UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

ESTUDIO PARA DISEÑAR UNA ÓRTESIS ROBÓTICA PARA EVITAR LESIONES POR POSTURAS VICIOSAS EN ODONTÓLOGOS

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero de Ejecución en CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Stefano Clementi Arancibia

Profesor Guía:

Ing. Víctor Cárdenas Schweiger

2020

RESUMEN

KEYWORDS: CONTROL, DRIVER, PAP, LESIONES.

La problemática a tratar es que no existe algún método o producto que alivie o disminuya las consecuencias de las enfermedades laborales musculo-esqueléticas causadas por trabajos que requieren para su ejecución posturas viciosas que hay que mantenerlas por largos periodos de tiempo, en este trabajo en particular enfocado en odontólogos. Estas posturas traen como consecuencia una gran disminución de la calidad de vida de los afectados, trayendo consigo grandes gastos para aliviar los dolores con tratamientos y/o medicamentos, y gastos por parte de los empleadores por las licencias derivadas por estas enfermedades laborales. Estas enfermedades laborales tienen una muy alta incidencia en los odontólogos, donde en algunos centros de atención hasta el 100% sufre al menos molestias es zonas de carga para su trabajo.

Se requiere diseñar un método de trabajo o un apoyo ergonómico que disminuya o evite las lesiones y molestias debido a la normal ejecución del trabajo.

Se propone como mejor solución diseñar un apoyo ergonómico robotizado que soporte el peso del brazo y disminuya la carga a los hombros.

Se realiza un primer prototipo funcional controlando solo la variable de peso del brazo para que un motor paso a paso con caja reductora compense el esfuerzo del movimiento del brazo, controlado por una tarjeta de desarrollo basada en el chip ESP32 que al poseer doble núcleo puede recibir las lecturas del conversor ADC sin necesidad de dejar de controlar el motor.

Se analizan los costos de los materiales (BOM) necesarios disponibles en el mercado y el costo de diseño y desarrollo del proyecto (Planilla de esfuerzo), dando como resultado un costo total de 46,95 UF ($1.350.000 pesos chilenos, con valor de UF a $28.700 pesos chilenos), costos imprevistos incluidos, para la fabricación de un primer prototipo.

ÍNDICE

RESUMEN.....

ÍNDICE.....

ÍNDICE DE FIGURAS.....

ÍNDICE DE TABLAS.....

SIGLAS Y SIMBOLOGIA.....

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....2

1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....3

1.2 Problema.....5

1.2.1 Definición del problema.....5

1.2.2 Importancia de resolverlo.....9

1.2.3 Involucrados.....10

1.3. Propuestas de solución.....10

1.3.1 Requerimientos.....11

1.3.2 Alternativas de solución.....11

1.3.3 Matriz de ponderación.....12

1.3.4 Objetivos.....12

CAPÍTULO 2: DESARROLLO técnico y ESTUDIO DE PROTOTIPO.....14

2.1 DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN.....15

2.1.1 Idea general.....15

2.1.2 Diagrama funcional.....16

2.2 ESTUDIO TÉCNICO DE HARDWARE Y SOFTWARE.....16

2.2.1 Tarjeta de desarrollo.....17

2.2.2. Motor.....19

2.2.3 Driver motor PAP.....22

2.2.4 Celda de carga.....24

2.2.5 Conversor ADC.....25

2.3 Pruebas realizadas.....26

2.3.1 Acople de silla.....26

2.3.2 Estructura articulada.....27

2.3.3 Microcontrolador.....28

2.3.4 Control programado.....29

Capitulo 3: Análisis de costos.....31

3.1 BOM (Bill of Materials).....32

3.2 PLANILLA DE ESFUERZO.....33
3.2.1 Software.....34
3.2.2 Diseño electrónico.....35
3.2.3 Estructura articulada.....35
3.2.4 Acople a silla.....36
3.3 Costo total.....37
3.4 Carta Gantt.....39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....41
BIBLIOGRAFÍA.....42
ANEXO A: Encuesta.....43
ANEXO B: Datasheet motor 28BYJ-48.....44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ficha Ejercicios para descansar brazos y piernas de la ACHS.....4
Figura 1-2: Postura de trabajo vista frontal.....6
Figura 1-2: Postura de atención Vista lateral.....6
Figura 1-4: Preguntas de molestias encuesta propia.....7
Figura 1-5: Pregunta de incidencia de molestias.....8
Figura 1-6: Diagrama Ishikawa.....9
Figura 2-1: Modelo idea general.....15
Figura 2-2: Diagrama funcional.....16
Figura 2-3: DOIT ESP32 DevKit v1.....18
Figura 2-4: Modulo WiFi con ESP32.....18
Figura 2-5: Diagrama de chip ESP32.....19
Figura 2-6: Motor PAP con reductora.....20
Figura 2-7: Modificación de motor PAP.....21
Figura 2-9: Selección de modos de paso.....24
Figura 2-10: Celda de carga 50Kg 3 hilos.....25
Figura 2-11: Módulo conversor ADC Hx711.....25
Figura 3-1: Carta Gantt.....39
Figura 3-2: Carta Gantt Fase Diseño Ortesis.....40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Matriz de ponderación.....12
Tabla 2-1: Comparativa de especificaciones.....17
Tabla 3-1: BOM.....32
Tabla 3-2: HH en UF.....33
Tabla 3-3: Esfuerzo Software.....34
Tabla 3-4: Esfuerzo Diseño electrónico.....35
Tabla 3-5: Esfuerzo estructura articulada.....36
Tabla 3-6: Esfuerzo acople silla.....37
Tabla 3-7: Resumen de planilla de esfuerzo.....38

SIGLAS Y SIMBOLOGIA

A. SIGLA

ADC	: Conversor análogo digital, (por sus siglas en ingles Analog to Digital Converter)
CLP	: Pesos chilenos, (por sus siglas en inglés Chilean Peso)
CPU	: Unidad Central de Procesamiento.
HH	: Hora Hombre
PAP	: Paso a paso.
WWW	: World Wide Web.

B. SIMBOLOGÍA

A	: Amper.
mA	: Miliamperios.
V	: Volts.
°C	: Grados centígrados
ms	: Milisegundos.
Ω	: Ohm, unidad de medida de Resistencia eléctrica.
W	: Watts.
Hz	: Hertz, unidad de medida de frecuencia.
MHz	: Mega-Hertz.
GHZ	: Giga-Hertz.
Mbps	: Megabit por segundo.
Kg	: Kilogramo.
Kg/cm	: Kilogramo por centímetro, unidad de torque.
N/M	: Newton por metro, unidad de torque.
T	: Torque

INTRODUCCIÓN

Los odontólogos, en el ejercicio de su profesión, se ven sometidos a una gran carga física debido a las posturas de trabajo y el tiempo de ejecución, problema al que no se le da la importancia adecuada ya que sus consecuencias se ven a largo plazo, que en un gran porcentaje corresponden a lesiones de carácter acumulativas que pueden llegar a ser laboralmente invalidantes que avanzan de manera muy paulatina y poco perceptibles. Debido a esta poca visibilidad del problema no existe un esfuerzo real ni efectivo de parte del afectado por el autocuidado, de parte de las autoridades por inculcar el autocuidado de los odontólogos, ni por parte de la industria por diseñar una solución para que exista en el mercado.

Este problema trae como consecuencia la disminución significativa de la calidad de vida del odontólogo, y gastos considerables por parte de los empleadores debido a las licencias por molestias o lesiones, como para los mismos odontólogos en medicamentos y tratamientos particulares para aliviar dolores y molestias.

Las soluciones a este tipo de problemas no suelen ser complejas, ya que existe una gran variedad de materiales y herramientas para trabajar, en particular si se quiere dar una solución del tipo Control Automático donde se puede realizar de manera sencilla un prototipo con alguna tarjeta de desarrollo como una Arduino, por lo que el paso más importante es el de estudiar bien la problemática

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

1. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Desde que el humano se asentó y formó trabajos específicos para que cada individuo se especialice y perfeccione en esa tarea, el trabajo manual fue la actividad más predominante durante milenios, esto fue radicalmente cambiado a principios del siglo XIX con la Revolución industrial en el Reino de Gran Bretaña, donde se empezaron a implementar a gran escala tecnologías desarrolladas en la segunda mitad del siglo anterior, desarrollar nuevas y mejorar las existentes. El gran cambio en el aspecto de las actividades realizadas fue que las tareas de fuerza pasaban a ser ejecutadas por máquinas y los humanos pasaron a ser operadores de estas máquinas.

En estos momentos estamos viviendo el fin de la tercera revolución industrial y adportas de una cuarta y aún en nuestra sociedad moderna el trabajo manual sigue siendo importante, ya no en tareas de fuerza excesiva, pero si en tareas de precisión o de alta complejidad donde la toma de decisiones es crítica, tareas en las cuales la habilidad humana es superior que la de una máquina y es imposible que sea reemplazada aún.

A pesar de que las tareas de fuerza fueron delegadas en su mayoría a máquinas, para el trabajador en la sociedad industrializada surgen dos nuevos problemas para la salud física, particularmente músculo-esquelética. El primero dado por la nueva forma de manufactura, la producción en masa, donde todos los productos se fabrican de la misma forma uno tras otro y son exactamente iguales, donde a pesar de que la mayor parte del trabajo la realiza una máquina, el operador o algún trabajador en la línea de producción en un punto en el que es necesario un humano, realiza una tarea repetitiva debido a que debe adaptarse al ritmo y tipo de trabajo de la máquina que a diferencia de un humano está diseñada para trabajar de esa forma por horas y sin necesidad de descanso.

