

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Diseño e implementación de un generador de Diodo Láser a bajas potencias para Fototerapia

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Jaime Luis Lam

ASESOR: **Ing. Luis Alberto Vilcahuamán Cajacuri**

Lima, Junio del 2011

Resumen

El objetivo de este trabajo de tesis es realizar un equipo de fototerapia utilizando diodos láser para propósitos de regeneración de tejidos. Este equipo radia la zona afectada (herida en la piel), con el fin de bio-estimular los tejidos internos y optimizar el proceso de curación. Por lo tanto se propone la utilización de un generador de ondas PWM, el cual mediante la ayuda del usuario para configurar los parámetros de frecuencia, ciclo de trabajo y tiempo, genere la onda la cual alimentará los diodos elegidos. El equipo es multipropósito pues podrá cambiar los diodos láser utilizados, con lo cual se puede realizar diversos tipos de tratamientos. Para cada tratamiento se debe cambiar los diodos y la configuración de la onda PWM.

La onda PWM es obtenida de un microcontrolador el cual mediante una adecuada programación interactúa con el usuario para que este mismo elija los parámetros de frecuencia, ciclo de trabajo o potencia y el tiempo del tratamiento. Una vez elegidos los parámetros se genera la onda indicada, la cual se dirige al circuito de activación y posteriormente a los diodos. Para la interacción con el usuario se tiene una pantalla LCD, la cual muestra el parámetro que se requiere y además se tiene un teclado matricial para ingresar los datos requeridos a fin de configurar el tratamiento con los diodos.

Se pone en conocimiento que el dispositivo es peligroso si es utilizado por personas sin conocimientos de fototerapia, ya que se utiliza radiación la cual debe ser controlada por una persona calificada para hacer el tratamiento de manera adecuada y por el tiempo adecuado, evitando así daños sobre la zona afectada.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : **Diseño e implementación de un generador de Diodo Láser a bajas potencias para Fototerapia.**

Área : Bioingeniería

Asesor : Ing. Luis Alberto Vilcahuamán Cajacuri

Alumno : Jaime Luis Lam

Código : 2003.2102.3.12

Fecha : 22 de Octubre de 2008

Descripción y Objetivos

En la actualidad los equipos de fototerapia son utilizados ampliamente en el campo de la medicina por su gran potencialidad y efectividad en el tratamiento de enfermedades dentro de todo el campo de la medicina. Consiste de un tratamiento no invasivo en donde un área o zona afectada es irradiada mediante la exposición a una fuente de luz. El propósito de la fuente de luz es realizar una combinación de microestimulación y micromasaje a nivel celular para conseguir regenerar los tejidos biológicos. Un problema para la aplicación de la fototerapia radica en los altos precios de los equipos y de los tratamientos respectivos.

El presente tema de tesis consiste en diseñar e implementar un sistema de fototerapia utilizando diodos láser con el objetivo de poder ofrecer el tratamiento en el Perú y a precios módicos. El sistema será realizado utilizando un microcontrolador. Con éste se generará una onda PWM controlable mediante un teclado matricial. Dependiendo de la potencia, la frecuencia de esta onda y los diodos láser utilizados, se determinará el tratamiento a realizarse en cada tipo de tejido biológico. Con el prototipo a diseñar se podrá realizar tratamientos para la restauración histológica y para tratamientos analgésicos. A futuro el prototipo tendrá la posibilidad de utilizar diversos diodos láser para poder ser utilizado en mayor diversidad de tratamientos.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : **Diseño e implementación de un generador de Diodo Láser a bajas potencias para Fototerapia.**

Índice

Introducción

1. Problemática de tratamientos de Fototerapia en el Perú
2. La Fototerapia y Diodos Láser de aplicación en Terapias Físicas
3. Diseño del equipo de fototerapia utilizando diodos láser a bajas potencias
4. Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
TEMA DE TÉSIS.....	2
ÍNDICE.....	4
INTRODUCCIÓN.....	8
<u>CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA DE TRATAMIENTOS DE FOTOTERAPIA EN EL PERÚ</u>	
1.1 Estudio general de la problemática de este sistema desde un punto de global.....	9
1.2 Estudio general de la problemática de este sistema desde un punto de vista local.....	11
1.2.1 Necesidad de actualizar nuestro sector salud llevándolo a uno que este acorde con los estándares mundiales.....	11
1.2.2 Condiciones en el mercado actual, demanda actual ¿Es viable?.....	12
1.3 Problemas y Causas.....	12
1.4 Declaración del Marco problemático.....	15
1.5 Hipótesis de la investigación.....	16
1.5.1 Hipótesis Principal.....	16
1.5.2 Hipótesis secundarias.....	16
1.6 Objetivos de la investigación.....	17
1.6.1 Objetivo General.....	17
1.6.2 Objetivos específicos.....	17

CAPÍTULO 2: LA FOTOTERAPIA Y DIODOS LÁSER DE APLICACIÓN EN TERAPIAS FÍSICAS

2.1	Estado del Arte.....	18
2.1.1	Presentación.....	18
2.1.2	Estado de la Investigación.....	19
2.1.3	Síntesis.....	22
2.1.4	Fisiología.....	23
2.1.4.1	Introducción Fisiología.....	23
2.1.4.2	Aumento de la Producción de Trifosfato de Adenosina (ATP).....	23
2.1.4.3	Aumento de la producción de colágeno.....	24
2.1.4.4	Tratamiento del dolor.....	24
2.1.4.5	Otros Efectos de la fototerapia láser.....	24
2.2	Fototerapia: ¿Por qué utilizarla?	25
2.3	Ventajas de usar la fototerapia con la tecnología láser.....	25
2.4	Modelo Teórico.....	26
2.4.1	Principio de Funcionamiento.....	27
2.4.2	Onda PWM: Onda generada con parámetros variables.....	27
2.4.3	Método de generación de la onda PWM.....	28
2.4.4	Radiación electromagnética no ionizante.....	28
2.4.5	Aplicaciones clínicas Vs. Longitudes de ondas comunes.....	29
2.4.6	Seguridad.....	30
2.4.7	Dosimetría.....	32

2.4.8 Protección Térmica.....	33
-------------------------------	----

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL EQUIPO DE FOTOTERAPIA UTILIZANDO DIODOS LÁSER A BAJAS POTENCIAS

3.1 Introducción.....	36
3.2 Diagrama de Bloques.....	37
3.2.1 Diodo Láser	38
3.2.2 Acondicionamiento de Señal.....	40
3.2.3 Control.....	43
3.2.4 Visualización.....	46
3.2.5 Teclado.....	47
3.2.6 Alimentación	49
3.3 Desarrollo de la parte Software del dispositivo.....	56
3.4 Desarrollo del sistema en conjunto (Unión software y hardware).....	59
3.5 Chasis.....	59

CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Introducción.....	62
4.2 Análisis de las partes.....	63
4.2.1 Tarjeta de Alimentación.....	63
4.2.2 Tarjeta de Activación.....	66
4.2.3. Tarjeta de la etapa de Control utilizando un ATMEGA8.....	66
4.2.4 Diodo Láser.....	67

4.2.5 Chasis.....	68
4.3 Pruebas de funcionamiento del equipo implementado.....	69
4.4 Análisis de resultados.....	73
4.5 Consideraciones adicionales.....	74
4.6 Presupuesto.....	75
<u>CONCLUSIONES</u>	77
<u>RECOMENDACIONES</u>	78
<u>GLOSARIO</u>	80
Definiciones.....	80
Definiciones Operativas.....	80
Definiciones Cualitativas.....	81
Definiciones para el Diseño.....	82
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	84
<u>ANEXOS</u>	95

Introducción

En el Perú hablar de tratamientos con fototerapia láser es un tema que aún no ha sido desarrollado ampliamente. El uso de dispositivos con láser se encuentra más desarrollado en países más como Estados Unidos, Ucrania, Reino Unido, etc. Debido al poco conocimiento y a la dificultad de encontrar equipamiento con la tecnología láser a precios accesibles no se puede aprovechar las ventajas que se tienen al utilizar fototerapia con diodos láser. En el Perú son muy limitados los lugares que cuentan con estos equipos de fototerapia, por lo que no muchas personas pueden acceder a este tipo de tratamientos.

Dentro de las tecnologías que se tienen dentro del mercado nacional se encuentran principalmente los equipos de fototerapia halógena y de Diodos emisores de Luz, mientras que la tecnología láser aún no está siendo muy difundido debido a que no se pueden encontrar fácilmente estos equipos en el medio local. Además que los precios de los mismos es elevado lo cual conlleva a altos precios en los tratamientos.

Se propone el diseño y la implementación de un dispositivo de fototerapia usando la tecnología láser. Este prototipo podrá ser utilizado en diversos usos de la fototerapia, debido a que usa diodos láser su efecto será más rápido y preciso. Este dispositivo tendrá un precio más accesible ya que su diseño es simple y efectivo. La ventaja del dispositivo está en que podrá tratar diversos problemas como tratamiento fisiológico de heridas y efecto analgésico en la piel. El diodo a utilizar y la configuración del equipo (frecuencia, la potencia y el tiempo de trabajo) se determina según el tratamiento requerido.

Al trabajar con un equipo que será utilizado con pacientes, el manejo del equipo debe ser realizado por personal capacitado (Profesionales de la salud). Para la elaboración del equipo se busca seguir las normas de seguridad eléctrica, como utilizar materiales no conductores para el chasis y se equipos que serán para uso con pacientes, su manipulación debe ser realizada por personal capacitado como personal de la salud (terapeutas y doctores). Para la elaboración del equipo se toma en consideración las normas de seguridad, como utilizar materiales no conductores para el chasis y dar prioridad al tema de precisión ya que se está tratando con diodos láser.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA DE TRATAMIENTOS DE FOTOTERAPIA EN EL PERÚ

1.1 Estudio general de la problemática de este sistema desde un punto de vista global

En el mundo entero la fototerapia es una tecnología utilizada por sus propiedades curativas y las diversas aplicaciones que tiene. Es un tratamiento rápido y seguro para la curación y/o tratamiento de enfermedades de la piel. La fototerapia no solo sirve con propósitos médicos sino con propósitos de estética, tales como la belleza, la calvicie, etc.

Los posibles tratamientos que pueden ser tratados con la fototerapia, indican la necesidad de implementar esta tecnología en todo el mundo para poder así mejorar la calidad de vida de sus usuarios. Para la fototerapia se pueden utilizar diversos tipos de equipos, ya sean con luz emitida desde diodos LED, diodos Láser, luz solar, etc.

A nivel global esta tecnología está muy avanzada y está siendo implementada en diversos hospitales alrededor del mundo ofreciendo diversos tratamientos, además que estos cuentan con lo último en equipos de fototerapia. En países más desarrollados se

cuenta con mucha información sobre estos tratamientos y es recomendada al público usuario ya que ellos han realizado muchas pruebas para poder avalar sus tratamientos. En diversas publicaciones realizadas en los Estados Unidos se demuestra su efectividad [1], e incluso instituciones reguladoras de equipamiento biomédico como la FDA aprueban el uso de estos equipos en pacientes debido a su efectividad comprobada [2]. Todo es posible ya que existe un público usuario (cliente) y un proveedor de estos servicios.

La aplicación de esta tecnología es importante debido a que diversas enfermedades y problemas pueden ser tratados por este medio. Si bien no es un método que será la cura de cientos de enfermedades; sí puede ayudar a reducir los efectos de muchas de ellas y mejorar las condiciones de vida.

La aplicación de la fototerapia implica dirigir radiación electromagnética a la zona afectada lo cual en tendrá un efecto regenerativo, curativo o analgésico (si es aplicada de manera adecuada) de esta manera se hace muy importante tener que implementar esta tecnología ya que es un método seguro y efectivo.

Entre sus principales tratamientos se encuentran:

- **Tratamiento de la Bilirrubina en recién nacidos:** La bilirrubina es un componente que se encuentra en los recién nacidos [3]. Por medio de la fototerapia, la luz absorbe este componente eliminando la bilirrubina en los recién nacidos.
- **Tratamientos analgésicos y regenerativos :** Cuando la radiación es aplicada sobre una zona dañada (como una herida por ejemplo), la luz irradiada trabaja bio-estimulando las células internas regenerando los tejidos de una manera más rápida y efectiva. Esto da como resultado un efecto analgésico sobre la piel a la vez [4] que se va regenerando los tejidos cicatrizando la herida más rápido.
- **Aplicaciones sobre problemas dermatológicos:** En problemas sobre la piel tales como acné, barritos, espinillas, manchas solares, lunares, etc. Se puede utilizar los diversos tratamientos de fototerapia para corregirlos [5].
- **Aplicaciones estéticas:** Dentro de este rubro se puede tener los tratamientos de cirugía estética, tratamientos en la calvicie, eliminación de tatuajes, etc [6].

- **Tratamientos Oncológicos:** Se pueden tratar problemas como cáncer, tumores y otros problemas que son mortales [7]. La radiación ataca el problema o hace que disminuya sus efectos nocivos y mejore la calidad de vida de estas personas. En estos casos se recurre a fototerapia de alta potencia y radiación ionizante.

1.2 Estudio general de la problemática de este sistema desde un punto de vista local

En el Perú se ha desarrollado el tema de la fototerapia pero sin aprovechar al máximo su potencialidad. Son muy pocos los lugares en donde se pueden obtener tratamientos médicos de fototerapia. Por lo general en nuestro país se pueden encontrar tratamientos para problemas oncológicos, ya sea cáncer u otra enfermedad parecida pero justamente el equipamiento necesario para este tipo de terapias son excesivamente caros al igual que los tratamientos.

Se pueden encontrar también diversos tratamientos orientados hacia fines estéticos más no médicos además que no se cuentan con lugares adecuados para aplicar esta tecnología. Además que muchos no cuentan con el capital necesario para poder adquirir estos dispositivos, solo en ciertos lugares con servicios críticos se puede encontrar tratamientos de fototerapia pero que no cuentan con el equipamiento más adecuado. Un ejemplo es el INMP (Instituto Nacional Materno Perinatal), en donde se utilizan equipos de fototerapia en la unidad de cuidados intensivos neonatales. Estos son muy útiles para los recién nacidos con problemas de bilirrubina; pero cuentan mayormente con tecnología halógena la cual no es la más apropiada [8].

Un factor determinante es el poco conocimiento y presupuesto que se cuenta para el sector salud el cual es usado mayormente en medicinas dejando de lado el uso de factores físicos para terapias. A esto se le agrega la poca información que se cuenta sobre fototerapia en el Perú, los altos precios que se tienen en el mercado y la poca variedad de tecnologías adecuadas [9].

1.2.1 Necesidad de actualizar nuestro sector salud llevándolo a uno que esté acorde con los estándares mundiales

En el Perú uno de los sectores más descuidados es el sector salud, esto hace que los estándares de calidad no sean óptimos. Esto se ocasiona principalmente por la falta de

recursos económicos y muchas veces por los malos manejos administrativos que se tienen en el sector [10].

Frente a estos problemas es necesaria la mejora del sector salud. Mediante una inyección de capital se puede mejorar los ambientes, así como plantear una mejor organización con lo cual se puede tener hospitales mejor administrados.

Con la inyección de capital también se puede optar por comprar nuevos equipos renovando los mismos con nuevas tecnologías. Mejor equipamiento significa mejor servicio y nuevos tratamientos mejorando los estándares de calidad en los servicios brindados. Como se sabe una inyección de capital es difícil de obtener por lo que se debe optar por hacer lo mejor con el poco capital que se cuenta. Con el debido asesoramiento se puede obtener la mejor relación de costo-beneficio para acercar nuestros estándares a los estándares mundiales.

1.2.2 Condiciones en el mercado actual, demanda actual ¿Es viable?

En nuestro país existe una gran demanda de tecnologías nuevas y equipamiento biomédico de última generación, la tendencia en el sector salud es la compra de equipos nuevos y el reemplazo de tecnologías obsoletas para mejorar la calidad de los servicios brindados. Se busca adquirir los mejores equipos y las mejores tecnologías dándoles un tiempo de renovación de aproximadamente 4 años para los hospitales del Ministerio de Salud [10], lo cual no es factible debido al alto precio de los equipos médicos y el bajo capital con el que se cuenta.

El mercado peruano está en crecimiento y los hospitales cada vez buscan mejorar sus equipos para ponerse acorde a los estándares internacionales, nuevas tecnologías y tratamientos son expuestos a diario. Con un mercado como el Perú, un equipo que pueda ser utilizado para tratamientos de fototerapia a precios bajos deberá tener una demanda en el sector salud estatal así como en el sector privado.

1.3 Problemas y Causas

Antes de analizar los problemas y causas se debe tener en cuenta cómo se realiza un tratamiento de fototerapia en el sector salud (ver Fig.1.1). En la Tabla 1.1 se brinda una explicación detallada de lo visto en la Fig.1.1.

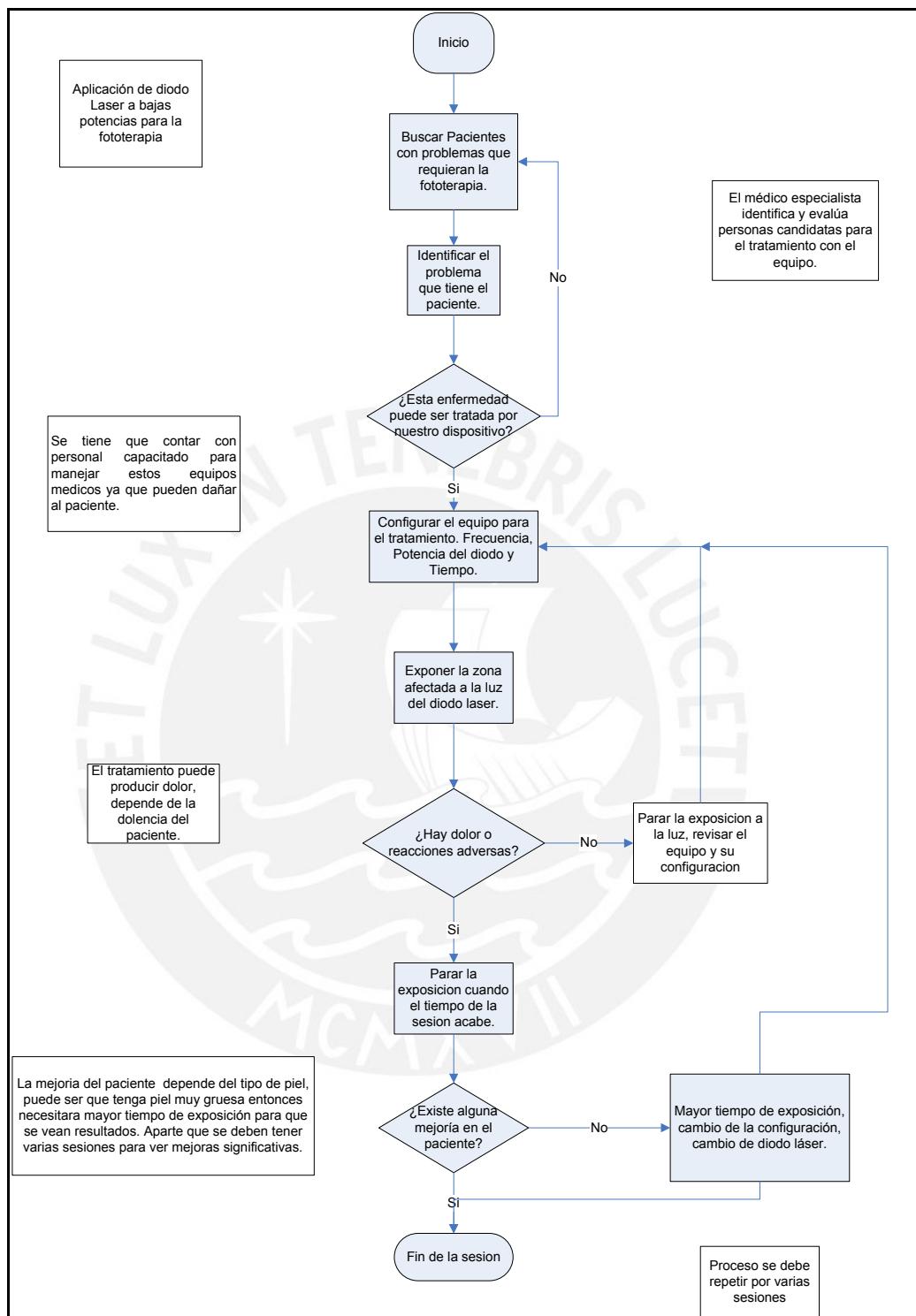


Fig. 1.1 Diagrama de Flujo del funcionamiento y utilización del equipo

Tabla 1.1 Funcionamiento y utilización del equipo

Hechos	Problemas y causas
1) Se necesita identificar a las personas que pueden ser tratadas con este equipo.	Es necesario poder identificar a los posibles pacientes, por lo general las personas que tienen estos problemas prefieren recurrir a métodos más simples como las cremas. Se debe decidir qué tipo de problema se va a tratar, de esto dependerá la elección del diodo láser, considerando que este problema puede ser solucionado con un diodo láser específico. Se requiere la participación del médico especialista para la identificación del paciente y el tratamiento a seguir, y la del Ingeniero especialista para la elección del diodo que se necesita.
2) Se tiene que contar con personal capacitado para manejar estos equipos médicos ya que pueden dañar al paciente.	Es necesario el entrenamiento del personal profesional de la salud para que esté capacitado en el uso del equipo y la elección del diodo para la terapia que se está aplicando. En este caso se hay que tener mucho cuidado a la hora de manipular el dispositivo ya que un mal uso o una mala configuración puede dañar al paciente en vez de ayudarlo a mejorar.
3) El tratamiento puede producir dolor, depende de la dolencia del paciente.	Si el equipo se usa de manera incorrecta, se puede producir molestias en el paciente. Además si el paciente tiene una herida muy sensible al calor (el equipo produce calor en el área irradiada) se puede producir dolor. Si el usuario muestra signos de incomodidad, se deberá parar el tratamiento.
4) La mejoría del paciente depende del tipo de piel, puede ser que tenga piel muy gruesa entonces necesitará mayor tiempo de exposición para que	Como se sabe no todas las personas son iguales, sea por su raza, contextura, piel, etc. En este caso se da énfasis a al tipo de piel, hay gente que tiene piel más delicada que otros, más gruesa, más delgada, etc. Es por eso que la fototerapia no puede ser aplicada con las mismas

