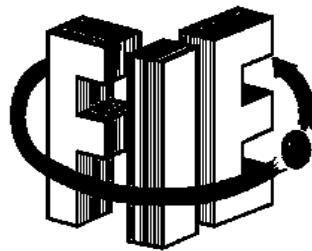




Universidad
Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo



Facultad de Ingeniería Eléctrica

“REACONDICIONAMIENTO DE SILLÓN ODONTOLÓGICO”

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

DIEGO INCAPIE MARTINEZ

Asesor de tesis:

M.C. ISRAEL LUNA REYES

MORELIA MICHOACÁN, MARZO 2023

Agradecimientos

Para mis padres y hermanos ya que con su apoyo incondicional fue posible llegar a esta etapa de mi vida

A mis maestros ya que cada uno de ellos hicieron que tuviera perspectivas diferentes, pero siempre con un mismo fin.

A mi asesor de tesis por el apoyo, paciencia, dedicación, aprendizaje y consejos que tuvo hacia mí los cuales fueron relevantes para el término de este trabajo.

También sinceros agradecimientos a la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UMSNH por la oportunidad de permitir concluir con mi carrera.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado principalmente a mis padres: Noé Incapie y Lilia Martínez, por brindarme su amor, su comprensión, y confianza los cuales fueron un impulso para concluir mi carrera.

A mis hijos Diego y Alejandro, para que cada una de mis metas alcanzadas les quede como ejemplo.

Reciban mi gratitud y amor.

Muchas Gracias.

Contenido

Agradecimientos	2
Dedicatoria.....	3
Contenido	4
Resumen	6
Palabras clave.....	6
Abstract.....	7
Keywords	7
Lista de Figuras	8
Capítulo 1. – Introducción.....	10
1.1.-Introducción.....	10
1.2.-Antecedentes	11
1.3.-Justificación.....	12
1.4.-Objetivo	12
1.5.-Metodología.....	13
Capítulo 2 - Marco teórico	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Principio de funcionamiento	14
2.2.1 Operación del Equipo.....	15
Accionamiento del reflector	16
Movimiento automático para la posición vuelta a cero	16
Accionamiento de las posiciones de trabajo	16
Memorización de las posiciones de trabajo	16
2.3 Descripción de los motores.....	17
2.4 Sentido de giro y límite de los motores.....	18
2.5 Tarjeta de control	19
Etapa de potencia	19
Etapa de control	19
Capítulo 3 Hardware implementado.....	20
3.1.- Introducción.....	20

3.2.- Software de diseño de PCBs,	20
3.3.- Etapa de potencia: puente rectificador, transformador y su conexión con los motores a través de relés	27
3.3.1 Puente rectificador	27
3.2.2 Transformador.....	28
3.2.3 Conexión etapa de potencia	29
3.4.- Etapa de control de posición de los motores (encoders).	30
3.4.1.- Microcontrolador MINI V3 ATMega328	33
3.4.3.- Conexión del pedal de control	33
3.4.4.- Conexión a los relés	35
3.4.5.- Conexión al relé de luminaria	36
Capítulo 4 Software desarrollado.....	37
4.1.- introducción	37
4.2.- Programa principal	37
4.2.1 Subir/bajar sillón.....	37
4.2.2 Subir/bajar respaldo	38
4.2.3 Luminaria.....	38
4.2.4 Censado de posición de los motores.....	39
Capítulo 5 Pruebas y resultados	40
Capítulo 6 Conclusiones.....	43
Capítulo 7 Referencias	44

Resumen

El equipamiento más utilizado por un profesionista odontológico requiere ofrecer la mayor comodidad al paciente durante una consulta dental, pero sobre todo tiene como función principal facilitar el trabajo al equipo profesional.

Es por ello que contar con un sistema de control confiable en una unidad dental es de suma importancia con el fin de asegurar un trabajo satisfactorio y de calidad.

El presente trabajo consiste en el reacondicionamiento de una tarjeta de control de una unidad dental de la Facultad de Odontología incorporada a la U.M.S.N.H., el cual comprende la creación y cambio de partes de hardware de la propia tarjeta del sillón, reutilización de controladores, motores y uso de software de diseño.

Palabras clave

Sillón Odontológico, Hardware, Motor CD, Potencia, Software, Microcontrolador, Eagle, Arduino.

Abstract

The equipment most used by a dental professional requires offering the greatest comfort to the patient during a dental consultation, but above all its main function is to facilitate the work of the professional team.

That is why having a reliable control system in a dental unit is of the most importance in order to ensure satisfactory and quality work.

This thesis consists of the reconditioning of a control card of the Faculty of Dentistry incorporated into the UMSNH, which includes the creation and change of hardware parts of the chair card itself, reuse of controllers, motors and use software for design.

Keywords

Chair, Redesign, Dental, Hardware, DC Motor, Power, Software, Microcontroller, Eagle, Arduino.

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo actual de un sillón odontológico	10
Figura 2 evolución de la unidad dental	11
Figura 3 partes de una unidad dental	14
Figura 4 pedal con botoneras.....	15
Figura 5 botones de la pedalera.....	15
Figura 6 características del motor del sillón odontológico	17
Figura 7 interruptores mecánicos.....	18
Figura 8 tarjeta de control original.....	19
Figura 9. PCB con y sin componentes ensamblados	20
Figura 10 ELEMENTOS DE UNA PCB.....	20
Figura 11 CORTE TRANSVERSAL DE UNA PCB.....	21
Figura 12 PISTAS DE COBRE DE PCB	21
Figura 13 DIFERENTES CAPAS SOLDERMASK DE PCB	22
Figura 14 DIFERENTES CAPAS SOLDERMASK DE PCB	22
Figura 15 SERIGRAFÍA DE UNA PCB	23
Figura 16 CAPAS TOP Y BOTTOM DE UNA PCB DE 1 CAPA DE COBRE	23
Figura 17 CAPAS TOP Y BOTTOM EN UNA PCB DE 2 CAPAS DE COBRE	24
Figura 18 VÍAS DE UNA PCB	24
Figura 19 LOGO DEL SOFTWARE EAGLE	25
Figura 20 CONVERSIÓN DE ESQUEMÁTICO A PCB EN EAGLE	26
Figura 21 ULP 'PCB-GCODE' DE EAGLE (GROUPS.IO, 2018) [5]	26
Figura 22Puente de diodos	27

Figura 23 Onda rectificada	27
Figura 24 Onda filtrada.....	28
Figura 25Representación de la tensión en corriente continua [6]	28
Figura 26 Dos terminales para el bobinado primario y dos para el bobinado secundario o tres si tiene tap o toma central [7]	29
Figura 27 Conexión etapa de potencia	29
Figura 28 Funcionamiento de las resistencias pull-up.....	34
Figura 29 Configuración de la pedalera	34
Figura 30 Circuito para el respaldo	35
Figura 31 Circuito para el asiento	35
Figura 32 Circuito para luminaria	36
Figura 33 Definición de variables	37
Figura 34 Subir/bajar sillón.....	38
Figura 35 Subir/bajar respaldo	38
Figura 36 Código luminaria	38
Figura 37 Código censado de posición de los motores	39
Figura 38 Tarjeta de control diseñada	40
Figura 39 Diseño de PCB parte delantera	41
Figura 40 Diseño del PCB parte trasera	41
Figura 41 Tarjeta terminada y conectada	42

Capítulo 1. – Introducción

1.1.-Introducción

Un sillón odontológico o unidad dental (ver Figura 1) es el mobiliario más importante dentro de una clínica dental, ya que es la herramienta principal del área de trabajo del odontólogo y su equipo de apoyo, es donde se trabaja con el paciente para el tratamiento que vaya a recibir. Estos sillones tienen la peculiaridad de ser ajustables en altura y posición para lograr una precisión total en la colocación del paciente, facilitando así el campo visual bucal del odontólogo.



FIGURA 1. MODELO ACTUAL DE UN SILLÓN ODONTOLÓGICO

El diseño de la unidad dental debe ofrecer algunas condiciones que permitan la facilidad de control, de iluminación y la máxima comodidad al paciente, sin que esto interfiera en los movimientos del personal. Para lo primero se utilizan dos motores eléctricos, uno para el movimiento rotacional del sillón y otro más para la altura, estos se operan a través de la tarjeta de control; lo segundo, se realiza con el apoyo de la lámpara dental y, a su vez, esta no debe interferir en la libre circulación del personal ni en el ascenso y descenso del paciente.

1.2.-Antecedentes

Los sillones odontológicos han mostrado una tendencia evolutiva significativa en los últimos años (como se muestra en la figura 2), en sus inicios permitían el trabajo con el paciente sentado, luego aparecieron con diferentes posiciones en el respaldo y conforme pasó el tiempo hubo un aumento de los dispositivos y control de los movimientos del asiento y del respaldo, lo cual posibilitó la realización de actividades con el paciente acostado en la unidad dental.



FIGURA 2 EVOLUCIÓN DE LA UNIDAD DENTAL

Cabe mencionar que la evolución del sillón dental se encuentra ampliamente ligada con la incorporación de elementos eléctricos y de control a través del tiempo, y ha permitido mejorar satisfactoriamente las condiciones de trabajo del profesional en la realización de tratamientos a los pacientes, quienes también han sido favorecidos con estos avances tecnológicos. Es necesario destacar la importancia del proceso evolutivo desde los primeros procedimientos dentales realizados en el piso, donde no era inusual que el dentista le pidiera al paciente que se recostara en el suelo mientras realizaba una extracción dental o si necesitaba tener un mejor acceso a los dientes del paciente. Luego en sillas adaptadas, donde el dentista ejercía su profesión de pie, hasta los modernos y confortables sillones dentales con una mejor posición del cirujano dentista, que favorece la calidad de los tratamientos y los cambios de postura que disminuyen las enfermedades musculares del operador para lograr un mejor resultado en la atención dental. [1]

En la actualidad el sillón dental tiene que permitir las posiciones de trabajo más confortables para que el cirujano dentista brinde la mejor atención al paciente, es por ellos que cambian constantemente y continúan ofreciendo nuevos beneficios para pacientes y dentistas en donde se tenga el control total y se pueda realizar de manera segura procedimientos dentales complejos como procedimientos de cirugía dental a pequeña escala.