El segundo problema es debido al vertiginoso ritmo de producción donde cualquier pérdida de tiempo se convierte en perdida de mucho dinero por parte de las empresas, esto hace que casi no existan descansos para un trabajador que trabaje de manera repetitiva, descansos de producción que acompañados con ejercicios específicos pueden aliviar o incluso evitar lesiones producidas por el problema planteado anteriormente.

En Chile, la Ley N° 16.744 establece que enfermedad profesional es la causada de una manera directa por el ejercicio de la profesión o del trabajo que realiza una persona y que le produzca incapacidad o muerte. Actualmente si existe una preocupación por la salud de los trabajadores que pueden sufrir de enfermedades profesionales, un buen ejemplo es la ficha creada por la ACHS, (asociación Chilena de Seguridad), Ejercicios para descansar brazos y piernas, que puede verse en la figura 1-1, donde detalla los ejercicios que una persona puede realizar para relajar los músculos que más utiliza en su trabajo, todo esto con el afán de evitar molestias y lesiones por tareas repetitivas (o también por la ausencia de movimiento como gente que trabaja frente a un computador).

Fuente: https://www.achs.cl

Figura 1-1: Ficha Ejercicios para descansar brazos y piernas de la ACHS

Lamentablemente estos esfuerzos no son suficientes en muchos trabajos, esto puede ser porque el trabajador no tiene tiempo de tomarse un descanso adecuado para evitar lesiones, el descanso y los ejercicios por sí solos no logran cumplir el objetivo de minimizar el impacto a la salud, o simplemente el trabajador no les da la importancia a los ejercicios, el descanso, o derechamente a su propia salud.

1.2 PROBLEMA

Los Odontólogos trabajan muchas horas sentados y ejecutan tareas mecánicas repetitivas en posiciones que al mediano y largo plazo les provocan lesiones principalmente en hombros y cuello. Esto se debe a que no tienen el tiempo suficiente para descansar entre atenciones y no existe un elemento que alivie la carga en sus partes afectadas.

1.2.1 Definición del problema

La odontología es una profesión que requiere de una gran habilidad manual y gran precisión ya que trabaja en una zona muy delicada del cuerpo como lo es la boca con instrumentos que de ser mal usados podrían generar grandes daños en los pacientes. Las atenciones por paciente en promedio duran al menos 20 minutos y pueden extenderse hasta los 45 minutos, en los cuales por la precisión requerida se necesita que el profesional se mantenga quieto durante toda la atención en una posición que se aleja mucho de una postura ergonómica, se puede ver la postura de trabajo en distintos ángulos en las figuras 1-2 y 1-3, si bien es cierto estas posturas no requieren de una gran fuerza si se mantienen por más tiempo de lo que pueden soportar los músculos y articulaciones generando una gran carga para principalmente el cuello, los hombros y la zona lumbar, que en un gran porcentaje de los casos desarrollan trastornos músculo-esqueléticos (TME) de diversa intensidad, trastornos que son del tipo acumulativo y no producto de un accidente o evento agudo sino que de un deterioro progresivo por micro-traumas.

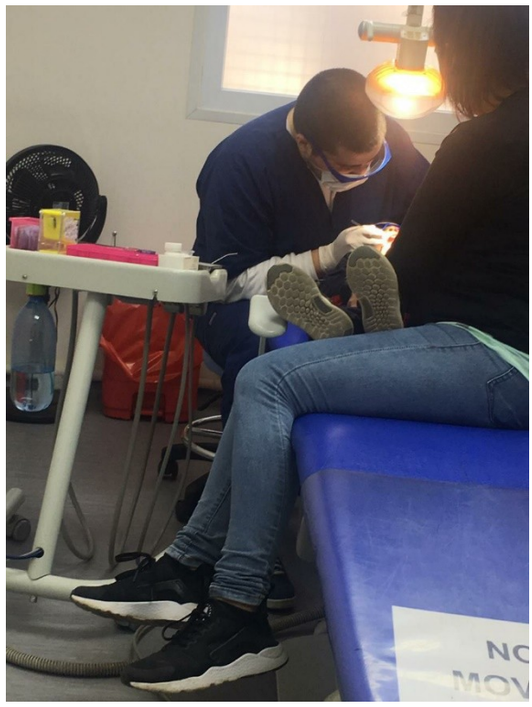


Figura 1-2: Postura de trabajo vista frontal

Fuente: Elaboración propia

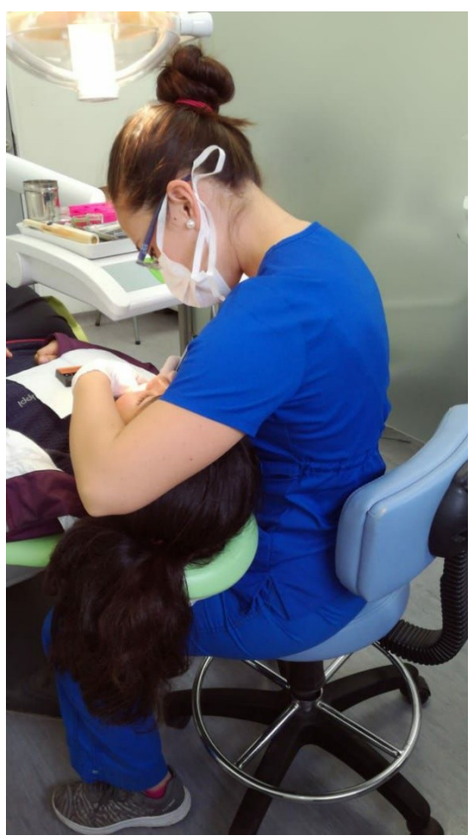


Figura 1-2: Postura de atención Vista lateral

Fuente: elaboración propia

El poco conocimiento por parte de las autoridades de salud de las TMEs como enfermedades profesionales en Odontólogos provoca una falta de prevención y concienciación hacia los mismos profesionales, que junto a las condiciones laborales provocan que los TMEs se manifiesten en distintos grados casi en un 100% de los Odontólogos tarde o temprano.

Las lesiones más comunes músculo-esqueléticas son:

- Lesiones de Tendones: Tendinitis, Tenosinovitis, etc.
- Lesiones nerviosas y neurovasculares: Síndrome del túnel carpiano, etc.
- Lesiones musculares: Síndrome del trapecio, cervicalgias, etc.
- Defectos articulares: Osteoartrosis cervical, pericapsulitis de hombro

En un estudio realizado en el estado de Aragua, Venezuela, con 94 Odontólogos (1), donde dio como resultado que la incidencia de al menos molestias osteomusculares es del 100%, y la zona mayoritariamente afectada es el cuello con un 73.4% seguido de la espalda con un 50%.

Una encuesta realizada entre el 21 y 26 de agosto del 2019 a un grupo de 15 Odontólogos, de entre 12 a 30 años de ejercicio de la profesión (Anexo A), sugiere al igual que el estudio anteriormente mencionado que un 100% de los Odontólogos sufren de al menos molestias relacionadas con su trabajo, véase figura 1-4.

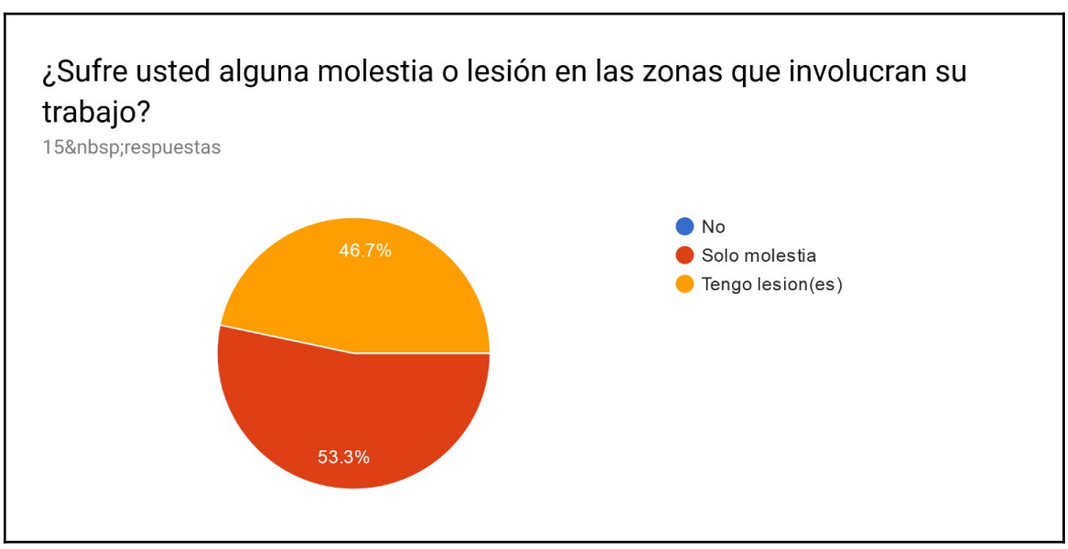


Figura 1-4: Preguntas de molestias encuesta propia

Fuente: Elaboración propia

Al igual que la zona de mayor frecuencia de molestias o lesiones que arroja un 66,7% para el cuello como se muestra en la figura 1-5.

