas en (mm)	20
Figura 12. Diseño de cilindro para el bobinado. Medidas en (mm)	20
Figura 13. Resultado final del diseño	21
Figura 14. Circuito de Control	22
Figura 15. Conexión de transistor y bobina.....	23
Figura 16. Circuito completo en Proteus	24
Figura 17. Medición de corrientes en diferentes frecuencias	27
Figura 18. Medición de Campo Magnético a diferentes frecuencias.....	28

RESUMEN

En la actualidad existen métodos alternativos para la prevención y tratamiento de la osteoartritis, entre estos se encuentra la utilización de ondas electromagnéticas controladas a baja frecuencia. El presente proyecto diseña un equipo para tratar la osteoartritis en las extremidades superiores de las personas por medio de un flujo magnético controlado a baja frecuencia.

La estructura física que se utiliza para el tratamiento es una bobina tipo solenoide con núcleo de aire que permitirá al paciente colocar su mano dentro del orificio del cilindro para que reciba toda la dosis de radiación en un tiempo controlado por medio de un micro controlador. Al utilizar una fuente de alta intensidad, la bobina tiende a calentarse por lo que el interior del solenoide se aísla con una espuma aislante de poliuretano para evitar irritación y quemaduras por la elevada temperatura generada.

La función del micro controlador es controlar tanto el paso de corriente a la bobina como la frecuencia que se utilice para el tratamiento. También es necesario el control del tiempo de cada sesión debido a que una prolongada exposición a radiación de baja frecuencia puede alterar la estructura celular que puede conllevar a otro tipo de afecciones causadas por radiación.

Palabras clave: Ondas electromagnéticas, baja frecuencia, estructura celular, micro controlador, bobina solenoide, núcleo de aire, radiación.

ABSTRACT

Currently there are alternative methods for the prevention and treatment of osteoarthritis, among which is the use of electromagnetic waves controlled at low frequency. The present project designs a machine to treat osteoarthritis in the upper limbs of people by means of a low frequency controlled magnetic flux.

The physical structure used for the treatment is a solenoid type coil with air core that will allow the patient to place his hand inside the hole of the cylinder to receive the entire dose of radiation in a time controlled by a micro controller. When using a high intensity source, the coil tends to heat up so that the inside of the solenoid is insulated with polyurethane insulation foam to avoid irritation and burns due to the high temperature generated.

The function of the micro controller is to control both the current flow to the coil and the frequency used for the treatment. It is also necessary to control the time of each session because prolonged exposure to low frequency radiation can alter the cellular structure that can lead to other types of conditions caused by radiation.

Key words: Electromagnetic waves, low frequency, cellular structure, microcontroller, solenoid coil, air core, radiation.

1. INTRODUCCIÓN




La rehabilitación en pacientes con osteoartritis ha desarrollado diferentes métodos y técnicas a lo largo del tiempo, lo que ha llevado al desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de los pacientes entre los que se encuentra el tratamiento con electromagnetismo que es un método no invasivo que permite a las personas recuperarse de forma rápida y sin dolor. A más de ser un método de fácil utilización, presenta diferentes propuestas para el tratamiento de dolencias relacionadas con la artritis.

En el Ecuador se cuenta la tecnología de terapias electromagnéticas hace una década. Anteriormente no se contaba con el conocimiento necesario para brindar la seguridad en las terapias, pero con el tiempo y el desarrollo de nuevas metodologías se ha ido incorporando equipos de rehabilitación capaces de adaptarse no sólo al tratamiento en extremidades, sino también a diferentes zonas del cuerpo humano.

JM MEDICAL es una empresa importadora de equipos de rehabilitación. Entre los productos más destacados se encuentran los que utilizan campos magnéticos. La Tabla 1 hace una comparación de las características de equipos similares para brindar una visión más amplia de las expectativas del proyecto.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTOS EXISTENTES

Tabla 1. Comparación de las características de productos

Característica \ Producto	Magnetherp 200	Magnetherp 330	Magnetherp 440
Imagen			
Campo Magnético	200 G	200 G	500 G
Frecuencia	5-10-25-50 Hz	1-750 Hz	1-750 Hz
Tiempo máximo de tratamiento	30 minutos	30 minutos	10 minutos
Canales de salidas	2	4	4
Precio (dólar)	1100	1500	3500

Estos equipos de rehabilitación abarcan una cierta cantidad de tratamientos para diversas afecciones, entre estas tenemos, de la piel, huesos, vaso dilatación, etc. Por lo que posee diferentes programas preestablecidos para brindar un tratamiento más eficaz.

Se pretende diseñar un equipo para rehabilitación y prevención únicamente de la osteoartritis y los síntomas que esta enfermedad conlleva. Por lo que el campo magnético, frecuencia, tiempo y canales de salida serán limitados a cierto rango máximo para el cumplimiento de las expectativas del proyecto.

Así que, se ha planteado como objetivos lo siguiente:

El objetivo general de la presente tesis es diseñar y construir un equipo para la prevención y rehabilitación de osteoartritis en manos mediante un generador de impulsos electromagnéticos de baja frecuencia.

Para cumplir con este objetivo se debe cumplir con los siguientes objetivos específicos con el fin de validar el diseño y construcción del equipo de rehabilitación.

- Diseñar un generador de pulsos electromagnéticos con bajas frecuencias (1-100Hz) preestablecido y controlable.
- Crear una interfaz para la selección y monitorización de terapias por electromagnetismo.
- Diseñar y validar un prototipo funcional del equipo de rehabilitación.

El equipo de rehabilitación diseñado cuenta con un mecanismo ergonómico que brinda confort mientras dura el tratamiento.

Para comprender mejor el funcionamiento del equipo, es necesario analizar su principio de funcionamiento que se basa en la aplicación la radiación de ondas generadas por un espectro electromagnético que emite o absorbe una sustancia. Es una banda espectral en términos de la frecuencia y la longitud de onda, la cual interactúa con los medios biológicos (Cárdenas, 2010).

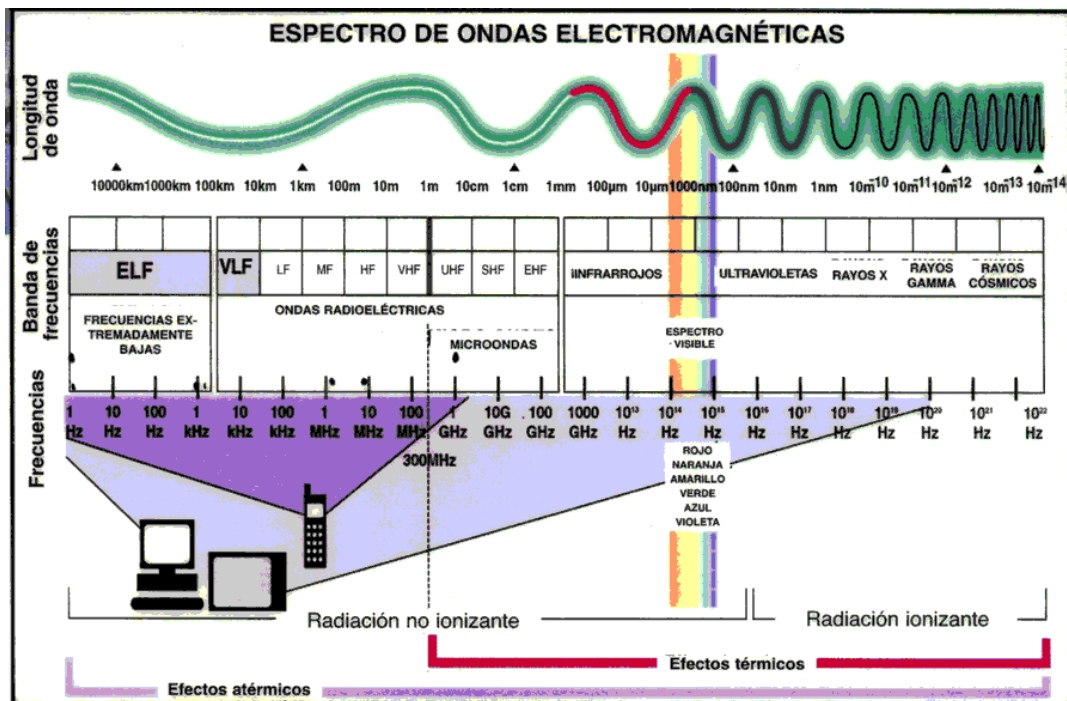


Figura 1. Espectro Electromagnético (Espada, 2017)

Las frecuencias del espectro electromagnético de interés se encuentran en el rango de Extrema Baja Frecuencia, la cual trabaja de 1 - 300 Hz.

En el espectro electromagnético, la radiación en altas frecuencias se la clasifica como radiación ionizante el cuál en dosis elevadas puede ser perjudicial para organismos biológicos. Por el contrario, los ELF (Extrema baja frecuencia por sus siglas en inglés) son insuficientes para destruir la estructura molecular pero si influye en su modificación, este tipo de radiación es conocida como no ionizante. (Oberli, 2006)

La base de la terapia con ELF fue desarrollada debido a que proporciona diminutas corrientes eléctricas que son las responsables de la transducción del estrés físico en una señal que promueve la formación de hueso y tejidos. El potencial piezoeléctrico se debe principalmente al movimiento de los electrolitos que se encuentran en los fluidos de los canales del hueso y contienen constituyentes orgánicos con cargas fijas que generan un potencial de transmisión. Estudios realizados a cerca del fenómeno eléctrico en los cartílagos han demostrado que la transducción mecánica eléctrica se parece a los descritos en los huesos, ya que aparece cuando el cartílago es mecánicamente comprimido causando el movimiento de fluidos y electrolitos dejando cargas negativas no neutralizadas en los proteoglicanos (estructuras de glicoproteínas que permiten la hidratación en piel, huesos, cartílago, tendones, etc.) y colágeno en la matriz del cartílago. De esta manera el estrés mecánico se transforma en un fenómeno eléctrico capaz de estimular la síntesis de condrocitos de los componentes de la matriz. (Ahmed, 2013)

Al estar polarizadas las células, se va a tener una carga eléctrica en ellas, mientras que en el exterior de la misma se encontrará la carga con sentido contrario. La diferencia entre ambas cargas denominado umbral de polarización de la membrana se ve alterada por diversos factores como químicos, eléctricos, presiones oncótica y osmótica. Mediante campos magnéticos se puede alterar el ambiente iónico en la membrana celular para modificar el nivel de polarización. (Abadía; Mesén, 2008)

Los efectos de los campos electromagnéticos de extrema baja frecuencia (ELF) sobre agentes biológicos han sido estudiados utilizando un sistema de exposición in vitro (tratamiento en tejido vivo) (Ahmed, 2013). El tratamiento con campos electromagnéticos de ELF es considerado beneficioso para diferentes tipos de complicaciones y enfermedades relacionadas especialmente con la piel y huesos así como las articulaciones que éstas conforman. Se han obtenido resultados favorables potencializando el incremento de la síntesis de colágeno permitiendo una recuperación más pronta dependiendo del tiempo de lesión, angiogénesis y tratamientos bacteriológicos. (Nguyen; Marks, 2017) (Martín; García, 2017)

Los campos magnéticos tienen la capacidad de producir diferentes efectos sobre un cuerpo biológico como son: bioquímicos, tisulares, celulares y sistémicos. (Martín; García, sf) (Salud y Calidad de Vida, 2017)

Entre los efectos bioquímicos se encuentran los siguientes:

- a. Desviación de las partículas con carga eléctrica en movimiento.
- b. Producción de corrientes intra y extra celulares inducidas.
- c. Efecto piezoeléctrico sobre los huesos y el colágeno.
- d. Aumento de la solubilidad de distintas sustancias en agua.