Por esta y algunas otras razones, es necesario un sistema de control dentro de una unidad dental ya que con ello se puede ofrecer el máximo confort al profesional/paciente a fin de optimizar el trabajo odontológico.

1.3.-Justificación

En la Facultad de Odontología se cuenta con una gran cantidad de sillones para que los alumnos realicen sus prácticas odontológicas, los cuales están sujetos a un estrés de operación superior al que normalmente deberían de estar y que nos proporciona el fabricante en los manuales de operación e instrucciones, por lo que la tarjeta de control presenta sobreuso para el cual no está diseñado (un sillón odontológico podría estar pensado para atender aproximadamente 4 pacientes que sean sometidos a); estos sillones suelen operar desde las 7am hasta las 8pm, tiempo durante el cual se reposicionan constantemente.

Las fallas que presenta estos sillones son:

- Los botones de control no ajustan la silla (subir o bajar el sillón o el respaldo sea el caso), debido al sobreuso o por falla eléctrica.
- El sistema programado en el controlador del sillón, suele bloquear el movimiento del mismo, por lo que se requiere recalibrar.
- Al estar en un ambiente húmedo, las tarjetas de control suelen presentar corrosión en algunas partes, lo que genera cortos o fallas en las mismas.

Además del trabajo diario a los que son sometidos los sillones, los alumnos realizan actividades para los cuales no están diseñados causando sobreesfuerzos a los mismos, sin que el sistema de control pueda limitar dichas acciones.

1.4.-Objetivo

El objetivo de esta tesis radica en el rediseño de una tarjeta de control para la unidad dental, descrita anteriormente, con que cuenta la Facultad de Odontología de la UMSNH, para lo cual se plantean los siguientes puntos:

- Comprender la operación del sillón con su sistema original.
- Diseñar y construir un primer prototipo, para pruebas y mejoramiento de características.
- Construir un prototipo final, que resuelva los inconvenientes planteados por los profesores usuarios de los sillones odontológicos.

1.5.-Metodología

El presente trabajo realizado se estructura en seis capítulos, el desarrollo de los cuales se realizó bajo la investigación y lectura de artículos técnicos en internet, hojas de datos, documentación oficial, así como algunos otros recursos.

En términos generales, se abordará de la siguiente manera:

- Capítulo I - Introducción. Plantea objetivos y razones de la importancia por la que se ha realizado este proyecto, así como algunos breves antecedentes relacionados a este trabajo.
- Capítulo II - Marco teórico. Se detalla el funcionamiento general del sillón odontológico, así como las características de los elementos electromecánicos que lo componen.
- Capítulo III - Hardware Implementado. Se explica a detalle los elementos con los que cuenta el sillón, los componentes obsoletos, y elementos a introducir para su correcto funcionamiento.
- Capítulo IV - Software desarrollado. Se menciona los programas utilizados para desarrollar el sistema de control de movimientos y luminaria, así como el diseño de piezas y PCBs (Printing Circuit Boards – Placas de Circuito Impresos).
- Capítulo V - Pruebas y resultados. Se muestra las pruebas que se realizaron con el sillón odontológico, así como los resultados que se generaron de dichas pruebas.
- Capítulo VI - Conclusiones. Se exponen los argumentos y afirmaciones obtenidas al poner a prueba el sillón odontológico, así como algunas propuestas de trabajos futuros.

Capítulo 2 - Marco teórico

2.1 Introducción

En este capítulo se abordará la teoría necesaria para conocer la forma de uso de la unidad dental y de esa manera entender el principio de funcionamiento de este equipo, con la finalidad de conocer su operación normal, y poder explicar con detalle los componentes usados en el desarrollo de este trabajo.

2.2 Principio de funcionamiento

Se trata de un sillón anatómico, regulable en altura e inclinación con varias posiciones para poder acomodar al paciente en función de su talla, de modo que el odontólogo pueda controlar dichos movimientos mediante un pedal; en la siguiente figura se muestra un sillón similar al utilizado en la Facultad de Odontología:



- | | |
|---------------------------------|--|
| 01 - Respaldo de cabeza | 06- Llave general - Botón conecta/
desconecta |
| 02 - Respaldo tórax | 07 -Base |
| 03- Apoyo de brazo | 08 -Debrum (protección contra oxidación) |
| 04 - Asiento | 09 - Pedal |
| 05 - Capa acabamiento del motor | |

FIGURA 3 PARTES DE UNA UNIDAD DENTAL

Dado que este trabajo está enfocado en la parte del sistema de control del sillón, no enfocamos especialmente en el pedal, el cual controla los movimientos de subir/ bajar asiento y respaldo, así como el accionamiento del reflector (ver figura 4).

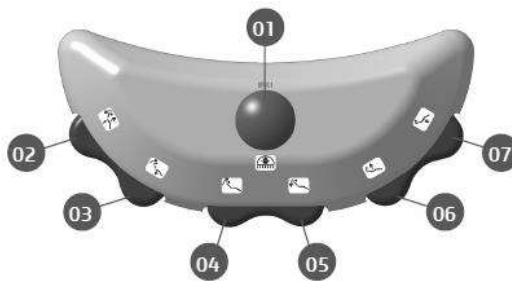


- 3 Posiciones de trabajo;
- Posición vuelta a cero
- Baja asiento/Sube asiento/Baja respaldo /Sube respaldo;
- Accionamiento del reflector.

FIGURA 4 PEDAL CON BOTONERAS

2.2.1 Operación del Equipo

El funcionamiento del pedal mostrado (Ver Figura 4) está compuesto por siete botones, los cuales se describen en la siguiente figura (ver Figura 5)



- 01 – Accionamiento Reflector
- 02 – Posiciones de trabajo
- 03 – Vuelta a cero
- 04 – Sube respaldo
- 05 – Baja respaldo
- 06 – Sube asiento
- 07 – Baja asiento

FIGURA 5 BOTONES DE LA PEDALERA

Accionamiento del reflector

El reflector o lámpara de la unidad dental, se controla mediante el botón 1; si se presiona momentáneamente, se enciende o se apaga la lámpara.

Este botón posee una segunda función, en la cual, si se mantiene presionado por más de 2 segundos, controla la intensidad de la lámpara.

Movimiento automático para la posición vuelta a cero

La posición vuelta a cero es la posición de mayor confort para que el paciente entre/salga del sillón, se controla mediante el botón 3 y si se acciona este botón el asiento y el respaldo simultáneamente vuelven a cero, es decir, a su posición inicial.

Para interrumpir el movimiento, se presiona rápidamente el botón 3 o cualquier otro botón.

El reflector se desconectará automáticamente después de presionar este botón.

Accionamiento de las posiciones de trabajo

El botón 2 acciona una posición de trabajo, es decir, se utiliza para seleccionar una posición en la unidad dental previamente guardada, con lo cual se hace de la siguiente manera:

- Al presionar el botón 2 con un toque simple, se selecciona la posición de trabajo 1
- Al presionar el botón 2 con un toque doble, se selecciona la posición de trabajo 2
- Al presionar el botón 2 con un toque triple, se selecciona la posición de trabajo 3

Después de soltar la tecla el asiento y el respaldo del Sillón se moverán simultáneamente hasta la posición de trabajo escogida y el reflector en la intensidad programada.

Para interrumpir el movimiento, basta accionar cualquier otro comando en el pedal.

Memorización de las posiciones de trabajo

Este sillón presenta tres posiciones de trabajo programables. El programa se hace de la siguiente forma:

1. Primero se coloca el sillón en la posición de trabajo deseada;
2. Después manteniendo presionado el botón 2, se emitirán 3 señales sonoras y enseguida una señal sonora larga, indicando el modo de programación.
 - Para memorizar la posición de trabajo 1, se suelta el botón después de la emisión del primer bip (simple)
 - Para memorizar la posición de trabajo 2, se suelta el botón después de la emisión del segundo bip (doble)
 - Para memorizar la posición de trabajo 3, se suelta el botón después de la emisión del tercer bip (triple)

Es posible memorizar la intensidad del reflector junto con la posición de trabajo colocándolo en la intensidad deseada antes de iniciar la memorización. [2]

2.3 Descripción de los motores

La unidad dental consta de dos motores de corriente directa (CD), por tanto, se sabe que un motor de CD es una máquina que convierte energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción de un campo magnético.

El motor se compone, principalmente, de dos partes:

- Estator: parte que da soporte mecánico al aparato y contiene los polos de la máquina, que pueden ser devanados de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro o imanes permanentes.
- Rotor: es un componente generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa a través del colector formado por delgas. Las delgas se fabrican generalmente de cobre y están en contacto alternante con las escobillas fijas. [3]

Es posible controlar la velocidad y el par de estos motores utilizando técnicas de control de motores de corriente continua, como el PWM que es un control que regula la velocidad de giro en los motores DC, el sentido de rotación y el frenado del motor.