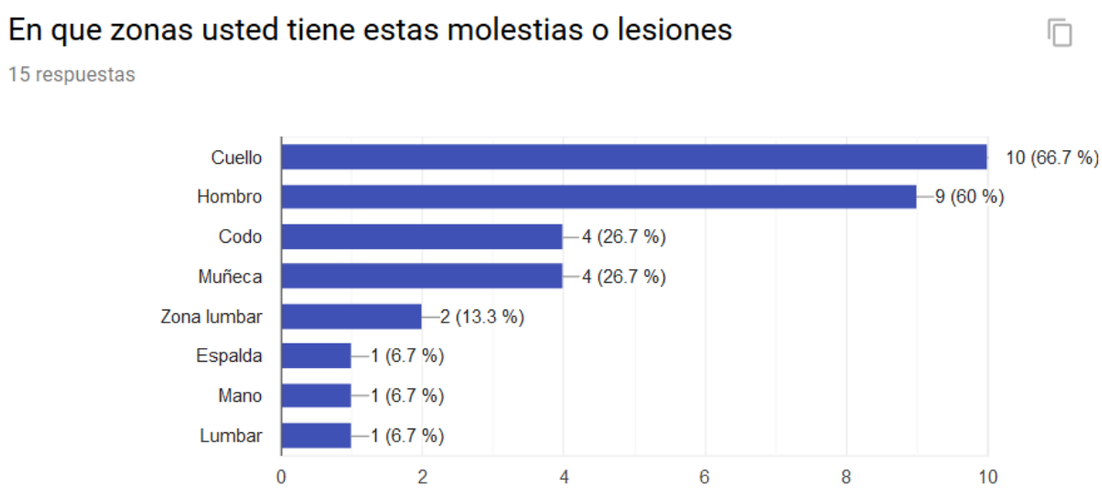


Figura 1-5: Pregunta de incidencia de molestias

Fuente: Elaboración propia

Destacan también lesiones tan graves como hernia cervical con artrosis vertebral a la vez, y hernia cervical con ruptura de ligamentos del hombro, que da indicios de lo graves que pueden llegar a ser las lesiones solo por mantener una mala postura por mucho tiempo a nivel de llegar a ser invalidantes al largo plazo

Dado los antecedentes del problema se procede a realizar un diagrama de Ishikawa. Véase en la Figura 1-6.

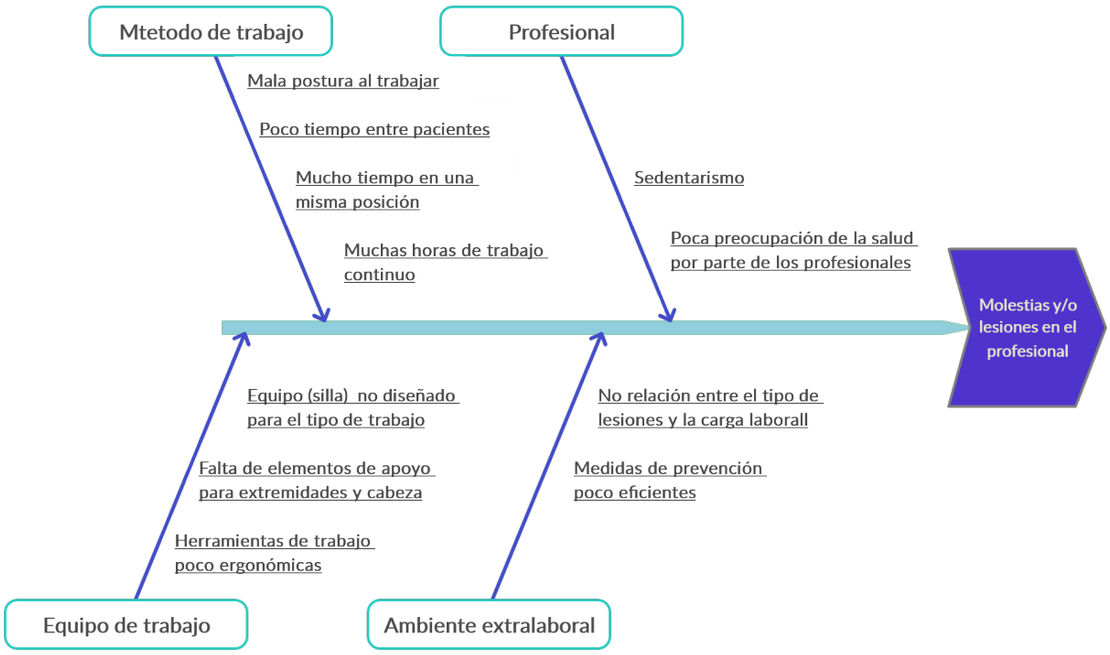


Figura 1-6: Diagrama Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

1.2.2 Importancia de resolverlo

Los TMEs producidos por el trabajo en los Odontólogos en el mejor de los casos generan molestias y dolores persistentes que sólo pueden agravarse de no ser tratadas, que pueden llegar a lesiones agudas al nivel de ya no poder seguir ejerciendo la profesión, además de limitar mucho la movilidad y fuerza de quiénes las sufren disminuyendo significativamente la calidad de vida.

De poder diseñar una solución que pueda eliminar los TMEs o al menos disminuir la gravedad de estos aumentaría considerablemente la calidad de vida dentro y fuera del trabajo, además de poder ausentarse menos en sus trabajos y poder dar una mejor atención a sus pacientes.

1.2.3 Involucrados

Los principales afectados con este problema son los Odontólogos cuya principal actividad económica es el ejercicio de su profesión por las horas dedicadas al trabajo, son afectados mayoritariamente en 2 aspectos, el primero por su salud y calidad de vida, y el segundo por la parte económica debido a los costos de los tratamientos para las molestias o lesiones, y principalmente a los Odontólogos que trabajan de forma particular que pueden ver mermados sus ingresos por no poder trabajar.

También se ven afectados los sistemas de salud públicos y privados por tener que lidiar con el pago de licencias médicas y por ver disminuida su capacidad de atención, lo que implica que los terceros afectados son los mismos pacientes, por tener que esperar más por una atención. Considerar también que el Odontólogo además de cumplir su función como profesional de la salud que trata y previene enfermedades bucales cumple un rol social, la atención no deja de ser una interacción de persona a persona en la cual se crea un vínculo que genera confianza en el paciente y el cambio de profesional a mitad de un tratamiento puede generar incomodidad, desconfianza, o ansiedad en el paciente, este efecto es mucho más notorio en niños más aun cuando estos tienen miedo de “ir al dentista”, caso que es bastante frecuente en niños pequeños.

1.3. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Para evitar las consecuencias de las malas posturas de trabajo de los Odontólogos, existen dos posibles soluciones, la primera es poder descansar y ejercitar de manera frecuente las zonas afectadas y la segunda disminuir la carga con algún apoyo ergonómico.

1.3.1 Requerimientos

Se necesita diseñar un método de trabajo en el cual poder descansar las zonas críticas entre cada paciente, o diseñar un apoyo ergonómico que no interrumpa la motricidad fina del Odontólogo.

1.3.2 Alternativas de solución

- Solución número 1: Programar ejercicios lo más eficientes y focalizados posibles para que los Odontólogos realicen entre cada paciente pare evitar TMEs o disminuir su intensidad.
- Solución número 2: Diseñar un apoyo ergonómico robótico (órtesis) que siga el movimiento del Odontólogo acoplado a la silla, cuya función sea sostener el peso de las extremidades y cabeza para evitar TMEs o disminuir su intensidad.
- Solución número 3: Diseñar un apoyo ergonómico mecánico que sostenga el peso de las extremidades y cabeza para evitar TMEs o disminuir su intensidad.

Para evaluar estas posibles soluciones se califican para seleccionar una de las 3 a través de los siguientes criterios:

I. Efectividad: Disminuye o evita lesiones y molestias de manera significativa, mejorando la comodidad al atender.

II. Económico: Bajo costo para su diseño e implementación

III. Innovación: El diseño implica desarrollar nuevas tecnologías que aporten a futuro

IV. Factibilidad Probabilidad de ser implementado a gran escala luego de tener el diseño finalizado.

1.3.3 Matriz de ponderación

Se realiza una matriz de ponderación donde cada solución es evaluada en los 5 puntos antes mencionados con una nota entre 1 que indica la falta total de la cualidad evaluada y 5 lo ideal.

Tabla 1-1: Matriz de ponderación

Criterio	*Solución 1*	*Solución 2*	*Solución 3*
Efectividad	4	5	2
Económico	5	2	3
Innovación	1	5	2
Factibilidad	2	3	4
Total	12	15	11

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de la matriz de ponderación se elige la solución número 2, que es el desarrollo de una órtesis robótica acoplada a la silla del Odontólogo que brindará apoyo al brazo con el que trabaja hasta antes de la muñeca, en su mayoría el brazo derecho, sosteniendo la mayor parte del peso de la extremidad para que no interfiera con la motricidad fina, y apoyo para la cabeza sosteniendo el peso de esta.

1.3.4 Objetivos

El objetivo general de este proyecto es diseñar un prototipo de apoyo ergonómico robótico (órtesis) que siga el movimiento del Odontólogo, que se acople fácilmente a la silla.

1.3.4.1 Objetivos específicos:

- Controlar más de un motor con tarjetas de desarrollo con movimiento suave y preciso
- Diseñar una silla ergonómica y apta para soportar un implemento electromecánico
- Estudiar la posibilidad de hacer control a través de impulsos nerviosos como entrada del sistema de control.
- Visibilizar el grave y frecuente problema de las lesiones por enfermedades laborales.
- Evaluar costos del prototipo.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO TÉCNICO Y ESTUDIO DE PROTOTIPO

2. DESARROLLO TÉCNICO y ESTUDIO DE PROTOTIPO

2.1 DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

Dada la solución seleccionada en el capítulo anterior, (Solución 2), diseñar un apoyo ergonómico robótico (órtesis) que siga el movimiento del Odontólogo acoplado a la silla, se hará un estudio de los materiales y herramientas necesarias para fabricar un primer prototipo funcional, y detallará su diseño a nivel de control, mecánico y ergonómico.

2.1.1 Idea general

Diseñar una ortesis que se puede acoplar y desacoplar de manera sencilla al soporte del respaldo de la silla donde el odontólogo pueda apoyar su brazo, esta órtesis a partir del acople desmontable (en amarillo en la figura) constará de un soporte hacia el lado donde tendrá una articulación libre (en verde en la figura) y de ésta un suporte vertical con una articulación motorizada (en rojo en la figura) que soportará el peso del brazo. El modelo de la descripción anterior se puede ver en la figura 2-1.