se vean resultados. Aparte que se deben tener varias sesiones para ver mejoras significativas.	características a todos los pacientes, el tiempo, la intensidad, la frecuencia deben ser variados. Es por eso que los resultados de la fototerapia pueden ser muy variados. Los efectos de la terapia no son instantáneos, se requiere de varias sesiones verificar la efectividad del equipo. Si el equipo no es efectivo se deberá cambiar la configuración de la terapia y/o el diodo láser utilizado.
5) Proceso se debe repetir por varias sesiones	Como ya saben la fototerapia es un proceso, no es algo que se deba aplicar solo una vez. En este caso si en realidad se quiere tener resultados se deben realizar varias sesiones hasta cumplir con el proceso. Al fin de este proceso se verán los resultados finales pero por lo general los primeros resultados recién se pueden ver en la segunda o tercera sesión. Esto depende del paciente y la terapia a la que esté sometido.

Elaboración: Propia

1.4 Declaración del Marco problemático

En nuestro país la fototerapia láser está desarrollada dándole una orientación primordial al tema de la estética dejando de lado sus otras aplicaciones en el campo de la medicina. A esto se le suma los altos costos de los equipos de fototerapia lo cual da altos precios en las terapias.

A este problema se le puede sumar que la disponibilidad de datos sobre la fototerapia es muy reducida; además que los hospitales en su mayoría tienen escasos recursos lo cual imposibilita que puedan optar por comprar nuevas tecnología. Esto trae como consecuencia que los usuarios en su mayoría están desinformados imposibilitando en muchos casos que se pueda introducir esta nueva tecnología en el sector, ya que los usuarios tienden a utilizar los métodos tradicionales, dejando de lado las nuevas tendencias a nivel tecnológico y mundial.

Considerando un equipo que va a ser aplicado inicialmente en Lima, además que solo se producirá un prototipo del equipo para un centro de salud, el público objetivo podrá

ser cualquiera de los 900 mil pacientes que se tienen en los hospitales o institutos especializados [11], en donde la casuística es variada y se pueden encontrar diversos pacientes para ser tratados con tratamiento de fototerapia (problemas de piel, manejo del dolor de heridas superficiales y profundas, etc.).

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis Principal

Dado que en el Perú la fototerapia está orientada básicamente a la estética, los cuales son tratamientos muy caros pero accesibles para sus usuarios, mientras que en el campo de la medicina no está casi desarrollado debido a los altos costos de su maquinaria; entonces el desarrollo de un dispositivo de fototerapia utilizando diodos Láser, provee un sistema que podrá ofrecer tratamientos de fototerapia de una manera segura, rápida, precisa, confiable y económica.

1.5.2 Hipótesis secundarias

- 1) Un sistema de Fototerapia utilizando diodos láser permite tener un sistema muy preciso, efectivo y por sus componentes, un sistema económico.
- 2) Para el diseño del sistema de fototerapia utilizando diodos láser se requiere controlar dos factores, la frecuencia y la potencia con la cual el diodo trabajará. De esto dependerá el tratamiento que se quiera hacer.
- 3) El uso de un microcontrolador será necesario para este sistema. Mediante un programa capaz de controlar el generador de ondas PWM se podrá controlar la frecuencia y la potencia.
- 4) Desarrollar un programa que permita variar el tren de pulsos de la onda PWM es necesario para poder obtener diversos valores de potencia y frecuencia.
- 5) Para controlar el tiempo de exposición con exactitud, se debe tener algún dispositivo que controle y pare el dispositivo de fototerapia luego de que el tiempo establecido se haya cumplido. Se debe tener en cuenta que si se expone la piel un tiempo no adecuado se puede dañar al usuario porque se trabaja con radiación.

1.6 Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema para la fototerapia, utilizando diodos láser a bajas potencias para ser utilizado especialmente en aplicaciones médicas de regeneración histológica.

1.6.2 Objetivos específicos

- 1) Implementar un equipo para realizar la fototerapia con tecnología láser a precios accesibles.
- 2) El programa en el microcontrolador deberá tener la capacidad de ser utilizado en diversos tratamientos, donde los valores de frecuencia y potencia podrán ser modificados o configurados.
- 3) Lograr controlar el sistema de una manera variable mediante un sistema de PWM variable para poder variar las frecuencias y potencias.
- 4) Desarrollar un sistema de tiempo preciso mediante el uso de un temporizador interno.

CAPÍTULO 2:

FOTOTERAPIA UTILIZANDO DIODOS LÁSER

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Presentación

El diodo láser es conocido por sus diversas aplicaciones. Siendo los más populares los punteros láser, las impresoras láser, lectoras de CD/DVD/blu-Ray, comunicaciones, etc. Pero hace más de dos décadas se vienen realizando estudios sobre el diodo láser en aplicaciones médicas que comenzaron utilizando el láser para hacer incisiones, pero hoy en día se utiliza en muchas aplicaciones como odontología, cirugías estéticas, operaciones a los ojos, tratamientos histológicos, etc. Como se ve, el diodo láser tiene muchas aplicaciones en el campo de la bioingeniería.

El asunto de estudio se basará en el diodo láser como herramienta para el tratamiento de problemas en la piel. El nombre más común utilizado en este campo es la fototerapia que es un tratamiento que utiliza la luz. Esta será expuesta sobre una zona dañada en la piel estimulando el comportamiento de las células internamente mediante calor a cierta temperatura (que será la adecuada para no quemar la piel pero si estimulará los tejidos internos), basado en este sistema; ahora se aplicará el diodo láser, el cual tiene un efecto más preciso, pero debido a su mayor potencia debe ser utilizado de manera adecuada.

Al final del estudio se mostrará cómo se construye el sistema para utilizar un diodo láser para la fototerapia; se escogerá un diodo adecuado dependiendo de su longitud de onda y sus características como potencia y frecuencia. Asimismo, este diodo podrá ser utilizado en diversas aplicaciones modificando su potencia o su frecuencia. Para el control del sistema se utilizará un microcontrolador.

2.1.2 Estado de la Investigación

El diodo láser fue inventado en los Estados Unidos hace casi ya 46 años por el Dr. Gunther Fenner, el cual era miembro del equipo del Dr. Robert Hall en el centro de investigación y desarrollo de la General Electric en Nueva York, EU. Él inventó el primer semiconductor de diodo láser, pero 30 días después tres laboratorios independientes mostraron sus avances en el mismo tema. Estos fueron el Dr. Nick Holonyak en otro laboratorio de la General Electric, el Dr. Marshall Nathan en los laboratorios de investigación de la IBM y el Dr. Robert Rediker del laboratorio Lincoln en el MIT. Lo que se buscaba era conseguir radiación electromagnética de un diodo de unión p-n a base del material GaAs (Arsenuro de Galio) [12] [13].

El diodo creado por el Dr. Holonyak fue el único diodo que difería de los diodos de GaAs ya que este fue hecho de la aleación del compuesto GaAsP, el cual fue el primer semiconductor de aleación creado y el primero en ser comercial. De esta creación una vasta cantidad de semiconductores de aleación han sido creados [13]. Entre ellos el diodo láser que hoy se conoce que puede estar hecho de CO₂, de neodimio Yag, o los conocidos láser de Alejandrita y rubí los cuales fueron utilizados para las lesiones vasculares y la eliminación de tatuajes; para posteriormente ser utilizados hoy en día en la depilación capilar [12].

El diodo láser tiene sus aplicaciones centradas en los sistemas de telecomunicación debido a su capacidad de envío de datos a largas distancias, su gran potencia de salida, su modulación a altas velocidad (en GHz, mientras que los diodos LED llegan a solo 200 MHz), pero principalmente debido a que su luz es dirigida en una sola dirección lo cual da una mayor precisión y potencia en un área específica [14].

La aplicación del diodo láser en el campo de la bioingeniería ya está muy avanzado, estudios realizados a lo largo de más de 25 años demuestran que la utilidad del láser en la medicina y cirugía estética es fundamental; ya que su capacidad de resolver

problemas en los tejidos es aplicable para innumerables casos como manchas en la piel, heridas, cicatrices, etc. El diodo láser forma hoy en día una herramienta indispensable para problemas en la piel y su avance tecnológico sigue aumentando, ya que cada vez se le encuentran más usos a este tipo de tecnología láser [15]. Esta tecnología se conoce como fototerapia.

Debido a la gran precisión con lo que trabaja este tipo de diodos, estos láseres han sido utilizados en aplicaciones regenerativas, ya que la luz irradiada por este láser genera reacciones dependiendo del problema del área en la que es apuntado. Los estudios demuestran que cuando se irradia láser a baja potencia, “se estimula la proliferación muscular, a partir de la activación de los DNA y la síntesis proteica”. Esto dice que si se puede estimular de una manera correcta la zona afectada, se tendrá una mayor actividad en esa zona lo cual dará como resultado una regeneración de tejidos más rápido y por ende una curación acelerada [16].

Por lo general, para la fototerapia se utilizaría un dispositivo el cual genera luz en un área que produce radiación no ionizante la cual da el calor que penetra la piel y actúa en las células, pero a diferencia de este tipo de dispositivos, el diodo láser generará radiación electromagnética pero en un área específica, es decir en solo un punto en vez de toda un área, esto dará un mejor control de la zona afectada siendo el proceso de recuperación menor y se podrá ver resultados en poco tiempo.

Sin embargo, una aplicación inadecuada de terapia con láser puede ser muy perjudicial pudiendo causar degeneración celular “aplicando altas dosis de energía, ocurre una inhibición de los procesos metabólicos intracelulares y se encuentra reducción en la síntesis de ATP (Trifosfato de Adenosina), incremento en la actividad de la enzima ATPasa y pérdida del potencial de membrana, con signos de degeneración celular y lisis citoplasmática, así como dilatación perinuclear” [16]. En otras palabras, si se usa el diodo láser a alta potencia, se obtendrán los resultados opuestos al que queríamos ya que solo causaría degeneración en las células por ende la actividad química interna se ve desmejorada.

Por esta razón, estudios realizados dan los rangos de potencia en el cual estos diodos deben trabajar para realizar una acción específica. Pero la potencia no es el único factor importante ya que si bien en el campo de la medicina se utilizan diodos a baja potencia,

también se debe tener en cuenta el diodo a usarse y especialmente su longitud de onda (mediante la manipulación de su frecuencia se puede obtener diferentes resultados).

La frecuencia en el diodo es muy importante, primero porque hay tratamientos en los que se requiere que el diodo dé pulsos largos (pulsos con frecuencias bajas) mientras que otros que requieren pulsos cortos (pulsos con frecuencias altas). La frecuencia es algo determinante en el tratamiento por diodos láser ya que usar un diodo indicado, una potencia indicada pero no una frecuencia indicada puede dar resultados no deseados.

La longitud de onda debe ser la adecuada para cada aplicación, en el campo de la medicina se usan las longitudes de onda de 630 nm, 867nm y 670 nm. Pero para otras aplicaciones del láser se utilizan diversos rangos, aquí algunos ejemplos [17] [18]:

- 1). 635-690nm: En este rango los diodos son usados para generar luz para fototerapia (en medicina), lectoras de códigos de barra, etc.
- 2).830nm: Utilizado para impresoras láser, lectoras láser y aplicaciones médicas de fototerapia.
- 3).904nm: Se emiten pulsos cortos para medir distancias. En uso militar se genera un pulso constante lo cual da una iluminación del blanco, pero está siendo utilizado para aplicaciones médicas.
- 4).1300-1550nm: Para comunicaciones por fibra óptica.

La razón por la cual se eligieron esos tres valores de longitud de onda para equipos médicos es ya que después de realizados, estos valores tiene una penetración adecuada en la piel, pero esto es solo si el usuario no está siendo irradiado a través de algún tipo de ropa, ya que estudios realizados demuestran que a través de la ropa la radiación de este láser pierde hasta un 79% de su potencia lo cual deja un láser muy débil para tener acción en la piel. Por eso se recomienda en estos tratamientos que se aplique en láser sobre la piel desnuda [16].

Hoy en día su aplicación principal se encuentra en las cirugías estéticas y depilatorias ya que es usado por los cirujanos plásticos en sus numerosas operaciones para arreglar imperfecciones causadas por heridas o simplemente por la edad. Con respecto a su uso depilatorio, la tecnología ha avanzado bastante al punto de ser un método muy efectivo

para evitar el crecimiento del bicho. Hoy en día existen aparatos muy económicos que son capaces de realizar estas labores. Este tipo de tecnología está reemplazando poco a poco a las cremas que si bien son más baratas; no dan los mismos resultados que la aplicación del láser.

Para este caso se podrá utilizar este equipo para los siguientes casos:

- 1). Aplicación del diodo Láser para efectos analgésicos y cicatrización de heridas.
- 2). Aplicación del diodo Láser para el tratamiento de problemas dermatológicos.
- 3). Aplicación del diodo Láser para usos quirúrgicos.
- 4). Aplicación del diodo Láser para la regeneración histológica [18].

Los estudios de los diodos láser en la medicina siguen avanzando, son usados en la fototerapia y otros tratamientos médicos, haciendo que su campo de acción sea más extenso. La tecnología utilizada mejora en su precisión, lo cual garantiza mejores opciones a la hora de curar enfermedades de la piel.

2.1.3 Síntesis

El diodo láser es utilizado en muchas aplicaciones, por lo general fue creado con propósitos electrónicos y de comunicaciones pero hoy en día se aplica en el campo de la medicina humana.

La fototerapia láser utiliza radiación electromagnética sobre una zona específica. Utilizando el diodo láser, el cual es una herramienta más potente y más específica, reduce el tiempo de tratamiento. Sin embargo, para utilizar diodos láser en la piel se necesita contar con diodos que tengan longitudes de onda adecuados además de una potencia adecuada, de lo contrario, se puede causar mucho daño a los tejidos en vez de ayudar a regenerarlos.

Por lo general el tratamiento depende de 3 factores, el primero ya antes mencionado la longitud de onda del diodo, el segundo la frecuencia (con eso se obtienen pulsos largos o cortos) y la tercera es la potencia necesaria. Dependiendo de esto se pueden tratar diferentes problemas por medio de la fototerapia.

Adicionalmente se debe tener un buen manejo de los diodos láser, es decir alguien que sepa de fototerapia y cómo aplicarla ya que son dispositivos muy peligrosos.

2.1.4 Fisiología

2.1.4.1 Introducción Fisiológica

La aplicación de luz sobre un área dañada tiene un efecto dependiendo del tipo de luz se aplique, este tipo de luz puede ser considerada energía electromagnética la cual actúa como un biomodulador que facilita la cicatrización. Sea luz de baja intensidad como un diodo LED o una luz con intensidad moderada, luz Láser, los efectos clínicos de la luz están relacionados con el efecto directo de la energía de la luz, fotones, en los cromóforos (parte de una molécula que absorbe y confiere el color, esta puede ser estimulada con energía de luz para activar reacciones celulares) intracelulares en muchos tipos de células [19] [20].

Para poder producir un efecto en los tejidos, los fotones de luz deben ser absorbidos por una célula diana, la cual promueve una cascada de fenómenos bioquímicos. Un aspecto importante de la luz es tener efectos a nivel celular y sub-celular, como la estimulación de la producción de ATP y ARN, ó alterar la síntesis de citocinas implicadas en la inflamación, además es capaz de iniciar las reacciones en la membrana celular y la comunicación intercelular (mejorar la comunicación es importante para acelerar los procesos de curación) [16] [19].

2.1.4.2 Aumento de la producción de Trifosfato de Adenosina (ATP)

Dentro de la mayoría de las células se encuentra unos orgánulos membranosos llamados mitocondrias (llamadas también central de potencial de las células), estos tienen como función la generación de ATP las cuales son utilizadas como fuente de energía para todas las reacciones celulares. Estudios realizados muestran que bajo ciertos tipos de luz láser y LED, es posible aumentar la producción de ATP hasta un 70%.

El aumento de la producción de ATP es el elemento principal de muchos de los beneficios clínicos de la terapia láser y la fototerapia, en especial con la estimulación de la cicatrización tisular [19].

2.1.4.3 Aumento de la producción de Colágeno

La fototerapia láser mejora la cicatrización al promover la producción de colágeno, así como la producción de ARNm que codifica el procolágeno. La luz láser aumenta la síntesis de colágeno y la producción de ARNm, aumentando la producción de procolágeno en tres o más veces. El colágeno es un elemento importante para la regeneración tisular [22].

2.1.4.4 Tratamiento del dolor

Basados en diversos estudios sobre fototerapia, se observa que la fototerapia puede reducir el dolor. Los efectos de la luz láser en el dolor pueden estar asociados a los efectos sobre la inflamación, cicatrización tisular conducción nerviosa o liberación de endorfinas (encargadas de dar una sensación de placer). Los efectos analgésicos son más elevados cuando se dirige la luz láser a la piel sobre los nervios afectados o los nervios sobre la zona afectada [19].

2.1.4.5 Otros Efectos de la Fototerapia Láser

Dentro de los diversos tratamientos que se pueden tratar mediante la fototerapia se encuentran los siguientes [15] [18] [19]:

- **Cáncer (evaluar contraindicaciones, no en todos los casos ha demostrado efectividad)**
- **Artritis y Artrosis**
- **Inhibición de proliferación bacteriana (desinfección)**
- **Regulación de la inflamación**
- **Alteración de la velocidad de conducción y regeneración nerviosa**
- **Regeneración tisular**
- **Trastornos neurológicos**

2.2 Fototerapia: ¿Por qué utilizarla?

Fototerapia es el tratamiento de una enfermedad mediante ciertos tipos de luz. Para la fototerapia, se pueden usar lámparas de luz láser, lámparas de diodo emisor de luz LED, lámparas fluorescentes o radiación ultravioleta o infrarroja. También se llama terapia de luz [23].