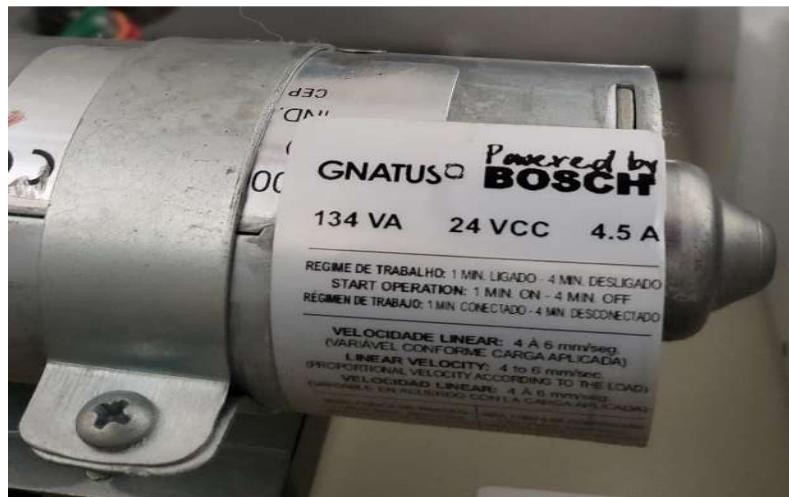


FIGURA 6 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DEL SILLÓN ODONTOLÓGICO

En la figura 6 se muestra el motor que utiliza el sillón, el cual requiere ser alimentado por un voltaje de 24 volts a 4.5 amperes, teniendo un ciclo de trabajo de 1 minuto conectado por 4 minutos de descanso.

Sobrepasar el ciclo de trabajo del motor puede causar problemas de rendimiento además de daños a la tarjeta de control, es por ello que es importante respetar los parámetros dados por el fabricante, en el caso de los sillones odontológicos utilizados para hacer prácticas escolares, están expuestos a un ritmo de trabajo superior al que están diseñados por el uso continuo que le dan los alumnos en la mayoría de los casos al jugar con los equipos, es por ello que tienen un desgaste y la tarjeta puede presentar fallas así como perdida de eficiencia del motor eléctrico.

2.4 Sentido de giro y límite de los motores

La tarjeta de control permite controlar el sentido de giro de los motores, en este caso se controla activando 2 relés para cada motor ya sea izquierda o derecha. además de limitar el rango de movimiento de los mismos, mediante 2 interruptores mecánicos colocados en la base del motor (ver figura 7).



FIGURA 7 INTERRUPTORES MECÁNICOS

También posee elementos de filtrado de CD, ya que, al operar con el motor, este suele generar picos de voltaje inversos que pueden dañar a los elementos de alimentación de la tarjeta.

2.5 Tarjeta de control

La tarjeta de control es la que sirve de enlace entre la botonera la cual el usuario utilizará para ajustar a sus distintas necesidades la unidad dental, y el sistema de motores, así como la luminaria. Existen diferentes tipos de tarjetas, pero su apariencia es la de cualquier circuito impreso, a continuación, se muestra en la siguiente figura la tarjeta original de la unidad dental:



FIGURA 8 TARJETA DE CONTROL ORIGINAL

Dentro de los elementos más relevantes de la placa se pueden identificar dos etapas de las cuales se describen a continuación:

Etapa de potencia

- Transformador de 127VAC/36VAC con tap central
- Diodos rectificadores de 3 Amperes a 1000V
- Capacitores electrolíticos para filtrar la señal de voltaje.
- Relevadores para alimentar los motores.
- Reguladores de voltaje de +5V y +12V para las etapas de control y relevadores.

Etapa de control

- Microcontrolador PIC: es el elemento de control donde se guardan las configuraciones del sillón, así como el que ejecuta el accionamiento de los relevadores cuando se presiona alguno de los botones.
- Sensores de giro de los motores
- Pedalera para controlar el sillón
- Señales de salida para controlar los relevadores, y a su vez, los motores.

Capítulo 3 Hardware implementado

3.1.- Introducción

En este capítulo se explica el hardware desarrollado para el sistema de control del sillón odontológico, haciendo énfasis en las placas de control que permite el funcionamiento de este, así como el hardware adaptado y diseñado requerido para este trabajo: unidad de control o controlador, interruptores de paro, herramienta de trabajo y sistema de iluminación.

3.2.- Software de diseño de PCBs,

Una tarjeta de circuito impreso o también llamada PCB (*Printed Circuit Board*), es una placa o superficie, donde se montan (ensamblan) y conectan eléctricamente los diversos componentes electrónicos por medio de pistas de cobre. Las siguientes imágenes muestran en la parte de arriba, una PCB con sus componentes ensamblados y en la parte de abajo la PCB sin componentes.



FIGURA 9. PCB CON Y SIN COMPONENTES ENSAMBLADOS

Las PCBs diseñadas contienen algunos elementos o capas que dependiendo del trabajo que vayan a realizar así será su creación. En la imagen siguiente se muestra algunos de ellos.

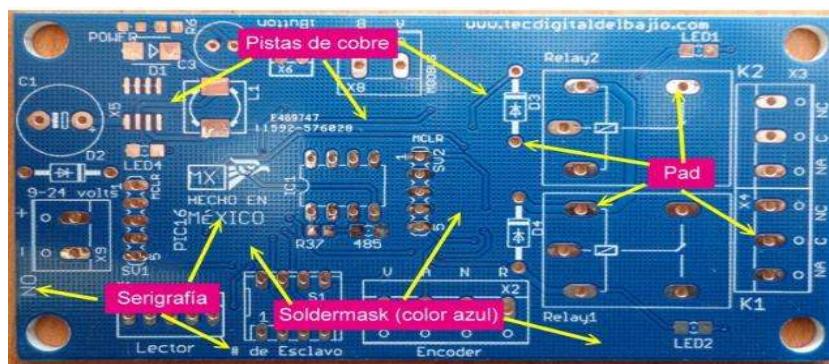


FIGURA 10 ELEMENTOS DE UNA PCB

La siguiente imagen muestra una ampliación de un corte transversal de una PCB, donde se observan algunas de estas partes.

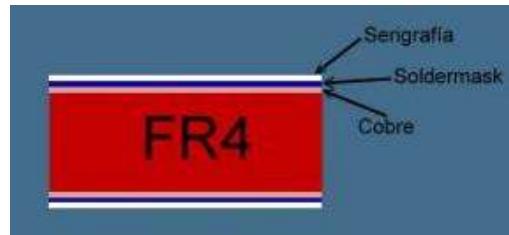


FIGURA 11 CORTE TRANSVERSAL DE UNA PCB

El material base donde se depositan todos los componentes de la PCB es comúnmente fibra de vidrio o también llamado FR4, él cuál le da al circuito impreso su rigidez y grosor (aunque también hay PCB flexibles).

Pistas de cobre: la PCB está formada por pistas de cobre que interconectan los componentes electrónicos, y es por estas por donde circula la corriente eléctrica.

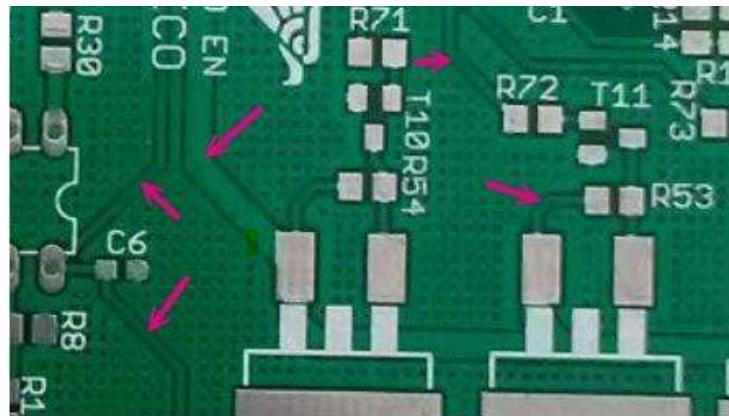




FIGURA 13 DIFERENTES CAPAS SOLDERMASK DE PCB

La máscara antisoldante se usa para recubrir todas las pistas de cobre para así evitar su oxidación, se deja sin máscara, la parte donde se soldán los componentes llamada PAD, todo lo demás se recubre. La máscara también sirve para aislar las conexiones de cobre y evita cortos circuitos cuando se realiza el ensamble o soldado de los componentes, o cortos circuitos si la PCB toca accidentalmente otros metales.

PAD: son las porciones de la pista de cobre donde se soldán los componentes, los hay de dos tipos los llamados PAD para componentes "through hole" y los PAD para componentes SMD (Dispositivo de Montaje Superficial). En la siguiente imagen muestra ambos PADs.



FIGURA 14 DIFERENTES CAPAS SOLDERMASK DE PCB

Los componentes que son “through hole” atraviesan la PCB (son componentes con “patitas”) y casi siempre se ensamblan por abajo y los componentes SMD generalmente se soldán en la parte de arriba, eso implica pues que haya dos capas de cobre, una en la parte de abajo y otra en la parte de arriba.

Serigrafía: también llamada Silkscreen en inglés, es una capa que se coloca encima de la SolderMask, y sirve para agregar nombres, símbolos o letreros a la PCB, algunos de estos símbolos, sirven para identificar los componentes y sea más fácil el ensamble.

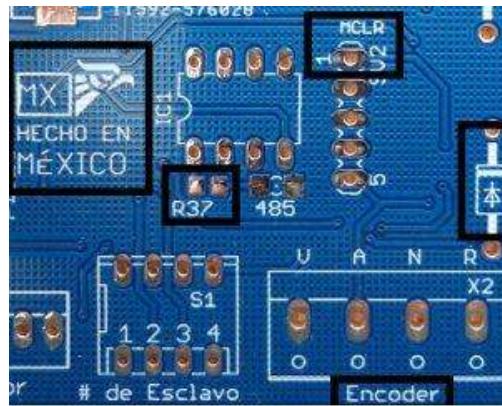


FIGURA 15 SERIGRAFÍA DE UNA PCB

En la imagen, se observa el logo de “Hecho en México”, la “R37” denota que ahí se va a soldar una resistencia, a la derecha se nota dibujado el diodo, así se sabe fácilmente cuál es su ánodo y cátodo. El diseñador puede colocar lo que se requiera en esta capa.