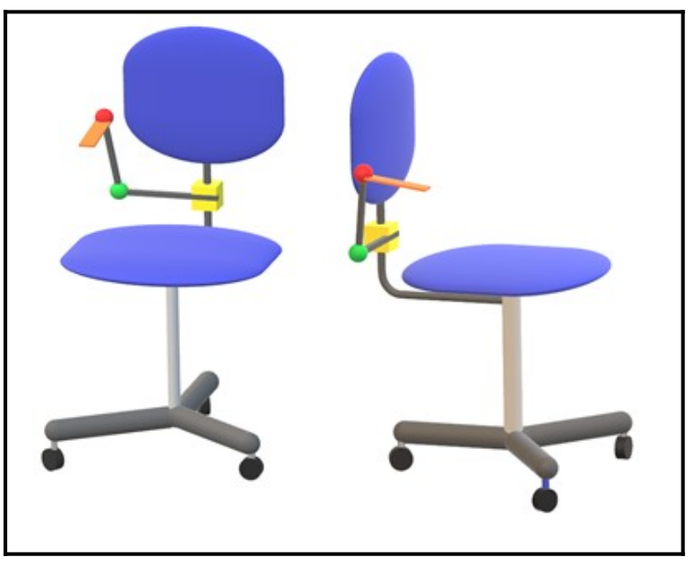


Figura 2-1: Modelo idea general

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Diagrama funcional.

Para el diseño de un primer prototipo funcional se propone trabajar solamente con la variable medible de peso del brazo del odontólogo para controlar la posición y el giro del motor. Se puede ver el diagrama funcional en la figura 2-2.

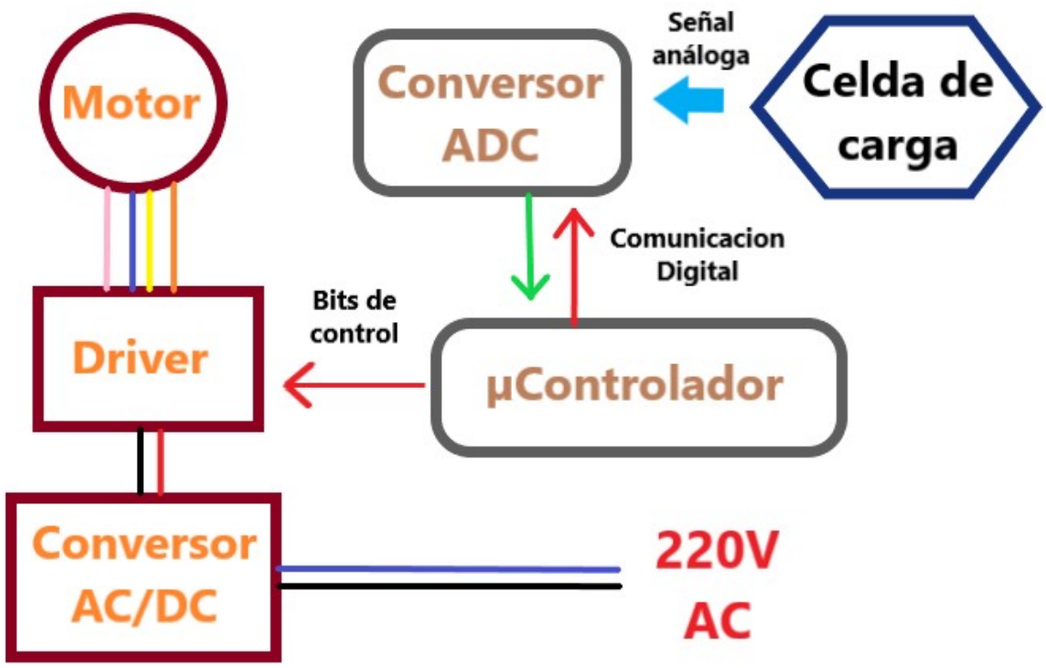


Figura 2-2: Diagrama funcional

Fuente: Elaboración propia

2.2 ESTUDIO TÉCNICO DE HARDWARE Y SOFTWARE

En este punto se describirán los materiales y herramientas a utilizar, para realizar el control necesario, y los actuadores que controlarán.

2.2.1 Tarjeta de desarrollo.

Existen varias opciones en el mercado de tarjetas de desarrollo para prototipado basadas en distintos tipos de microcontroladores, de las cuales las más accesibles y comúnmente ocupadas son:

- Arduino uno y nano, basadas en el chip Atmega 328
- NodEMCU y ESP12, Basadas en el chip ESP8266
- DOIT, Basada en el chip ESP32

Para realizar el control programado del proyecto se ha elegido una tarjeta de desarrollo basada en el integrado ESP-32 diseñado por la empresa China Espressif, específicamente la tarjeta DOIT Esp32 DevKit v1 que se puede ver en la figura 2-2, por su alta potencia de cómputo en comparación a su competencia, su bajo costo y su facilidad de programación, pero la principal razón de su elección es debido a que el integrado ESP32 cuenta con un procesador de dos núcleos, más un núcleo de bajo consumo para sueño profundo (figura 2-5), característica esencial para realizar más de una tarea a la vez sin tener la necesidad de trabajar con más de una tarjeta de desarrollo. Se puede ver en la tabla 2-1, la comparativa de los chips de las características más relevantes.

Tabla 2-1: Comparativa de especificaciones.

	Atmega 328	**Esp 8266**	**ESP 32**
N° de Núcleos	1	1	2
Frecuencia CPU	16MHz	80MHz	160MHz
WiFi	NO	SI	SI
Pines	14	17	36
Memoria Flash	32KB	16MB	16MB

Fuente: Elaboración propia.

El chip ESP-32, lanzada por primera vez en agosto del 2016, es una evolución del chip ESP8266 también de la empresa Espressif, que previo a la aparición del chip ESP-32 y sus módulos y tarjetas, se popularizo debido a su potencial y su muy bajo costo. El hecho que disparó su popularidad y transformó las tarjetas de desarrollo basadas en el chip ESP-8266 es una excelente alternativa ante las tarjetas de desarrollo más usadas hasta la fecha, que fue la posibilidad de programarlas fácilmente desde la IDE de Arduino, característica que heredan las

tarjetas de desarrollo basadas en el chip ESP-32, esto fue posible gracias a la liberación de la API debido a la presión de la comunidad.

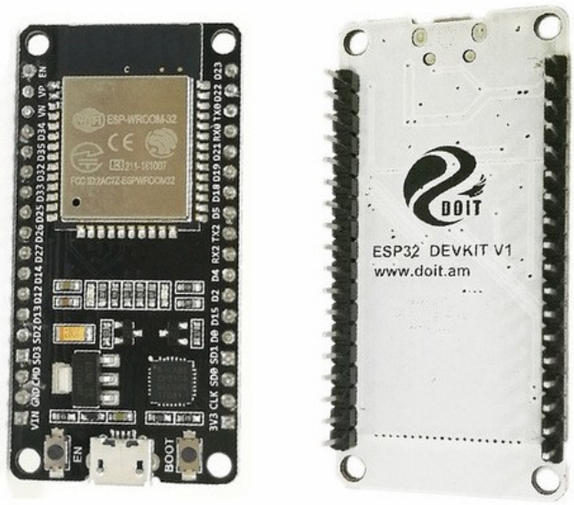


Figura 2-3: DOIT ESP32 DevKit v1

Fuente: www.redgps.com

Debido a la posibilidad de tener conectividad Wi-Fi se fabrican módulos Wi-Fi a partir del chip ESP-32 (Figura 2-4), los que tienen el formato de componente SMD para soldar en placa, y a partir de estos módulos Wi-Fi se crean una gran variedad de tarjetas de desarrollo tales como la tarjeta DOIT.

Figura 2-4: Modulo WiFi con ESP32

Fuente: https://www.espressif.com/en/products/hardware/modules

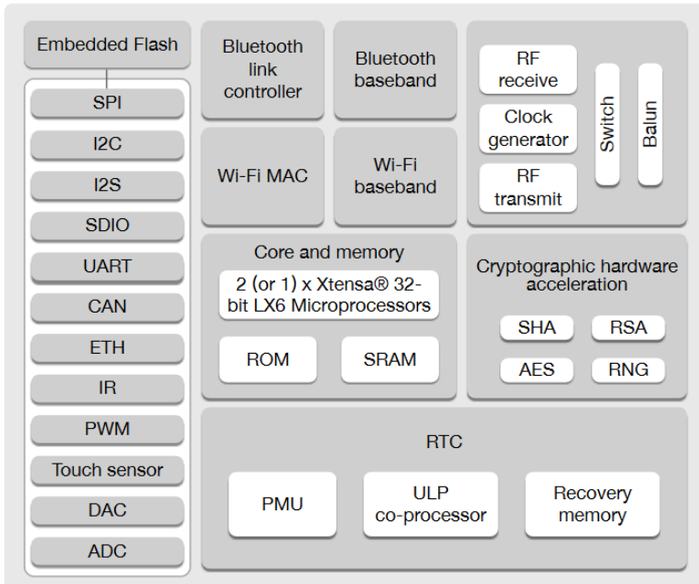


Figura 2-5: Diagrama de chip ESP32

Fuente: ESP32_datasheet

2.2.2. Motor

Debido a la gran precisión requerida para el movimiento del prototipo la mejor opción fue elegir un motor Paso a Paso, motor PAP de ahora en adelante, con caja reductora incluida, ya que, pese a que existen motores PAP con pasos de ángulos pequeños, con ángulos de cerca de un solo grado, estos pasos son aún muy amplios para el movimiento requerido.