Lo importante que se debe tener en cuenta a la hora de realizar la fototerapia es sus diversas aplicaciones las cuales al ser tratadas demuestran una recuperación más efectiva y rápida si la aplicación es adecuada.

Además, se trata de una tecnología muy segura que da resultados rápidos lo cual es lo principal a la hora de tratar problemas de salud. Se deben tomar en cuenta sus ventajas y aprovecharlas al máximo.

2.3 Ventajas de usar la fototerapia con la tecnología láser

La utilización de diodos Láser para la fototerapia presenta varias ventajas frente a su predecesor el Diodo LED. Principalmente se puede resaltar el tiempo de acción, el campo de acción en donde los diodos LED es grande mientras que en los diodos láser es bien reducido haciendo que sea un tratamiento más preciso. Por otro lado se toma en cuenta que el sistema utilizando diodos láser es más potente y puede penetrar más en la piel posibilitando la realización de diversos tratamientos que antes no podían ser realizados. La imagen Fig. 2.1 muestra el campo de acción de un LED y un Láser. La luz láser es un haz directo y muy fino, lo cual se puede definir como más exacto y dirige toda su potencia en un solo punto, mientras que los LED (Fuente de luz regular) dispersan una potencia reducida pero sobre un área extensa.

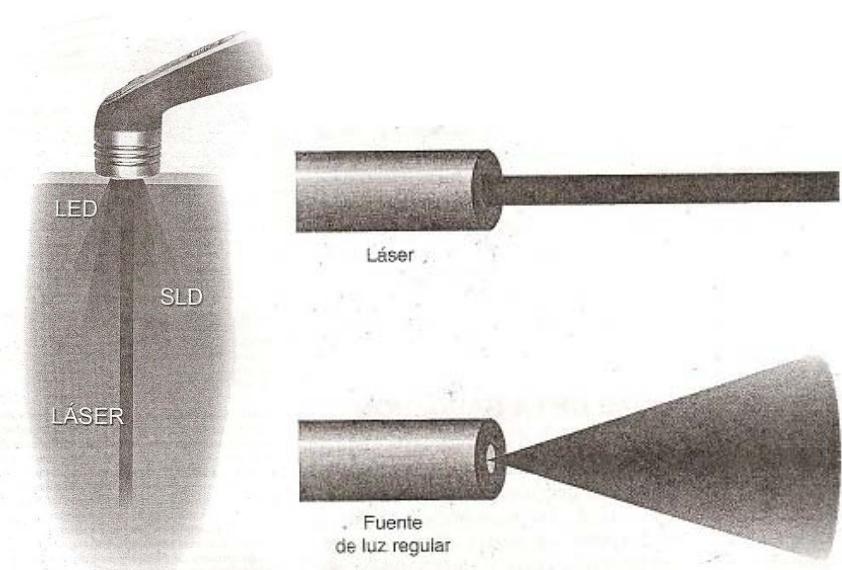


Fig. 2.1 Campo de Acción de luz Láser y LED [19]

Un aspecto positivo de este sistema es que los componentes a utilizar permiten que el dispositivo tenga un tamaño reducido para ser un sistema portátil. Esto hará que el equipo sea portátil y podrá ser utilizado en zonas donde no se cuenta con ambientes necesarios para tener grandes máquinas o simplemente no cuentan con la tecnología y la información sobre la fototerapia.

Algo muy importante es el costo/Beneficio, si bien estos equipos son muy caros, llegando a los miles de dólares sus beneficios son enormes. Pero se pueden tener sistemas de fototerapia utilizando diodos Láser a bajos precios que, si bien no cumplen todas las funciones de los equipos más modernos, pueden ser utilizados en diversos tratamientos. Con esto su costo/beneficio es enorme comparándolos con otros equipos de fototerapia.

2.4 Modelo Teórico

Para la aplicación de fototerapia utilizando diodos láser se utilizará un sistema el cual podrá ser utilizado por diversos diodos. Lo que se busca en este caso es hacer un sistema multipropósito para la fototerapia. Aunque primordialmente se busca un sistema para ser utilizado en la reparación histológica, esto ocurre cuando se tiene una herida y se quiere cicatrizar más rápido; la luz irradiada sobre la piel estimulará los tejidos,

células y moléculas internas lo cual acelerará el procedimiento de cicatrización a la vez que tiene un efecto analgésico en la zona afectada.

2.4.1 Principio de Funcionamiento

Lo que se requiere del equipo es que pueda ser capaz de controlar el diodo láser de manera que este pueda ser utilizado para un tratamiento de fototerapia. El mecanismo a utilizar podrá generar una onda PWM desde algún dispositivo electrónico. Debido a que este equipo podrá ser utilizado para diversas aplicaciones, se requiere que esta onda PWM pueda ser variable. La onda PWM ingresará a los diodos para así poder activarlos a una frecuencia y potencia establecida. Adicionalmente se requerirá el tiempo del tratamiento, es por eso que se pedirá al usuario un tiempo en el cual el diodo estará activado.

2.4.2 Onda PWM: Onda generada con parámetros variables

PWM Pulse Width Modulation (modulación de ancho de pulso), es una onda en donde el ancho de sus pulsos puede ser variado mediante una técnica en que se modifica el ciclo de trabajo o duty cycle de una señal periódica (ejemplo: una señal sinusoidal) para varios usos como enviar información o controlar la cantidad de energía que se le quiere aplicar a una carga, en otras palabras, controlar la potencia que se le aplicará a una carga (esto es lo que se busca para el sistema, controlar la potencia que se le aplicará a los diodos). Se creará una onda PWM con parámetros variables, donde se pueden variar la frecuencia y su ciclo de trabajo [24].

En la Fig. 2.2 se muestra la representación de una onda PWM.

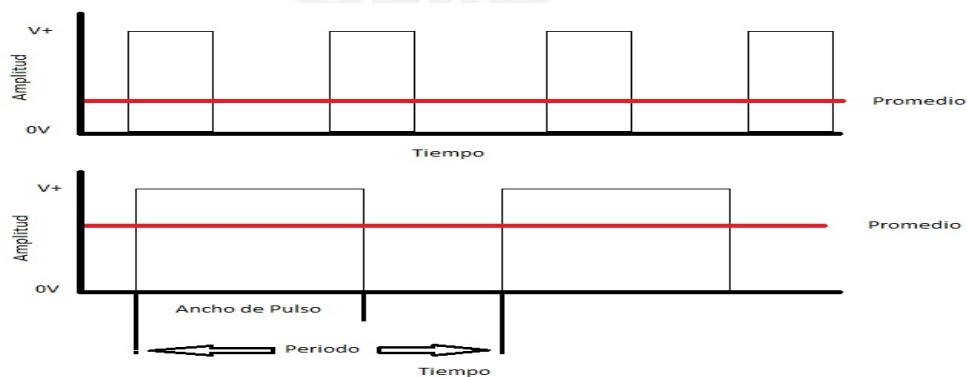


Fig. 2.2 Imagen onda PWM [24]

2.4.3 Método de generación de la onda PWM

Existen diversos modelos para poder generar la onda PWM, entre los más conocidos se encuentran los métodos de generación mediante el uso de un 555 y mediante el uso de un Microcontrolador.

555:

Método simple el cual utiliza un circuito integrado temporizador 555 en modo astable. Se sigue una configuración de resistencias para poder definir el ciclo de trabajo. Una resistencia para el tiempo de subida y otra resistencia para el tiempo de bajada. Mientras que la frecuencia se elige mediante el uso de condensadores. Es un método de generación de PWM simple por hardware.

Microcontrolador

Método en el cual se debe programar el Microcontrolador (ATMEGA, PIC), para generar una onda PWM. Se trata de un método más preciso pero más complicado de realizar. La desventaja de este método es que es necesaria una computadora para desarrollar el programa a funcionar en el Microcontrolador. Es un método de generación por software en el cual la frecuencia y el ciclo de trabajo son elegidos directamente por el usuario.

2.4.4 Radiación Electromagnética No Ionizante

Los diodos láser generarán radiación no ionizante la cual es el tipo de radiación administrada(o emitida) durante el procedimiento de la terapia. La particularidad de este tipo de radiación es que al ser administrada bio-estimula las moléculas internas en la piel y por ende tiende a acelerar la actividad química en el interior de las células lo cual da un proceso de curación más acelerado. El problema radica cuando se expone la piel a prolongadas sesiones de terapia, esto acelera demasiado la actividad química en las células pudiendo conducir a riesgos para la salud, como el cáncer [25] [19].

2.4.5 Aplicaciones clínicas Vs. Longitudes de ondas comunes

Dentro de los tratamientos utilizados con fototerapia láser a bajas potencias se tiene principalmente los diodos láser de color rojo y los diodos láser en el espectro Infra Rojo (ambos de arseniuro de galio), dependiendo de la longitud de la onda aumenta o disminuye la penetración en la piel o el efecto en la misma [26][27][28][29]. A continuación se muestra la Tabla 2.1 con longitudes de onda de diversos diodos y su aplicación dentro del campo clínico.

Tabla 2.1: Aplicación clínica vs longitud de onda

Item	Color de luz	Longitud de Onda (nm)	Penetración (mm)	Ángulo de dispersión (grados °)	Aplicación
1	Azul	440	-	-	Absorción de la bilirrubina
2	Azul	480	-	-	Absorción de la bilirrubina
3	Rojo	630	Hasta 7mm	-	Antiflamatorio y reparación tisular. Para problemas superficiales.
4	Rojo	632.8	Hasta 7mm	-	Antiflamatorio y reparación tisular. Para problemas superficiales.
5	Rojo	650	Hasta 7mm	-	Antiflamatorio y reparación tisular. Para problemas superficiales.
6	Rojo	670	7mm	-	Antiflamatorio y reparación tisular.

					Para problemas superficiales.
7	Infrarrojo	780	Aprox. 35mm	9º-15 °	Algésico, antiflamatorio y reparación tisular. Para problemas más profundo.
8	Infrarrojo	830	Aprox. 35mm	9º-15°	Algésico, antiflamatorio y reparación tisular. Para problemas más profundo.
9	Infrarrojo	904	Aprox. 35mm	9º-15°	Algésico, antiflamatorio y reparación tisular. Para problemas más profundo.

Elaboración: Propia

2.4.6 Seguridad

Un tema muy importante es la seguridad, esta debe ser muy tomada en cuenta a la hora de implementar el dispositivo como a la hora de utilizarlo. Principalmente se encuentra la seguridad del paciente pero también se toma en consideración la seguridad de la persona encargada de manejar el dispositivo. Como se trata de un dispositivo prototípico, no se puede realizar cumpliendo todas las normas de seguridad del estándar internacional IEC-60601[16] para seguridad eléctrica, pero se realiza el equipo considerando la seguridad del paciente y del operador. Para esto se considera el material del chasis del equipo que deberá ser aislante para evitar fugas de corrientes por el mismo. Adicionalmente se busca proteger los sistemas eléctricos internos mediante sistemas de protección contra corrientes altas.

Al trabajar con diodos láser se debe proteger la vista y la exposición de la luz en zonas vitales del cuerpo. El operador deberá evitar que la luz entre a sus ojos y deberá cubrir los del paciente para evitar accidentes (ambos deben utilizar lentes oscuros). Adicionalmente se debe tener cuidado con la potencia de los diodos que se están utilizando. En la Tabla 2.2 se muestra los efectos en el ser humano dependiendo de la potencia del láser.

Tabla 2.2: Potencia del Diodo Vs. Efecto en una persona [19]

Clase	Potencia	Efectos
1	<0.5 mW	Ningún efecto
2	<1mW	Produce reflejo de parpadeo
3A	<3mW	Puntero Láser
3B	<500mW	Terapia, puede provocar daño ocular, quemaduras cutáneas por exposición prolongada
4	>500mW	Corte Quirúrgico o industrial. Muy peligroso para la visión, quemaduras cutáneas graves.

Otros factores a tomar en cuenta [30] [26]:

1. Se debe proteger las zonas sensibles del cuerpo, se pueden utilizar barreras contra la radiación electromagnética en las zonas que puedan peligrar si es que son irradiadas.
2. Los equipos que emiten radiación deben ser guardados en lugares seguros ya que se tratan de equipos muy delicados sensibles al polvo y la humedad.
3. Se debe limitar el tiempo de exposición así como la distancia de la fuente de radiación hacia la piel debe de ser no menor a los 30 cm.

4. La intensidad de la radiación a la piel depende directamente a la intensidad de la luz enviada, la distancia y el ángulo del haz de luz (debe ser perpendicular a la zona de exposición).
5. Si aparece dolor por la irradiación se debe disminuir la dosis enviada.
6. No tratar con luz láser los órganos internos directamente.
7. Evitar que en la habitación de tratamiento existan espejos u otros objetos que reflejen la luz. Las camillas metálicas deben ser recubiertas para evitar su reflejo.

2.4.7 Dosimetría

La fototerapia con diodo láser a bajas potencias es utilizada con gran éxito para diversos tratamientos terapéuticos. La efectividad de la misma depende del aporte de suficiente energía para ser absorbida y que genere un efecto terapéutico en los tejidos.

Para garantizar una adecuada cantidad de energía, se requiere que el operador conozca que dosis está recibiendo el paciente [26]. Para esto se considera que:

$$\text{Energía (Joules)} = \text{Potencia (watts)} \times \text{tiempo (s)}$$

Para calcular la potencia se considera que se utiliza una emisión de energía pulsada, es decir se envían pulsos a una determinada frecuencia. Para determinar la potencia de un tren de pulsos utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia (watts)} = \text{Potencia Pico PP} \times \text{Duración del impulso } t_p \times \text{Frecuencia } f$$

Una vez claro que la energía solo depende de la potencia suministrada por segundo, es hora de hablar de Densidad de Energía (D.E.) que es la energía suministrada en una superficie. Para este dato se utiliza la siguiente fórmula [26]:

$$\text{D.E. (J/cm}^2\text{)} = (\text{Energía (J)}) / \text{Superficie (cm}^2\text{)}$$

Donde la superficie depende del diámetro del Haz del diodo láser (ver Tabla 2.2)

Tabla 2.2: Diámetro del Haz vs Superficie [26]

Diámetro del Haz (mm)	Superficie (cm ²)
1``	0,0078
1.5	0.0174
2	0,0314
3	0,073

Con la D.E. se puede definir los tiempos para los tratamientos simplemente despejando la fórmula de tiempo [26]:

$$t \text{ (s)} = (D.E. \text{ (J/cm}^2\text{)} \times S \text{ (cm}^2\text{)}) / P(w)$$

Una vez obtenido el valor (se obtendrán distintos valores dependiendo del diodo utilizado, la frecuencia y el ciclo de trabajo elegidos), el operario puede obtener una relación de las dosis a entregar al paciente con el tiempo de irradiación que se requiere.

2.4.8 Protección Térmica

En todo circuito que utilice componentes en donde circulen corrientes elevadas se debe tener en consideración que gran parte de la energía será disipada como calor (efecto joule). El recalentamiento de todo componente electrónico acorta la vida del mismo y puede provocar malfuncionamiento y en algunos casos la inoperatividad del componente.

Para la protección de todo componente electrónico ante el efecto joule se utilizan disipadores de calor [31], pero estos deben ser elegidos adecuadamente para una adecuada protección. Se debe tener en consideración que la parte electrónica debe estar aislada de cualquier contacto con el operador y el usuario pero se debe garantizar un flujo de aire constante en el equipo para disipar el calor eficazmente.

Cálculo de disipador

Para el cálculo del disipador se utiliza la información que es obtenida del fabricante en las hojas de datos. Como punto de partida se requiere saber la temperatura máxima alcanzada en la unión del componente T_j , esta temperatura no deberá ser alcanzada en ningún caso, para que el componente trabaje normalmente. Por cuestiones de diseño se utilizará un coeficiente de seguridad k bajo las siguientes condiciones [31]:

- $K = 0.5$ Diseño normal a temperatura moderada
- $K = 0.6$ Valor que economiza el tamaño del disipador
- $K = 0.7$ Cuando el disipador permanece en posición vertical y en el exterior (mejor convección)

Con los valores de k y el T_j se obtiene la siguiente expresión:

$$T = kT_j - T_a = p(R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

Donde p representa la potencia en watts(calor) que disipará el componente.

R_{jc} = Resistencia unión-cápsula. (en hojas de datos)

R_{cd} = Resistencia cápsula-disipador. (Depende del encapsulado y del aislamiento entre el componente y el disipador. Este puede ser de mica, pasta de silicona,etc.)

R_{da} = Resistencia disipador-ambiente. (Valor a ser calculado)

NOTA: Si no se dispone de la hoja de datos, se puede asumir $T_j = 135^\circ\text{C}$ en semiconductores de silicio y $T_j = 90^\circ\text{C}$ en semiconductores de germanio.

Ejemplo:

Para el regulador de voltaje de 5 v 7805 y con tipo de encapsulado TO-220

$T_j = 150^\circ\text{C}$ pero por seguridad se toma 125°C

$T_a = 25^\circ\text{C}$

$R_{jc} = 4^\circ\text{C/W}$

$R_{cd} = 0.8^\circ\text{C/W}$

$K = 0.7$

Potencia = $(V_{en} - V_{sal}) \times I$

Donde:

V_{en} = Voltaje de entrada = 7.5 V

V_{sal} = Voltaje de salida = 5V \Rightarrow Potencia = $2.5 * 2.1 = 5.25$ w

I = Corriente = 2.1 A

$$T = T_j - T_a = p (R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

De acá se despeja R_{da}

$$R_{da} = [(k T_j - T_a) / p] - R_{jc} - R_{cd} = [(0.7 \cdot 125 - 25) / 5.25] - 4 - 0.8 = 5.78 \text{ } ^\circ\text{C/w}$$

$$R_{da} = 7.1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Con este valor se puede escoger el disipador tomando $R_{da} = 7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ (debido a que toma un $k = 0.7$, se puede bajar el valor de R_{da} aún más ya que con este valor se exagera el cálculo por seguridad).

Adicionalmente se puede verificar la temperatura que alcanzará el componente con

$$T_d - T_a = R_{da} \cdot p \Rightarrow T_d = R_{dap} + T_a \Rightarrow T_d = 7 \cdot 5.25 + 25 = 61.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

asegurando la temperatura con la que trabajará el dispositivo.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL EQUIPO DE FOTOTERAPIA UTILIZANDO DIODOS LÁSER A BAJAS POTENCIAS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se dará a conocer el diseño del dispositivo generador de diodo láser para fototerapia. Como principales requerimientos del sistema se necesita de un equipo con alta precisión en la generación de una onda PWM (ciclo de trabajo y frecuencia) y económico, el cual pueda ser aplicado a la realidad peruana. El equipo deberá utilizar componentes simples y económicos, pero sin descuidar la calidad. Se plantea realizar el sistema utilizando un microcontrolador el cual será el cual será encargado de generar la onda PWM.

En la parte de hardware se utilizará un teclado matricial, un panel LCD, una fuente de alimentación, un circuito de activación y el circuito para el microcontrolador. Utilizando la programación del microcontrolador se integrarán todos los dispositivos de hardware. Se toma en consideración que el microcontrolador elegido será capaz de realizar las funciones que requiere el dispositivo, ser compatible con los dispositivos hardware, estar dentro del rango de operatividad (frecuencias 0-100 Hz, corriente por pin, etc). Se

toma en consideración que se utiliza el modo pulsado (se utiliza una onda pwm), los valores de ciclo de trabajo estarán entre 1 y 100 % y el tiempo de tratamiento entre 1 a 240 segundos. Se da un mayor detalle de los requerimientos del sistema en cada bloque.