Capas en una PCB

Las tarjetas de circuitos impresos se pueden diseñar con una o varias capas de cobre, estas capas, o en inglés “layers”, pueden ser de 1 capa de cobre, donde los componentes están por la parte superior (capa llamada TOP) y se soldan por la parte inferior (BOTTOM).

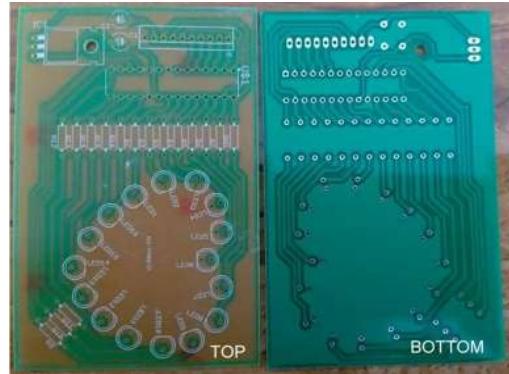


FIGURA 16 CAPAS TOP Y BOTTOM DE UNA PCB DE 1 CAPA DE COBRE

También, existen PCBs de 2 capas, como en la siguiente imagen, donde hay pistas de cobre en la parte superior y en la parte inferior.

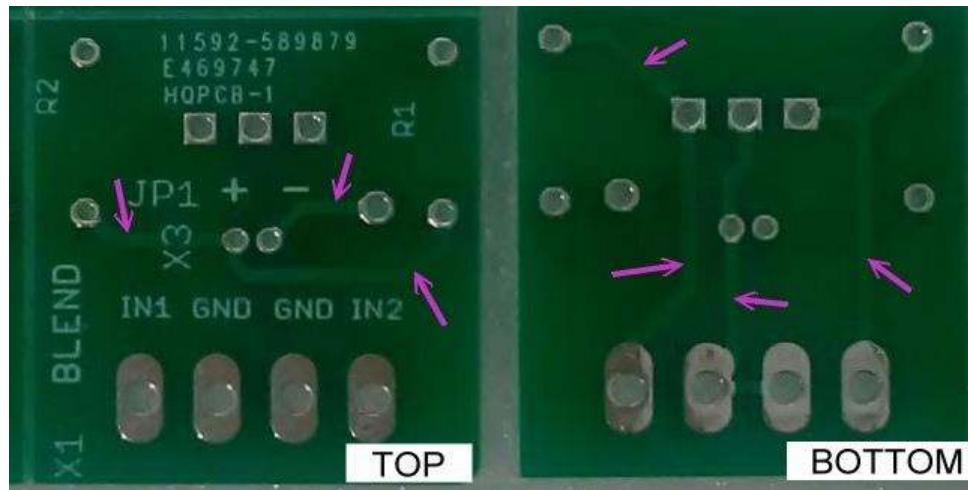


FIGURA 17 CAPAS TOP Y BOTTOM EN UNA PCB DE 2 CAPAS DE COBRE

Vías: son el medio de comunicación entre la capa superior con la inferior de una PCB, es una perforación metalizada que sirve para interconectar las pistas de la parte superior con las pistas de la parte inferior, y así tener circulación de corriente eléctrica, en ambas capas. En la imagen siguiente se remarcán con flechas, las vías.

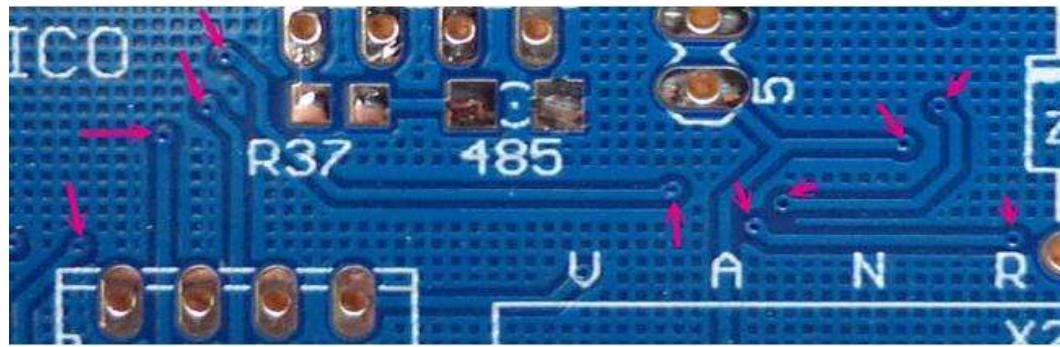


FIGURA 18 VÍAS DE UNA PCB

Una vez visto en que consiste las PCBs se explica el software que se utiliza en este trabajo para el diseño de estas. [4]

Software Eagle

Existen varios softwares para el diseño de PCBs, uno de los más utilizados se denomina Eagle y está desarrollado por la compañía Autodesk®.



FIGURA 19 LOGO DEL SOFTWARE EAGLE

Eagle es un software destinado al diseño de placas de circuito impreso (PCBs), es un software para automatización del diseño electrónico (EDA). Permite a los diseñadores de circuitos impresos conectar sin problemas diagramas esquemáticos, ubicación de componentes, enrutamiento de circuitos impresos y contenido completo de bibliotecas [58].

El software Eagle ocupa algunos requisitos para su instalación y dependiendo el sistema operativo en el que se va instalar deben cubrirse estos. En la siguiente tabla se muestra los requisitos a cumplir dependiendo el sistema operativo.

Sistema operativo	Requisitos
Windows	Se requiere Microsoft® Windows® 7 o posterior. Requiere un sistema operativo de 64 bits.
Linux	Linux® basado en el kernel 2.6 para equipos Intel, X11 con una profundidad de color mínima de 8 bpp y las bibliotecas en tiempo de ejecución libssl.so.1.0.0, libcrypto.so.1.0.0 y CUPS para la impresión. Requiere un sistema operativo de 64 bits y libc.so.6 con la versión secundaria GLIBC_2.14 o posterior.
Mac	Apple® Mac OS® X 10.10 o posterior para equipos Intel.
Todos los sistemas operativos	Una resolución gráfica mínima de 1024 x 768 píxeles y, preferiblemente, un ratón con rueda de 3 botones.

TABLA 1 REQUISITOS DE SISTEMA OPERATIVO PARA EAGLE (AUTODESK, S.F.)

Eagle es famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware, es decir, una licencia de uso, que permite su redistribución, pero con algunas restricciones, como la no modificación del software o la venta de la misma. Además de una gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red.

Básicamente el software Eagle se utiliza haciendo un esquemático del circuito y posteriormente pasarlo a un diseño en PCB para observar las trayectorias y demás características de la PCB.

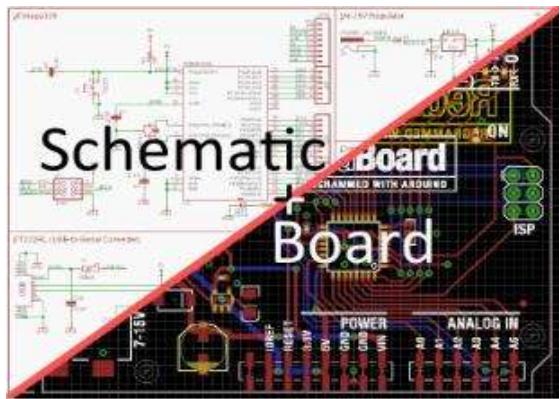


FIGURA 20 CONVERSIÓN DE ESQUEMÁTICO A PCB EN EAGLE

Teniendo el diseño en PCB, Eagle contiene una herramienta que permite generar código G para usar con fresadoras CNC o enrutadores, permitiendo grabar mecánicamente placas de PCB, perforarlas y fresarlas, evitando la fabricación de los mismos diseños realizados con productos químicos.

Esta herramienta se llama 'pcb-gcode' el cual es un programa de lenguaje de usuario o "ULP" (User Language Programs) que es una de varias herramientas que contiene el software Eagle.

El lenguaje ULP permite a un usuario generar acciones, subprocessos, o cualquier otra cosa que necesite el usuario, y que EAGLE no posea como función básica.

En el ULP 'pcb-gcode' permite configurar los parámetros de la máquina como la profundidad de desbaste, velocidades de los ejes de movimiento, ancho de la broca, etc. Así como la elección de generar las capas de la PCB.

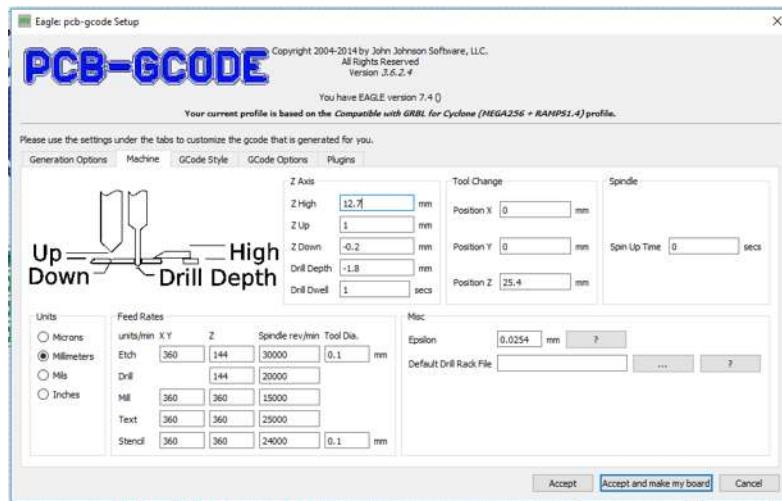


FIGURA 21 ULP 'PCB-GCODE' DE EAGLE (GROUPS.IO, 2018) [5]

3.3.- Etapa de potencia: puente rectificador, transformador y su conexión con los motores a través de relés

En esta etapa se analizan los elementos en los que el circuito entrega el voltaje rectificado necesario para que el sistema pueda operar de forma adecuada.