Los efectos a nivel celular según los vistos en el ámbito bioquímico están determinados por los siguientes aspectos:

- a. Estímulo en el metabolismo celular.
- b. Regularización de la membrana alterada.

Las corrientes inducidas debido al campo magnético estimulan directamente el trofismo celular para el estímulo de la síntesis de energía que necesita el organismo para su funcionamiento a nivel celular ayudando así a diferentes aspectos como la multiplicación celular, síntesis proteica y producción de prostaglandinas que proporcionan un efecto antiinflamatorio. También proporciona una estimulación en el flujo iónico por medio de la membrana celular a los iones Ca^{++} , Na^{++} y K^{+} . Esta acción es importante cuando el potencial de la membrana celular es alterado. El potencial es controlado con la expulsión de la célula del ión de Na^{+} que penetra en la membrana provocando lo denominado bomba de sodio. (Zaragoza, 2017)

Los efectos a nivel orgánico y tisular se presentan mediante acciones importantes como son (Martín; García, 2017):

- a) Vasodilatación.
 - b) Incremento de la presión del oxígeno en los tejidos.
 - c) Permite un efecto en el metabolismo del calcio en los huesos y el colágeno.
 - d) Relajación muscular.
- a) Vasodilatación: Genera un aumento de la circulación sanguínea en la zona que ha sido tratada llamado hiperemia produciendo efectos tróficos por el incremento de nutrientes, efecto antiinflamatorio y un efecto de regulación circulatoria mediante la restauración del flujo sanguíneo por las vías arteriales hasta alcanzar los extremos venosos capilares, lo que permite la llegada de diferentes nutrientes y oxígeno para corregir el metabolismo celular, a más de atraer células del sistema defensivo del cuerpo hacia las zonas afectadas. Elimina los desechos y toxinas del metabolismo celular, así como sustancias creadas por los

procesos inflamatorios que son las responsables de posteriores complicaciones para los pacientes. (Martín; García, 2017)

Si se tratan zonas más grandes o hipertensiones relativamente grandes. La mayor parte del sistema circulatorio se encuentra en reserva para momentos de emergencia del organismo; se ha demostrado mediante experimentos con campo magnético que es posible abrir el número de vasos sanguíneos que trabajan por unidad de volumen tisular. (Pérez, 2001)

- b) Incremento de la presión del oxígeno en los tejidos: Mejora la capacidad de disolución del oxígeno en el plasma de la sangre. Con esta medida, la presión del oxígeno se puede incrementar estimulando los elementos constituidos en los tejidos para que se produzca una renovación del material dañado, esto se logra activando los fibroblastos para la producción de colágeno para la matriz del tejido, incluso para la diferenciación de células madres en la misma dirección de los fibroblastos y la neoformación de vasos sanguíneos. (Shchepin, sf) (Martín; García, 2017)

El aumento del oxígeno en la zona tratada de manera local proporciona un aporte de oxigenación incluso a los órganos internos como en zonas más distantes lo que permite una mejora considerable en el trofismo.

El oxígeno es acumulado principalmente donde la intensidad del campo magnético alcanza su punto máximo. Debido a que el oxígeno es paramagnético, el campo magnético produce un desplazamiento del oxígeno disuelto en el líquido, lo que produce un cambio en la concentración del elemento dentro de la célula. Al incrementar los niveles de campo magnético, se produce simultáneamente una mayor concentración de oxígeno que beneficia a los tejidos isquémicos donde la circulación sanguínea se encuentra en niveles bajos. (García, 2005) (Ahmed, 2013) (Martín; García, 2017)

Efecto en el metabolismo del calcio en los huesos y el colágeno: Produce una estimulación trófica de huesos y colágeno, el cual genera corrientes de baja intensidad por mecanismos de piezoelectricidad. Uno de los principales tratamientos es el de la osteoporosis. El tratamiento electromagnético ayuda a combatir la osteoartritis local o general, deficiencias en la osificación de los huesos y pseudoartrosis, así como también el síndrome de Sudeck, debido a que actúa directamente en la fijación del calcio en los huesos. (García, 2005) (Ahmed, 2013).

Los efectos analgésicos vienen dados por tratamientos antiflogísticos que se basan en la liberación de la compresión a la que están sometidos los receptores sensitivos en el lugar de la lesión. El efecto de regulación

del potencial de la membrana celular permite incrementar el umbral de dolor en las fibras nerviosas, de esta manera se puede controlar el mecanismo de dolor en las lesiones tratadas. (Abadía; Mesén, 2008)

El tratamiento por medio de campos electromagnéticos sigue siendo demostrado que es completamente seguro debido a la carencia de complicaciones y por su gran porcentaje de éxito en fracturas con infección activa. (Abadía; Mesén, 2008) (Rioja, 1993)

- c) Relajación muscular: Efecto sobre las fibras lisas de los vasos sanguíneos, tubo digestivo y sobre las vías urinarias y principalmente sobre la fibra estriada que es la musculatura principal del esqueleto. Esta relajación se debe a la disminución del nivel de contracción involuntario de los músculos. (Martín; García, 2017)

Sistemas terapéuticos de los pulsos de campos electromagnéticos (PEMF)

Los pulsos de campos electromagnéticos interactúan con elementos eléctricamente conductivos en los tejidos resultando en corrientes inducidas.

Los PEMF (por sus siglas en inglés) han sido incorporados en los tratamientos de tendinitis y enfermedades asociadas a la osteoartritis entre otros. Existen diferentes métodos no invasivos para la aplicación de estimulación por PEMF para sistemas biológicos como son: acoplamiento capacitivo y acoplamiento inductivo. (Pascual J, 2010)

- Acoplamiento Capacitivo: Son electrodos directamente conectados con la superficie de la piel rodeando el tejido de interés.
- Acoplamiento Inductivo: No ejerce un contacto directo con la superficie de la piel, actuando únicamente el campo electromagnético que rodea a la parte afectada.

La tabla 2 presenta diferentes tratamientos con sus propiedades electromagnéticas para diferentes afecciones a nivel celular, mejorando significativamente a nivel macro biológico el estado del paciente. Las propiedades físicas fundamentales de los campos electromagnéticos de extrema baja frecuencia y los mecanismos por los que interactúan con el cuerpo humano son a nivel molecular ya que ELF involucra movimientos intracelulares debido a los campos electromagnéticos en la hiper polarización de la membrana celular. Las señales emitidas por los campos electromagnéticos inducen a una alteración de las señales eléctricas para direccionar una serie de pulsos magnéticos a través de los tejidos y células en donde cada pulso envía señales se convierten en reacciones bioquímicas que permiten la recuperación pronta de los tejidos enfermos. (Martín J, 2008)

Para lesiones crónicas se utiliza intensidades de 50% – 75%. Es decir, en el caso de tratamiento de artritis aguda y osteoporosis, al ser una lesión crónica, su porcentaje de intensidad es del 75% a 200G como lo muestra la Tabla 2, lo que significa que la máxima intensidad del flujo magnético son 200G, por lo que al trabajar al 75% de la intensidad del flujo magnético máximo, se tendría un equivalente de 150G que es el rango de trabajo del equipo de rehabilitación para dichos tratamientos. (Delgado; Sánchez; Parson; Gonzalez, 2012)

Tabla 2. Reacción Celular con ELF PEMF

TRATAMIENTO LOCAL	INTENSIDAD (GAUSS)	% INTENSIDAD	FRECUENCIA DE CAMPO (Hz)	TIEMPO SESIONES (Minutos)
Tratamiento analgésico	30	50	100	30
Daño a nivel neuronal	200	50 -75	2	30
Tejido colágeno	200 - 400	50 - 75	10 - 30	60
Componente vascular inflamatorio asociado	200 - 400	25 - 75	50	30
Úlceras	200	75	50 - 65	60
Edema	200	50	50 - 100	60 - 120
Enfermedades ortopédicas	200	75	72	60
Fracturas	200	75	12	60
Artritis aguda	200	75	50	60
Osteonecrosis	200	100	100	120
Osteoporosis	200	75	70	60
Enfermedad de Sudeck	200	50	50	30
Síndrome canalicular	200	50	70	120

(Ahmed, 2013) (Indian Journal of Experimental Biology, 2009)

Existen tratamientos con altas frecuencias que van en el rango de 100Hz-8000Hz que son transmitidas a impulsos que varían en el tiempo dependiendo de la patología. Este tipo de terapia se utiliza principalmente de modo analgésico ya que actúa directamente en el sistema nervioso. La diferencia principal entre los tratamientos de alta y baja frecuencia es que esta última trabaja en la capacidad regenerativa, vasodilatación, etc. debido a la capacidad de penetración en el cuerpo. Por el otro lado, las altas frecuencias no ingresan tan profundamente en el cuerpo por lo que es más apropiado para el tratamiento de dolor debido a anomalías en el sistema nervioso. (Martín J, 2008)

Para la manipulación de los campos magnéticos, se debe tener muy claro el tipo de tratamiento que se va a realizar, ya que utilizando un campo magnético muy bajo puede que el tratamiento no surta el efecto deseado. Por otro lado, si se genera un campo magnético demasiado elevado, el paciente va a sentir un ligero hormigueo y aumento en la temperatura de la zona tratada debido a que el incremento de la corriente que fluye por la bobina se incrementa produciendo más calor en su interior. (Salud y Calidad de Vida, 2017)

Los tratamientos varían en tiempo debido a la intensidad de campo magnético que se esté trabajando y severidad de la lesión en el paciente. Puede durar desde tres minutos hasta extenderse a una hora como máximo. Inicialmente se debe tratar por tiempos bajos para que el cuerpo se adapte a los cambios magnéticos para después incrementar gradualmente el tratamiento. Para precautelar la salud del paciente, los incrementos en el tiempo de estimulación con EMF deben ser observados durante el tratamiento electromagnético ya que puede producir molestias por calor o irritación en la piel. (Bansal H.; Bansal R., 1998)

Se puede hacer una combinación de tratamientos con las variables de frecuencia, intensidad y tiempo, produciendo una sinergia en los tratamientos obteniendo buenos resultados. Esta técnica puede ser utilizada únicamente por personal experimentado en tratamientos con electromagnetismo.