En un principio se probó con un servomotor, debido a la facilidad de operación y que son usualmente ocupados en robótica básica, no obstante, surgieron dos impedimentos:

I. A pesar de que, a través de las librerías disponibles, el control mediante el código se le indica al ángulo al cual debe posicionarse, y acepta ángulos muy pequeños del orden de las décimas de grado, el movimiento del motor era como mínimo un grado aproximadamente, y esta precisión es insuficiente.

II. La velocidad a la que gira el motor es siempre la misma y la máxima posible, esto impide tener un control fino el movimiento ya que es requerido el control de la velocidad de giro. Si bien es cierto se puede simular un giro más lento, esto se hace girando levemente y esperar un pequeño periodo de tiempo antes de volver a moverse, pero debido al impedimento anterior explicado resulta en un movimiento notoriamente intermitente y no apto para el proyecto.

El motor elegido para el diseño del prototipo es el motor “PAP 28BYJ-48 – 5V Stepper Motor” (figura 2-5, datasheet en anexo B), que viene acoplado con una caja reductora con relación 1:60, el motor posee una resolución de 5,625 grados por paso, que luego de la caja reductora, el buje resulta con una resolución de 0,09375 grados por paso, esto implica que para que el buje de una vuelta completa el motor PAP da 3840 pasos

Figura 2-6: Motor PAP con reductora

Fuente: https://makerfabs.com

Este motor por defecto es un motor PAP unipolar, pero con una pequeña modificación se puede convertir en un motor PAP bipolar, con esta modificación se aprovecha la bobina completa y con esto se obtiene un mayor torque. Para hacer esta modificación solo basta con cortar una pista de la PCB donde están soldados los cables, esto se observa en la figura 2-7.

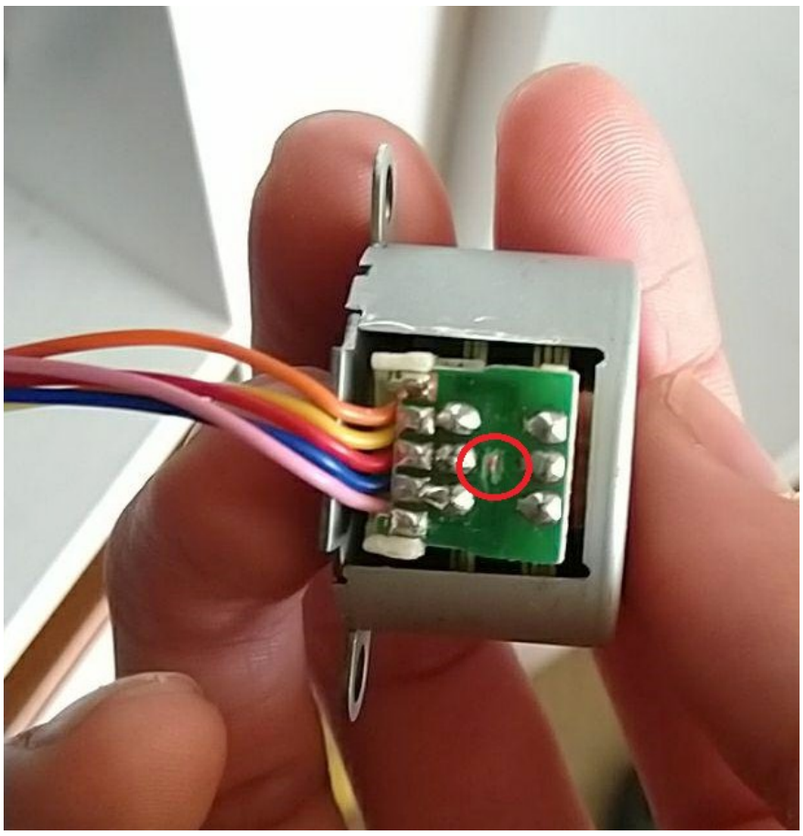


Figura 2-7: Modificación de motor PAP

Fuente: Elaboración propia

Este motor usado, con fines de estudiar el diseño, no tiene el torque necesario para el funcionamiento de un producto final.

El peso promedio del antebrazo es de 2,3 Kg, y el peso promedio de la parte superior un brazo es de 2,6Kg con una medida promedio de 30 cm, si se supone una distribución de peso uniforme tenemos que su centro de masa está a 15 cm. Como el antebrazo la posición más común es en 90 grados con el brazo para los cálculos su centro de masa estará a 30 cm.

El momento en el que el toque es mayor es cuando el brazo está en posición horizontal con esto se calcula el toque (o momento de fuerza) con la siguiente formula:

$$T\left[\frac{Kg}{cm}\right]=F\left(Fuerza\ peso\ en\ Kg\right)*L\left(Longitud\ en\ cm\right)$$

$$T_1=2{,}6*15$$

$$T_1=39$$

$$T_2 = 2{,}3 * 30$$

$$T_2 = 69$$

Por superposición:

$$T_t = 39 + 69$$
$$T_t = 108$$

Esto da como resultado que el motor a ocupar, luego de las reducciones, debe poder producir al menos 108[Kg/cm] de torque.

2.2.3 Driver motor PAP

Para controlar el motor PAP se eligió el driver “EasyDriver - A3967” (Figura 2-8), basado en el integrado A3967, que destaca por su simplicidad de uso y su amplio rango que alimentación.

Este Driver puede alimentar un motor paso a paso de hasta 30V por bobina a un máximo de 750 [mA] continuos y 850 [mA] de peak, y puede operar en un rango de temperaturas de -20 [°C] hasta 85 [°C], con una temperatura de juntura de hasta 150 [°C] y no necesita de un disipador.

Las señales de control que requiere el controlador son solo dos, dirección y paso, que cada vez que la señal de control cambia de estado lógico, entre 1 y 0, el motor avanza un paso, por lo que el control de velocidad se hace a través de código con dos funciones implementadas en la librería disponible, donde a una se le entregan los parámetros de velocidad a la que avanza y pasos por avanzar, el signo de los pasos indica la dirección de giro, y la segunda función se le entregan los parámetros de velocidad a la que avanza y ángulo de giro, que al igual que la función anterior el signo del parámetro de grados indica el sentido de giro.

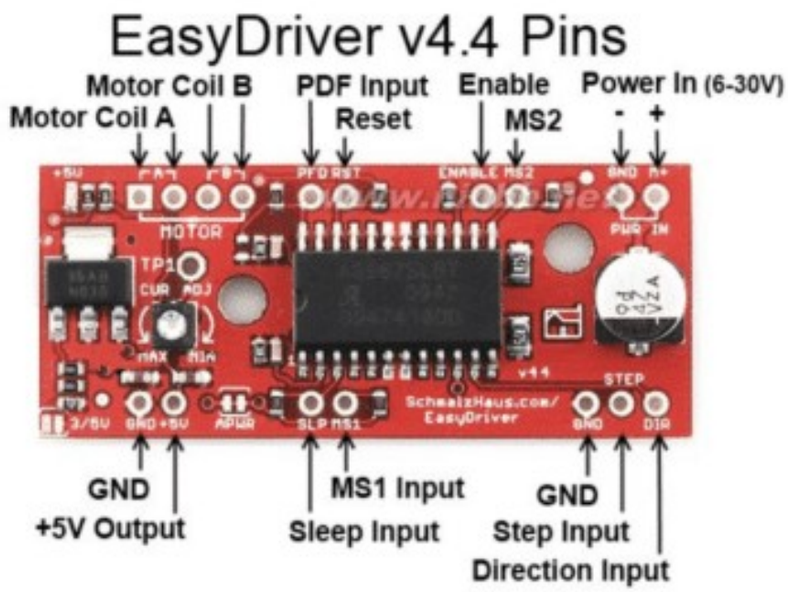


Figura 2-8: EasyDrver V4.4 A3967

Fuente: https://www.cdmxelectronica.com

Las señales de control lógicas pueden ser de 5V o 3,3V, esto se puede ajustar con un "jumper" en la parte inferior izquierda de la tarjeta del controlador (Figura 2-8), que al soldar los pads entre si la señal de control lógica se ajusta a 3,3V.

Este driver tiene la capacidad de controlar el motor no solo a través de un solo paso sucesivamente, con las entradas MS1 y MS2 se puede ajustar para que controle un motor PAP con paso completo, medio paso, un cuarto de paso y un octavo de paso, por defecto MS1 y MS2 están en estado lógico alto, y con un cable a tierra se puede dejar en bajo (0V), el ajusta dependiendo de los estados se muestra en la figura 2-9.

Es importante destacar que el controlador luego de hacer girar al motor los pasos que se le ordenó este no deja una bobina energizada por lo que, si al motor se le está ejerciendo torque en este momento, el motor girara sin que se desee, por lo que se recomienda agregar una reducción a través de un engranaje de gusano (o tornillo sin fin), lo que permitirá generar más toque aun, debido a una reducción extra, y bloqueará mecánicamente todo movimiento proveniente desde el brazo.

MS1	MS2	Resolution
low	low	Full Step (2 phase)
high	low	Half step
low	high	Quarter step
high	high	Eight step

Figura 2-9: Selección de modos de paso

Fuente: A3967-EDMOD_Manual

A través de un potenciómetro se puede regular la corriente que alimentará al motor, de esta forma no hay necesidad de preocuparse si el voltaje de alimentación es mucho mayor al nominal del motor.

2.2.4 Celda de carga

Se eligió la celda de carga más pequeña en tamaño para realizar el prototipo, una celda de carga de 50K y 3 hilos, que internamente son 2 galgas de presión de aproximadamente 1000[Ω] con un cable que da exceso a los dos extremos y al punto entre las galgas como se muestra en la figura 2-10.