3.3.1 Puente rectificador

El puente rectificador es un circuito electrónico usado en la conversión de corriente alterna en corriente continua, se compone de 4 diodos, suelen ser diodos rectificadores dado que estos al aplicar una tensión eléctrica positiva del ánodo respecto a negativa en el cátodo (polarización directa) toma las características de un diodo rectificador básico, al conectarlos según el siguiente esquema:

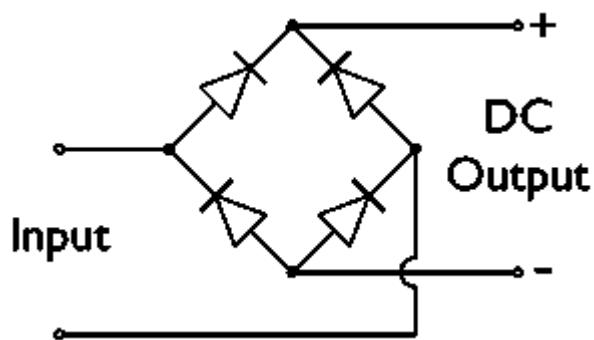


FIGURA 22 PUENTE DE DIODOS

Con este esquema se consigue de la corriente alterna la onda positiva y la negativa separadas y convirtiéndola (rectificándola) en corriente continua.

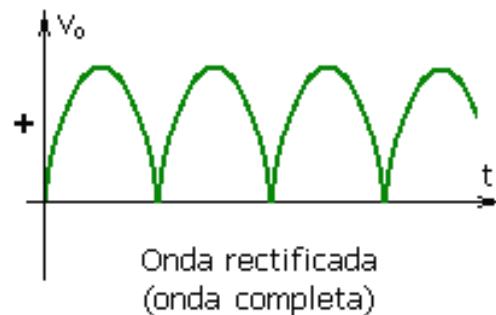


FIGURA 23 ONDA RECTIFICADA

Sin embargo, se produce un efecto llamado rizado que es una ondulación traducida en variación de voltaje, para poder usar en equipos electrónicos correctamente con corriente continua se necesita como mínimo un filtro que corrija ese rizado, para ello se utiliza un condensador electrolítico el cual produce en el momento de bajada de voltaje una realimentación, eliminando el efecto:



FIGURA 24 ONDA FILTRADA

Aun así, la onda requiere de un filtrado para que sea totalmente continua, para ello se suele utilizar un regulador de tensión o voltaje consiguiendo una onda aceptable para su uso:

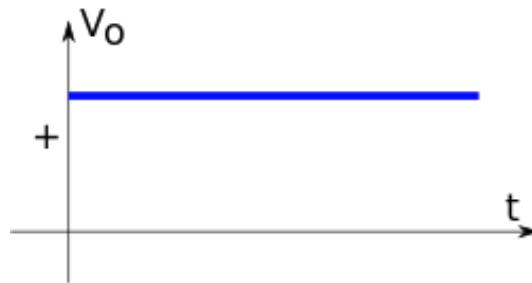


FIGURA 25 REPRESENTACIÓN DE LA TENSIÓN EN CORRIENTE CONTINUA [6]

3.2.2 Transformador

El transformador es un elemento eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

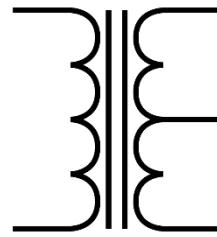


FIGURA 26 DOS TERMINALES PARA EL BOBINADO PRIMARIO Y DOS PARA EL BOBINADO SECUNDARIO O TRES SI TIENE TAP O TOMA CENTRAL [7]

3.2.3 Conexión etapa de potencia

El circuito para la conexión comienza conectando el tap 1 y el tap 2 del transformador en la entrada del puente de diodos y con ello obtener una salida +HV, el cual alimentará a los motores a través de los relevadores.

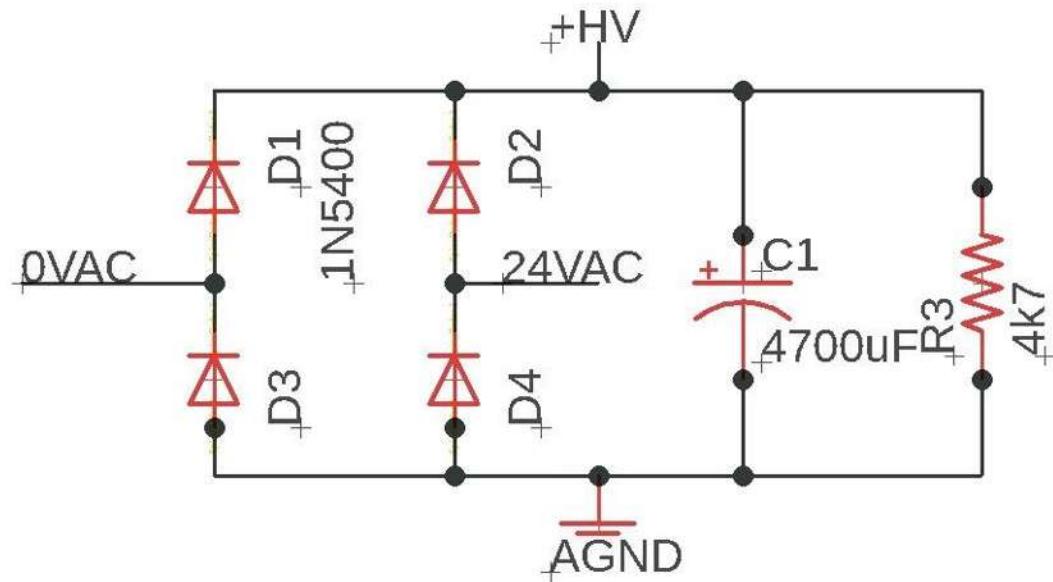


FIGURA 27 CONEXIÓN ETAPA DE POTENCIA

3.4.- Etapa de control de posición de los motores (encoders).

El encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica sirve para indicar la posición angular de un eje, velocidad y aceleración del rotor de un motor.

Se compone básicamente de un disco conectado a un eje giratorio. El disco está hecho de vidrio o plástico y se encuentra “codificado” con unas partes transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por la fuente de luz (típicamente emisores infrarrojos). En la mayoría de los casos, estas áreas bloqueadas (codificadas) están arregladas en forma radial.

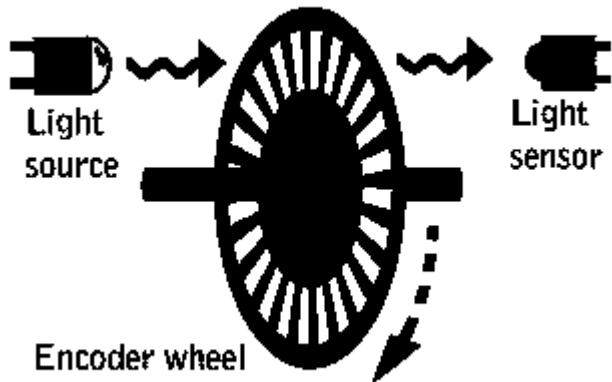


FIGURA 28 FUNCIONAMIENTO ENCODER ÓPTICO

A medida que el eje rota, el emisor infrarrojo emite luz que es recibida por el sensor óptico (o foto-transistor) generando los pulsos digitales a medida que la luz cruza a través del disco o es bloqueada en diferentes secciones de este. Esto produce una secuencia que puede ser usada para controlar el radio de giro, la dirección del movimiento e incluso la velocidad.

Los opto interruptores son sensores sencillos. Uno de los extremos contiene un diodo emisor de infrarrojos, mientras que el otro contiene un fototransistor que recibe la señal. Cuando un objeto pasa por la ranura interrumpe el rayo de luz infrarroja, lo que es detectado por el fototransistor.

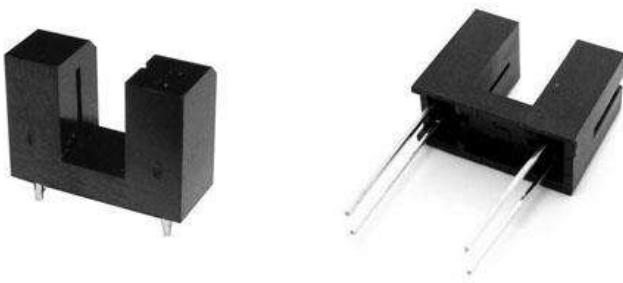


FIGURA 29 OPTO INTERRUPTORES

Los opto interruptores son muy empleados como encoder para detectar la velocidad de giro y posición del eje de un motor. Para ello se emplea un disco con ranuras acoplado al eje. También es posible emplear una lámina transparente sobre la que se imprimen franjas negras, algo que encontramos frecuentemente en impresoras.

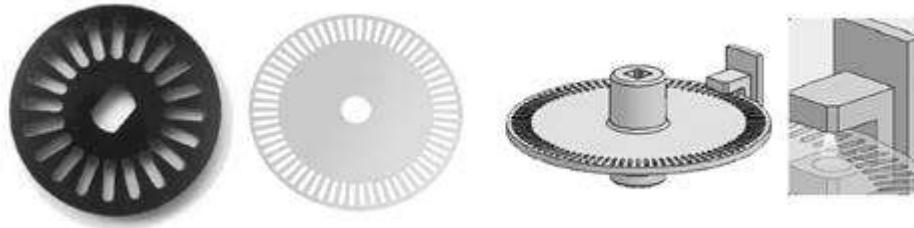


FIGURA 30 FUNCIONAMIENTO ENCODER

Además de su funcionamiento como encoder, un optointerruptor puede ser empleado para detectar cualquier tipo de objeto que interrumpa el rayo como, por ejemplo, para detectar el cierre de una puerta, o como fin de carrera óptico en el desplazamiento de una máquina.