3.2 Diagrama de Bloques

El enfoque general de diseño del sistema, se presenta en un diagrama de bloques (Ver Fig.3.1). Este brinda una idea del funcionamiento del dispositivo y lo que se necesita para poder realizar el trabajo con los diodos láser (entradas, salidas, periféricos). Cada bloque representa una etapa del sistema el cual deberá trabajar en conjunto con cada una de sus partes.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del sistema a implementar. Luego se explicará los bloques por separado para dar las características de funcionamiento que realizará cada uno de estos. Los bloques serán explicados individualmente indicando su funcionamiento, sus principales características y su relevancia para el equipo.

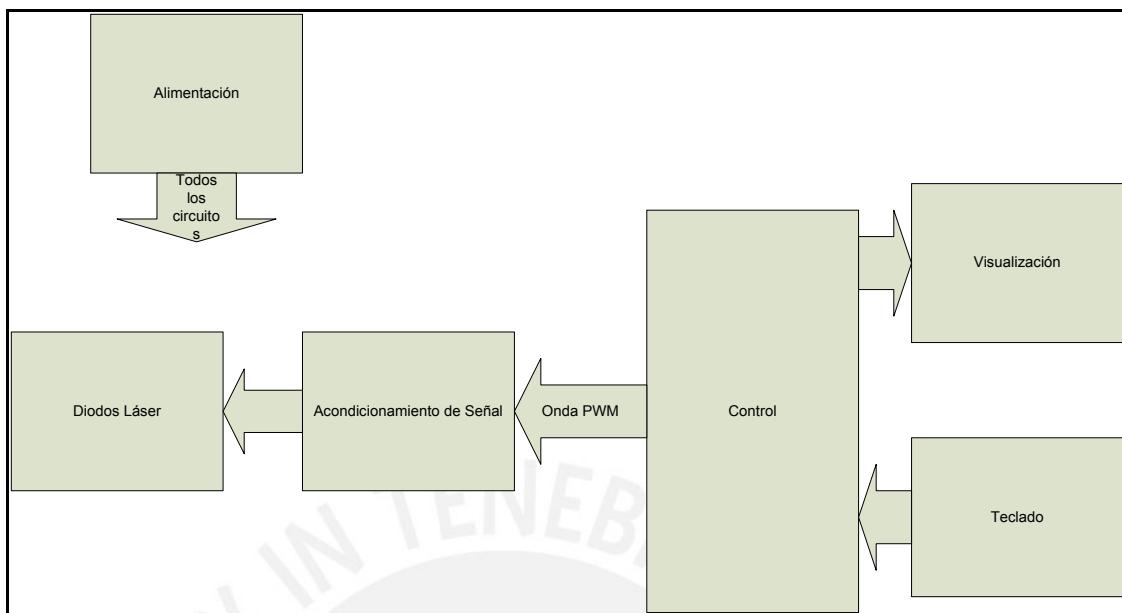


Fig. 3.1 Sistema de diodo Láser para la Fototerapia

3.2.1 Diodo Láser

Factores para la elección del diodo láser:

1. Elegir diodo para el tipo de aplicación.
2. Elegir el diodo por medio de su longitud de onda y potencia dependiendo de la aplicación a realizar.
3. Se debe considerar al paciente, su tipo de piel, sensibilidad, color de piel, edad, etc.
4. El diodo láser y su potencia son seleccionados dependiendo el uso que se le dé (ver Tabla 2.2).
5. Dependiendo de la potencia, se debe considerar la distancia a la piel así como el tiempo límite de tratamiento (calcular las dosis con el Capítulo 2.4.7) con ese diodo. Nótese que para esto se requerirá de un especialista en el tema para poder cumplir con las normas de seguridad sobre la manipulación de elementos que emiten radiación electromagnética.

Descripción

Para los diodos se tienen muchos criterios de selección. Primordialmente se basará en el uso que se le quiera dar, por ejemplo para el caso de regeneración histológica y tisular se necesita bio-estimular los tejidos internos para acelerar la regeneración, para esto se deberá escoger un diodo que tenga la longitud de onda apropiada para poder penetrar la piel de la manera adecuada. En el Tabla 2.1 se observa los diodos más utilizados para terapias con diodo láser a bajas potencias.

Para poder elegir un diodo primero se debe analizar lo que se requiere considerando el voltaje y la corriente, es decir la potencia del diodo y además la longitud de onda ya que es muy importante tener la correcta. Aplicar una longitud de onda incorrecta puede no ayudar al paciente debido a que puede penetrar mucho en la piel o no llegar a hacer efecto sobre la herida.

Los diodos podrán ser escogidos por el usuario del equipo. Como se indicó anteriormente, se trata de un equipo multiuso por lo cual puede ser usado para diversos tratamientos de fototerapia. Pero para este caso se dará prioridad al tratamiento de cicatrización y efecto analgésico para una curación más acelerada.

Elección del Diodo Láser

Para este prototipo se utiliza un diodo láser que se encuentre dentro del mercado por su disponibilidad inmediata para realizar las pruebas de funcionamiento del equipo. A continuación se muestra las especificaciones técnicas del diodo láser obtenidas de la hoja de datos (ver anexos). De acuerdo a la corriente del diodo, se colocarán las resistencias para el control de la corriente. Para el caso de la alimentación con 5 V, se utiliza una resistencia de 50 Ohm para fijar la corriente a 40 mA.

Idealmente se tiene que utilizar un diodo láser con una longitud de onda en el límite del color rojo e infrarrojo [19] [26] [27], con la potencia del diodo entre los 2 mW y 200 mW para realizar un tratamiento terapéuticos [19] [26]. Pero se utilizará un diodo de prueba debido a que los diodos láser para fines terapéuticos tienen un precio elevado.

Especificaciones Técnicas de diodo láser a usar para el prototipo

Clase: IIIA

Longitud de Onda: 650nm

Salida: 3mW

Voltaje de Operación: 3 VDC

Corriente de Operación: 40 mA

Material del Chasis: Cobre

Curva característica del diodo

Curva obtenida en el Laboratorio de Bio-inginería utilizando el osciloscopio para obtener los valores y el programa de hoja de cálculo Microsoft Excel 2007 para obtener la onda (Fig. 3.2)

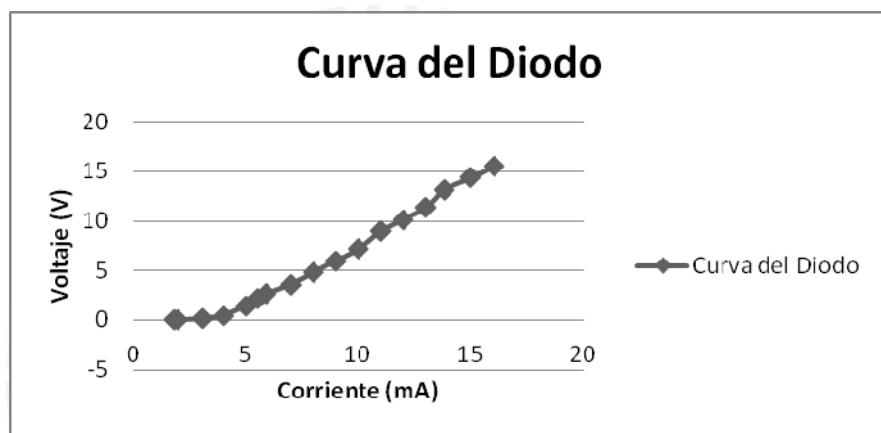


Fig. 3.2 Curva de Voltaje vs. Corriente del diodo láser

3.2.2 Acondicionamiento de Señal

Principales Especificaciones Técnicas:

- Controlador de potencia utilizando un inversor y un mosfet.
- Alimentación: 5V
- Alimentación: Señal de salida del puerto del Microcontrolador elegido.
- Salida: Alimentación de los diodos

Descripción:

El dispositivo es un equipo que puede utilizar diversos tipos de diodos como los mostrados en la tabla 2.1. Para esto se propone un circuito de activación que realiza el trabajo de un controlador de potencia para que se pueda cambiar los diodos y cambiar

la alimentación de estos sin necesidad de modificar las demás tarjetas. Este bloque se encarga de activar los diodos con la señal enviada desde el bloque de control y el voltaje que obtiene utilizando la fuente interna del equipo o una fuente externa.

Tarjeta de Activación

Tarjeta utilizada para separar la parte señal de la parte de potencia. Como el diseño de este dispositivo podrá ser utilizado para diversos tipos de diodos láser no se puede saber con certeza que voltaje será necesario para su alimentación y funcionamiento apropiado. Se protege la parte de señal utilizando un negador con colector abierto y se permite el cambio de la alimentación de los diodos sin modificar el circuito original en la parte de potencia. De esta manera se hace más sencillo controlar la alimentación de los diodos.

La tarjeta de activación está comprendida por un mosfet el cual es activado por la onda que recibe del negador que a su vez es obtenida del microcontrolador. En la Fig. 3.3 y Fig. 3.4 se muestra el diagrama esquemático y la tarjeta del circuito.

Componentes Utilizados

MOSFET IRFZ44

Encargado de activar los diodos. Recibe la onda PWM del microcontrolador para polarizar la puerta del mosfet y hacer el efecto corte-saturación. Se considera que el mosfet controlará hasta 5 diodos. En este caso, el prototipo utilizará diodos de prueba de 40 mA, pero en el uso del equipo con pacientes se utilizarán diodos con corrientes mayores. Como medida de protección, se asume que el mosfet debe soportar corrientes de hasta 1 A. El IRF Z44 es un componente comercial y fácil de obtener en el mercado nacional por eso su utilización.

NEGADOR 7406N

Elemento con colector abierto que cumple la función de separar la parte de potencia de la parte de señal.

BORNERAS

Para la alimentación de la tarjeta y el voltaje de entrada para los diodos.

MOLEX

Utilizado para las conexiones.

RESISTENCIAS

Las resistencias utilizadas tiene el valor de 110 Ohmios según hoja de datos del componente 7604N (ver anexos)

Cálculo de disipador:

Rda- Según hoja de datos (ver anexos)= 60K/W

Especificaciones:

Alimentación: 12 V para el inversor y el mosfet. Voltaje variable para los diodos

Entrada: Onda PWM proveniente del microcontrolador

Ancho de pistas: 0.056 pulgadas

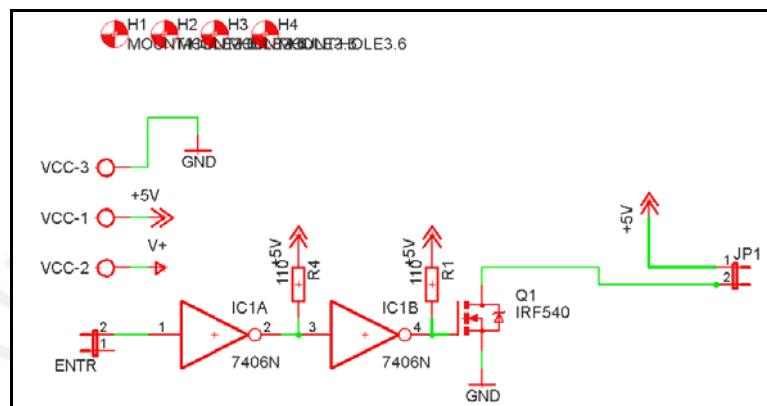


Fig.3.3 Diagrama Esquemático de la tarjeta de activación realizado por el programa Eagle

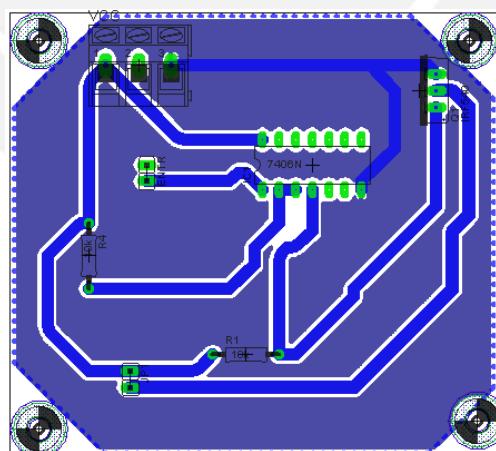


Fig.3.4 Diagrama de la tarjeta de activación realizado por el programa Eagle

3.2.3 Control

Principales Especificaciones Técnicas Necesarias para el sistema a diseñar:

- 7 ó 11 Puertos para el visualizador (modo 4 ó 8 Bits y 3 pins de control).
- 8 Puertos para el teclado matricial.
- 1 canal generador de ondas PWM (1 puerto de salida).
- Frecuencia de salida de la onda: 0 – 100 Hz.
- Ciclo de trabajo de la onda: 1-100 Hz.
- Tiempo: 1-240 segundos.
- Alimentación: 5 V.
- Corriente: 20 mA por puerto ó 400 mA en todo el microcontrolador.

Descripción:

Este bloque es considerado el corazón del equipo. De las especificaciones técnicas se elige el ATMEGA8. Este microcontrolador estará encargado de controlar los diodos por medio de un teclado matricial el cual permite el ingreso de los parámetros de frecuencia y potencia requeridos. Lo seleccionado se visualizará para una correcta interfaz con el usuario. Dentro de esta tarjeta se encontrará principalmente el Microcontrolador ATMEGA8.

Se utilizará el Microcontrolador ATMEGA8 por ser un integrado que tiene la capacidad de generar una onda PWM en la cual se puede variar el ciclo de trabajo y la frecuencia. Otra característica más es que al tener un temporizador interno se podrá realizar el equipo con la característica de añadirle un tiempo límite de funcionamiento para el tratamiento. Para la programación se puede utilizar diversos programas entre ellos el AVRStudio, el VMLAB, Proteus, etc. Para este caso se utilizaría el VMLAB que posee una interfaz sencilla y con la capacidad de poder simular el proyecto para verificar su funcionamiento adecuado. Se utiliza el ATMEGA8 debido a que ya se ha trabajado anteriormente con el dispositivo y se obtuvo resultados positivos. Se revisó equipos médicos como los equipos humidificadores Fisher & Paykel modelo 850 [32] que son comercializados en el Perú y se pudo comprobar que utilizan microcontroladores

ATMEGA8 dando un precedente de que el microcontrolador si es adecuado para equipos biomédicos.

Etapa de Control utilizando un ATMEGA8

Se utilizará el microcontrolador ATMEGA8 para desde ahí obtener todas las señales de control del sistema. El Microcontrolador tiene un bajo consumo de corriente. Según hoja de datos del Microcontrolador (ver Anexos) se percibe que puede soportar hasta 400mA en todas sus pines (dato obtenido de la hoja de datos del fabricante), sin embargo se recomienda que solo se utilice hasta 200 mA en todos sus pines. En las figuras 3.5 y 3.6 se muestran los diagramas esquemáticos y la tarjeta del circuito, se considera que se busca utilizar la mínima cantidad de pines necesarios.

Componentes Utilizados:

ATMEGA8:

El Microcontrolador utilizado será el ATMEGA8 debido a que cubre con las necesidades básicas como el número de puertos, capacidad de generar una onda PWM y principalmente su exactitud utilizando su temporizador interno.

Molex:

Se utiliza estos componentes para realizar la conexión entre la tarjeta del Microcontrolador con el teclado matricial y el panel de visualización LCD.

Condensadores

Se utiliza dos condensadores de 1 nF en esta tarjeta.

Borneras

Las borneras serán utilizadas para recibir la alimentación de la tarjeta de alimentación.

Resistencias

Se utilizan resistencias de 10k con el teclado matricial para fijar los valores lógicos. Estas se encuentran en las filas del mismo.

Especificaciones:

Alimentación: 5 V

Corriente: Máximo 400 mA sobre todas los pines del ATMEGA8.

Entradas: Teclado matricial

Salidas: Onda PWM (Puerto PB1), Visualización panel LCD

Ancho de pistas: 0.032 pulgadas

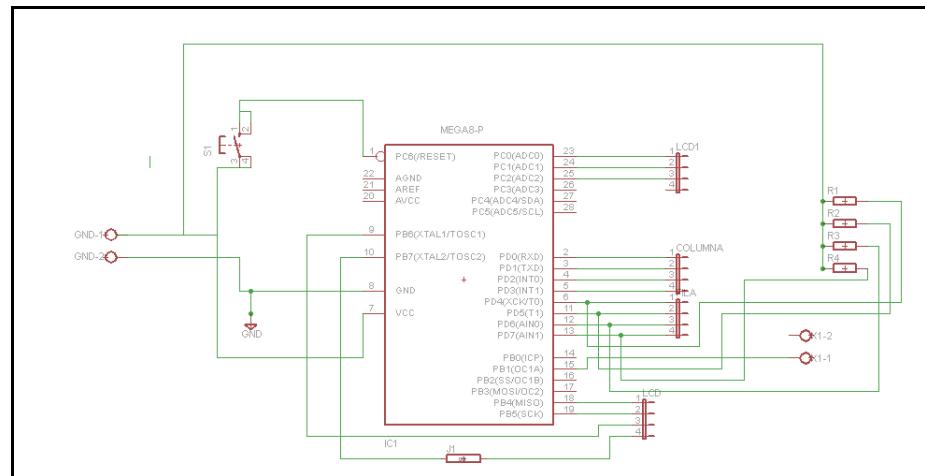


Fig. 3.5 Diagrama esquemático de la tarjeta del Microcontrolador realizado con el programa Eagle

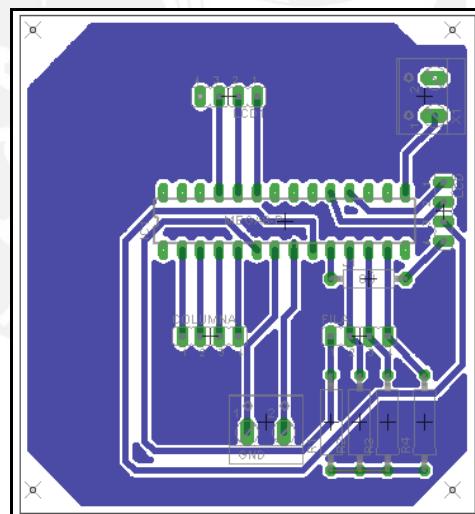


Fig.3.6 Diagrama de la tarjeta del microcontrolador realizado con el programa Eagle

3.2.4 Visualización

Principales Especificaciones Técnicas del Visualizador:

- Voltaje de Alimentación: 5 V y 12 V
- Corriente: 3mA (bajo consumo)
- De 2 filas y 16 columnas (como mínimo) para poder poner un encabezado en la primera fila y pedir el valor que se requiere en la segunda fila.
- 8 bits de entrada de datos. Puede ser programado a 8 bits como a 4 bits.
- Luz de retro-iluminación color verde ó azul.
- Compatibilidad con el Microcontrolador
- 3 pins de control.

Descripción

Este bloque es considerado para la interfaz con el usuario. Su función principal es mostrar que dato debe ser ingresado y que dato se está ingresando por el usuario para la configuración del diodo. Para esto se pensó en un visualizador tipo LCD que tenga por lo menos 2 filas y 16 columnas como mínimo.

A continuación se muestra un diagrama de lo que se espera para la visualización (Fig. 3.7):

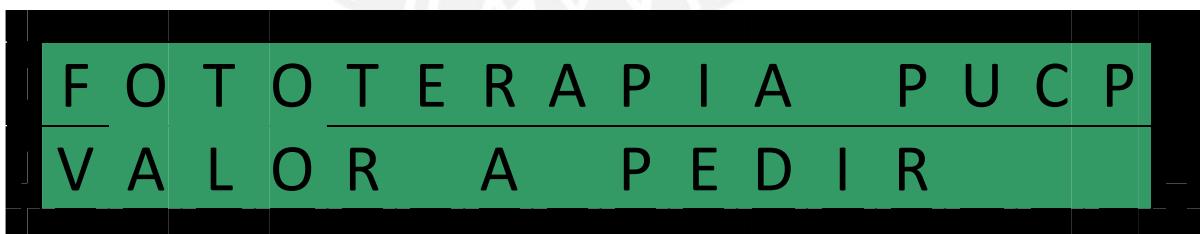


Fig. 3.7 Modelo de panel de visualización LCD

Panel de Visualización LCD

Para el sistema se utilizará un panel de visualización LCD de 16 filas por 2 columnas. Su alimentación es 5 V y tiene la opción de tener iluminación del panel. Se decide utilizar un panel de 16 * 2 debido a que sólo se requiere el ingreso de tres parámetros

frecuencia, ciclo de trabajo o potencia y tiempo de duración del tratamiento. Para la conexión del LCD a la tarjeta principal del ATMEGA8, se utiliza conectores tipo molex anexados a un cable flat.