Normalmente los tratamientos se los realizan diariamente, después de 10 a 15 sesiones hay la posibilidad de modificar los parámetros en el tratamiento tanto en duración, frecuencia y campo magnético. Después de este periodo, los tratamientos pueden ser de 3 a 5 veces por semana dependiendo si el tratamiento reduce las molestias artríticas en los pacientes teniendo la posibilidad de reducirlas hasta una vez por semana. El tiempo de aplicación de los campos magnéticos puede variar entre 15 a 45 minutos dependiendo de la intensidad de los síntomas. Los controles con el fisioterapeuta pueden realizarse cada semana hasta que se verifique que los síntomas han mermado. (Martín; García, 2017)

Contraindicaciones

No es recomendable el uso en pacientes con marcapasos debido a que sus campos magnéticos pueden interferir entre sí, dañando los dispositivos. Infecciones activas y focos de hemorragias ya que hay la posibilidad de que se agrave la infección o produzca hemorragia. No es recomendable utilizarlo con mujeres embarazadas ya que puede alterar el ritmo cardiaco del feto produciendo insuficiencias coronarias, arritmias cardiacas e incluso infarto. En personas diabéticas se puede realizar el tratamiento pero siempre

controlando los niveles de azúcar en la sangre ya que los campos magnéticos pueden elevar este nivel, por lo que se recomienda mayor cuidado. No es recomendable utilizar tratamiento con campos magnéticos en personas con embolia debido a que la radiación puede acelerar el proceso de obstrucción en las venas o arterias. Personas con tuberculosis también son descartadas debido a que la inflamación e infección de los tejidos u órganos no deben ser expuestas a campos magnéticos ya que acelera la infección y la propaga. Es preferible que cualquier paciente con problemas cardiacos o padecimientos del corazón como es el caso de anginas de pecho e hipotensión no se les suministre este tipo de tratamiento debido a la alteración en el flujo sanguíneo que se produce. (Omaeda.es, 2012)

Existen diferentes Organizaciones Internacionales que participan activamente de la evaluación de los posibles efectos nocivos de los campos electromagnéticos en la salud humana tomando en cuenta las posibles consecuencias económicas, sociales y éticas. Un informe de prestigio equivocado tendría consecuencias graves sobre la sociedad industrial moderna, fuertemente dependiente de dispositivos eléctricos y electrónicos que son imprescindibles en la “sociedad de bienestar”. (García, 2005)

Por esta razón ha ido apareciendo organismos internacionales que se encargan de esta evaluación.

- Organización Mundial de la Salud (OMS): Creó un programa denominado “International Electromagnetic Fields”, que se encarga del estudio de los peligros a exposiciones y los riesgos que conllevan los campos electromagnéticos estáticos y el uso de frecuencias extremadamente bajas. Debido al avance tecnológico, la OMS ha estudiado sobre los efectos nocivos que trabajadores experimentan por el contacto continuo con máquinas y aparatos electrónicos por lo que ha establecido tiempos de exposición para sus países asociados. (WHO, 2017)
- International Agency for Research on Cancer (IARC): Es un organismo asociado a la OMS para la evaluación y control de los riesgos de cáncer en las personas por efectos de campos magnéticos de frecuencias extremadamente bajas y su influencia en posibles complicaciones cancerígenas a mediano y largo plazo. (IARC, 2002)
- International Commission on No-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Organismo independiente avalado por la OMS que proporciona orientación científica sobre los efectos y consecuencias que conlleva la exposición a radiación no ionizante con el objetivo de proteger al ecosistema y a las personas de la exposición a este tipo de radiación. Se encargan también de realizar seminarios cada cuatro años para explicar y capacitar a empresas y organizaciones. Entre las normativas

internacionales toman como punto de referencia los documentos técnicos publicados por esta organización llamados “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz)” (ICNIRP, 2017)

- National Center for Biotechnology Information: Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination Program (EMF-RAPID Program): Debido a la preocupación por los efectos nocivos de los campos electromagnéticos vinculados al cáncer, en Estados Unidos se llevó a cabo un congreso obligatorio para determinar si tanto campos eléctricos como magnéticos producidos son perjudiciales para la salud. Informes enviados por esta organización estudiaron la citotoxicidad, afección en la comunicación intracelular, campos eléctricos intracelulares en el cuerpo humano y el transporte del ión de calcio en la membrana plasmática. (NCBI, 2000)

Para la comercialización y previa aprobación de equipos médicos se debe tener la autorización del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Según el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 186 “Equipos Electromédicos” donde establece los requisitos generales para la seguridad básica, funcionamiento y compatibilidad electromagnética de los equipos y sistemas electromédicos, con el fin de precautelar la vida y seguridad de las personas y prevenir prácticas que pueden inducir error o crear confusión a los usuarios.

Este reglamento es aplicado a los equipos que son comercializados a nivel nacional, ya sean fabricados en los límites del país o sean importados del extranjero.

Para productos fabricados a nivel nacional, se emite una aprobación por un organismo de certificación de producto acreditado por los Organismos de Acreditación Ecuatoriana (OAE) o designado según lo que establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad. (Ministerio de Industrias y Productividad, 2014)

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

El proyecto utiliza un modelo en V que permite un desarrollo completo e integral del mecanismo. La ventaja principal de la utilización de este modelo es que permite una retroalimentación en cada uno de los procesos que ayuda a controlar individualmente las etapas del mismo logrando una mejora continua. (Olguín, 2004)

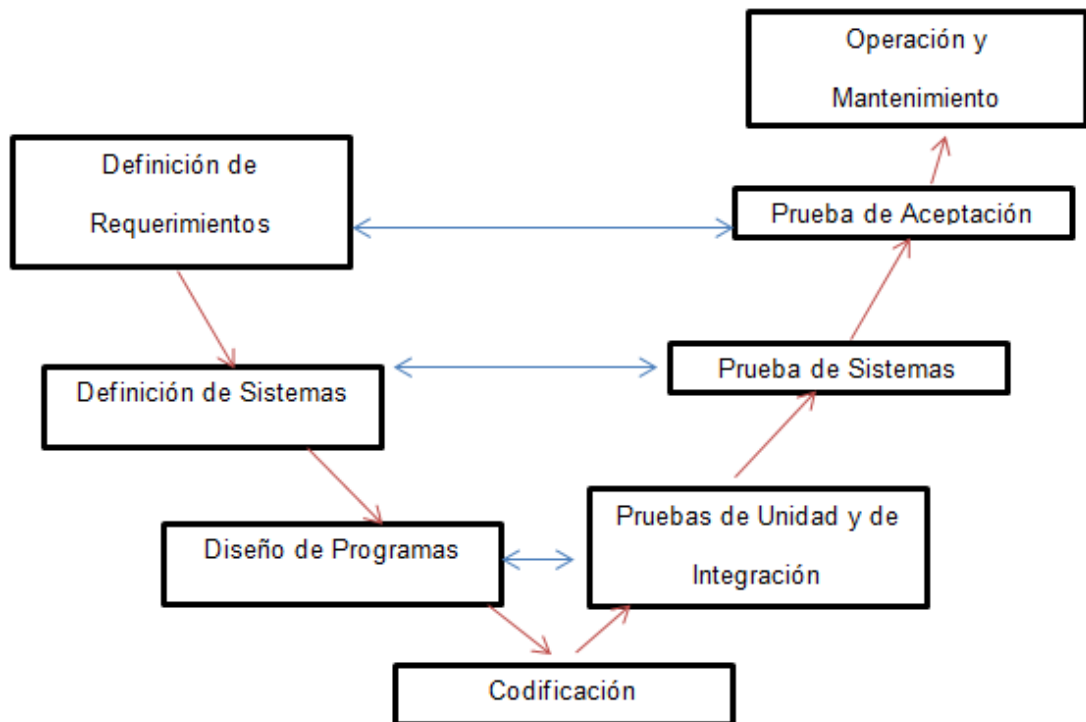


Figura 2. Modelo en V
(Olguín, 2004)

2.1 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES PARA EL EQUIPO DE TERAPIA DE OSTEOARTRITIS CON ELECTROMAGNÉTISMO

- Debe cumplir con las especificaciones de tiempo (1 – 60 min), frecuencia (1 – 100 Hz) y campo magnético de 200G al 75% para el tratamiento de osteoartritis.
- Interfaz amigable con el usuario en la manipulación de los comandos.
- La bobina tiene que ser un solenoide ya que capta en su interior la radiación electromagnética.
- La fuente de alimentación debe ser conectado directamente en la red de 110V.
- El equipo será programado únicamente para tratamientos con campo magnético de 200G al 75% debido a que los tratamientos de osteoartritis con electromagnetismo según la investigación es tratada con estos parámetros. (Ahmed, 2013) (Indian Journal of Experimental Biology, 2009)

- Se utilizará sólo para el tratamiento en manos debido a sus dimensiones de diámetro 11cm y longitud de 23cm.

2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño de la Figura 3 indica la conexión de cada uno de los accesorios que componen el equipo de rehabilitación, así como el esquema de cada uno de los componentes que éste integra.

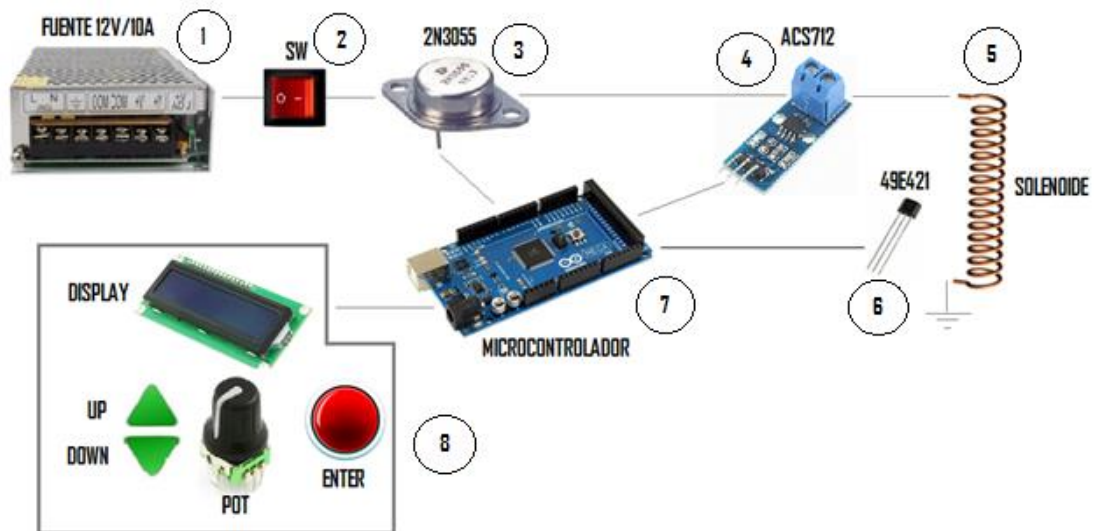


Figura 3. Gráfica de accesorios electrónicos y conexión

1. **Fuente Switching 12V10A:** Es alimentado con un voltaje de entrada de 110 a 220VAC, trabaja con una frecuencia de 50/60 Hz. Brinda un voltaje de salida de 12VDC 10A, ruido <1%, posee protección contra sobre voltaje, sobrecarga y una protección contra corto circuitos, temperatura de trabajo de 0 a 40°C y su enfriamiento es a través de circulación de aire.
2. **Switch:** Interruptor con enclavamiento para activación de la fuente.
3. **Transistor 2N3055:** Transistor de silicio tipo NPN utilizado para usos generales de amplificación y aplicaciones de interrupción para bajas frecuencias. Será utilizado como interruptor donde la corriente máxima colector emisor es de 15A.
4. **ACS712:** Sensor de corriente hasta 20A máximo que será utilizado para sensar la corriente que ingresa a la bobina. Este dispositivo será utilizado únicamente para la obtención de los datos pertinentes para posteriormente ser removido para el montaje final del sistema.
5. **Bobina Solenoide:** Sistema principal para rehabilitación, obtiene su alimentación del emisor del transistor 2N3055. Su función es la de

irradiar ondas electromagnéticas a las extremidades superiores del paciente.