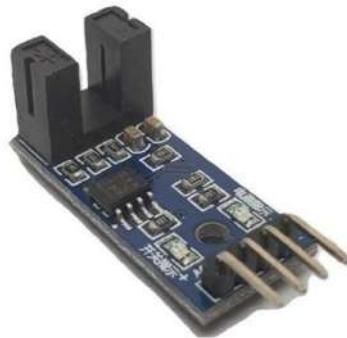


FIGURA 31 CIRCUITO ENCODER

Los encoders que poseen los sillones generan el movimiento del respaldo mediante 320 pulsos, los cuales con ellos tenemos un ángulo de inclinación del respaldo que varía entre 90° y 180° , por otro lado, el sillón mediante los mismos 320 pulsos, entregan un movimiento de 50 cm., logrando con ello los movimientos requeridos para que el operario logre obtener la comodidad deseada. [8]

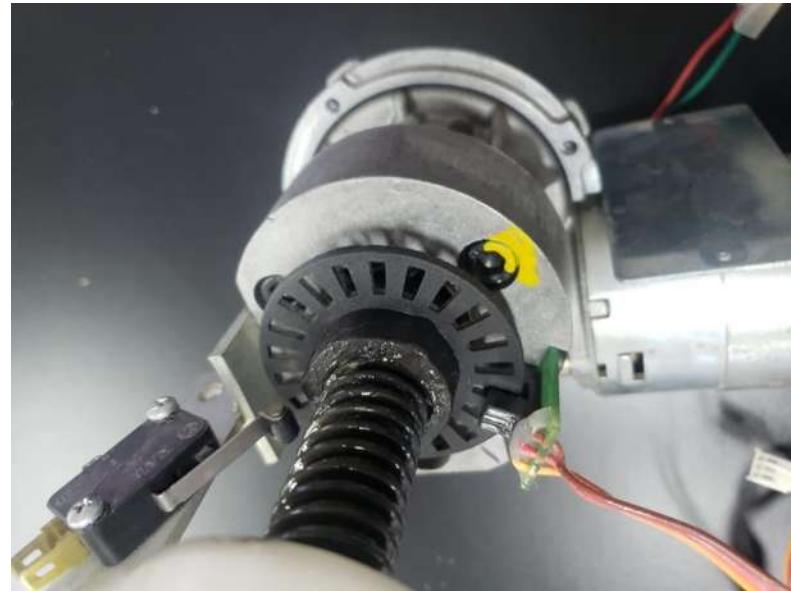


FIGURA 32 ENCODER Y OPTOACOPLADOR UTILIZADO EN LA UNIDAD DENTAL

A continuación, se muestra el diagrama utilizado para la conexión de los encoders tanto del asiento como del respaldo con la tarjeta de control.

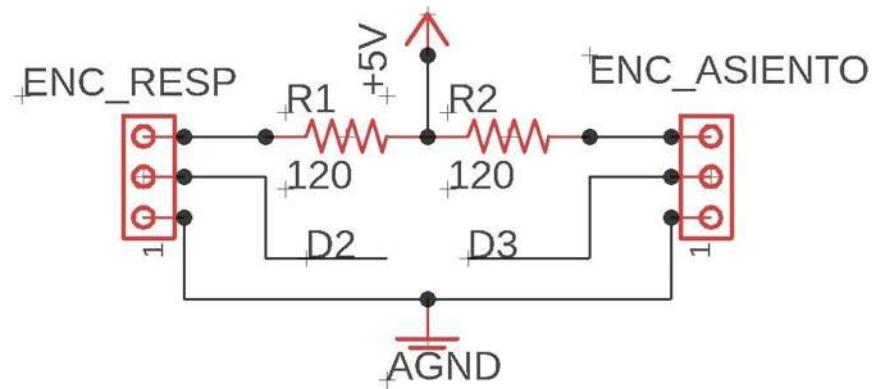


FIGURA 33 CONEXIÓN MICROCONTROLADOR Y ENCODERS

3.4.1.- Microcontrolador MINI V3 ATMega328

Esta placa de programación está especialmente diseñada para proyectos en donde el tamaño es importante, es realmente compacta (4.5 x 1.7 x 1.9 cm) y es ideal para proyectos escolares o semi profesionales ya que no tendrás que preocuparte por la etapa de control.

Sus características son excelentes a pesar de su reducido tamaño, tiene microcontrolador ATMega328, cuenta 8 pines de entrada analógica y 14 pines de entrada / salida digital (incluyendo 6 puertos PWM), es compatible con accesorios* para funciones como Bluetooth, infrarrojo o sensores y su alimentación eléctrica es por micro USB.

Las características más destacadas son:

- Microcontrolador ATMega328.
- Tensión de entrada (recomendada): +7 a + 12 V.
- Tensión de entrada (límites): +6 a + 20 V.
- 14 pines GPIO (de los que 6 ofrecen salida PWM).
- 6 pines de entrada analógica.
- Corriente DC por pin de E/S: 40 mA.
- Memoria Flash de 32 KB (2 KB para cargador de inicio).
- SRAM de 2 KB.
- EEPROM de 1 KB.
- Admite comunicación serie I2C.
- Frecuencia de reloj: 16 MHZ.
- Dimensiones: 0,73" x 1,7". [9]

3.4.3.- Conexión del pedal de control

La conexión que contiene los botones de la pedalera se logra a través de resistencias pull-up, que como su nombre indica esta resistencia tiene la función de “jalar” hacia “arriba”, lo que significa que polariza el voltaje hacia el voltaje de fuente (VDD) o +5V. De esta forma cuando el pulsador está abierto o en reposo, el voltaje en la entrada del Arduino siempre será de +5V. Las entradas del Arduino son de alta impedancia lo que significa que la corriente que circulará por esa línea sea mínima en el orden de los microamperios, por lo que el voltaje que “cae” en la resistencia pull-up es mínimo y tenemos casi el mismo voltaje de fuente en la entrada del Arduino.

Cuando el pulsador es presionado, la corriente circula por la resistencia y luego por el pulsador, de esta forma tenemos que el voltaje en la entrada del Arduino es Tierra o 0V.

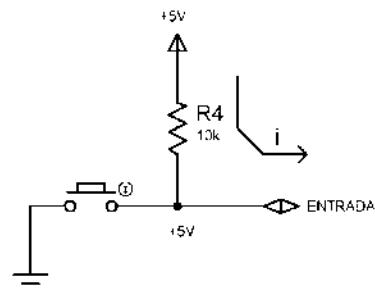
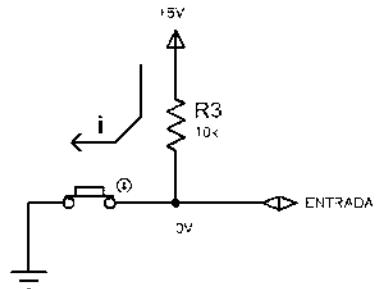


FIGURA 28 FUNCIONAMIENTO DE LAS RESISTENCIAS PULL-UP

Entonces en la configuración pull-up cuando el pulsador está en reposo el Arduino lee un 1, y cuando lo presionamos leerá un 0. [10]

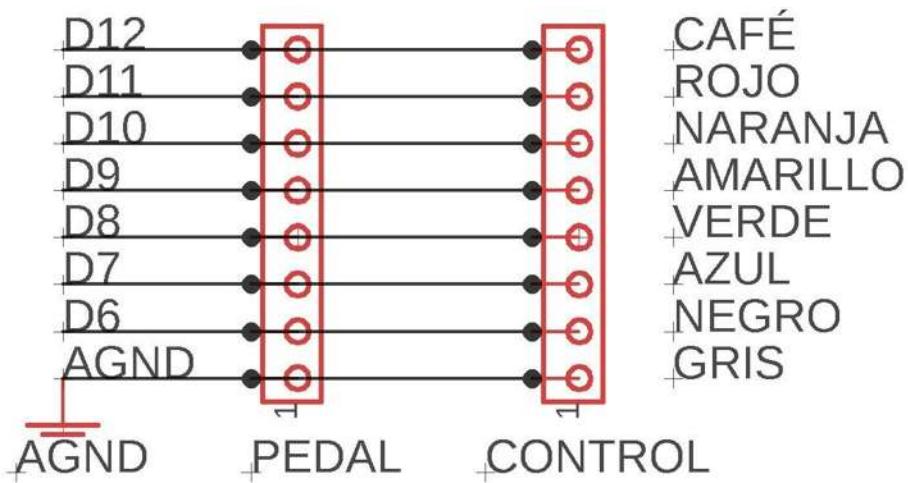


FIGURA 29 CONFIGURACIÓN DE LA PEDALERA

3.4.4.- Conexión a los relés

A continuación, se muestra el circuito que conecta la salida del microcontrolador con los relés, esto se realiza a través de transistores para poder operar a un mayor nivel de voltaje (12 volts) y poder operar de forma correcta dichos relevadores.