En la Fig.3.8 se muestra una foto de la pantalla LCD, mientras que en la figura 3.9 se muestran la conexión y los elementos utilizados para la comunicación del LCD con la Tarjeta del Microcontrolador.



Fig. 3.8 Panel de Visualización LCD

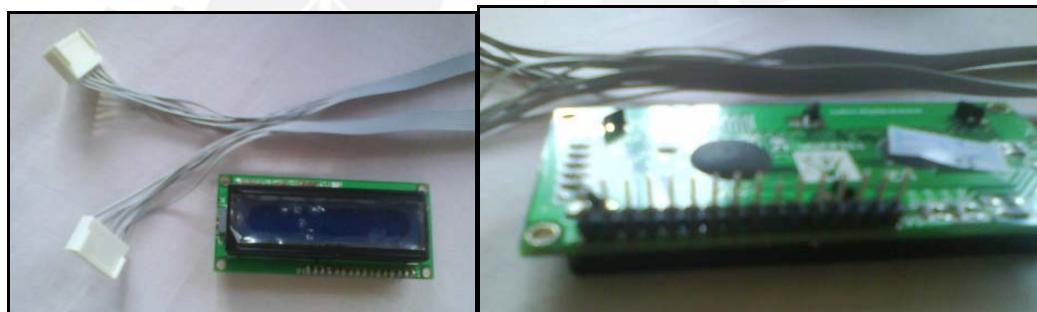


Fig. 3.9 Conexiones realizadas en el panel de visualización LCD para su uso

3.2.5 Teclado

Principales Especificaciones Técnicas:

- Teclado matricial de 16 teclas.
- Alimentado directamente desde el Microcontrolador.
- 10 teclas para números, 1 tecla para confirmación, 1 tecla para borrar y 4 teclas adicionales para ser utilizadas a futuro (Fig. 3.10 mostrado a continuación).

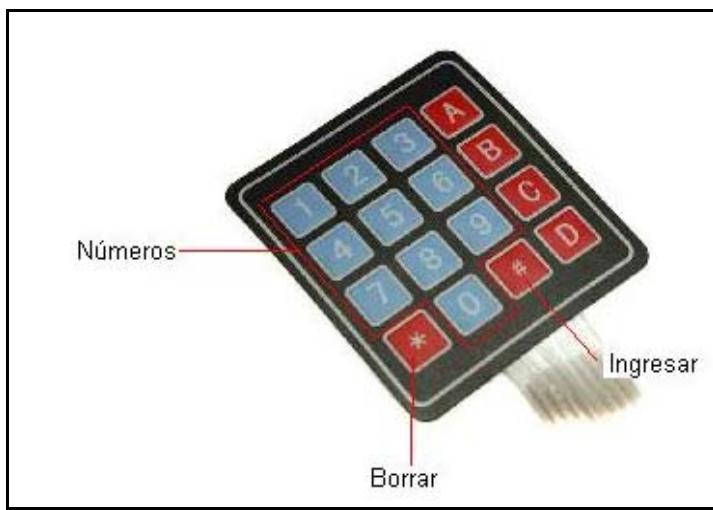


Fig. 3.10 Diagrama de la distribución de las teclas y sus funciones

Descripción

El Teclado matricial estará encargado del ingreso de datos. Por medio de este dispositivo y usando el microcontrolador se obtienen los datos de la frecuencia y ciclo de trabajo. El teclado elegido es de 16 teclas en donde hay números desde el 0 hasta el 9, una tecla de "clear" para borrar caracteres, y una tecla de inicio para mostrar conformidad. Las teclas de retroceso (para borrar un carácter) y para ingresar parámetros podrán ser elegidas entre las letras A-D y los símbolos # y *. Las demás teclas no serán utilizadas para este sistema. En un futuro se podrán configurar las teclas para realizar otras tareas. En la Fig. 3.11 se muestra una imagen del teclado usado. Se elige este teclado ya que es de uso comercial y fácil de conseguir.



Fig.3.11 Teclado Matricial Utilizado

3.2.6 Alimentación

Principales Especificaciones Técnicas:

- Alimentado por un transformador. El valor de corriente será obtenido del consumo de los demás bloques. El principal consumo estará en los reguladores de voltaje que están encargados de la alimentación de los demás circuitos.
- Se utiliza reguladores cuya función será entregar la potencia a las tarjetas y periféricos.
- Se requiere principalmente dos salidas de voltaje de 5V y 12 V para la alimentación de las tarjetas.
- Los reguladores deben ser alimentados directamente desde el transformador o usando un regulador de voltaje positivo ajustable.
- Como medida de seguridad se requiere el uso de transistores de potencia para prevenir corrientes elevadas en los reguladores de voltaje. Adicionalmente se utilizan disipadores de calor para evitar recalentamiento de los componentes (ver cálculos a continuación).

Calculo de Transformador necesario (utilizando curvas de Schade [33])

Se tienen los siguientes datos:

$V_{c(DC)}$ = Voltaje a plena carga : 19V

$V_{onda(pp)}$ = Voltaje pico a pico sin carga: 3V

V_M =Máximo voltaje de salida sin carga: 27

I_O = Corriente máxima : 1.0A

f = Frecuencia: 60Hz

Se obtiene la atenuación del voltaje de onda usando la ecuación:

$$rf = \frac{V_{onda(pp)}}{2\sqrt{2}x * V_{c(DC)}} \times 100\% \text{ de donde } rf = 5.5\%$$

Con este valor se obtiene el valor de wCRL (de la curva rf Vs. wCRL [33]):

wCRL= 8 – 16

Usando wCRL = 12, RS/RL se obtiene utilizando la gráfica % $V_{c(DC)}/V_M$ vs wCRL[33]:

$V_{c(DC)}/V_M = 73\%$

$RS/RL = 10\% // \text{Como } RL = (V_{c(DC)}/I_O) = 19$

Entonces $RS = 1.9 \text{ Ohm}$ (se considera que esta resistencia es un cable)

$$C = \frac{wCRL}{2\pi f \left(\frac{V_{c(DC)}}{I_O} \right)}$$

Ahora calculamos $C = 1676 \text{ uF}$

De estos cálculos se procede a obtener los siguientes valores:

Idiodo = $I_O/2 = 0.5 \text{ A}$

Ieficaz= $2 \times \text{Idiodo} = 1 \text{ A}$

El transformador tendrá las siguientes características:

$V_{secundario} = (V_M + 2)/\sqrt{2} = 21 \text{ V}$

Resistencia en el secundario= 1.9 Ohm

Corriente en el secundario = 1.4 A

Entonces el transformador elegido deberá contar con un voltaje en el secundario de al menos 20 V eficaz y una corriente de 1.4 A. El modelo comercial que más se le acerca a este valor es el transformador 12-0-12 a 2 A, usando el modo media onda en cada toma del transformador, llegando a obtener 2 veces el voltaje menos 2 veces el voltaje umbral de los diodos utilizados. Si se considera que se utilizan diodos 1N5399, los cuales tienen una caída de 1.4 V, entonces a la entrada del regulador 7812 tendremos 21.2 V que cumple con lo que se necesita según el cálculo del transformador usando las curvas de Schade.

Cálculo de corriente total en el sistema

Se utiliza la suma de corrientes en cada fase del diagrama de bloques.

Fase 1: Diodos = Considerando el uso de 3 diodos se tiene una corriente de 120 mA (los valores pueden ser mayores dependiendo de los diodos a utilizar).

Fase 2: Acondicionamiento de señal = Se asume 200 mA por seguridad (puede variar dependiendo de los diodos utilizados).

Fase 3: Control = 400 mA considerando el máximo que consume el ATMEGA8

Fase 4: Visualización = 3mA (según hoja de datos)

Fase 5: Teclado= Su alimentación viene de los puertos ATMEGA8 entonces su consumo se asume de la Fase 3.

Consumo Total para el Prototipo : 723 mA

Por seguridad se asume que corriente máxima es de 1 A

Descripción

Este bloque se encarga de proveer la alimentación a todas las tarjetas. Lo importante es que pueda proveer los voltajes necesarios a las tarjetas además de soportar la carga de corriente sobre el dispositivo la cual no deberá exceder de 1 A (se considera la alimentación principalmente de los diodos láser de baja potencia y todas las tarjetas).

En este caso se opta por el uso de un transformador y un circuito utilizando reguladores de voltaje.

Tarjeta de Alimentación

Tarjeta de alimentación diseñada para el dispositivo de fototerapia. Ofrece voltajes de 5 y 12 Voltios para las tarjetas. La tarjeta deberá aguantar hasta 1 A de corriente para poder realizar sistemas con más de un diodo (los diodos láser de baja potencia utilizados con fines terapéuticos tienen una potencia entre 5 mW y 500 mW [19] y sus corrientes se encuentran entre los 140 mA y los 400 mA según hoja de datos de diodo de 940nm en los anexos). Como medida de protección de los reguladores de voltaje se utilizará dos transistores de Potencia B1370, cuando la corriente en los reguladores se acerque a 1 A, los transistores distribuirán la potencia para evitar el recalentamiento proporcionando la corriente extra a la carga. En las figuras 3.12 y 3.13 se muestran los diagramas Esquemático y la tarjeta del circuito.

Componentes utilizados

Diodos

Se utilizarán 4 diodos para rectificar la onda. La fuente requerirá del transformador un máximo de 1 A que pasará a través de los diodos. Los diodos 1N5399 son comerciales en el Perú y soportan corrientes de hasta 1.5 A.

Condensadores

Se utilizarán 5 condensadores de los siguientes valores:

- 2 Condensadores de 0.33uF
- 1 Condensador de 3300uF
- 2 Condensadores de 0.1 uF

Resistencias

Utilizadas para fijar la corriente que va hacia los reguladores, las resistencias se calculan considerando que los reguladores de voltaje mínimo requieren 3 voltios más de su voltaje de salida (según hoja de datos). Para evitar el recalentamiento de los reguladores se asume que máximo trabajará a un 65% de su carga total:

21.2 – 15

Entonces $R1 = \frac{12-8}{650} = 10 \text{ Ohm}$

Para $R2: (12-8)/6.15 = 6.15 \text{ Ohm}$

Se utiliza resistencia de 20 Ohm por ser de un valor comercial en el mercado local.

Transistores de potencia B1370

Dispositivos de protección de los reguladores de voltaje de 5 y 12 voltios. Se encargan de repartir la corriente que va hacia los reguladores de voltaje para evitar el sobrecalentamiento de los mismos. Estos actúan cuando la corriente de los reguladores se acerca a 1 A.

Regulador de Voltaje 7805 y 7812

Dispositivos que entregan salidas fijas de voltaje DC. Por lo general la entrada debe ser mayor que la salida. En este caso se utilizan voltajes DC de 5 V y 12 V para alimentar tarjetas y componentes que lo requieran.

Transformador de Voltaje

Será la entrada del sistema. Transformador de voltaje 12-0-12 el cual es alimentado por 220 V y la salida del secundario ingresa al rectificador de media onda. La salida del rectificador alimenta a los reguladores de voltaje. Cabe resaltar que el transformador será de 2 Amperios como medida de seguridad ya que el circuito diseñado para corrientes de 1 A.

Consideraciones:

- Se necesita una fuente estable que sea capaz de aguantar corrientes que exigen los diodos. Se considera una fuente que pueda soportar mínimo 1 A.

- Como medida de seguridad se utilizan transistores de potencias para la protección de los reguladores de voltaje.
- Adicionalmente se utilizan disipadores de calor sobre los transistores de potencia y los reguladores de voltaje alargando la vida útil de los mismos.
- Se consideró el trabajo con un regulador variable de voltaje, pero el uso de este componente aumenta la carga al transformador y el diseño del mismo sería para un transformador 15-0-15. El costo de este transformador es mayor y el tamaño del mismo cambia el diseño del chasis a uno de mayor tamaño.
- El fusible de protección del transformador es definido hallando la máxima corriente que fluye por el transformador. Se utiliza la relación $I_2/I_1 = N_1/N_2 = V_1/V_2$ [34], de lo cual se obtiene que $I_2 = I_1 * (N_1/N_2)$
 $N_1/N_2 = 220/12 = 18.33 \Rightarrow$ como I_2 máxima es 2 A, se calcula que la máxima corriente que pasa por el transformador primario es 109 mA. Por medidas de seguridad se utilizará un fusible de 250 V a 1 A.

Cálculo de los disipadores:

$$\text{Disipador de 5V} = R_{da} = [(k T_j - T_a) / p] - R_{jc} - R_{cd} = [(0.7 \cdot 125 - 25)/5.25] - 4 - 0.8 = 7.1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{da} = 7.1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{Disipador de 12 V} = R_{da} = [(k T_j - T_a) / p] - R_{jc} - R_{cd} = [(0.7 \cdot 125 - 25)/3.75] - 4 - 0.8 = 11.9 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{da} = 11.9 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\text{Transistor B1370} = R_{da} = [(k T_j - T_a) / p] - R_{jc} - R_{cd} = [(0.7 \cdot 125 - 25)/2] - 4 - 0.8 = 24.42 \text{ } ^\circ\text{C/w}$$

$$R_{da} = 26.42 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Especificaciones:

Alimentación: Transformador 12-0-12

Corriente: 1 A

Salidas: 5v y 12 V

Ancho de Pistas: 0.086 pulgadas (lo suficiente para soportar 1 A entre sus pistas)

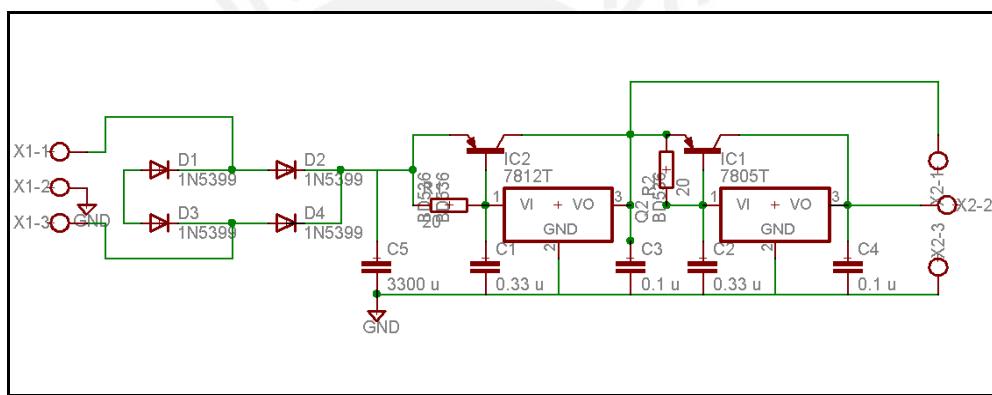


Fig. 3.12 Diagrama Esquemático de la fuente de alimentación realizada con el programa Eagle

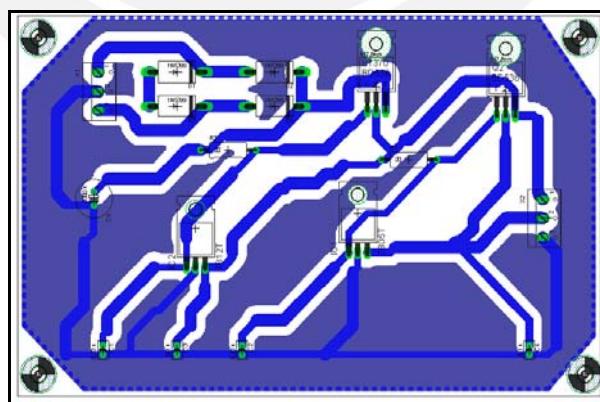


Fig. 3.13 Diagrama de la tarjeta del circuito de la fuente de alimentación realizado con el programa Eagle

3.3 Desarrollo de la parte Software del dispositivo

Programa

En la Fig.3.14 se puede aprecia el diagrama de flujo del programa principal. Se utilizará el lenguaje de programación ensamblador. Luego se explicará paso a paso el procedimiento del programa.

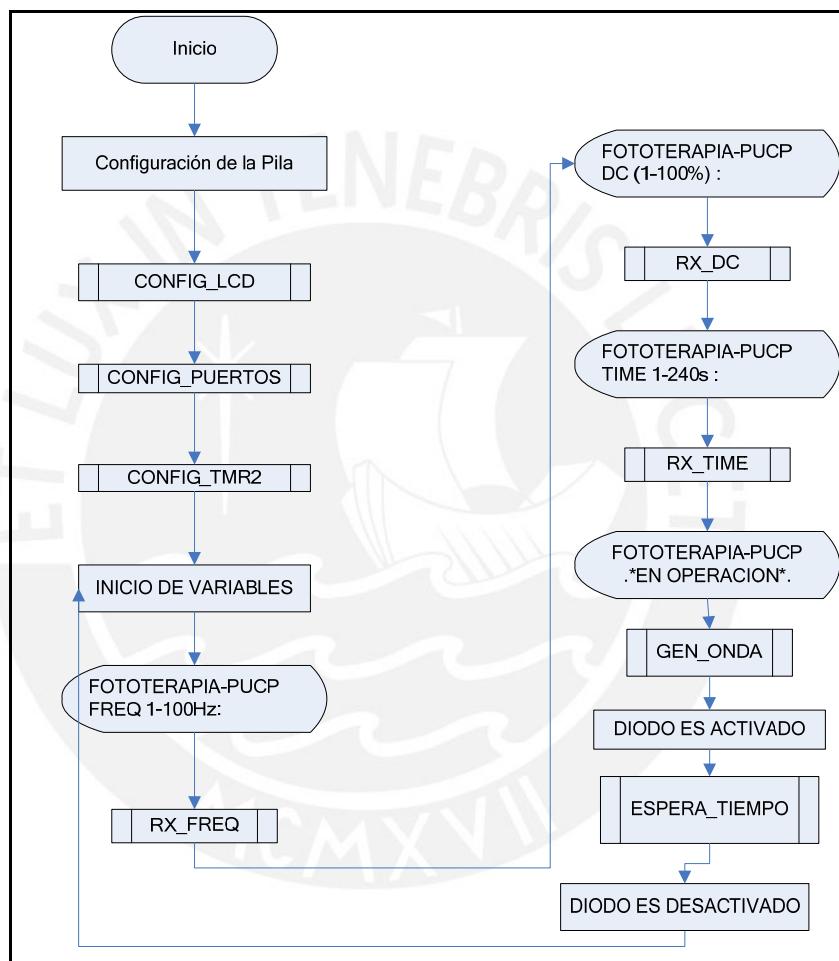


Fig. 3.14 Diagrama de flujo Programa Principal

Programa principal

Explicación preliminar

Se muestra en la Fig.3.14 el programa principal del sistema. Se trata de un programa que controlará el ciclo de trabajo y la Frecuencia de una onda PWM para conseguir el control total del diodo láser. Esto se debe simplemente a que existen muchos

tratamientos que pueden ser aplicados a los pacientes, así como existen muchos tipos de piel. Es por eso que para diversos tratamientos se podrá cambiar los de diodos. Además que se considera que el tipo y color de piel del paciente, y la calidad del tejido influye directamente en la absorción del láser [16]. Ante esto se debe considerar que los diodos láser deben ser cambiados dependiendo del paciente por eso la potencia y la frecuencia de los diodos deben ser modificados constantemente. Para controlar los diodos se utilizará un Microcontrolador el cual generará una onda PWM con la que se alimenta los diodos.

Para el control de la onda PWM se utiliza un teclado matricial para poder elegir los valores de frecuencia y ciclo de trabajo o potencia según lo que el operario requiera. Para visualizar lo elegido, se tiene una pantalla LCD de 16 columnas por 2 filas. Por último, después de elegir la configuración del tratamiento se pide el tiempo para el tratamiento. Todo es visualizado y controlado utilizando solo 01 microcontrolador.