6. **49E421:** Sensor analógico para la medición de campo magnético, su voltaje de funcionamiento está dado de 0 a 5 voltios. El sensor de campo magnético será removido una vez obtenidos los resultados para sus pruebas.
7. **Arduino Mega 2560:** Micro controlador programable en el cuál controlará la variación de frecuencia mediante el pwm y el tiempo del tratamiento.
8. **Interfaz de usuario:** Comandos para la manipulación de datos mediante pulsadores, potenciómetro para variar frecuencia y tiempo y un display de cristal líquido lcd16x2.

NOMENCLATURA DE PULSADORES

Se implementa un total de 2 pulsadores (Button1 y Button2) y un potenciómetro (POT) para la manipulación de los datos en la interfaz gráfica y un pulsador (ENTER) para la aceptación de los los datos e inicialización del programa. A continuación se especifica las funciones de cada uno de los pulsadores y la función específica del potenciómetro.

BUTTON1 = DOWN: Pull Button para bajar en la selección de actividades en las pantallas 1, 2 y 3.

BUTTON2 = UP: Pull button para subir en la selección de actividades en las pantallas 1, 2 y 3.

BUTTON3 = ENTER: Es un pull button que se utiliza para seleccionar las actividades a realizarse.

POT: Potenciómetro para variar el tiempo (1-60min) y frecuencia (1-100Hz) una vez seleccionadas las actividades. Esto se visualiza en las pantallas 4 y 6.



Figura 4. Diagrama de comandos

DISEÑO DE INTERFAZ

Según la Figura 5, en la Pantalla 1 se elige la opción de Seleccionar frecuencia, al presionar ENTER (Button3), el sistema ingresa a la Pantalla 4 en el cuál se selecciona la frecuencia que se va a suministrar por medio del potenciómetro que varía de 1 a 100Hz. Una vez seleccionada la frecuencia se presiona ENTER (Button3) para volver a la selección de actividades.

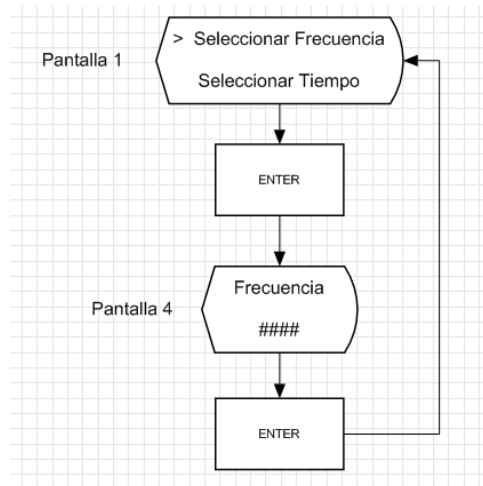


Figura 5. Selección de Frecuencia

Para ingresar a la selección de tiempo se presiona DOWN (Button1) para acceder a la Pantalla 2, una vez en ella, se presiona ENTER (Button3) para entrar a la Pantalla 5 donde, por medio del potenciómetro se seleccionará el tiempo de aplicación que varía de 1 a 60 minutos por tratamiento. Una vez elegido el tiempo, se presiona ENTER (Button3) para retornar a la pantalla de actividades.

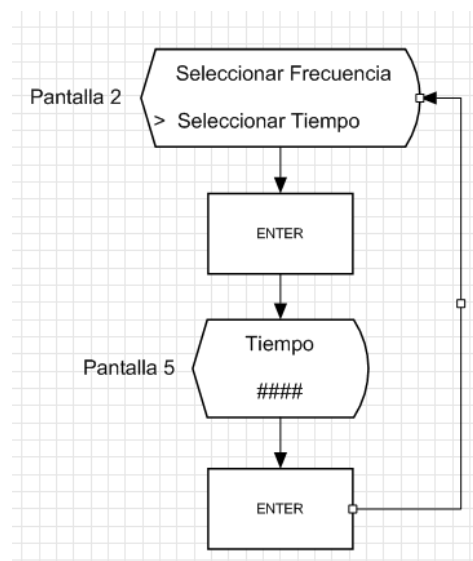


Figura 6. Selección de Tiempo

Finalmente, presionar DOWN (Button1) para ingresar a la Pantalla 3 el cual inicia el tratamiento al presionar ENTER (Button3). La Pantalla 6 indica el tiempo en el que termina el tratamiento. Una vez concluido este periodo, se detiene el temporizador y la emisión de pulsos hacia el solenoide. Se presiona ENTER (Button3) y se regresa nuevamente a la Pantalla 1 de inicio.

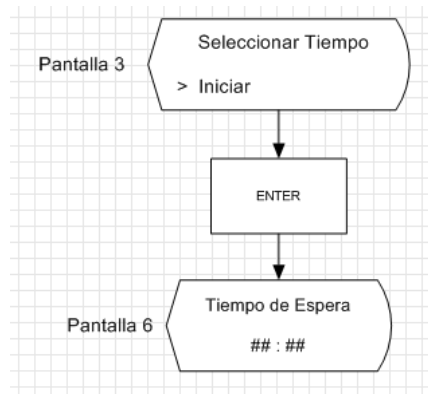


Figura 7. Inicialización de tratamiento

UP (Button2) se utiliza para subir en las pantallas 1, 2 y 3 cuando se decida cambiar algún parámetro antes impuesto como el Tiempo y la Frecuencia.

DISEÑO PANEL DE CONTROL

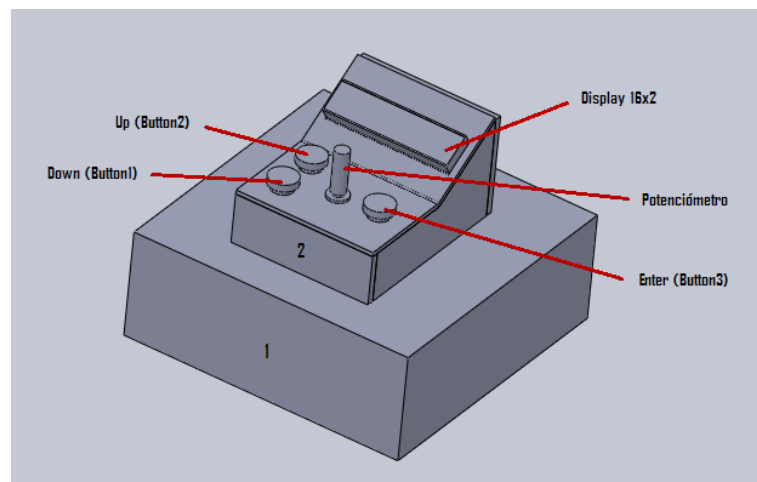


Figura 8. Diseño SolidWorks de Panel de Control

El sistema para el control de la bobina solenoide se encuentra dividido en dos secciones, la primera contiene la fuente de alimentación de 12V del circuito, el micro controlador Arduino y el transistor 2N3055 con su respectivo disipador de calor. Posee un interruptor para la activación de la fuente.

En la segunda sección se encuentran distribuido el panel de control con el cual se controlará todas las actividades de la rehabilitación. Está conformado por 3 pulsadores, un potenciómetro y un display de cristal líquido de 16x2.

DIAGRAMA DE PROCESOS DE USUARIO

La figura 9 indica el proceso que debe seguir el usuario para operar correctamente la interfaz del equipo de rehabilitación. Muestra los pulsadores que se utiliza y el orden de secuencia de las pantallas.

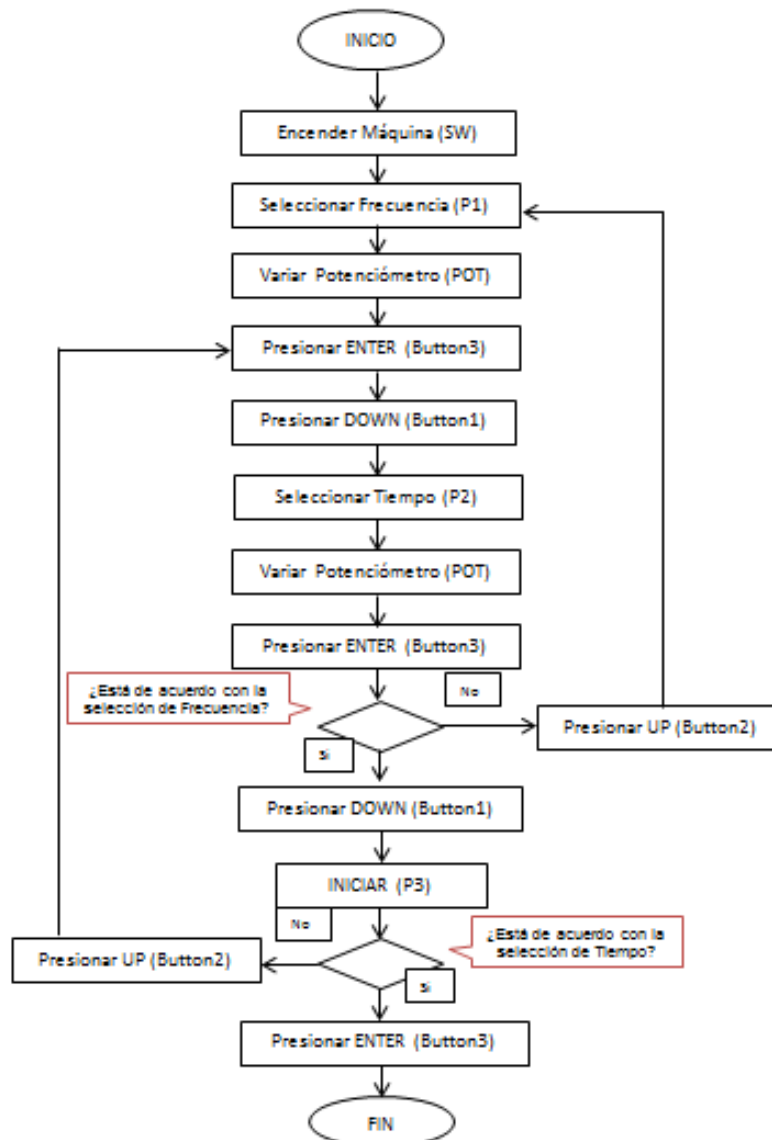


Figura 9. Diagrama de proceso para el control de interfaz

Una vez conectada la máquina a 110V, se procede a encender el switch incorporado en la primera sección del sistema de control descrito en la Figura 8. Al encenderse el display, se puede visualizar la primera pantalla descrita en la figura 5, una vez seleccionada la pantalla 1 se elige la frecuencia con la que se va a tratar al paciente por medio del potenciómetro. Al presionar Enter, se regresa a la pantalla 1, con el pulsador (button1) se selecciona la pantalla 2 en el cual se elige el tiempo del tratamiento mediante el potenciómetro. Se presiona Enter y se pulsa (button1) para dirigirse a la pantalla 3 el cual inicia el sistema programado pulsando Enter.