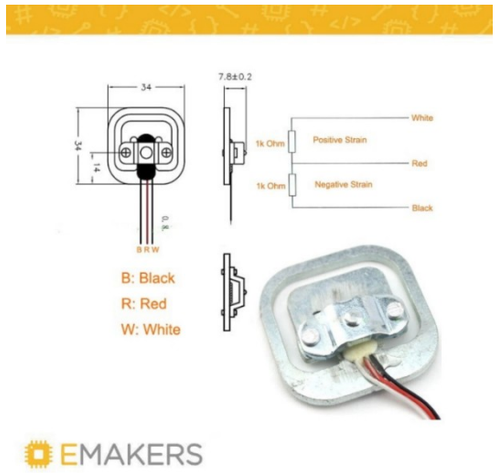


Figura 2-10: Celda de carga 50Kg 3 hilos

Fuente: www.emakers.com.ar/tienda/sensores/otros/

2.2.5 Conversor ADC

El conversor análogo digital elegido es el módulo Hx711 basado en el integrado Hx711, este módulo conversor análogo digital está enfocado para trabajar con celdas de carga. Este conversor de 24 bits consta de 2 canales de lectura análoga multiplexados, canal A con ganancias prográmales de 64 o 128, y el canal B con una ganancia de 32, y se comunica de manera serial con el microcontrolador.

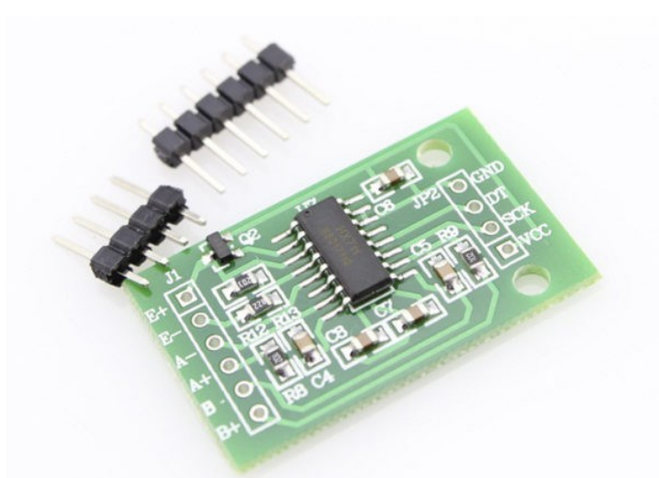


Figura 2-11: Módulo conversor ADC Hx711

Fuente: afel.cl

2.3 PRUEBAS REALIZADAS

Durante el desarrollo de este proyecto para seleccionar correctamente los materiales y tecnologías se construyó una maqueta donde se pudieron probar los distintos sistemas. En este apartado se abordarán las pruebas más relevantes que validan partes del diseño original o que concluyen una falla en el diseño y proponen un rediseño importante.

2.3.1 Acople de silla

Para el acople a la silla se hace un primer diseño simple (que se puede ver modelado en la figura 2-12) formada de 2 piezas que se unen en 4 puntos a través de pernos, estas 2 piezas rodean el soporte del respaldo de la silla de manera que no hay que modificar la silla en si para poder acoplar el brazo, este se fabricó en madera para hacer las pruebas, esto se observa en la figura 2-13.

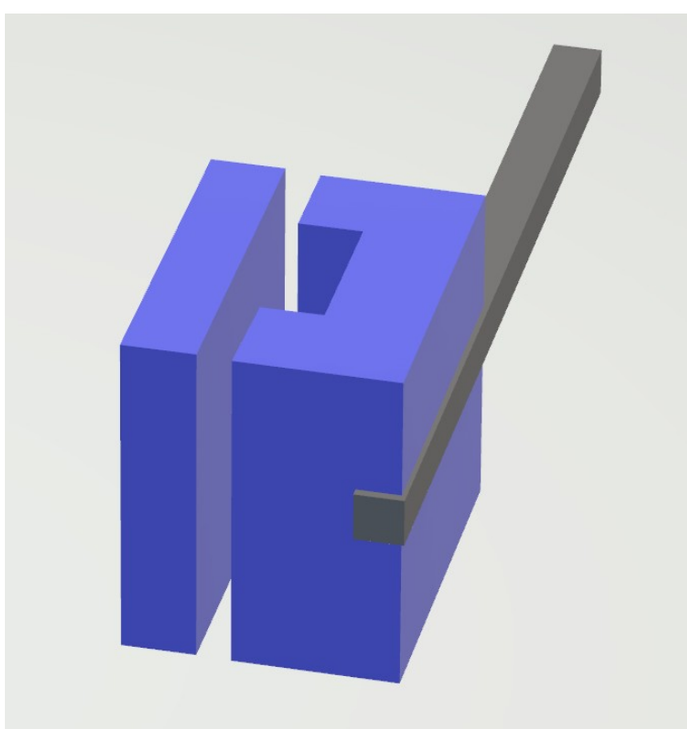


Figura 2-12: Modelo acople silla

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11: Acople de silla de maqueta

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Estructura articulada

En la maqueta se fijó el motor al soporte de la articulación y a través de un acople flexible se fija a un buje soportado por un rodamiento que mueve la articulación, esto se muestra en la figura 2-12.

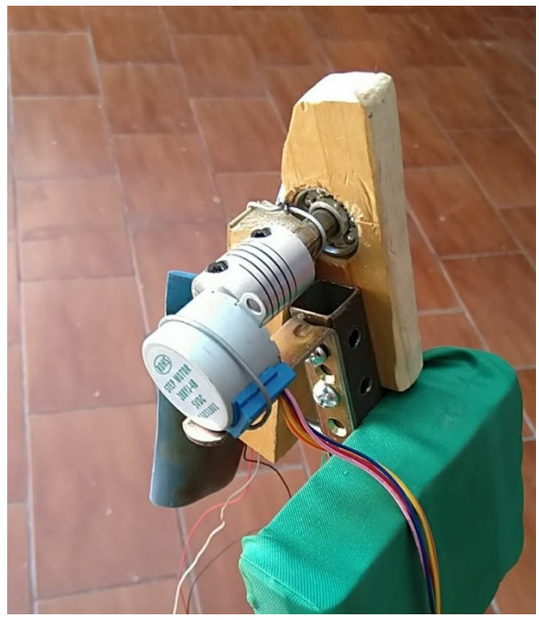


Figura 2-12: Estructura articulada de maqueta.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de tener montado el sistema se realizaron pruebas. Estas pruebas revelaron que pese a tener un motor con una reducción de 1:60 el movimiento era aún muy rápido y con torque insuficiente, y más importante aún que luego de girar el motor la cantidad de pasos que se le ordenan, el driver del motor no continúa controlando la posición por lo que dejaba de ejercer torque y cualquier movimiento proveniente desde el exterior hacia mover la articulación fuera de nuestro control.

Estas pruebas hacen concluir que se requiere aún más reducción, y que la reducción que soluciona estos 2 problemas es la de gusano o de tornillo sin fin que bloquea el torque proveniente de la salida de la reducción.

2.3.3 Microcontrolador

En un principio se ocupó una tarjeta de desarrollo basada en el chip ESP 8266, la cual cuenta con las prestaciones suficientes para el proyecto, no obstante, las primeras pruebas fueron insatisfactorias debido a que el driver solo se encarga de gestionar los pasos en potencia para el motor, pero cada paso es ordenado por el microcontrolador uno a la vez, y que la comunicación con el conversor ADC es vía puerto Serial. Estas 2 causas provocaban que a cada

lectura del conversor ADC el motor dejaba de avanzar quedándose detenido por aproximadamente 1 segundo cada medio segundo.

Si bien es cierto que es posible hacer que el microcontrolador alterne las tareas para poder realizar más de una tarea a la vez, esto elevaría demasiado la complejidad de la programación del microcontrolador. La mejor solución para este caso fue cambiar el microcontrolador por uno basado en el chip ESP 32, que cuenta con 2 núcleos y se pueden usar separados para cada tarea, y su precio sigue siendo bajo para las prestaciones que posee.

2.3.4 Control programado

Para poder ocupar los 2 núcleos del microcontrolador por separado es necesario definir una tarea, para poder crear otro ciclo (LOOP) que se ejecute en el segundo núcleo. Esto deja al código con la siguiente estructura: Declaración de tarea, ciclo a ejecutar en el segundo núcleo, setup donde se configuran los parámetros de la segunda tarea con la función “xTaskCreatePinnedToCore” (núcleo donde se ejecuta, nombre de tarea etc.), y luego el ciclo principal (void loop), esto se puede ver en la figura 2-13.

```
TaskHandle_t Task1;

void loopPAP(void *parameter){


}

void setup() {
  xTaskCreatePinnedToCore(
    loopPAP,
    "tareaPAP",
    1000,
    NULL,
    1,
    &Task1,
    0);
}

void loop(){


}
```

Figura 2-13: Estructura del código para multitarea.

Fuente Elaboración propia

Luego de hacer pruebas con este código se tuvo que programar el grueso del código en la segunda tarea y en el ciclo principal las ordenes me movimiento del motor hacia el driver, ya que estas ocurrían a una frecuencia muy alta y el “watchDog” de alerta de loop infinito de la tarea secundaria detenía al microcontrolador, bastó intercambiar de núcleo los procesos para que funcionara sin problemas.

CAPITULO 3: ANÁLISIS DE COSTOS

3. Análisis de costos

3.1 BOM (Bill of Materials)

Con el fin de definir y acotar más un diseño mecánico del proyecto, se confeccionó un brazo robótico con materiales económicos y de fácil acceso para así descartar fallas en el diseño y mejorarlas. El Bill of Materials que se ve en la tabla 3-1 es construido a partir de piezas que se pueden encontrar en él.