Explicación del programa

El programa paso a paso:

1. Se comienza el programa inicializando la pila que sirve para poder apuntar a tablas y usar subrutinas.
2. Se procede a configurar la pantalla de cristal líquido (LCD). Se utiliza el modo 4 bits para ahorrar puertos. Se define todas las subrutinas de escritura y retardos. También se configura el LCD para poder desplazarse entre sus filas y columnas de manera apropiada
3. Se configura los puertos. Se define los puertos del teclado matricial y la salida para la onda PWM.
4. Se configura el TMR2.
5. Se limpian los valores de todas las variables con las que se van a trabajar.
6. Se muestra en la pantalla LCD la pedida de datos para la frecuencia y se espera a que el usuario escriba.

7. Se carga la función de frecuencia. Y espera el ingreso del usuario, solo se validan datos entre **001 a 100 Hz**, si el dato es válido se procede al siguiente paso.
8. Se muestra en la pantalla LCD la pedida de datos para el ciclo de trabajo y se espera a que el usuario escriba.
9. Se carga la función de ciclo de trabajo. El usuario debe ingresar un valor entre **001 a 100 %**, si el valor no es válido, el usuario deberá volver a ingresar un valor correcto.
10. Se muestra en la pantalla LCD la pedida de datos para el tiempo del tratamiento y se espera a que el usuario escriba.
11. Por último se cargará la función tiempo. El usuario debe ingresar un valor entre **001 a 240 segundos**, si el dato es válido entonces se comenzará el tratamiento.
12. Una vez ingresado todos estos valores se procederá a crear la onda PWM según los requerimientos elegidos. Se activa el diodo láser. Se muestra en pantalla el mensaje que el equipo está operando.
13. Una vez terminado el tiempo el dispositivo dejará de generar la onda PWM y se regresa al paso 6 para seguir su uso.

Consideraciones en la elaboración del programa:

- Principalmente se utilizará un Microcontrolador con la capacidad de generar una onda PWM, en este caso se utilizará un ATMEGA8. Además que solo se configurarán 2 elementos principales (frecuencia y ciclo de trabajo o potencia).
- Se debe tener en cuenta que el microcontrolador utilizado puede generar ondas PWM de mayor frecuencia, pero solo se utilizará hasta un máximo de 100 Hz siguiendo el diseño de los equipos creados en Bielorussia [35]. La precisión es importante, por medio de programación se buscará que la frecuencia sea lo más precisa posible buscando tener errores menores al +/- 5 % del valor deseado [36].
- Se utiliza el término ciclo de trabajo como si fuera la potencia de la onda. El ciclo de trabajo es el porcentaje en que la onda va a estar activa. Esto nos lleva a que

si se decide utilizar un porcentaje mayor del ciclo de trabajo la onda va a estar más activa y por ende se enviará una mayor potencia al diodo.

- Se utilizará el LCD en modo 4 bits ya que se necesitará ahorrar puertos. El modo de configuración de 4 bits resulta ser mucho más complicado que el modo de 8 bits. Pero para un futuro se deberán guardar puertos del ATMEGA8 para adicionarle más aplicaciones al dispositivo.
- Para la generación de la onda PWM se utiliza el TMR1 ya que se requiere definir frecuencia y el ciclo de trabajo (potencia).
- Se utilizó el método 14 para la generación de la onda PWM en donde los registros de 16 bits ICR1 y OCR1A son encargados de la frecuencia y el ciclo de trabajo. Este modo no es posible ser simulado en software.
- Para la lectura del teclado se utilizará el método por barrido. En el cual se irán sondeando las filas y columnas continuamente hasta que el usuario realice alguna acción sobre el teclado, este sondeo es casi instantáneo por lo que irá barriendo las filas y columnas continuamente hasta que detecte que el usuario apretó una tecla. Lo que el usuario elija se irá mostrando en la pantalla LCD.
- Se cuenta con un botón de borrado en el ingreso de datos si es que existe algún error en el ingreso de los mismos (Fig. 3.10).

3.4 Desarrollo del sistema en conjunto (Unión software y hardware)

Como se informó anteriormente, este sistema estará integrado por una parte de software y otra de hardware. El encargado de unir ambas partes será este microcontrolador que mezclará ambas partes, ya que siendo parte del Hardware del sistema este puede ser programado siendo así también parte del software. Se le puede considerar como el cerebro y parte principal del sistema.

3.5 Chasis

El chasis del dispositivo será de material acrílico con bordes de aluminio para ser el soporte del mismo. Para el diseño del chasis se tomará mayor énfasis en la cara anterior en donde estará el interruptor de encendido y apagado, el porta-fusible, su fusible y un agujero para que los cables de alimentación puedan pasar. En la cara

anterior se visualizará las salidas de voltajes así como la salida del circuito de activación en donde se decidirá que voltaje se pondrá entre sus terminales, una salida de tierra y una salida del circuito de activación para conectar los diodos.

Por otro lado en la cara superior se encontrará el teclado matricial y el panel de visualización LCD. En la Fig. 3.15 se muestra un diagrama del chasis.

Especificaciones:

Dimensiones: 15 cm de largo * 18 cm de ancho * 12 cm de alto

Material: Acrílico y Aluminio

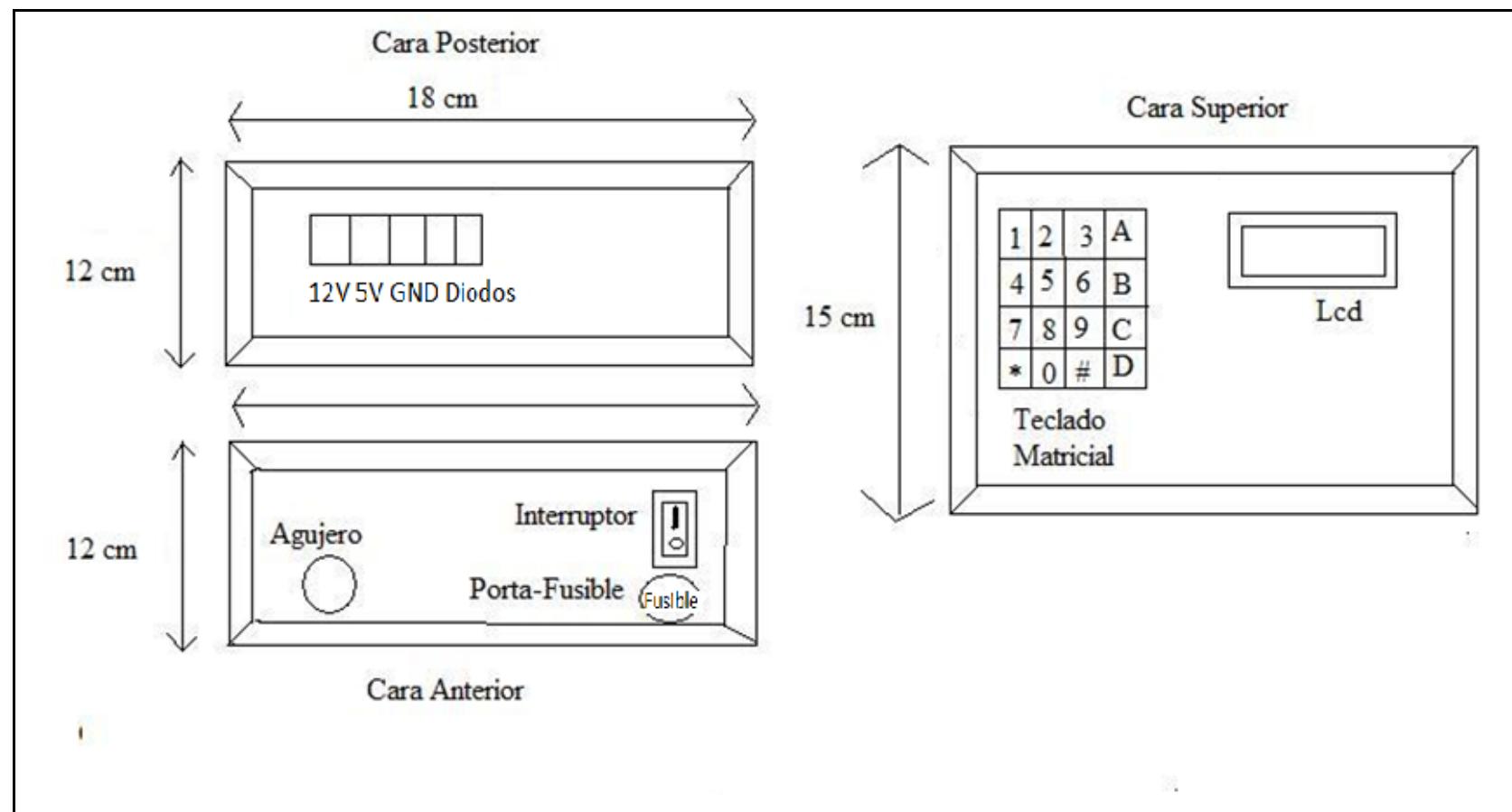
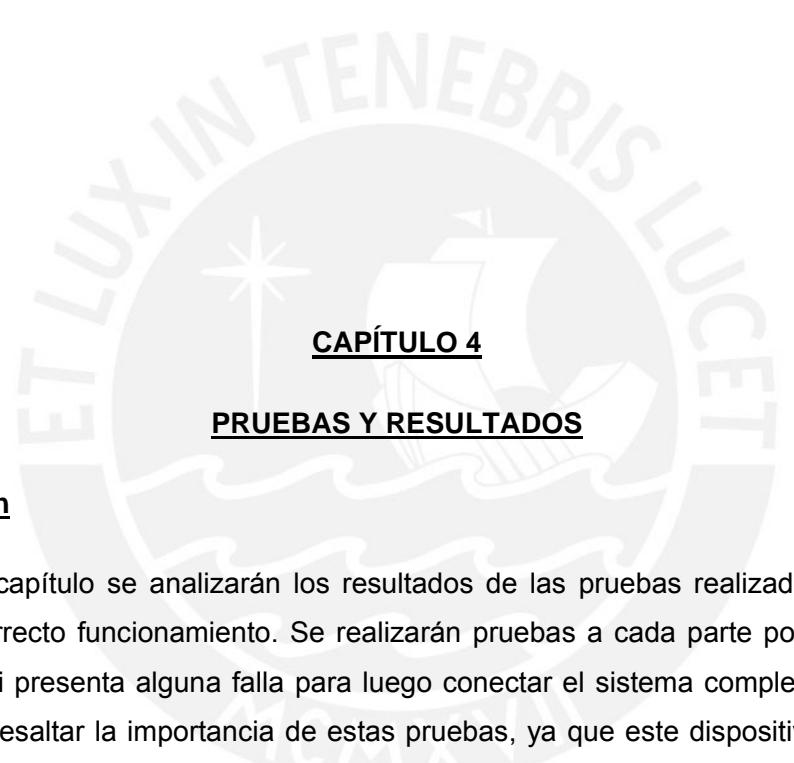


Fig.3.15 Diagrama del Chasis



CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Introducción

En el presente capítulo se analizarán los resultados de las pruebas realizadas al dispositivo probando su correcto funcionamiento. Se realizarán pruebas a cada parte por separado para poder verificar si presenta alguna falla para luego conectar el sistema completo y realizar sus pruebas. Cabe resaltar la importancia de estas pruebas, ya que este dispositivo será utilizado con propósitos médicos, lo cual hace importante la precisión que el equipo tendrá. Se mostrará mayor énfasis a las pruebas realizadas al programa de control de los diodos, es decir a la parte de programación o software.

La parte de Software es como el cerebro de todo el sistema. Es por eso que se debe tener una mayor consideración. Si el control es impreciso puede dañar al paciente. Se debe tener sumo cuidado a la hora de utilizar el equipo. Por último se realizará la comprobación de los objetivos con los resultados obtenidos por el equipo.

4.2 Análisis de las Partes

En el presente análisis se realizarán pruebas por separado de cada uno de los dispositivos.

4.2.1 Tarjeta de Alimentación

Se realizó la tarjeta de alimentación según el diseño mostrado en el capítulo anterior. La principal característica de la tarjeta utilizada es que puede generar dos salidas de voltaje 12 y 5 voltios. Esta tarjeta de alimentación será la responsable de alimentar a todo el circuito, es decir, será la alimentación del panel LCD, la tarjeta de activación, la tarjeta del ATMEGA8 y los diodos.

Para poder conseguir las salidas se utilizaron los reguladores de voltaje 7812 y 7805 y para la alimentación de esta tarjeta se utilizó un transformador 12-0-12, el cual fue adaptado con un interruptor y un fusible para su protección.

Pruebas:

Lo que se requiere es principalmente obtener los voltajes deseados pero por otro lado la tarjeta debe poder aguantar la corriente que pasa por sus pistas. Al realizar esta prueba se debe verificar constantemente si los componentes se calientan, en especial los reguladores de voltaje. Para su protección se colocaron disipadores de calor, además que los transistores de potencia BI370 son utilizados para proteger los reguladores de voltaje. En la Fig. 4.1 se muestra la tarjeta de alimentación del dispositivo. La entrada de esta tarjeta es la salida del transformador 12-0-12.

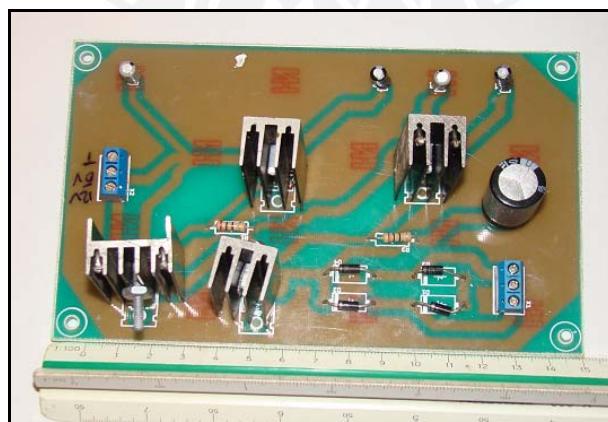


Fig. 4.1 Tarjeta de alimentación

7805 y 7812

Lo que se quiere conseguir de este componente es una salida de 5 v y otra de 12 v. En la Fig. 4.2 y Fig. 4.3 se muestran las imágenes de la realización de las pruebas utilizando un multímetro y un osciloscopio digital.

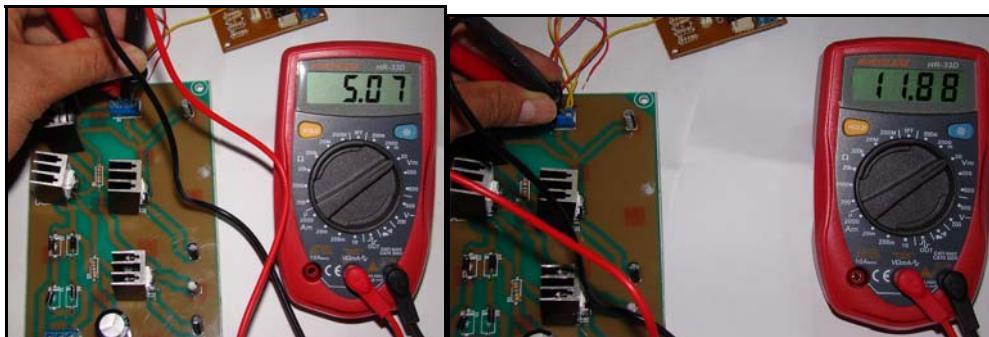


Fig. 4.2 Salidas de la tarjeta de alimentación medidas con un multímetro

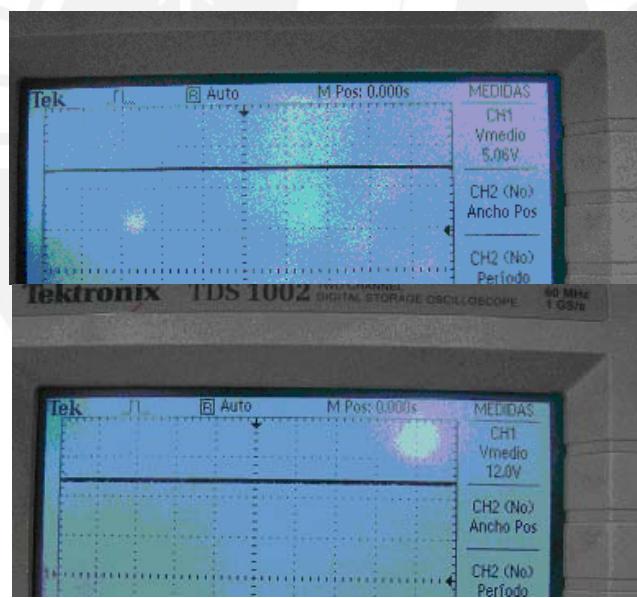


Fig. 4.3 Salidas de la tarjeta de alimentación observadas desde un osciloscopio con valores de salida de 5.06 V y 12 V

Elementos Adicionales

Para realizar esta prueba se necesito conectar la tarjeta con el transformador 12 0 12 y por seguridad de instalo un interruptor y un fusible el cual se eligió en base a las especificaciones

del transformador (ver capítulo 3.2.6) para evitar que el transformador sufra algún daño ante cualquier problema. El transformador se encuentra dentro del chasis pero está situado lo más alejado posible de las tarjetas para evitar interferencia electromagnética. En caso sea necesario utilizar un transformador de mayor tamaño, se deberá utilizar un “jaula de faraday” para eliminar los posibles efectos de ruido [37]. Se utiliza cable termoretraible para sellar y aislar las conexiones.

En las Fig. 4.4, Fig.4.5 y Fig. 4.6 se muestran el transformador, el interruptor y el porta-fusible.



Fig. 4.4 Transformador 12 0 12 a 2 Amperios

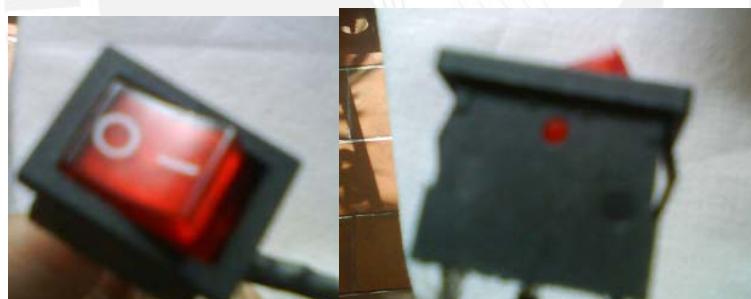


Fig. 4.5 Interruptor del equipo conectado al transformador



Fig. 4.6 Porta Fusible para el fusible de protección al transformador

4.2.2 Tarjeta de Activación

La tarjeta de activación deberá recibir la señal del microcontrolador la cual deberá entrar a un elemento que separe la parte de potencia de la de señal. En este caso el negador 7406N con colector abierto recibe la entrada del microcontrolador y la vuelve a negar. Esta salida es la que alimenta al mosfet realizando el modo corte y saturación. El mosfet estará en modo corte cuando la onda este en nivel '0' y entrara en saturación cuando la onda este en nivel '1'.

A continuación se mostrará la Fig. 4.7 en donde se muestra la tarjeta de activación donde se realizo la prueba de funcionamiento.