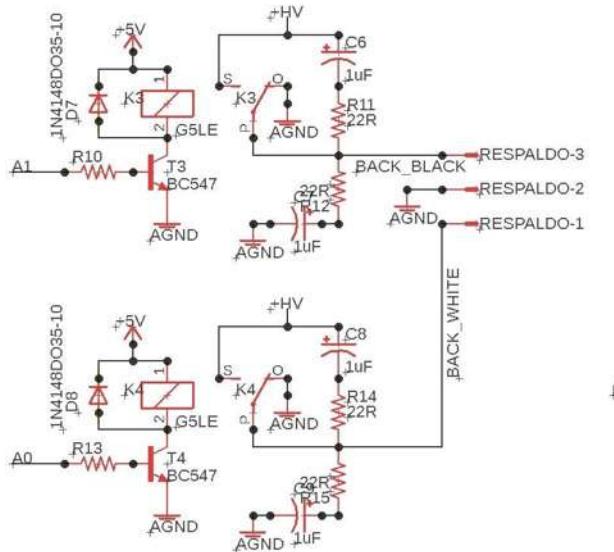


FIGURA 30 CIRCUITO PARA EL RESPALDO

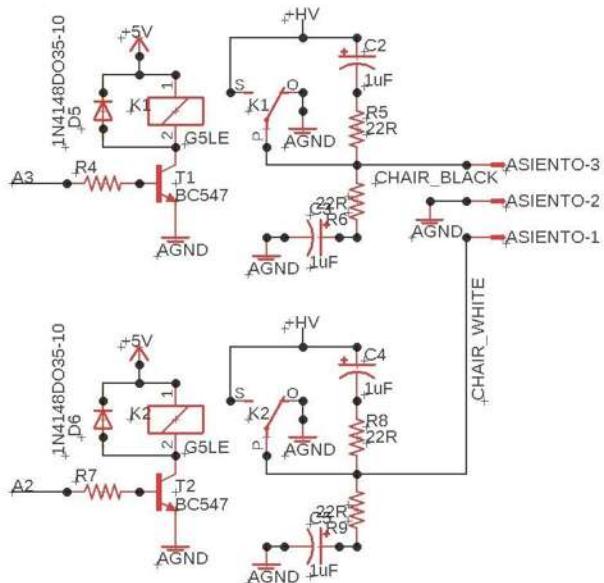


FIGURA 31 CIRCUITO PARA EL ASIENTO

3.4.5.- Conexión al relé de luminaria

La conexión con la luminaria se genera de la salida A4 del microcontrolador con el quinto relé, la alimentación de la lámpara se obtiene con el tap 1 y el tap central del transformador.

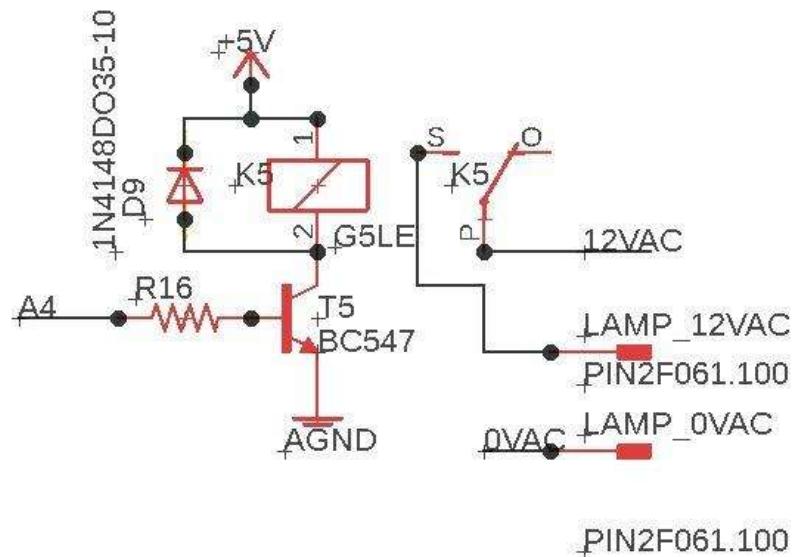


FIGURA 32 CIRCUITO PARA LUMINARIA

Capítulo 4 Software desarrollado

4.1.- introducción

En este capítulo se describen ciertas secciones del código desarrollado para el control del movimiento del sillón odontológico.

4.2.- Programa principal

Como primer paso, se definen las variables con las cuales vamos a identificar cada elemento con las entradas del microcontrolador y sus salidas.

```
//botones de la pedalera - ENTRADAS
#define BTNSeat_DWN 6 //baja sillon - negro
#define BTNSeat_UP 7 //sube sillon - azul
#define BTNBack_DWN 8 //baja respaldo - verde
#define BTNBack_UP 9 //sube respaldo - amarillo
#define BTNLamp 10 //lampara on/off - naranja
#define BTNSeat_PosA 11 //sube respaldo,baja sillon - rojo
#define BTNSeat_PosB 12 //sube sillon, baja respaldo - cafe
#define MaxSeatStps 610
#define MaxBackStps 610

//encoders de los motores - ENTRADAS
#define ENCSeat 3
#define ENCBack 2

//control de motores - SALIDAS
#define RLYBack_DWN A0 //17
#define RLYBack_UP A1 //16
#define RLYSeat_UP A2 //14
#define RLYSeat_DWN A3 //15
#define RLYLamp A4 //18
```

FIGURA 33 DEFINICIÓN DE VARIABLES

4.2.1 Subir/bajar sillón

Para modificar la altura del sillón, se revisa de forma constante los botones denominados “SEAT”, y en caso de que se presione alguno, se activa el relevador correspondiente.

```
//ejecutar accion
switch (i)
{
    case BTNSeat_DWN:
    {
        digitalWrite(RLYSeat_DWN, HIGH);
        while ((digitalRead(BTNSeat_DWN) == LOW));
        digitalWrite(RLYSeat_DWN, LOW);
        delay(500); Serial.println(counterSeat, DEC);
    }
    break;
    case BTNSeat_UP:
    {
        digitalWrite(RLYSeat_UP, HIGH);
        while ((digitalRead(BTNSeat_UP) == LOW));
        digitalWrite(RLYSeat_UP, LOW);
        delay(500); Serial.println(counterSeat, DEC);
    }
    break;
```

FIGURA 34 SUBIR/BAJAR SILLÓN

4.2.2 Subir/bajar respaldo

Para modificar la posición del respaldo, se revisa de forma constante los botones denominados “BACK”, y en caso de que se presione alguno, se activa el relevador correspondiente.

```
case BTNBack_DWN:  
{  
    digitalWrite(RLYBack_DWN, HIGH);  
    while ((digitalRead(BTNBack_DWN) == LOW));  
    digitalWrite(RLYBack_DWN, LOW);  
    delay(500); Serial.println(counterBack, DEC);  
}  
break;  
case BTNBack_UP:  
{  
    digitalWrite(RLYBack_UP, HIGH);  
    while ((digitalRead(BTNBack_UP) == LOW));  
    digitalWrite(RLYBack_UP, LOW);  
    delay(500); Serial.println(counterBack, DEC);  
}  
break;
```

FIGURA 35 SUBIR/BAJAR RESPALDO

4.2.3 Luminaria

Dado que la luminaria solo debe encenderse y apagarse, el botón de control solamente realiza un cambio de estado en el relevador; si el relevador esta apagado, lo enciende, en caso contrario lo apaga.

```
case BTNLamp:  
{  
    if (digitalRead(RLYLamp) == LOW)  
    {  
        digitalWrite(RLYLamp, HIGH);  
        Serial.println("Lamp ON");  
    }  
    else  
    {  
        digitalWrite(RLYLamp, LOW);  
        Serial.println("Lamp OFF");  
    }  
    checkButtonPressed(BTNLamp, LOW);  
}  
break;
```

FIGURA 36 CÓDIGO LUMINARIA

4.2.4 Censado de posición de los motores

Para ubicar con precisión la posición del sillón odontológico, se requiere el contar los pulsos generados por los encoders al momento de que se accione alguno de los motores.

```
//posicion inicial de la silla, inicializa variables.  
void startPosition(void)  
{  
    moveChair(RLYSeat_DWN);  
    moveChair(RLYBack_UP);  
    ProgSeatPos = 300;  
    ProgBackPos = 300;  
    counterSeat = 0;  
    counterBack = 0;  
}  
  
void INTSeat(void)  
{  
    //si esta bajando, resta 1 al contador  
    if (digitalRead(RLYSeat_DWN) == HIGH)  
    {  
        if (counterSeat > 0)  
            counterSeat--;  
    }  
    else  
        counterSeat++;  
    digitalWrite(LED_BUILTIN, !digitalRead(LED_BUILTIN));  
}  
  
void INTBack(void)  
{
```

FIGURA 37 CÓDIGO CENSADO DE POSICIÓN DE LOS MOTORES

Capítulo 5 Pruebas y resultados

A continuación, se expone el trabajo realizado de la unidad dental para observar el funcionamiento correcto de esta, explicando el procedimiento que se realizó desde el diseño hasta la conexión realizada.

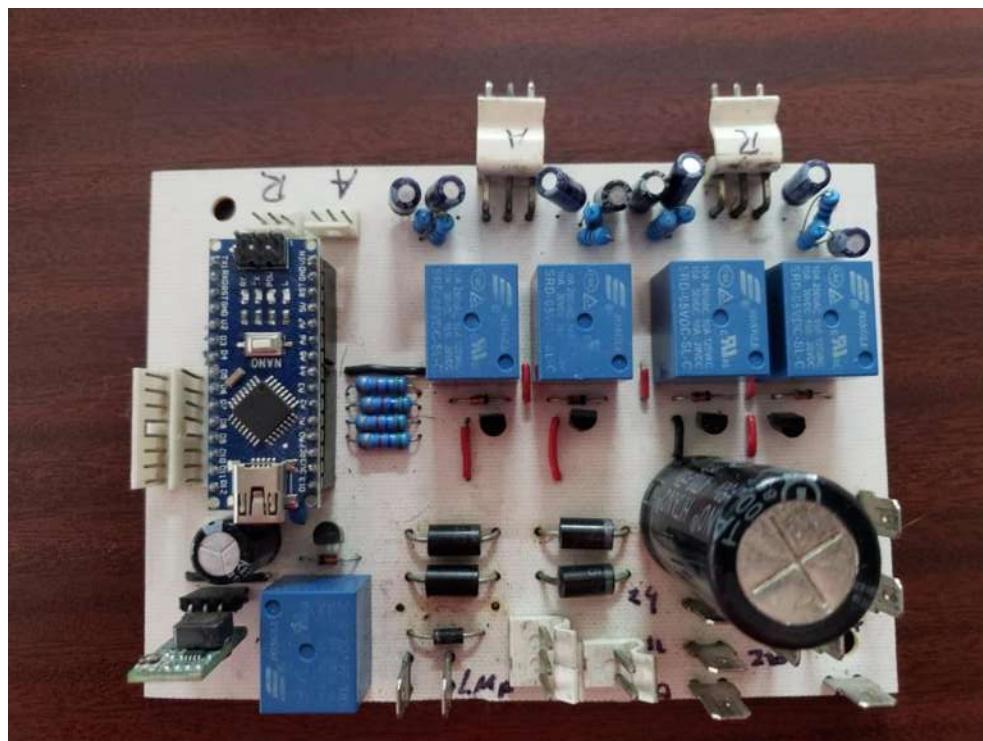


FIGURA 38 TARJETA DE CONTROL DISEÑADA

Como prueba del correcto funcionamiento de la unidad dental se realiza una PCB la cual se explicó con detalle en capítulos anteriores, la misma que contienen los componentes añadidos y sus respectivas conexiones entre cada componente

La prueba se basa desde el diseño hasta las características que se requiere para la fabricación de la PCB.