Tabla 3-1: BOM

	cantidad	precio unitario CLP	Costos de envío	Costo total en CLP	Costo en UF
Control de motor					
ESP 32 Doit	1	$3.468	$769	$4.237	0,148
Módulo Hx711	1	$538	$327	$865	0,030
Celda de carga	1	$1.285	$327	$1.612	0,056
Reductora de gusano	1	$7.649	$0	$7.649	0,267
Acople flexible	2	$771	$0	$1.542	0,054
Subtotal				$15.905	0,554
Potencia					
Easy Driver	1	$2.616	$281	$2.897	0,101
Motor paso a paso	1	$1.806	$1.308	$3.114	0,109
Fuente de Poder	1	$1.643	$1.495	$3.138	0,109
Subtotal				$9.149	0,319
Estructura articulada					
Rotula 360	1	$2.141	$0	$2.141	0,075
Rodamiento 8x22x7mm	2	$40	$0	$80	0,003
Resorte de extensión 200mm	1	$2.005	$8.229	$10.234	0,357
Perfil aluminio 20x20x250 mm	1	$4.500		$4.500	0,157
Tuerca-T M5 (corrediza)	1	$300		$300	0,010
Perno mariposa M5 10mm	1	$200	$0	$200	0,007
Perno M3 16mm	1	$40	$0	$40	0,001
Golilla M5	1	$60	$0	$60	0,002
Subtotal				$17.555	0,612
Acople desmontable					
Perno M4 40mm	4	$92	$0	$368	0,013
Golilla M4	4	$54	$0	$216	0,008
Tuerca M4	4	$44	$0	$176	0,006
Subtotal				$760	0,026
			Total	$43.369	1,511

Fuente: elaboración propia, basado en cotizaciones en páginas Chinas.

Para la fabricación de un prototipo funcional se necesitarán de 43.369 pesos chilenos en materiales existentes en el mercado.

Además de estos materiales se necesitará del diseño y la fabricación de piezas específicas cuyo precio será descrito en la planilla de esfuerzo.

3.2 PLANILLA DE ESFUERZO

La planilla de esfuerzo se divide por los sistemas que conforman el proyecto, que corresponden a:

- Software
- Diseño electrónico
- Estructura articulada
- Acople a silla

Se detallarán las horas necesarias para realizar las distintas fases y se le asignará un valor en UF correspondiente al pago en HH del profesional encargado de realizar la actividad.

El Valor en UF de las HH ocupadas en las planillas de esfuerzo, se obtienen a partir del sueldo promedio de los profesionales que podrían desempeñar la tarea requerida mostrado en la tabla 3-2. La fuente de los valores de los sueldos se obtiene a través del portal WEB www.indeed.cl , que muestra la renta promedio de los profesionales encuestados usuarios del portal. Valores consultados en el portal con fecha de 11/03/2020

Tabla 3-2: HH en UF

Tabla de sueldos				
Cargo	T.U. Electrónico	I.C. Mecánico	Diseñador industrial	I. Control
Sueldo mensual en Pesos Chilenos	$470.402	$756.900	$477.389	$1.611.925
Horas de trabajo semanal	40	40	40	40
Valor HH en Pesos Chilenos	$2.940,0	$4.730,6	$2.983,7	$10.074,5
Valor HH en UF	0,103	0,166	0,105	0,353

Fuente: Elaboración propia, Basado en datos de salarios de www.indeed.cl

3.2.1 Software

La planilla de esfuerzo del Software, mostrado en la tabla 3-3, consta de la implementación correcta de la comunicación entre los módulos de toma de datos (Hx711) y de control del motor (Easy Driver) en la plataforma de programación oficial de Arduino "Arduino IDE" ocupada para este proyecto la versión 1.8.10, incorporando las librerías correspondientes para dichos módulos. Y también todo el desarrollo del algoritmo implementándolo en ambos núcleos del chip ESP32, característica vital para este proyecto

Tabla 3-3: Esfuerzo Software

Sistema 1	**Software**				
	Fases	**Horas de trabajo**	**Días dedicados**	**Valor de HH (UF)**	**Costo en CLP**
Subsist. 1.1	**Comunicación con Hx711**				**141027,6**
Act 1.1.1	Investigación de componente	40	5	0,103	117523
Act 1.1.2	Integrar librerías	2	1	0,103	5876,15
Act 1.1.3	Calibrar con la celda	4	1	0,103	11752,3
Act 1.1.4	Medir comportamiento	2	1	0,103	5876,15
Subsist. 1.2	**Control de motor**				**73451,875**
Act 1.2.1	Investigación de Motor y Driver	20	3	0,103	58761,5
Act 1.2.2	Integrar librerías Driver	2	1	0,103	5876,15
Act 1.2.3	Modificar librerías Driver	3	1	0,103	8814,225
Subsist. 1.3	**Algoritmo De control**				**478364,25**
Act 1.3.1	Investigación de Controlador	60	7	0,103	176284,5
Act 1.3.2	Implementar Multitask	6	1	0,353	60415,95
Act 1.3.3	Programar toma de datos	4	1	0,353	40277,3
Act 1.3.4	Programar control de posición	20	3	0,353	201386,5
				TOTAL SIS. 1	**692843,725**

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Diseño electrónico

La planilla de esfuerzo de diseño electrónico, mostrado en la tabla 3-4, consta del diseño de la conexión física de los módulos a la tarjeta de desarrollo a la vez que todo el conjunto quede bien integrado en la estructura.

Tabla 3-4: Esfuerzo Diseño electrónico

Sistema 2	**Diseño electrónico**				
	Fases	**Horas de trabajo**	**Días dedicados**	**Valor de HH (UF)**	**Costo**
Subsist. 2.1	**PCB**				**67575,725**
Act 2.1.1	Diseño de conexiones	12	2	0,103	35256,9
Act 2.1.2	Diseño de forma	6	1	0,103	17628,45
Act 2.1.3	Montado	1	1	0,103	2938,08
Act 2.1.4	Pruebas	4	1	0,103	11752,3
				TOTAL SIS. 2	**67575,725**

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Estructura articulada

La planilla de esfuerzo de estructura articulada (Tabla 3-5) consta del diseño de la estructura para que quede articulada y acoplada al acople removible de la silla, y el diseño mecánico de la motorización y reducción en la parte donde estará acoplado el motor PAP

Tabla 3-5: Esfuerzo estructura articulada

Sistema 3	**Estructura articulada**				
	Fases	**Horas de trabajo**	**Dias dedicados**	**Valor de HH (UF)**	**Costo en CLP**
Subsist. 3.1	**Apoyo estructural**				**151524,8**
Act 3.1.1	Diseño	25	4	0,166	118378,75
Act 3.1.2	Modificación de piezas	4	1	0,166	18940,6
Act 3.1.3	Montado	3	1	0,166	14205,45
Subsist. 3.2	**Articulación motorizada**				**143480,75**
Act 3.2.1	Diseño	20	3	0,166	94703
Act 3.2.2	Diseño de piezas en 3D	8	1	0,105	23961
Act 3.2.3	Impresión	6	1	0,11	18826,5
Act 3.2.4	Montaje	2	1	0,105	5990,25
				TOTAL SIS.3	**295005,55**

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Acople a silla

La planilla de esfuerzo de acople silla (Tabla 3-6) consta del diseño para poder acoplar la órtesis a la viga ovalada que soporta el respaldo de las sillas de los odontólogos, de manera que sea fácil de montar y desmontar.

Tabla 3-6: Esfuerzo acople silla

Sistema 4	**Acople a silla**				
	Fases	**Horas de trabajo**	**Dias dedicados**	**Valor de HH (UF)**	**Costo en CLP**
Subsist. 3.1	**Acople removible**				**52058,125**
Act 3.1.1	Diseño en 3D	8	1	0,105	23961
Act 3.1.2	Impresión	8	1	0,11	25102
Act 3.1.3	Montado	1	1	0,105	2995,125
Subsist. 3.2	**Soporte para articulación**				**23961**
Act 3.1.3	Diseño	4	1	0,105	11980,5
Act 3.1.4	Modificación de piezas	2	1	0,105	5990,25
Act 3.1.5	Montado	2	1	0,105	5990,25

TOTAL SIS.4	**76019,125**

Fuente: Elaboración propia

3.3 Costo total

Se puede ver un resumen del costo total de la planilla de esfuerzo de los sistemas con sus subsistemas en la tabla 3-7.

Tabla 3-7: Resumen de planilla de esfuerzo

Sistema 1	**Software**		**Costo en CLP**
Subsist. 1.1	**Comunicación con Hx711**		**141027,6**
Subsist. 1.2	**Control de motor**		**73451,875**
Subsist. 1.3	**Algoritmo De control**		**478364,25**
		TOTAL SIS. 1	**692843,725**
Sistema 2	**Diseño electrónico**		
Subsist. 2.1	**PCB**		**67575,725**
		TOTAL SIS. 2	**67575,725**
Sistema 3	**Estructura articulada**		
Subsist. 3.1	**Apoyo estructural**		**151524,8**
Subsist. 3.2	**Articulación motorizada**		**143480,75**
		TOTAL SIS.3	**295005,55**
Sistema 4	**Acople a silla**		
Subsist. 3.1	**Acople removible**		**52058,125**
Subsist. 3.2	**Soporte para articulación**		**23961**
		TOTAL SIS.4	**76019,125**
		Total final	$1.131.444

Fuente: elaboración propia

La mayoría de los materiales fueron cotizados directamente a proveedores en China y debido a que no se trabaja con mucha potencia los elementos motrices no elevan demasiado su costo. Como se menciona en el punto 3.1 el total de los materiales por comprar es de $43.369 pesos chilenos luego de gastos de envió.