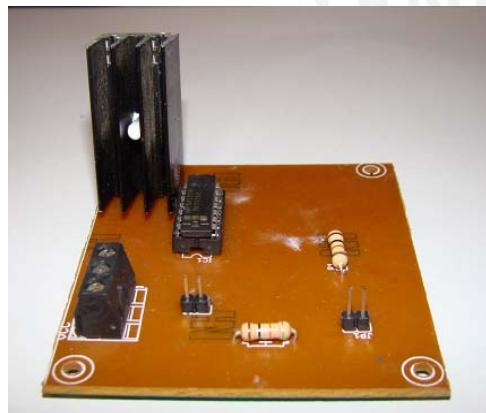


Fig.4.7 Tarjeta de activación

4.2.3 Tarjeta de la etapa de Control utilizando un ATMEGA8

Esta es la tarjeta más importante del dispositivo ya que es la que generará la onda PWM para controlar los diodos Fig. 4.8. Su alimentación estará a cargo de la tarjeta de alimentación y su salida puede ir directamente hacia los diodos o pasar por el circuito de activación. Para visualizar su funcionamiento se realizaron pruebas de simulación del sistema, en donde se corrió el programa pidiendo los tres parámetros principales es decir frecuencia, ciclo de trabajo (potencia) y tiempo para luego obtener la onda PWM. Como efectos de simulación vía software se mostrarán la toma de datos del programa en la Fig. 4.9 en donde se apreciará el software simulado por el programa VMLAB el cual muestra los pasos a seguir para el ingreso de datos para la configuración del diodo. Se repite que como se utiliza el modo de generación de PWM

14, no se puede obtener la onda PWM simulada. Cabe resaltar que las imágenes son simulaciones generadas por el programa VMLAB.

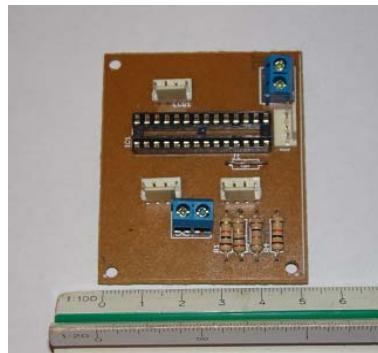


Fig. 4.8 Tarjeta de la etapa de Control

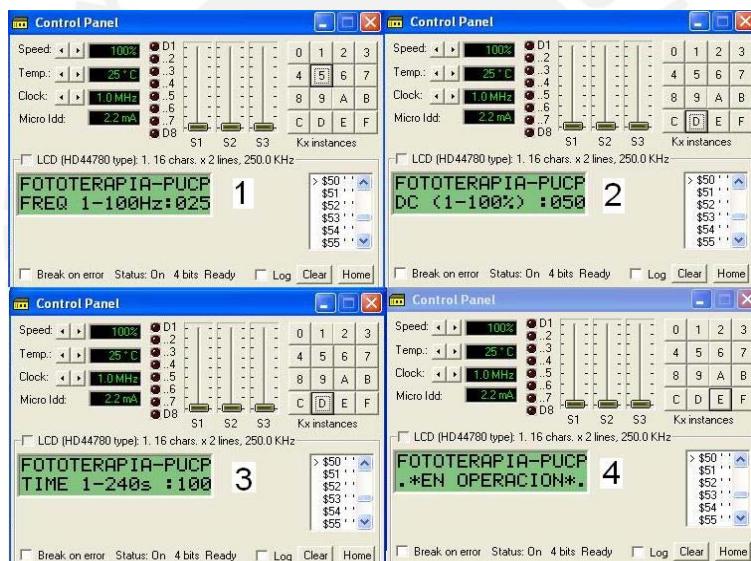


Fig.4.9 Simulación software del ingreso de datos de la configuración del diodo láser utilizando el programa VMLAB

4.2.4 Diodo Láser

Para las pruebas se utilizó un diodo de 3mW y 650 nm (color rojo, diodo tipo III A) el cual no tiene un efecto lo suficientemente potente para ser utilizados en terapia física pero para las pruebas del equipo y la obtención de información sobre el comportamiento del equipo. Se considera que el costo de un diodo para propósitos médicos tiene un costo aproximado de \$100 según el fabricante de los diodos [39]. Se utilizó una resistencia de 50 Ohm en la pata del

emisor para limitar la corriente hacia el diodo láser. En la Fig. 4.10 se muestra el diodo láser utilizado.



Fig. 4.10 Diodo Láser de 3 mW de luz visible roja

4.2.5 Chasis

El chasis del equipo fue realizado utilizando barras de aluminio para las conexiones y acrílico no conductor. Las tarjetas fueron acopladas a las láminas de acrílico y aisladas de las barras de aluminio (utilizadas para unir las láminas de acrílico) para evitar fugas de corriente por ellas. La Fig. 4.11 muestra el chasis del equipo.



4.11 Chasis del equipo de fototerapia desde diferentes vistas

4.3 Implementación final del equipo. Pruebas finales

Una vez realizado las pruebas por individual se pasa a conectar el equipo como un módulo único. Luego de esto se pasará a adecuar este módulo al chasis del dispositivo para así realizar las últimas pruebas y su correcto funcionamiento. El principal desafío de esta parte es el funcionamiento en conjunto ya que si bien el equipo puede funcionar como módulos separados, a la hora de probarlo como un solo módulo puede surgir problemas de compatibilidad entre estos es por eso que se debe tener muy en cuenta esta parte de la implementación.

Pruebas en el equipo

Se realizó pruebas en el equipo utilizando valores de 25 Hz y 100 Hz, con un ciclo de trabajo de 25% y 80% respectivamente. A continuación en las figuras 4.12, 4.13, se muestran los resultados. Para visualizar los resultados se utilizó un osciloscopio digital. En este se observa la onda PWM Generada

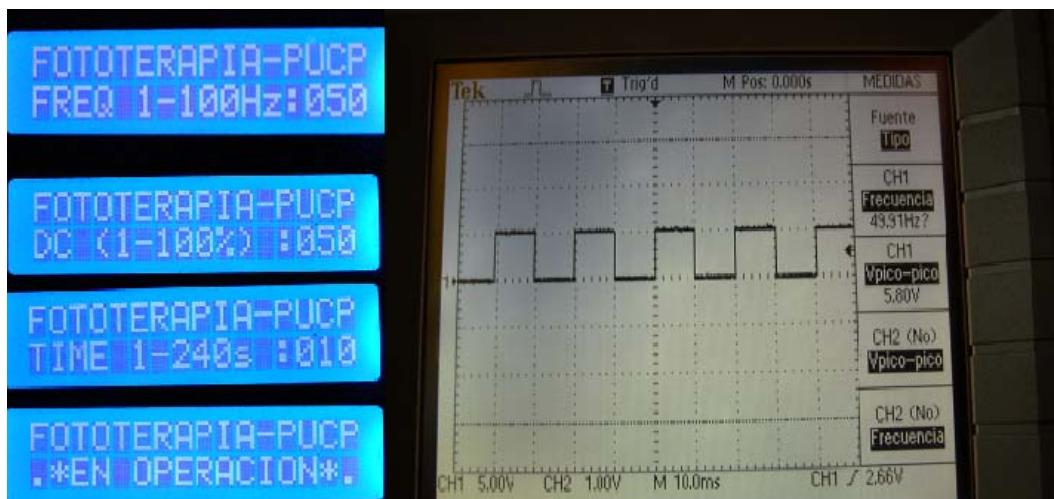


Fig. 4.12 Prueba del equipo utilizando mostrando Onda PWM con frecuencia de 49.91 Hz vista desde un osciloscopio

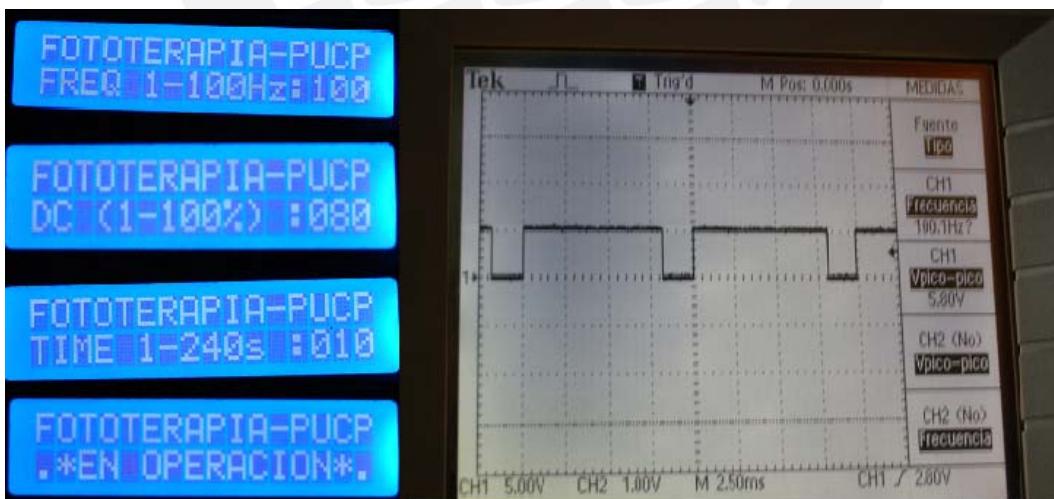


Fig. 4.13 Prueba del equipo utilizando mostrando Onda PWM con frecuencia de 100.1 Hz vista desde un osciloscopio

Adicionalmente se realizaron pruebas para verificar los valores de las frecuencias y su exactitud, los resultados se muestran a continuación en la tabla 4.1:

Tabla 4.1. Valores de Frecuencia obtenidos por el equipo y su error con respecto al valor esperado

Prueba	Valor de Frecuencia Esperada (Hz)	Valor de Frecuencia Obtenido (Hz)	Error (%)
1	5	5.18	+3.6
2	10	10.09	+0.9
3	25	24.90	-0.4
4	40	39.96	-0.1
5	50	49.91	-0.18
6	60	60.30	+0.5
7	70	70.18	+0.25
8	80	80.09	+1.1
9	90	90.18	+0.2
10	100	100.1	+0.1

Elaboración: Propia

Además se hicieron pruebas de tiempos para comprobar que el microcontrolador funciona acorde a los parámetros que se requiere. Para medir los valores de tiempo se realizaron pruebas utilizando un cronómetro y los resultados se muestran en la tabla 4.2:

Tabla 4.2: Tiempos medidos y su error con respecto al valor esperado

Prueba	Valor esperado de tiempo (s)	Valor obtenido de tiempo (s)	Error (%)
1	5	5.13	+2.6
2	10	10.28	+2.8
3	20	20.10	+0.5
4	30	30.45	+1.5
5	40	41.18	+2.95
6	80	81.10	+1.4
7	100	102.36	+2.36

Elaboración: Propia

De las pruebas realizadas se puede verificar que la onda PWM generada por el microcontrolador no es perfecta, pero se encuentra dentro de los parámetros permisibles. Además que la fuente de voltaje no genera 5 V exactos pero si un valor aproximado. La falla en la parte de alimentación proviene de los mismos componentes utilizados que tienen un margen de error.

4.4 Análisis de resultados

De lo obtenido por las pruebas se analizan los resultados y se compara con lo que se debe obtener.

Tarjeta de Alimentación

Después de analizar lo obtenido confirma que las salidas de 5 y 12 voltios fueron correctas, se observa lo obtenido en el Multímetro y se puede apreciar que las salidas son correctas. Sus lecturas son de 5.07 V y 11.88 V. Cabe resaltar que durante la ejecución de la prueba se verificó que los reguladores de voltaje no se sobrecalenten debido a una sobrecorriente. Con esto las pruebas en la tarjeta de alimentación fueron exitosas. En la Fig. 4.1 se puede verificar los resultados obtenidos.

Tarjeta de activación

El propósito de esta tarjeta es controlar los diodos con la señal obtenida del Microcontrolador pero con un voltaje que uno decida, es decir, cuando se elige una potencia del 50 % solo se entregará un voltaje del 50 % a los diodos pero el voltaje ya no será el voltaje de alimentación de la tarjeta es decir el 50% de 5v, sino se entregará el 50 % del voltaje que el usuario le ponga dependiendo de los diodos elegidos. La tarjeta de activación está encargada de acoplar la parte de señal con la parte de potencia y según las pruebas realizadas se concluye que la tarjeta de activación funciona acorde a lo que se requiere.

Tarjeta del ATMEGA8

Las pruebas realizadas en la simulación indican que el generador de la onda PWM funciona correctamente en la parte de la frecuencia y ciclo de trabajo (potencia), aunque no se puede verificar el tiempo ya que para efectos de la simulación no se tomo en cuenta. Pero debido a la precisión del sistema y de su contador se puede dar fe de que el tiempo es controlado adecuadamente. Por lo visto en la simulación el sistema funciona correctamente ya que la onda PWM fue generada correctamente. Ya en pruebas realizadas sobre el equipo, se verifico el correcto funcionamiento del tiempo, ya que los resultados obtenidos están dentro de los límites permisibles.

4.5 Consideraciones adicionales

Se debe tener en cuenta algunos aspectos del dispositivo:

1. Se debe tener mucho cuidado al manipular el equipo y en especial con los diodos. Se debe revisar la hoja de datos de los diodos para darle una correcta alimentación ya que si se alimentan los diodos de manera incorrecta se pueden dañar.
2. A la hora de manipular el dispositivo y al configurar el tratamiento con el diodo, se muestra el mensaje de operación, una vez terminado la exposición la pantalla regresa a su estado inicial y el diodo láser ya no está operativo. Se debe tener mucho cuidado evitando apuntar el diodo láser a zonas sensibles cuando el equipo está con el mensaje en operación.
3. El equipo fue diseñado para poder controlar más de un diodo a la vez, es por eso que la fuente podrá soportar corrientes de hasta 1 A. Por lo general los diodos no consumen corrientes elevadas (en mA), pero existen diodos para otros usos que si requieren de corrientes elevadas para realizar tareas específicas.
4. El equipo es muy fácil de manipular pero deberá ser manipulado por un especialista en el tema ya que se puede generar una mala configuración de la onda y el uso indebido de los diodos causará daños en el operario y paciente.
5. La onda también pudo ser generada utilizando un integrado 555 en modo astable pero como se necesitaba precisión en la frecuencia y potencia se decidió por utilizar un Microcontrolador para poder generar la onda. Esto asegura un control más preciso de la onda y por ende los diodos.
6. Como todo equipo se debe tener cuidado con caídas, humedad, exposición al sol pues reducirá la vida útil del mismo.

4.6 Presupuesto

Para la elaboración de este proyecto se busca primordialmente hacerlo factible para la realidad peruana. Se sabe que los equipos biomédicos de fototerapia tiene un costo elevado en el Perú, se hizo solicitud de precios a diversos proveedores de equipos de Fototerapia para diversos usos y los precios oscilan entre S/. 13000.00 y S/.35000.00 (dependiendo del tipo de equipo y su función) [38] [39] [40]. A continuación en la tabla 4.3 se muestra el presupuesto del equipo:

Tabla 4.3: Presupuesto Total

Cantidad	ITEM	COSTO S/.	Cantidad	ITEM	COSTO S/.
	Tarjeta de Alimentación			Chasis	
1	7805	S/. 1.50	1	Acrílico 80 X 80	S/. 20.00
1	7812	S/. 1.50	2	Metros ángulo aluminio 1/2 X1/2	S/. 8.00
4	1N5399	S/. 0.80	4	Borneras externas	S/. 8.00
5	Condensadores	S/. 0.50		Tornillos y tuercas	S/. 5.00
2	Resistencias	S/. 0.20	3	Diodos 3mW	S/. 24.00
2	B1370	S/. 4.00	1	Panel LCD	S/. 15.00
1	Transformador 12 0 12	S/. 25.00	1	Teclado Matricial	S/. 16.00
1	Porta fusible	S/. 1.00		Cables de conexión	S/. 4.00
1	Fusible	S/. 0.20	8	Molex X 8	S/. 8.00
1	Interruptor	S/. 2.00		TOTAL	S/. 108.00
1	Tarjeta Impresa	S/. 30.00			
4	Disipadores	S/. 4.00		Precio total de Tarjetas	
2	Borneras x 3	S/. 2.00		Tarjeta de Alimentación	S/. 73.7
1	metro cable	S/. 1.00		Tarjeta de microcontrolador	S/. 22.7
	Tarjeta de Microcontrolador			Tarjeta de Activación	S/. 15.7
4	molex x 4	S/. 2.00		TOTAL	S/. 112.1
1	ATMEGA8	S/. 10.00			
1	Socket x 14	S/. 1.00			
2	Condensadores	S/. 0.20	1	Programación (tiempo invertido)	S/. 300.00
1	Bornera x 3	S/. 1.00			
1	Bornera x 2	S/. 0.50		Mano de Obra	
1	Tarjeta Impresa	S/. 8.00		Tarjetas	S/. 150.00
	Tarjeta de Activación			Chasis	S/. 50.00
1	Borneras x 1	S/. 0.80		Conexiones	S/. 50.00
1	7406N	S/. 1.50		Pruebas Iniciales	S/. 200.00
2	Molex	S/. 1.00		Pruebas Finales	S/. 200.00
1	IRFZ44	S/. 2.00		TOTAL	S/. 650.00
4	Resistencias	S/. 0.40			
1	Tarjeta Impresa	S/. 10.00		COSTO TOTAL EQUIPO	S/. 1170.1

Elaboración: Propia

Análisis de la Información

De lo observado en la tabla anterior se muestra el precio de cada una de las tarjetas y sus respectivos componentes. Los componentes en su totalidad fueron adquiridos dentro del mercado local. Adicionalmente se aumenta un costo debido al tiempo que se usó para la realización de cada una de las fases del proyecto, siendo la programación la parte con mayor precio debido al tiempo que demandó. Los demás costos de mano de obra fueron obtenidos dependiendo del tiempo invertido en cada fase. Si solo se considera el costo de los materiales del equipo, este tiene un costo de S/. 220.10 nuevos soles. En este presupuesto no se considera el tiempo que se utilizará durante la fase de prueba con pacientes.

Se concluye lo siguiente:

- El precio indicado no incluye el precio de los diodos reales a usar para un equipo de fototerapia. Los diodos láser tienen precios variables dependiendo de la potencia y longitud de onda de los mismos. Además se considera su fabricante y la aplicación para lo que fueron creados. El precio por lo general es alto debido a que no son fabricados en el Perú.
- El precio del equipo generador de diodo Láser es aceptable para la realidad peruana lo cual era un objetivo de la tesis, el costo total está en los S/. 1170.10 nuevos soles, pero se debe considerar el costo de los diodos, los cuales tienen un valor aproximado \$ 100.00 dólares americanos [38] por cada diodo que se quiera utilizar.
- Se debe considerar que el diseño aún puede ser mejorado con lo cual los precios pueden aumentar relativamente dependiendo de lo que se desee variar como el material del chasis,
- El chasis fue hecho de material aislante (acrílico) pero puede ser hecho de acero inoxidable con lo que se tendrá una mejor presentación del equipo para poder ser comercializado. Pero se tendría que tener un mayor cuidado con el aislamiento del equipo pues se trata de un material conductor.

CONCLUSIONES

1. Se logró implementar el dispositivo para controlar diodos láser. Mediante este dispositivo se puede controlar la frecuencia y el ciclo de trabajo del diodo, adicionándole el tiempo de tratamiento. El equipo tiene un menor costo que un equipo comercial, pero aún se debe realizar pruebas en pacientes reales para confirmar su efectiva a comparación de los equipos comerciales.
2. Mediante el uso de un ATMEGA8 se logra controlar la potencia y la frecuencia de un diodo láser. Los valores de error están alrededor del 1% (0.1%-3.6%) a excepción del caso de frecuencias menores a los 10 Hz (ver tabla 4.1). Este error puede ser solucionado mediante un cambio del programa dentro del microcontrolador ó de los componentes electrónicos utilizados.
3. Se logra programar el ATMEGA8 para interactuar con los periféricos (pantalla de visualización LCD, teclado matricial, tarjeta de activación y diodos). Todos los periféricos son acoplados mediante la programación del ATMEGA8.
4. Se logra controlar el tiempo con errores menores al 5 % (Ver Tabla 4.2). Estos valores fueron obtenidos utilizando un cronómetro manual el cual también produce un error debido al tiempo de reacción que debe tener el encargado a la hora de realizar las pruebas, con el equipamiento adecuado se pueden realizar pruebas más certeras.
5. Se logra que el prototipo del equipo controle adecuadamente el diodo láser con una onda PWM configurable.
6. El dispositivo es diseñado para aplicaciones médicas deberá ser muy preciso a la hora de generar la onda PWM. Por ese motivo se utilizó un Microcontrolador en vez de generar la onda utilizando temporizadores 555.
7. No se hicieron pruebas en pacientes reales, debido a que no se contaba con los diodos necesarios para realizar tratamientos por eso su efectividad en pacientes aún no está comprobada.