Si se desea desplazarse en sentido ascendente entre las pantallas ya mencionadas, se utiliza (button2).

2.3 DISEÑO ESPECÍFICO

Para lograr obtener los parámetros adecuados para el tratamiento de osteoartritis, como se muestra en la Tabla 1 se necesita un campo magnético de 200G, una frecuencia variable de máximo 100Hz y un porcentaje de intensidad de campo magnético del 75%.

Para el cálculo de Campo Magnético se tiene la siguiente fórmula.

$$G = \frac{\mu * N * I}{L} \quad [1]$$

Siendo

G -> Campo Magnético

μ -> Permeabilidad magnética

N -> Número de vueltas de la bobina

I -> Corriente

L -> Longitud de la bobina

Datos al 100% de intensidad:

$$G = 0.02\text{T} = 200\text{G}$$

$$L = 23\text{cm}$$

$$I = 10\text{A}$$

Cálculo de permeabilidad

$$\mu = \mu_0 * \mu_R$$

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ [H/m]} \text{ (Permeabilidad en el vacío)}$$

$$\mu_R = 1 \text{ (Permeabilidad del aire)}$$

$$\mu = 4\pi * 10^{-7} * 1$$

$$\mu = 4\pi * 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

Cálculo de número de espiras en la bobina

$$N = \frac{G * L}{\mu * I}$$

$$N = \frac{0.02 * 0.23}{4\pi * 10^{-7} * 10}$$

$N = 366.05$ espiras ≈ 366 espiras

Para obtener un campo magnético de 200G se necesita una bobina con 366 espiras.

Con la fuente previamente seleccionada de 12V y 10A se puede conocer el calibre de cable a utilizar el cual será capaz de soportar la tensión suministrada.

Se selecciona el cable de calibre AWG 13 ya que su resistencia a la tensión es de 10.5 Amperios en bobinado.

Una vez seleccionado el calibre del cable que se va a utilizar, se extrae la información de las dimensiones para el cálculo de la inductancia de la bobina y la longitud total de cable que se va a utilizar.

Diámetro del cable AWG 13 = 1.83mm

Área del cable AWG 13 = 2.62mm²

Para el sistema se requiere una bobina con núcleo de aire debido a que el campo magnético creado por las líneas de fuerzas es mayor en el centro del solenoide, en el cual alcanza su punto máximo por lo que es conveniente el diseño de un solenoide para el dispositivo de rehabilitación.

En una bobina con núcleo de aire, el paciente puede introducir la extremidad a tratarse, recibiendo por completo la radiación generada dentro de la bobina.

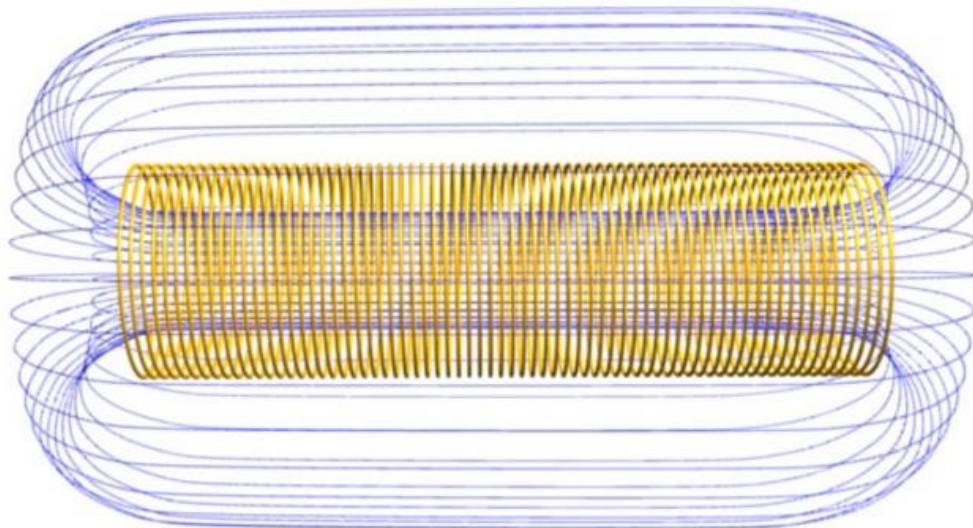


Figura 10. Simulación de solenoide con líneas de campo magnético

$$L = \frac{D * n^2}{\frac{n * d}{D} + 0.44} \quad [2]$$

Siendo:

L -> Inductancia

D = 110mm -> Diámetro de la bobina

n = 367 -> Número de vueltas en la bobina

d = 1.83mm -> sección diametral del alambre de cobre

$$L = \frac{110 * 367^2}{\frac{367 * 1.83}{110} + 0.44}$$

$$L = 2263.492 \mu H$$

Longitud Total del cable: 12893.6cm = 128.9m

CON 200G AL 75%

G -> Campo Magnético -> 200G al 75% = 150[G] = 0,015T

N -> Número de vueltas -> 263 vueltas

L -> Longitud de solenoide -> 23 [cm]

μ -> Permeabilidad en vacío -> $4 * \pi * 10^{-7}$ [H/m]

$$I = \frac{G * L}{\mu * N}$$

$$I = \frac{0,015 * 0.23}{4 * \pi * 10^{-7} * 362}$$

$$I = 7.58A$$

DISEÑO DE ESTRUCTURA PARA LA BOBINA SOLENOIDE

El diseño de la base es una estructura cuadrada de madera debido a que soporta altas temperaturas y no produce una transferencia de calor excesiva como lo hace un material plástico.

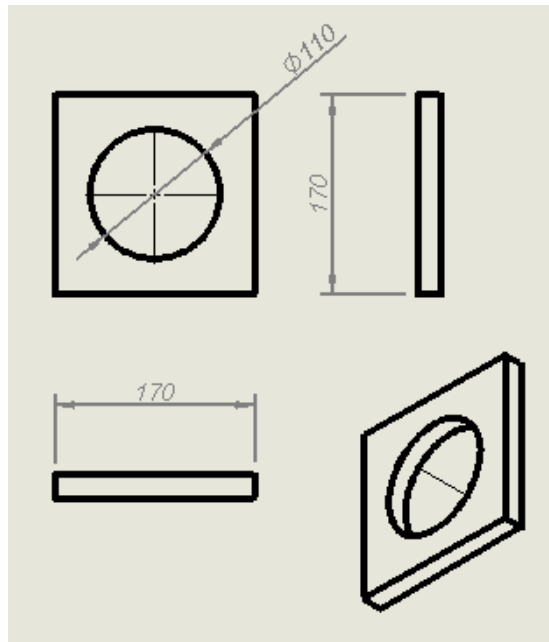


Figura 11. Diseño de la base para el solenoide. Medidas en (mm)

Para el bobinado se utilizó un tubo de PVC de 11 cm de diámetro y 23cm de longitud en el cual se bobinará el alambre de cobre AWG 13 previamente seleccionado.

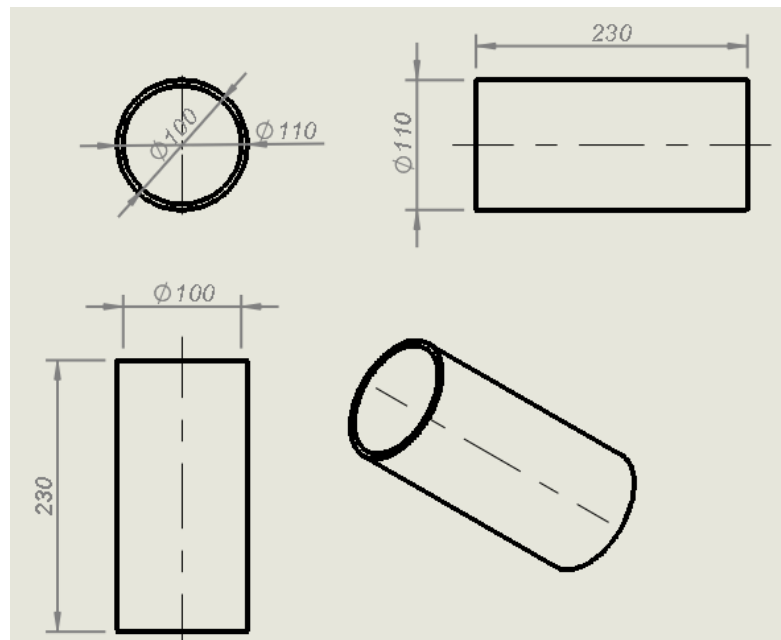


Figura 12. Diseño de cilindro para el bobinado. Medidas en (mm)

El resultado final utilizando planchas de acrílico para aislar completamente la bobina del contacto con las personas está dado en la figura 13.

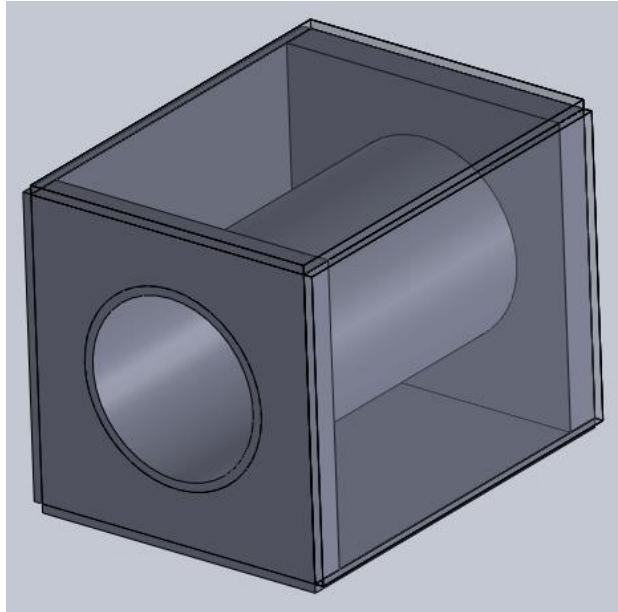


Figura 13. Resultado final del diseño

La bobina para el equipo de rehabilitación es un solenoide con núcleo de aire para que el usuario introduzca la mano recibiendo de esta manera el flujo magnético generado.

Sus dimensiones están adaptadas para el tratamiento en manos. El cilindro posee un diámetro de 11cm y sus bases son de 17x17cm. De esta manera se brinda un soporte estable al cilindro y se lo aísla de la superficie de contacto.

Para el control del Equipo para rehabilitación con electromagnetismo se requiere:

DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL

Los pulsadores se comunican con el micro controlador mediante las señales digitales D26 para (button1), D28 para (button2) y D30 para (button3) las cuales son visualizadas en el display de acuerdo con los Diagramas de Procesos para el control de interfaz de la Figura 9.