Para el diseño de la PCB se usa el software Eagle en el cual se realiza primeramente el esquemático de la PCB donde se incluyen los componentes y las conexiones a realizar.

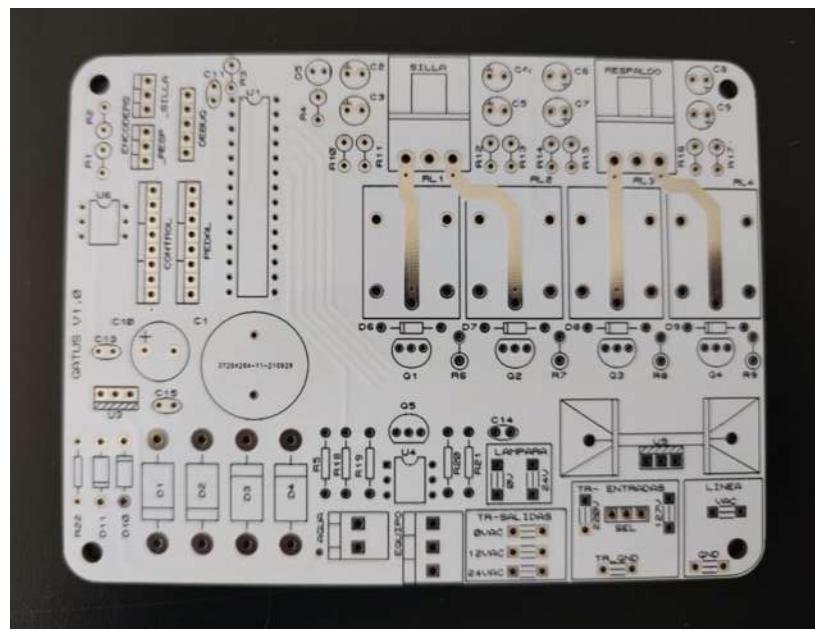


FIGURA 39 DISEÑO DE PCB PARTE DELANTERA

Una vez realizado el esquemático se pasa a realizar la tarjeta o PCB donde se indican todas las características que tendrá la misma como el ancho de las pistas, el diámetro de los orificios, etc.

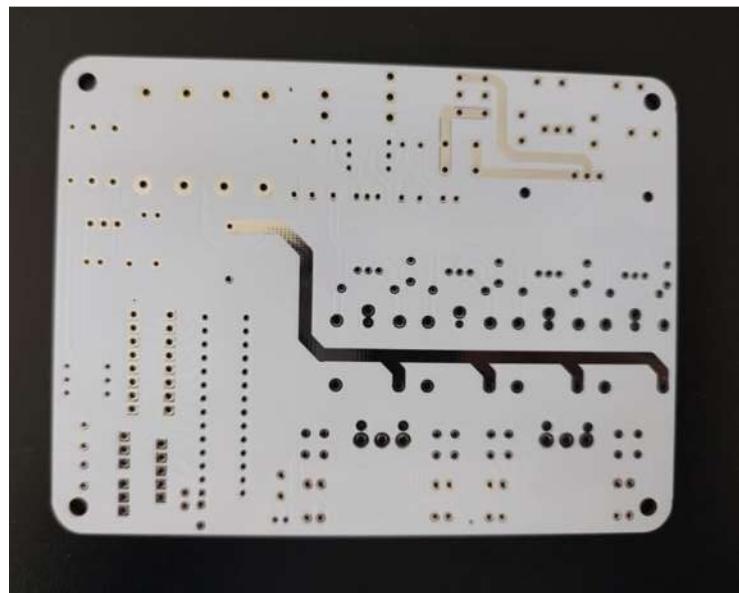


FIGURA 40 DISEÑO DEL PCB PARTE TRASERA

Finalmente, después de haber fabricado la PCB se pasa a conectarla a la placa que controla los motores y los accesorios de la unidad dental para el uso de la misma.

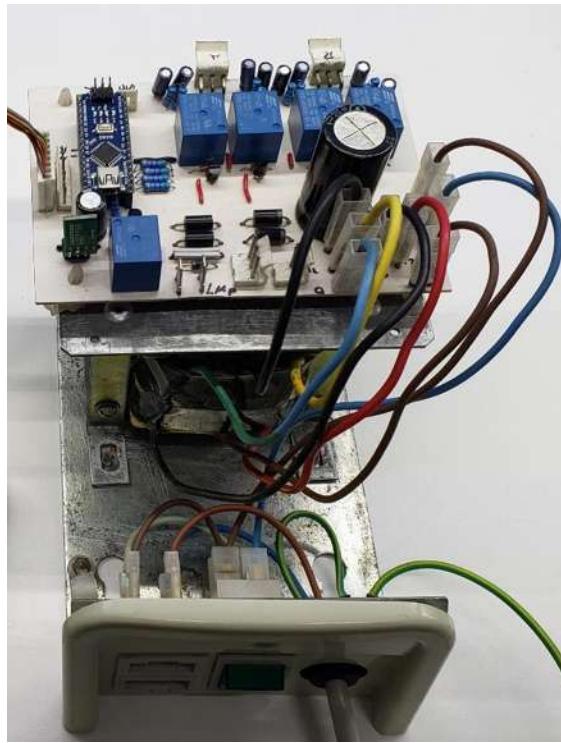


FIGURA 41 TARJETA TERMINADA Y CONECTADA

Finalmente, se realizaron las pruebas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento del sillón, las cuales incluían primeramente movimientos sin peso para comenzar con esfuerzos en orden ascendente, ya después se realizaron con peso para finalmente concluir con movimientos repetitivos teniendo un comportamiento óptimo del sillón odontológico en todos sus movimientos, así como en la luminaria.

Capítulo 6 Conclusiones

En este capítulo se exponen las conclusiones a las que se llegaron tras el desarrollo y los resultados del trabajo, expuesto anteriormente.

El prototipo fue probado en un sillón de la Facultad de Odontología, bajo las condiciones de operación normales a las que están sometidas de forma normal todos los sillones, y dichas pruebas duraron un periodo de 4 meses.

Los resultados de las pruebas fueron los siguientes:

- El prototipo de tarjeta funcionó de forma correcta durante el primer mes, aunque comenzó a presentar problemas de óxido en algunas pistas, esto debido al ambiente húmedo del lugar donde se encuentra.
- En el segundo mes se detectaron algunas fallas intermitentes en el pedal, ya que, al momento de accionar los botones, el sillón fallaba en algunas ocasiones. Este problema se corrigió colocando un set de resistencias PULL-UP de forma externa y deshabilitando las internas del microcontrolador.
- Debido al uso intensivo del equipo, el sistema de posicionamiento se descalibró de forma continua, y aunque el sistema se puede recalibrar de forma automática, los técnicos del laboratorio decidieron que se eliminara esa opción, lo cual se realizó en el software del microcontrolador.
- En el último mes de pruebas, el prototipo presentó corrosión en pistas de la cara superior debido a la humedad del laboratorio, y debido a que el personal de limpieza mojaba las máquinas para limpiarlas, por lo que se decidió aplicar una capa de pintura y un producto adicional para evitar la humedad.

Las pruebas resultaron satisfactorias para el personal del laboratorio, por lo cual se realizaron algunas tarjetas más de prueba para confirmar su correcto funcionamiento, para posteriormente crear una PCB final y producir un stock de tarjetas de respaldo.

Capítulo 7 Referencias

- [1] «Evolución del sillón dental con la incorporación de elementos ergonómicos,» [En línea].
] Available: <http://www.revestomatologia.sld.cu/index.php/est/article/view/1812/452>.
- [2] «Manual unidad dental,» [En línea]. Available: http://www.gnatus-global.com/gnatus/2005/images/online/manuais_186913_S200_Sillon.pdf.
- [3] «Motor CD,» [En línea]. Available:
] https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua#:~:text=Los%20componentes%20de%20un%20motor,de%20hierro%20o%20imanes%20permanentes..
- [4] «Autodesk, Diseño de circuitos impresos sencillo,» [En línea]. Available:
] <https://www.autodesk.mx/products/eagle/overview>.
- [5] «Software eagle,» [En línea]. Available:
] <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>.
- [6] «Puente rectificador,» [En línea]. Available:
] https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_rectificador.
- [7] «Transformador,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Transformador>.
]
- [8] «Optointerruptor,» [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/esar-un-optointerruptor-con-arduino/>.
- [9] «Microcontrolador,» [En línea]. Available:
] <https://www.makerelectronico.com/producto/arduino-nano-v3-0-headers-cable-usb/>.
- [1] «resistencias-pull-up-y-pull-down,» [En línea]. Available:
0] https://naylampmechatronics.com/blog/39_resistencias-pull-up-y-pull-down.html.