RECOMENDACIONES

1. Se deberá cumplir con las normas de seguridad a la hora de utilizar el dispositivo. Al tratarse de radiación electromagnética, puede dañarse al usuario como al operario que maneja el dispositivo. Se recomienda que el equipo sea manipulado por un especialista.
2. El equipo puede utilizar diversos tipos de diodo, si se cambia de diodo, es preferible que estos sean cambiados por personal capacitado. Se debe tener en cuenta la hoja de especificaciones técnicas de los diodos para revisar su alimentación, datos de corriente, etc.
3. Si bien se trata de la implementación de un generador de diodos láser, esto es sólo un primer paso en el amplio estudio de este rubro.
4. Para poder dar tratamientos de fototerapia se necesitan los diodos láser, los cuales no son comerciales en el Perú. Es altamente recomendable contactarse con laboratorios que produzcan diodos láser con el fin de llegar a un acuerdo en la importación de sus productos.
5. El equipo está diseñado para realizar tratamientos de fototerapia pero no se recomienda el uso del mismo en pacientes muy sensibles como los neonatos que no pueden ser irradiados con ciertos tipos como la infrarroja y ultravioleta.
6. A futuro se debe diseñar e implementar el equipo con un circuito de limitación de corriente para los diodos, con esto se garantiza el correcto funcionamiento y la protección de los diodos durante la fototerapia.
7. Si se desea se pueden utilizar reguladores de voltaje variable para dar voltajes adecuados a los reguladores y hacerlos independientes el uno del otro. Pero esto significa el cambio del transformador a uno con un voltaje mayor en el secundario. Se tiene un mejor control de los reguladores, pero el gasto en el equipo es mayor.
8. El equipo es controlado por el teclado matricial, el cual tiene teclas sin utilizar, estas teclas pueden ser utilizadas para definir tratamientos estándar definidos por los usuarios, haciendo el uso del equipo más sencillo para el usuario.

9. El circuito de activación se puede reemplazar utilizando un optoacoplador para realizar la parte de aislamiento del circuito.
10. El equipo presenta un mayor error a menores frecuencias, a futuro se debe modificar la programación o algún componente para mejorar la precisión y exactitud.
11. Si se requiere una mayor portabilidad, el uso de baterías y pilas pueden reemplazar al transformador y su sistema rectificador de voltaje, pero limita el tiempo de uso del equipo. La alimentación del equipo por una fuente externa como una CPU es posible, pero se limita a entregar 5 V por su puerto.



GLOSARIO

Definiciones

Definiciones Operativas

Voltaje:

También llamado tensión o diferencia de potencial, el voltaje es la diferencia que hay entre dos puntos en el potencial eléctrico. De esta manera, el voltaje no es un valor absoluto sino una diferencia entre las cargas eléctricas, que se mide en voltios, según el Sistema Internacional de Unidades [42].

Su símbolo es la V.

Corriente:

Unidad de medida de la **corriente eléctrica**, es la cantidad de carga que circula por un conductor por unidad de tiempo $I = Q / t$

Es la corriente eléctrica (I) que produce una fuerza de 2×10^{-7} newton por metro entre dos conductores paralelos separados por 1 metro

$1 \text{ A} = 1 \text{ Coulombio / segundo}$

$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$ (miliamperio)

[43]

Watts [Vatio]:

Unidad de la potencia.

Potencia (P) requerida para realizar un trabajo a razón de 1 julio (joule) por segundo [42].

Potencia:

Se define potencia como la rapidez a la cual se efectúa trabajo, o bien, como la rapidez de transferencia de energía en el tiempo.

Potencia = W/t = trabajo/tiempo = energía transformada/tiempo.

En el Sistema Internacional la potencia se expresa en Joules por segundo, unidad a la que se le da el nombre Watt (W), $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$ [44].

Frecuencia:

Número de veces que se repite una onda en una cantidad de tiempo determinada. Su unidad de medida es el hertzio y la velocidad de los procesadores (o ciclos de reloj) se mide en mega hertzios (MHz). A mayor índice, más velocidad de proceso [45].

Hertz (Hz) :

Frecuencia de vibraciones eléctricas (ciclos) por segundo. Abreviado "Hz"; un Hz es igual a un ciclo por segundo [45].

Definiciones Cualitativas

Se debe tener muy en cuenta estas variables, estas son las siguientes:

- La calidad del equipo diseñado e implementado debe ser probado en hospitales y pacientes reales antes de poder entrar al mercado nacional.
- Se debe proveer un servicio muy efectivo, es decir, los mejores resultados en el menor tiempo posible, con esto se deja satisfecho al cliente y el doctor que lo opera tendrá una mejor imagen del producto.

Por otro lado se debe capacitar al personal que utilizará este dispositivo ya que si es utilizado de manera inadecuada se puede dañar al paciente. Por eso se prefiere que el que utilice el equipo sea una persona entrenada o con experiencia en fototerapia (que sepa por lo menos que diodo es utilizado para cada caso, y si necesita de pulsos cortos o largos). Se tiene que tener en cuenta estos detalles.

De la misma manera se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Tiempo de vida del diodo: El tiempo de vida se mide en horas de uso, por lo general son cientos de horas de uso, al malograrse o sufrir un desperfecto, simplemente se debe reemplazar el diodo.
2. Tiempo de uso del equipo: Dependiendo del tratamiento se debe exponer al paciente a un tiempo adecuado, no excediéndose de este por poder producir efectos no deseados en la gente.

3. De la misma manera y ya antes mencionado, el costo del dispositivo tiene que será adecuado, en el mercado actual un dispositivo de este tipo cuesta miles de dólares, en este caso se busca que el equipo sea lo más económico posible adecuándose a la realidad peruana.

Definiciones en el Diseño

LCD:

Siglas en inglés para Liquid Crystal Display o Pantalla de Cristal Líquido. Es una nueva tecnología utilizada en monitores de alta definición. Su característica principal es su excelente definición y su larga vida.

Estas pantallas están integradas por diminutos puntos. Estas pantallas poseen dos capas de material polarizante. Entre las capas se introduce una solución de cristal líquido. Luego una señal eléctrica hace que los cristales se alineen de tal manera que impidan el paso de la luz. Cuando la pantalla se pone negra, todos sus cristales están alineados para que no pase ningún tipo de luz [46].

Ciclo de Trabajo:

Conocido por su nombre en inglés la traducción sería ciclo de trabajo. Se define como la duración en la que un pulso, componente, dispositivo o sistema se encuentra activo en un determinado tiempo. Se expresa en porcentaje o ratio. Se expresa por la fórmula:

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

D es el ciclo de trabajo

τ es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T es el período de la función [47].

PWM:

Siglas en inglés de Pulse Width Modulation, o Modulación por Ancho de Pulso. Es una técnica de modulación que genera ondas de diversos anchos para representar la amplitud de una señal analógica [47].

MOSFET:

Siglas en inglés para Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Es un transistor de efecto de campo que está basado en la tecnología MOS. Tiene dos estados principales en corte y saturación [48].

Longitud de Onda:

Es la distancia que existe entre dos crestas consecutivas de una onda. Es la distancia que recorre el pulso mientras un punto realiza una oscilación completa. Su símbolo es la letra griega lambda (λ) [49].



BIBLIOGRAFÍA

[1] White James, Kaesberg Kendra

1994 Laser Therapy and Pain Relieve

Vol. 12, Tomo 21

Dynamic Chiropractic

USA

[2] Escada International, Inc

2006 Special 510(k) Summary for Terraquant MQ2000 v.5 and HandyRx MQ2007 Lasers

Food and Drug Administration

USA

[3] Vreman H, Wong R, Stevenson D, Route, R, Reader S, Fejer M, Gale R, Seidman D

1998 Light-Emitting Diodes: A Novel Light Source for Phototherapy

Volume 44, Tomo 5, 804-809

Rapid Publication

USA

[4] Posten W, Wrone DA, Dover JS, Arndt KA, Silapunt S, Alam M

2005 Low-level laser therapy for wound healing: mechanism and efficacy

Dermatologic Surgery, Volume 31, Tomo 3, 334–40

John Wiley & Sons

USA

- [5] World Health Organization
2010 Ultraviolet Radiation and INTERSUN Programme
USA
- [6] Seckel, Brooke
2008 Lasers in Plastic Surgery – How the New York Phototherapy Skin Treatments Work
Ezine Articles
USA
- [7] National Cancer Institute
2004 Lasers in Cancer Treatment
National Institutes of Health
USA
(Consultado en 2010)
< <http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Therapy/lasers>>
- [8] Conversación con Dra. Tania Paredes Quiliche
2009 Médico, Jefa de la Unidad de Cuidados Críticos Neonatales
Instituto Nacional Materno Perinatal
Perú
- [9] Conversación con Dr. Julio Portella Mendoza
2009 Médico, Director Ejecutivo-Dirección Ejecutiva de Investigación, Docencia y Atención en
Neonatología
Instituto Nacional Materno Perinatal

Perú

- [10] Conversación con Dr. Julio Chávez Pita
2009 Médico, Director Ejecutivo-Oficina Ejecutiva de Planeamiento Estratégico
Instituto Nacional Materno Perinatal

Perú

- [11] Ministerio de Salud
2008 Atendidos y Atenciones por tipo de Establecimiento, según departamento.

Perú

(Consultado en 2010)

<http://www.minsa.gob.pe/estadisticas/estadisticas/Servicios/Atenciones/ATENCIONES_macros.asp?00>

- [12] Arieli, Rami
1997 The Laser Adventure
Chapter 6.3 Pages 1-18
Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

- [13] Russell D. Dupuis
2003 The Diode Laser—the First Thirty Days Forty Years Ago[En Línea]
Microelectronics Research Center University of Texas. IEEE

Texas, Estados Unidos

(Consultado en el 2008)
<<http://www.ieee.org/organizations/pubs/newsletters/leos/feb03/diode.html>>

- [14] Malvino, Albert Paul

- 2000 Principios de Electrónica, 6ta Edición.
Mc Graw-Hill
España
- [15] De la Torre, Royo
2007 Hitos del láser y sus aplicaciones médicas
Instituto médico láser.
Madrid, España
- [16] Garrigo Andreau, María Isela y Valiente Zaldívar, Carolina
1996 Efectos biológicos de la radiación láser de baja potencia en la reparación hística
Rev Cubana Estomatol v.33 n.2 Ciudad de La Habana
La habana, Cuba.
- [17] Medical Laser Systems Incorporated
2003 Laser Diode Selections in the Luminex® Laser System [En línea]
Connecticut, Estados Unidos
(Consultado en el 2008)
http://www.medicalasersystems.com/about_laser.html
- [18] Kinast Feliú, Horacio
2004 Regeneración Tisular
Instituto Clínico Kinast
Santiago de Chile, Chile
- [19] Camaron, Michelle H
2009 Agentes Físicos en Rehabilitación. De la investigación a práctica

Capítulo 12: Radiación electromagnética: láseres y luz

3ra Edición. Elsevier Saunders

México

[20] Hawkins D, Houreld N, Abrahamse H

2005 Low level laser therapy as an effective therapeutic modality for delayed wounded healing

Acad Sci 1056

Ann NY. United States

[21] Oshiro T, Calderhear RG

1988 Low level laser therapy: a practical Introduction

Chichester, United Kingdom

[22] Lam TS, Abergel RP, Castel JC

1986 Laser stimulation of collagen synthesis in human skin fibroblast cultures,

Laser Life Sci 1

[23] Diccionario de cáncer

2008 Definición de fototerapia [En línea]

National Cancer Institute, Estados Unidos

(Consultado en el 2008)

<http://www.cancer.gov/templates/db_alpha.aspx?lang=spanish&CdrID=589410>

[24] National Instruments

2010 Pulse Width Modulation (PWM) Using NI-DAQmx and LabVIEW. [En Línea]

USA

(Consultado en el 2010)

< <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2991> >

[25] Diccionario de Cáncer

2008 Definición Radiación Ionizante [En Línea]

National Cancer Institute

Estados Unidos

(Consultado en el 2008)

<http://www.cancer.gov/templates/db_alpha.aspx?lang=spanish&CdrID=430698>

[26] Hernández Díaz, Adel

2008 El laser de baja potencia en la medicina actual

Publicación para el CEADEN

Miramar, La Habana, Cuba

[27] Enweka, C.s

2001 Attenuation and penetration of visible 632,8nm and invisible infrared 904 nm light in soft tissues

Laser Therapy volume 13: 95-101

[28] Nussbaum, E.L, Lilge, L. , Mazzulli, T.

2002 Effects of 630, 660, 810 and 905 nm laser irradiation delivering radiant exposure of 1-50 J/cm² on three species of bacteria in vitro

Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery Volume 20

Toronto, Ontario, Canada

[29] GK MALIK, DEEPAK CHAWLA, ASHOK K DEORARI, N KARTHI, SREERAM SUBRAMANIAN, JONNALA SRAVANTHI, PRAMOD GADDAM, SN SINGH

2009 Light-emitting Diodes versus Compact Fluorescent Tubes for Phototherapy in Neonatal Jaundice: A multi-center randomized Controlled Trail

Indian Pediatrics Volume 47

India

[30] Consejo de Seguridad nuclear.

2008 Radiaciones ionizantes y sus usos [En línea]

(Consultado en el 2008)

<http://www.csn.es/plantillas/frame_nivel1.jsp?id_nodo=1881&&keyword=&auditoria=F>

[31] Cárdaba, Luis M.

2008 Disipadores Térmicos

Madrid, España

[32] Fisher & Paykel healthcare, Inc

2005 MR850 Respiratory Humidifier

Technical Manual

Auckland, New Zealand

[33] Schade O

1943 Proc. Ire

Volume 31 – p.356

USA

[34] Shwehdi, Mahamed

2008 Transformers

King Fahd University of Petroleum & Minerals

Dhahran, Saudi Arabia

[35] Conversación con Dr. Mykola Injutin

2009 Médico-Físico

Universidad de Kiev

Perú

[36] Stephan GmbH, F

2009 Sophie Respirador para neonatología

Instrucciones de manejo

Alemania

- [37] Murphy, Tom
2006 Faraday Cages and Microwaves
UCSD: Physics 8
USA
- [38] Yamada, Aki
2008 Laser Diode Price Inquiry
Axcel Photonics
USA
- [39] Cepco S.A.C
2010 Cotización de Equipo de Fototerapia LED
Perú
- [40] Albújar Médica S.A.C
2010 Cotización de Lámpara de fototerapia microprocesada
Perú
- [41] Blanco, Sergio
2006 Comparativa de Equipos de Fototerapia basados en LEDs
XV Seminario de Ingeniería Biomédica 2006
Uruguay
- [42] Analía Lanzillotta
2004 Definición de voltaje- Significado y definición [En Línea]
Revista Informática digital Mastermagazine
Tomo Número 35
<<http://www.mastermagazine.info/> >
- [43] Electrónica Unicrom
2002 Definición de unidades: Amperio, watts, voltio, faradio, henrio, ohmio, siemens, coulombi [En Línea]

(Consultado en el 2008)

<http://www.unicrom.com/Tut_unidades.asp>

- [44] Potencia, Definición y Detalles Conceptuales [En Línea]

(Consultado en el 2008)

<<http://www.jfinternational.com/mf/potencia.html>>

- [45] Mastermagazine

- 2004 Definición de frecuencia [En Línea]

(Consultado en el 2008)

<<http://www.mastermagazine.info/termino/5076.php>>

- [46] Diccionario Informático

- 2008 Definición de LCD [En Línea]

(Consultado en el 2008)

11<<http://www.alegsa.com.ar/Dic/lcd.php>>

- [47] PC Magazine Encyclopedia

- 2008 Revista Tecnológica Online

Definition of PWM [En Línea]

(Consultado en el 2008)

<http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,2542,t=_PWM&i=49992,00.asp>

- [48] Ruiz Robredo, Gustavo A

- 2001 Electrónica Básica para Ingenieros

Facultad de Ingeniería, Universidad de Cantabria

Santander, España

[49] Concepto de Onda

2000 Las ondas y sus características

José Villasuso Gato

<http://usuarios.lycos.es/pefeco/ondas0_indice.htm>

[50] Whinnery, Jhon R.

1987 Lasers: Invention to Application

Symposium Chairman

National Academy of Engineering press

Washington DC, 1987

[51] Bishop, James,Jr

1999 Cancer Facts : A Concise Oncology Text

CRC Press

Amsterdam, Netherlands

[52] Chukuka S. Enwemeka

2008 Editorial: Standard Parameters in Laser Phototherapy

Photomedicine and Laser Surgery

Mary Ann Liebert Inc Publishers

New York, USA

[53] Navratil, Leos and Kymplova, Jaroslava

2002 Contraindications in Noninvasive Laser Therapy: Truth and Fiction

Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery

Volume 20,Number 6, 2002

Mary Ann Lieber Inc Publishers

New York, USA

[54] Enwemeka, Chukuka S. and Parker, Jason and Dowdy, David and Harkness, Erin

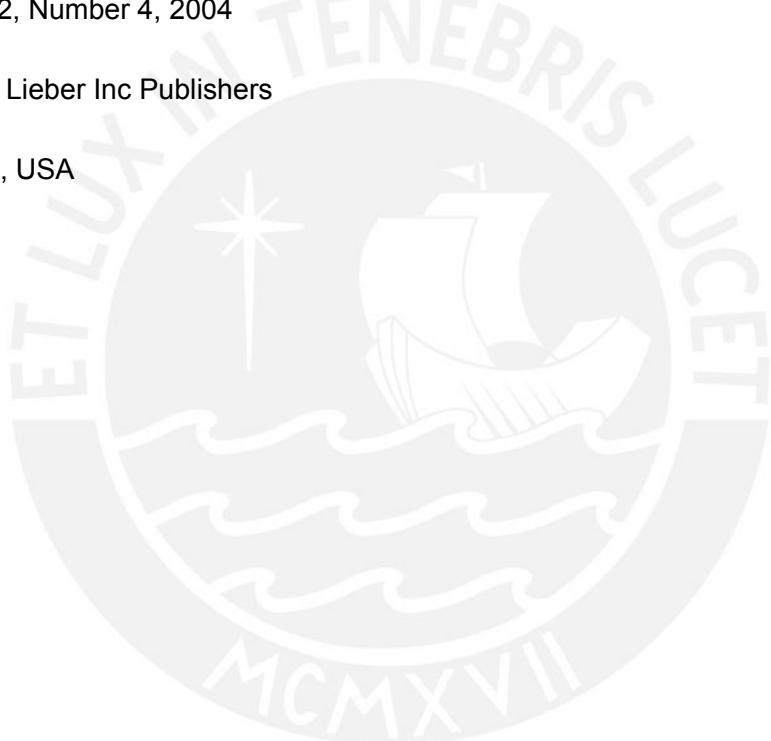
2004 The Efficacy of Low-Power Lasers in Tissue Repair and Pain Control: A Meta-Analysis Study

Journal of Clinical Laser Medicina & Surgery

Volume 22, Number 4, 2004

Mary Ann Lieber Inc Publishers

New York, USA



ANEXOS

1. Hoja de datos diodo 1N5399
2. Hoja de datos Transistor 2N3904
3. Hoja de datos B1370
4. Hoja de datos Reguladores de Voltaje 78XX
5. Hoja de datos del ATMEGA8
6. Hoja de Datos IRFZ44N
7. Hoja de datos LCD
8. Hoja de datos Diodo Láser 650nm Clase IIIA
9. Hoja de datos inversor 7406N
10. Hoja de datos diodo Láser 940 nm
11. Programa generación Onda PWM (extensión .asm)
12. Programa generación Onda PWM (extensión .prj)
13. Diagrama de bloques del dispositivo
14. Carátula
15. Tema de Tesis
16. Documento de Tesis
17. Diagrama esquemático y tarjetas