El potenciómetro de 10K permite regular la frecuencia y el tiempo de espera en el micro controlador por medio de la señal analógica A0. La salida digital PWM en el pin 13 permite la visualización de la frecuencia seleccionada por medio de un diodo led.

Conexión del display LCD 16x2 para la visualización de las actividades de frecuencia y tiempo en el menú programado en el micro controlador. Los pines utilizados del micro controlador son D2, D3, D4, D5, D11 y D12.

En la Figura 14 se puede observar las conexiones de lo descrito anteriormente.

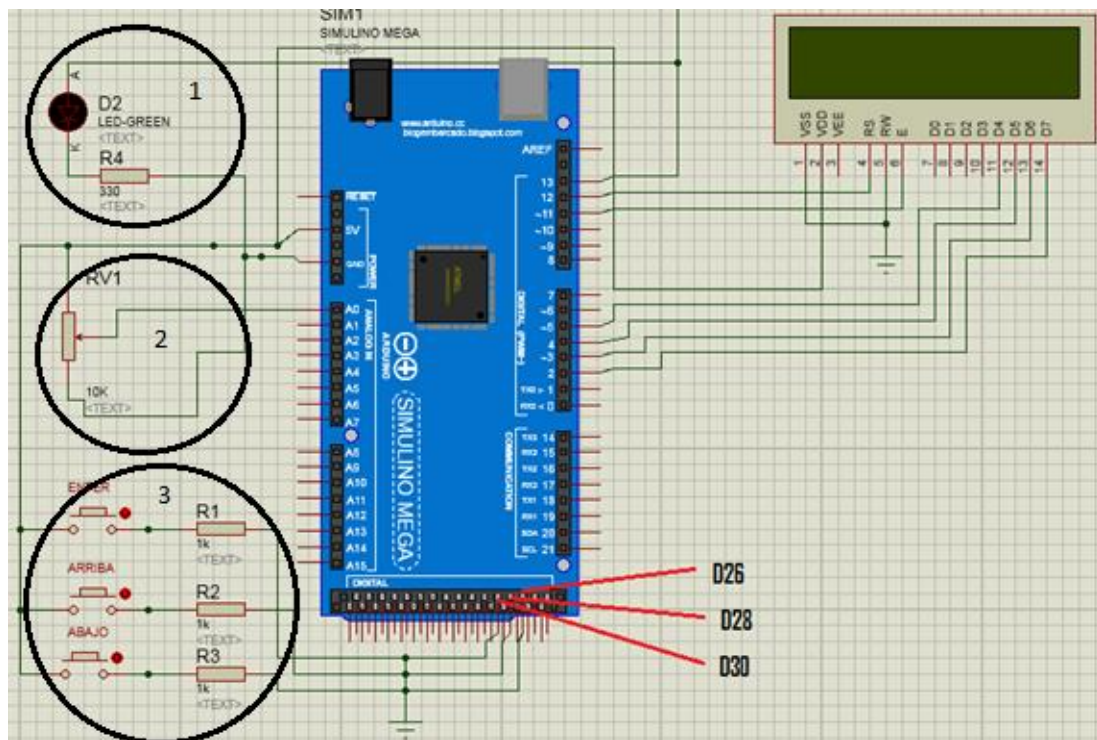


Figura 14. Circuito de Control

1. Visualización de frecuencia por medio de diodo led: Se utiliza una resistencia de 330 ohms para la protección del diodo led.
2. Potenciómetro para la variar la frecuencia y tiempo: Se utiliza un potenciómetro de 10K debido a que mientras mayor sea la resistencia del potenciómetro, aumenta la exactitud para obtener un rango de 1-1024 bits en la programación del arduino.
3. Pulsadores: Poseen resistencias de 1K para protección del arduino.

DISEÑO DE CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito es alimentado directamente con 12V de la fuente. No se utiliza ninguna protección extra debido a que la fuente incorpora protecciones contra sobre voltaje, sobrecarga y una protección contra corto circuitos ya mencionados en la sección de Diseño Conceptual.

El transistor 2N3055, una vez que se encuentra en saturación debido a la corriente de base que es suministrada por los PWM del micro controlador, se cierra el circuito y permite el paso de corriente hacia el solenoide. El periodo es de máximo 10ms debido a que la frecuencia máxima de trabajo es de 100 Hz.

Para los tratamientos de osteoartritis, se trabaja con frecuencias de 50Hz y 70Hz, por lo que mediante el escalamiento del potenciómetro que es de 0 a

1023 se puede obtener por regla de tres los ciclos de trabajo y el ancho de pulso.

El escalamiento del potenciómetro para 50Hz es de 511,5 que a su vez representa a un ancho de pulso de 5ms, con un ciclo de trabajo del 50%.

Para la frecuencia de 70Hz, el escalamiento es 716,1 que equivale a un ancho de pulso de 7ms y tiene un ciclo de trabajo del 70%.

Una vez que la corriente de 7,5A pasa por el emisor del transistor, cierra el circuito y se genera un campo magnético equivalente a 200G al 75%, es decir 150G.

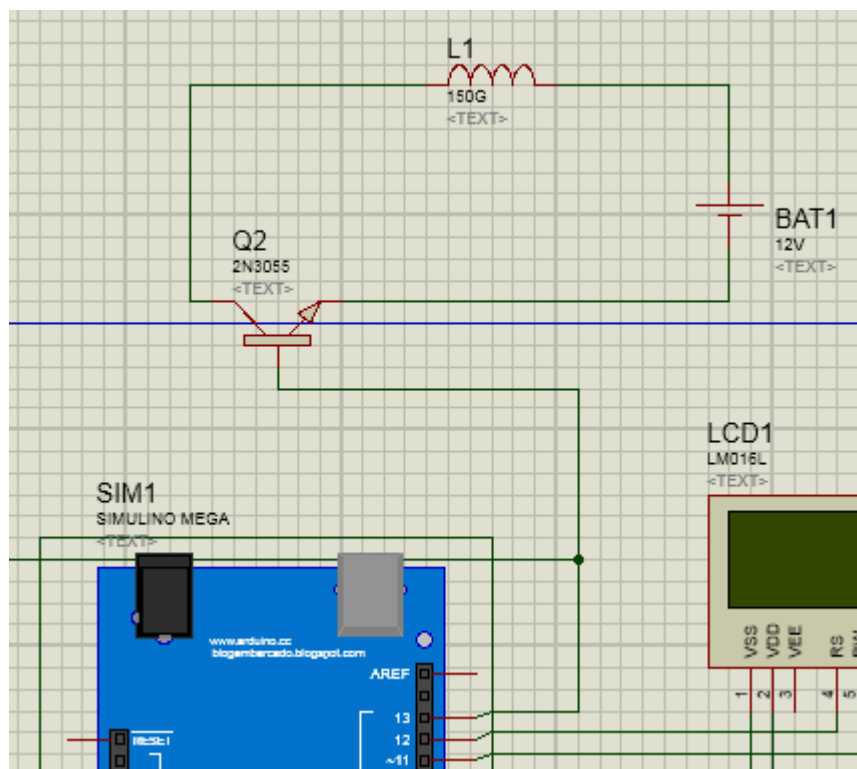


Figura 15. Conexión de transistor y bobina

CIRCUITO ELECTRÓNICO COMPLETO

En la figura 17 se presenta el circuito electrónico final. La fuente de 12V es conectada previamente a una alimentación de 110V.

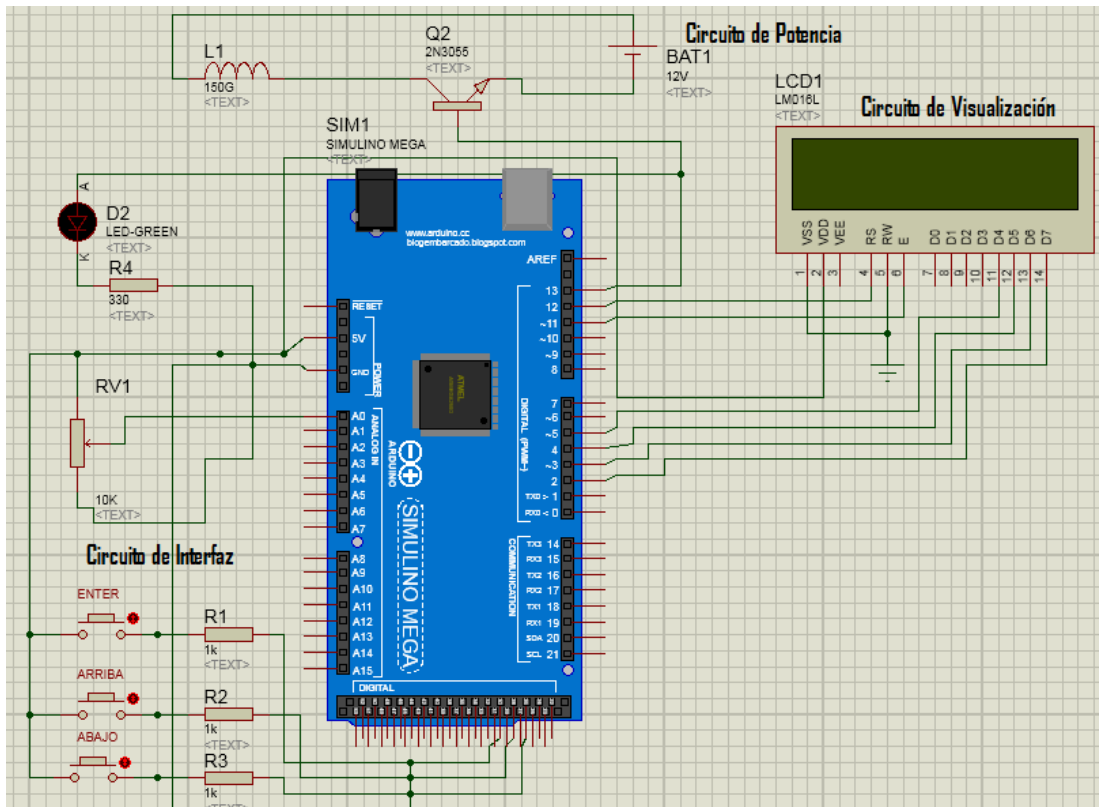


Figura 16. Circuito completo en Proteus

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DATOS DE CORRIENTE, TEMPERATURA Y CAMPO MAGNÉTICO

Tabla 3. Mediciones de corriente, campo magnético y temperatura a diferentes frecuencias

t. min	1Hz			10Hz			50Hz			100Hz					
	i, [A]	B, [G] Teórico	B, [G] Práctico	T, [C°]	i, [A]	B, [G] Práctico	T, [C°]	i, [A]	B, [G] Práctico	T, [C°]	i, [A]	B, [G] Teórico	B, [G] Práctico	T, [C°]	
0.1	7,59	150,12	151	22,7	7,56	149,52	149	22,9	7,6	150,32	152	7,58	149,92	148	22,8
0.2	7,61	150,51	151	22,7	7,58	149,92	149	23	7,59	150,12	150	7,58	149,92	148	22,8
0.3	7,60	150,32	150	22,9	7,58	149,92	149	23	7,59	150,12	149	7,59	150,12	149	23
0.4	7,60	150,32	151	23	7,6	150,32	150	23,2	7,6	150,32	150	7,6	150,32	148	23,3
0.5	7,58	149,92	148	23	7,61	150,51	149	23,3	7,61	150,51	151	7,59	150,12	150	23,5
0.6	7,59	150,12	149	23,1	7,6	150,32	151	23,5	7,6	150,32	150	7,6	150,32	149	23,7
0.7	7,60	150,32	150	23,1	7,58	149,92	150	23,6	7,6	150,32	148	7,58	149,92	148	23,8
0.8	7,62	150,71	149	23	7,6	150,32	151	23,6	7,59	150,12	150	7,59	150,12	150	23,8
0.9	7,60	150,32	148	23,2	7,59	150,12	149	23,8	7,58	149,92	148	7,6	150,32	149	24,1
1	7,59	150,12	152	23,3	7,6	150,32	150	23,9	7,58	149,92	149	7,61	150,51	151	24,2
2	7,55	149,33	150	25,1	7,58	149,92	148	25	7,6	150,32	151	7,58	149,92	150	25,9
3	7,58	149,92	149	26,7	7,57	149,72	148	27,2	7,61	150,51	150	7,61	150,51	148	27
4	7,57	149,72	148	28,9	7,6	150,32	149	28	7,57	149,72	149	7,6	150,32	150	28,3
5	7,60	150,32	152	30,5	7,61	150,51	151	30,8	7,59	150,12	149	7,59	150,12	152	29,7
6	7,61	150,51	151	32	7,57	149,72	150	33	7,58	149,92	151	7,57	149,72	150	31,9
7	7,57	149,72	149	35,5	7,58	149,92	149	36	7,6	150,32	152	7,57	149,72	148	34,5
8	7,59	150,12	149	36	7,57	149,72	148	37,3	7,62	150,71	150	7,58	149,92	150	36,3
9	7,59	150,12	150	38	7,6	150,32	150	38,9	7,58	149,92	151	7,6	150,32	152	38,1
10	7,60	150,32	153	39,6	7,61	150,51	151	40,2	7,59	150,12	150	7,62	150,71	151	40,1
20	7,57	149,72	150	52	7,63	150,91	152	51,9	7,63	150,91	152	7,59	150,12	149	52,2
30	7,56	149,52	148	61,6	7,6	150,32	149	61,8	7,61	150,51	149	7,57	149,72	148	63,1
40	7,59	150,12	149	64,4	7,56	149,52	150	65	7,57	149,72	151	7,62	150,71	150	69,4
50	7,58	149,92	151	69,6	7,57	149,72	149	69	7,54	149,13	150	7,6	150,32	151	70,5
60	7,60	150,32	152	73	7,59	150,12	149	72	7,59	150,12	149	7,56	149,52	150	71,7

Los datos obtenidos de la Tabla 3, muestra los valores de corriente, campo magnético y temperatura a diferentes frecuencias en un intervalo de 60 minutos. Estos valores fueron tomados de la verificación a través de sensores de corriente (ACS712), campo magnético (49E421) y un pirómetro en condiciones ambientales. Con cada valor de frecuencia tomada, se dejaba al solenoide enfriarse a temperatura ambiente para iniciar la nueva medición con el pirómetro, obteniendo de esta manera valores relativamente similares de temperatura.

Se ha incluido una columna que muestra el campo magnético teórico obtenido de la Ecuación [1] para que sea comparado con el valor experimental que ha sido conseguido con el sensor de campo magnético (49E421). Como se puede observar, el resultado obtenido con el sensor se asemeja al valor teórico, por lo que se concluye que el resultado es válido.

La interpolación del tiempo está dado de tal manera que abarque el tiempo requerido de 60 minutos en intervalos para obtener todos los datos de temperatura necesarios durante todo el proceso que dure la terapia.

TABLA ESTADÍSTICA DE CORRIENTE Y CAMPO MAGNÉTICO

Tabla 4. Datos estadísticos para la corriente y campo magnético

	[i] 1Hz	[i] 10Hz	[i] 50Hz	[i] 100Hz
MEDIA	7,59	7,59	7,59	7,59
MEDIANA	7,59	7,59	7,59	7,59
MODA	7,60	7,60	7,60	7,60
VARIANZA	0,0002775	0,0003210	0,0003413	0,0002514
DESVIACION ESTANDAR	0,017	0,018	0,018	0,016
RANGO	0,07	0,07	0,09	0,06
COEF. VAR	0,00219516	0,00236085	0,00243325	0,00208899
VAL. MAX	7,62	7,63	7,63	7,62
VAL. MIN	7,55	7,56	7,54	7,56
% VAR.	0,93	0,93	1,19	0,79

	[B] 1Hz	[B] 10Hz	[B] 50Hz	[B] 100Hz
MEDIA	150	150	150	150
MEDIANA	150	149	150	150
MODA	149	149	150	150
VARIANZA	2,087	1,123	1,346	1,650
DESVIACION ESTANDAR	1,445	1,060	1,160	1,285
RANGO	0,07	0,07	0,09	0,06
COEF. VAR	0,00963087	0,00708505	0,00773238	0,00859068
VAL. MAX	153	152	152	152
VAL. MIN	148	148	148	148
% VAR.	3,38	2,70	2,70	2,70

La Tabla 4 representa los resultados estadísticos de los datos obtenidos en la Tabla 3. Estos valores muestran de manera más concreta las variaciones de corriente y campo magnético que se producen con las frecuencias de prueba (1Hz, 10Hz, 50Hz y 100Hz).

Los valores de corriente mantienen una media de 7,59A lo cual indica que el sistema permanece constante durante las diferentes pruebas de frecuencia produciendo un porcentaje en su variación de máximo 1,19%.

En cuanto al campo magnético, la media obtenida es de 150G, lo que representa el campo magnético deseado con un porcentaje de variación del 3,38%

GRÁFICA DE CORRIENTE

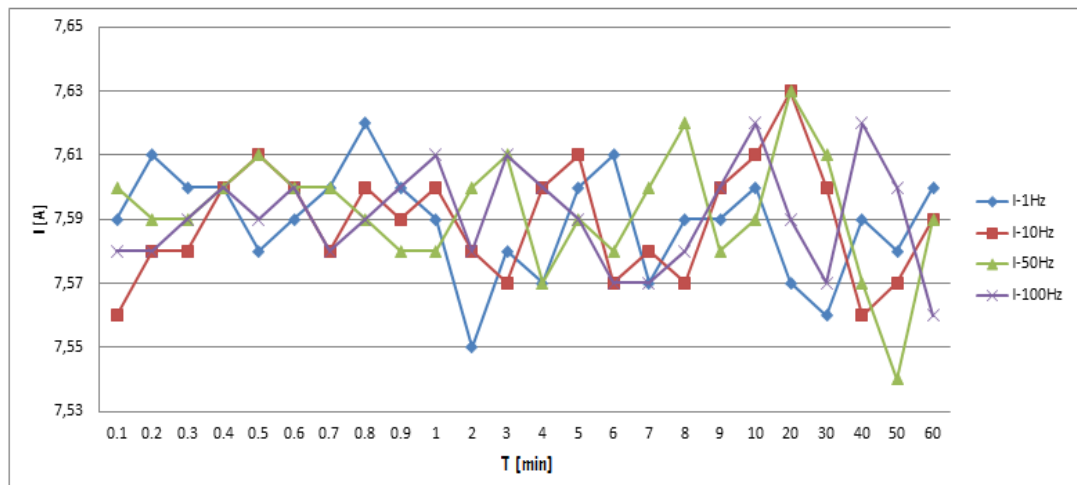


Figura 17. Medición de corrientes en diferentes frecuencias

La variación de la corriente con respecto del tiempo en las mediciones con frecuencias de 1Hz, 10Hz, 50Hz y 100Hz no presenta una variación considerable siendo el valor mínimo de corriente obtenida 7,54A y una corriente máxima de 7,63A, generando un porcentaje de variación de máximo 1,19%.

GRÁFICA DE CAMPO MAGNÉTICO

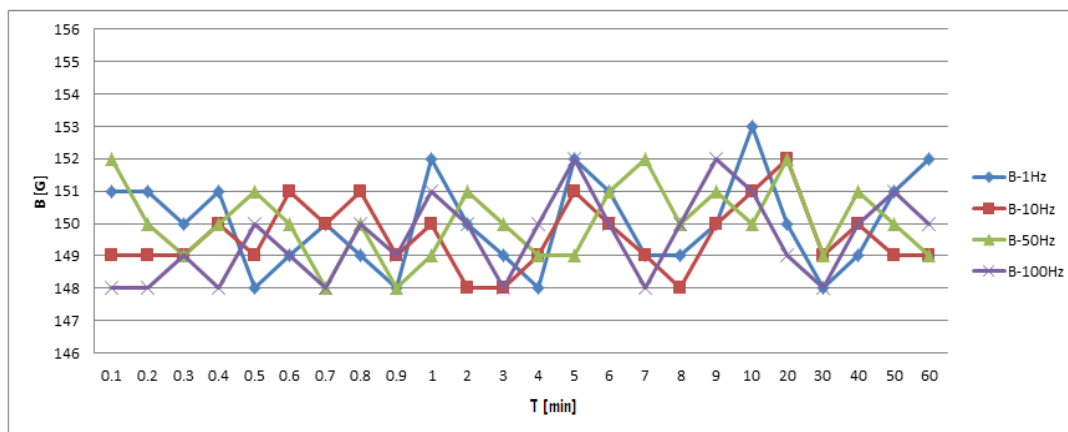


Figura 18. Medición de Campo Magnético a diferentes frecuencias

La variación del campo magnético con respecto a las diferentes frecuencias presenta un valor máximo de 153G y un mínimo de 148G, lo que representa un porcentaje de variación del 3,38% máximo que no influye de manera significativa en la rehabilitación.

La fuente ha sido regulada a un valor promedio de 7,58 amperios para que entregue un campo magnético de alrededor de 150G ya que el tratamiento se realizará al 75% de intensidad.

Tabla 5. Porcentaje de variación de campo magnético teórico vs práctico

	1Hz	10Hz	50Hz	100Hz
B, [G] Teórico	150,1	150,1	150,17	150,13
B, [G] Práctico	150	150	150	149,54
%VARIACION	0,07	0,35	0,08	0,40

El Campo Magnético se mantiene entre 148G y 153G debido al cambio de corriente. El campo magnético en el interior de la bobina siempre será mayor debido a que ahí se concentra el flujo magnético. Se ha obtenido un Campo Magnético Teórico, el cual se ha sido calculado mediante la fórmula de campo magnético descrita en la ecuación [1] y un Campo Magnético Práctico que ha sido el resultado del uso de un sensor de campo magnético. Como se puede apreciar en la Tabla 5, el porcentaje de variación máximo es de 0,40%.

En la tabla 3, la temperatura llega a su punto máximo al minuto 60 iniciado el tratamiento. Este valor bordea los 73°C que en este caso no implica una complicación ni molestias para el paciente ya que el interior del solenoide está recubierto de una espuma térmica aislante de marca EVANS compuesta de poliuretano que permite soportar temperaturas entre -40°C a

+90°C (Pintulac, 2017), por lo tanto, la temperatura a la que llega el solenoide (73°C) no provoca irritación ni quemaduras en la piel.

Para hacerlo un equipo confiable se debe tener un mejor control de la corriente, ya que una variación significativa puede ser una ganancia o pérdida excesiva de campo magnético. El equipo de rehabilitación es confiable, únicamente hay que tener especial cuidado en mantener controlada la temperatura en los instrumentos como fuente, solenoide y transistor ya que trabajar con una corriente de 8 amperios sobre calienta todo el circuito. Por lo que es necesario instalar un ventilador en la fuente, colocar un disipador de calor al circuito y cubrir al solenoide con material aislante de calor.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 6. Costo de mano de obra y componentes electrónicos

UNIDADES	ITEM	COSTO (Dólares)
1	Arduino Mega 2560	40
1	Sensor Corriente	12
1	Sensor de Campo Magnético	3
1	Display LCD 16x2	7.50
3	Pulsadores	0.10
1	Potenciómetro	0.15
1	Led	0.07
1	Rollo cable calibre AWG 13 (129m)	56.80
1	Acrílico 40x50x0.3cm	12
1	Tubo PVC 11cm de diámetro	3
1	Cable puente de arduino	3
1	Fuente 12V 10A	26
1	Mano de obra	200
TOTAL		363.82

Haciendo una comparación económica con JM MEDICAL que es una de las principales empresas a nivel nacional en venta de equipos médicos, se puede concluir que el costo de insumos y mano de obra total es lo suficientemente competitivo para ingresar en el mercado ecuatoriano

PROYECCIÓN

- Se puede mantener la temperatura estable implementando una base para el solenoide que no sea conductor térmico.
- Es factible utilizar diferentes micro controladores para incrementar las prestaciones de almacenamiento y velocidad de procesamiento.
- Se puede optimizar el espacio ocupado por los componentes electrónicos con un diseño más compacto de la interfaz.
- Se puede adquirir una fuente de alimentación más sencilla pero con las mismas prestaciones que la utilizada. Esto permitiría optimizar espacio en el equipo de rehabilitación. Una solución factible sería la fuente de alimentación Meanwell ELG modelo BVLELG15012V que permite trabajar con 12V y 10A.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Debido a la capacidad de la fuente, se puede regular la intensidad de corriente por medio de un potenciómetro incluido. Se ha decidido mantenerlo en un rango de $7,58A \pm 0,09$ para que el campo magnético generado esté en los rangos permitidos de 200G al 75%. Es decir, que el equipo de rehabilitación estará trabajando a $150G \pm 5,07$.
2. La corriente se comporta con un porcentaje de variación de 1,19% lo que hace que la fuente de corriente sea confiable y segura para su utilización, permitiendo obtener un campo magnético con un porcentaje de variación de 3,38%.
3. La temperatura máxima que se alcanza al cumplirse los 60 minutos de terapia es de $73^{\circ}C$ y debido a que el solenoide cuenta con una protección de espuma aislante de poliuretano, no causa molestias, lesiones o quemaduras en el paciente.
4. La corriente se estabiliza de manera rápida y segura en un tiempo inferior a medio minuto. Puede ser un equipo comercial siempre y cuando se adapte el solenoide a una estructura con protección contra corriente y un sistema de ventilación para la fuente.
5. El precio del equipo de rehabilitación se encuentra alrededor de \$363.82 lo que lo hace competitivo con marcas existentes a nivel nacional.
6. El equipo de rehabilitación cumple con la frecuencia propuesta en el rango de 0-100Hz obtenida mediante una señal pwm de 10ms del micro controlador.

RECOMENDACIONES

- Incluir un circuito variador de corriente para que se acople a diferentes tratamientos con campos magnéticos diferentes.
- Incrementar el diámetro del solenoide para que pueda tratar afecciones en las extremidades inferiores.
- Implementar un variador de frecuencia auto programable para realizar tratamientos más dinámicos para tratar distintos problemas al mismo tiempo.
- Utilizar un micro controlador más compacto y económico para incursionar con equipo de rehabilitación a nivel comercial.
- Diseñar una estructura aislante más compacta para el cable de bobinado que soporte de mejor manera el calor generado.
- Modificar el panel de control haciéndolo más compacto.

Consejos para la radiación electromagnética No Ionizante

- Mantenerse a la mayor distancia de aparatos eléctricos. La intensidad electromagnética está en relación inversa a la distancia.

- Apagar los equipos eléctricos al no usarlos. En stand by, la corriente eléctrica puede producir un campo magnético.
- Utilizar monitores compatibilizados de radiación baja o pantallas de filtro que la reduzcan.
- Usar bombillas halógenas de bajo consumo a distancia de menos de un metro.

BIBLIOGRAFÍA

- Cárdenas D., (2010), *Espectro electromagnético*. Recuperado de <http://electromagnetismo2010a.wikispaces.com/file/view/ESPECTRO+EL+ECTROMAGNETICO.pdf>
- Espada R., (2017), *Espectro electromagnético*. Recuperado de <https://rincondelatecnologia.com/nuestro-espectro-electromagnetico/>
- Oberli C., (2006), *Ondas de Radio, Antenas y Salud*, Secretaría de Telecomunicaciones, Chile.
- J van Nguyen, R Marks, (2017), *Pulsed Electromagnetic Fields for Treating Osteo-arthritis*
- Zaragoza R., (2017), *Magnetoterapia*, Cap.22
- Pérez Martínez G., (2001), Introducción a la ciencia de los imanes 3. Recuperado de <http://www.mantra.com.ar/circuloazul/index.html>
- Abadía K., Mesén P., (2008), *Eficacia de la Magnetoterapia en Pacientes con Osteoartrosis*, Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica.
- Pérez Martínez G., (2001), *Como influye el magnetismo en los seres vivos*, Recuperado de http://www.Mantra.com.ar/contenido/zona2/frame_magsalud.html 2001-9-6
- Rioja Toro J., (1993), *Magnetoterapia, Electroterapia y Electrodiagnóstico*, Valladolid, Secretariado de Publicaciones Universidad de Valladolid
- Bistolfy F., (1986), *Campi Magnetici in Medicina*, Minerva, Torino
- Curri S.B., (1986), *Campi ELF, tessuto connectivo e microvascolarizzazione*, Francia, Torino
- Delgado M., Sanchez M., Díaz A. J., Parson G., Gonzalez I., *Fisioterapia*, 2012
- Sandyk R. (1996), *Treatment with electromagnetic fields improves fatigue associated with múltiple sclerosis*, Int. J. Neurosci
- Sandyk R., (1992), *Magnetic fields mimic the behavioral effects of REM sleep deprivation in humans*, Int J Neurosci
- Basset, C.A.L., Mitchell, S.N., Norton, L., Pilla, A.A., (2017), *Repair of nonunions by resistant pseudoarthrosis and nonunion by pulsing electromagnetic fields*, Clin. Orthop
- Monteagudo J.L., (2017), *Aplicación biomecánica de los estímulos magnéticos*, Pros IV Simp Soc Iber Biomecánica, Valencia
- Ahmed I.,(2013), *High efficacy Extremely Low Frequency (ELF) Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) device for wound healing promotion*
- Indian Journal of Experimental Biology, (2009), *Low Frequency Pulsed Electromagnetic Field – A viable alternative therapy for arthritis*.
- Martín J., (2008), *Agentes Físicos Terapéuticos*, Cuba
- Pascual J, (2010), *Rehabilitación de la mano*, Cuba

- Salud y Calidad de vida, (2017), Magnetoterapia, Recuperado de <http://www.saludcalidaddevida.com/magnetoterapia/>
- Martín J, García J, (2017), *Efectos y aplicaciones de la Magnetoterapia*, Recuperado de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/mednat/efectos_y_aplicaciones_de_la_magnetoterapia.pdf
- Omaeda.es, (2012), *Magnetoterapia*, Riesgos y efectos secundarios, Recuperado de http://www.onmeda.es/exploracion_tratamiento/magnetoterapia-riesgos-y-efectos-secundarios-1669-5.html
- Bansal H.L., Bansal R.S., (1998), Magnetotherapy, Electro-Magnetotherapy, Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=SS8ptwgtegWC&pg=PA255&lpg=PA255&dq=duration+electromagnetic+treatment&source=bl&ots=4hMQL1514A&sig=c8l3dvYuEnZAVA3reO5l2Sq4CQg&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi22_WDiIfUAhXI0iYKHW99B_YQ6AEIWjAG#v=onepage&q=duration%20electromagnetic%20treatment&f=false
- Terapia-Física.com, (2017), La acción del Gauss en el cuerpo humano, Recuperado de <http://www.terapia-fisica.com/magnetoterapia.html>
- García S., (2005), *La Salud Humana y los Campos Electromagnéticos de Frecuencia Extremadamente Baja (CEM-FEB)*, Asociación Toxicológica Argentina, Argentina.
- World Health Organization, (2017), *Global Health Observatory data*, Recuperado de <http://www.who.int/gho/phe/emf/legislation/en/>
- IARC Monographs on the Evaluation of Carginogenic Risk to Humans, (2002), *Non Ionizing Radiation Part1, Static and Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*, IARC Publications, Recuperado de <http://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/larc-Monographs-On-The-Evaluation-Of-Carcinogenic-Risks-To-Humans/Non-Ionizing-Radiation-Part-1-Static-And-Extremely-Low-Frequency-Elf-Electric-And-Magnetic-Fields-2002>
- ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, (2017), Recuperado de <http://www.icnirp.org/>
- National Center for Biotechnology Information, US National Library of Medicine, (2000), *The electric and magnetic fields research and public information dissemination (EMF-RAPID) program*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10790283>
- Ministerio de Industrias y Productividad, (2004), *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 186 “EQUIPOS ELECTROMÉDICOS”*, Ecuador Recuperado de <http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/08/RTE-186.pdf>
- JM MEDICAL, (2012), Productos, Ecuador. Recuperado de <https://www.jmmedicalec.com/>

- Meditea Electromédica S.R.L., (2015), *Magnetoterapia*, Recuperado de <http://www.meditea.com/home/es-magnetherp-330-digital/>
- Meditea Electromédica S.R.L., (2015), *Magnetoterapia*, Recuperado de <http://www.meditea.com/home/es-magnetherp-440-digital/>
- Meditea Electromédica S.R.L., (2015), *Magnetoterapia*, Recuperado de https://www.meditea.com/Shop/index.php?id_product=42&controller=product
- Olgín J. (2004), “*Análisis Orientado a Objetos*”, Ingeniería del Software, Recuperado de <http://yaqui.mx.l.uabc.mx/~molguin/as/IngSoft%201-4.pdf>
- Pintulac, (2017), “Espuma aislante de poliuretano” Recuperado de http://www.pintulac.com.ec/images/productos/docs_descarga/espuma-evans-aislante-sep700.pdf