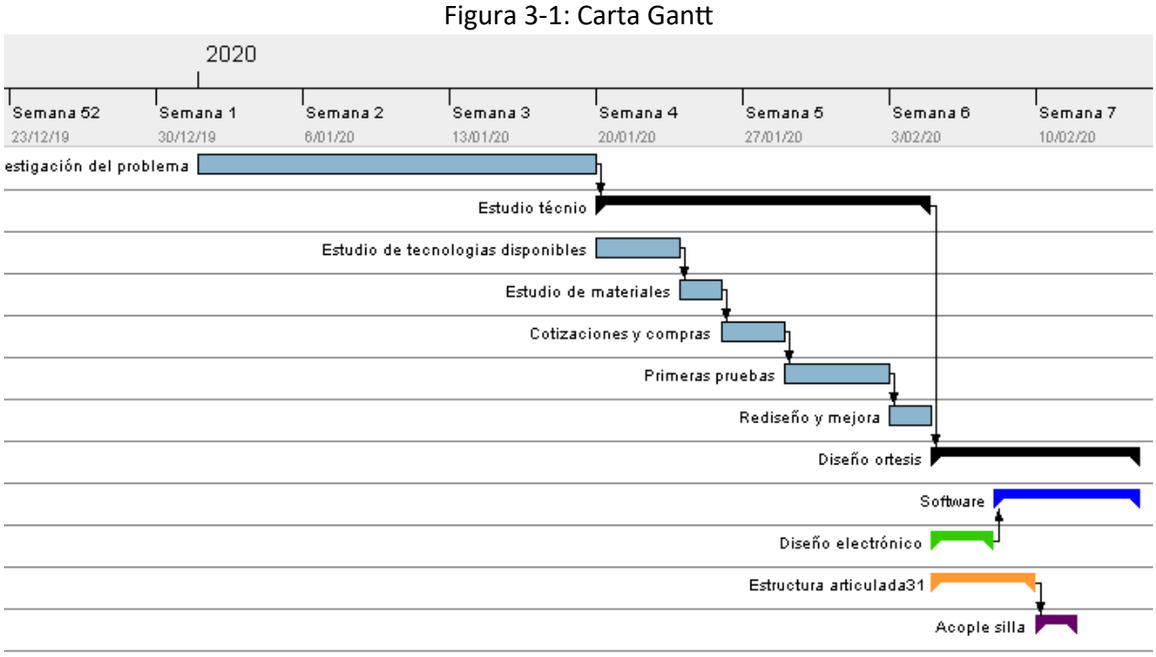
Los costos de diseño y desarrollo se ven reflejados en la planilla de esfuerzo, separada por sistemas en el punto anterior, que arroja como resultado un costo de los 4 sistemas de $1.131.444 pesos chilenos.

Es importante destacar que como este es un prototipo y no es un producto final, y puede sufrir modificaciones, por lo tanto, no se realizará el cálculo de actividades de réplica, por lo tanto, el costo total del proyecto, sumando materiales y planilla de esfuerzo, es de $1.174.813 pesos chilenos incluyendo costos imprevistos, de aproximadamente un 15%, y redondeando el costo es de $1.350.000 pesos chilenos.

3.4 Carta Gantt

Para generar la Carta Gantt (Figura 3-1) se ocupó el software GanttProject, donde se introdujeron las actividades asociadas al proyecto detalladas en las planillas de esfuerzos del punto 3.2 (desarrollo de ortesis), y se agregan los tiempos de las fases de investigación y estudio técnico.

Figura 3-1: Carta Gantt



Fuente: Elaboración propia.

El Software arroja como resultado, luego de generar las dependencias separando el desarrollo mecánico del eléctrico-electrónico en la fase de Diseño de Ortesis, de 10 días como se muestra en la figura 3-2. Todo esto considerando que ya se tiene posesión de todos los materiales.

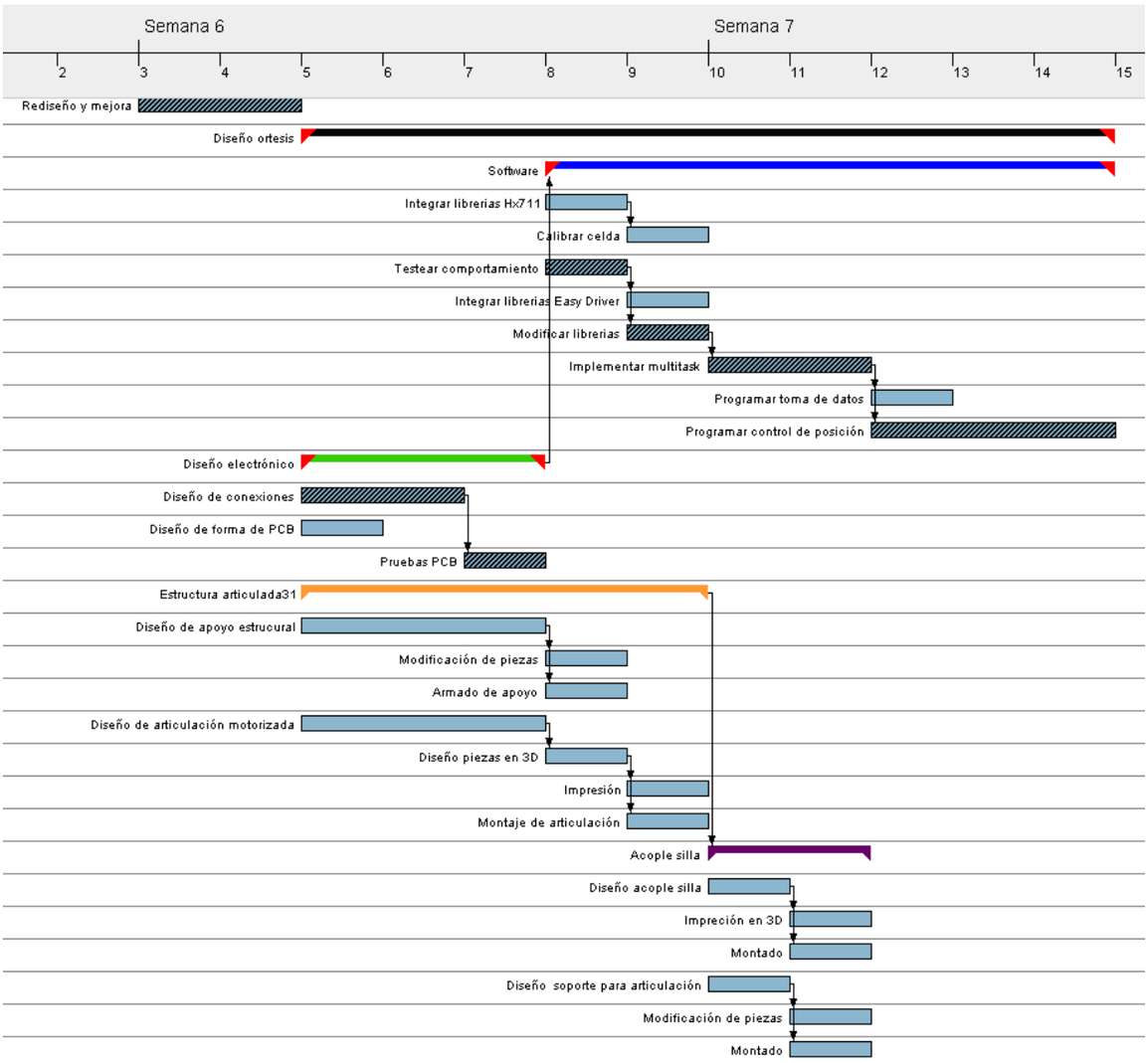


Figura 3-2: Carta Gantt Fase Diseño Ortesis

Fuente: Elaboración propia.

El software muestra también la línea crítica del proyecto, las barras achuradas con gris, que son las dependencias que le dan la duración máxima al desarrollo del proyecto, y en este proyecto la línea crítica es el desarrollo de las conexiones de los módulos y el diseño de la PCB para luego dar paso a la programación del microcontrolador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de probar las distintas alternativas para el desarrollo del proyecto, se puede concluir que para dar una solución a algún problema no es necesario un gran desarrollo tecnológico para cada uno de los sistemas que conformarían un proyecto. En la actualidad existe mucha tecnología disponible para cualquiera que la necesite usar, eso se ve reflejado en la variada existencia de módulos para realizar diversas tareas que se pueden encontrar en el mercado, lo que lleva a concluir que lo más importante a la hora de querer dar solución a un problema es identificar bien el problema y estudiar las causas de este y luego aplicar la tecnología ya existente.

La mayor parte del tiempo dedicado en la realización de este proyecto fue el estudio del problema, y la búsqueda de pruebas de las lesiones a las que el proyecto pretende dar solución, eso revela que aún no existe un completo conocimiento de las enfermedades laborares. Se recomienda a las autoridades correspondientes de conformar un grupo encargado de estudiar y registrar todas las enfermedades laborales de las distintas profesiones y oficios, con el objetivo de que ninguna enfermedad laboral pace desapercibida como es el caso de la enfermedad que aborda este proyecto.

Se puede concluir que el desarrollo de un producto final a partir de este estudio es factible debido al poco tiempo necesario para su desarrollo y su bajo costo, considerando que un prototipo, que es la fase que suele ser más costosa, cuesta 1.128.506 pesos chilenos, costo que incluye las horas de investigación y donde los mayores valores se encuentran en los puntos de diseño, además que este coste que se verá reducido para las siguientes iteraciones del prototipo

Con respecto al objetivo de diseñar un sistema controlado que dé solución al problema, no fue necesario diseñar una silla para implementar el sistema, ya que las sillas ocupadas ya tienen la fuerza estructural suficiente, y es mucho más sencillo trabajar con elementos que ya se tienen en el área de trabajo evitando elevar los costos de implementación

Se recomienda para una siguiente fase de desarrollo la creación de un equipo multidisciplinario donde se integre al profesional afectado, como a kinesiólogos, y/o terapeutas ocupacionales para llegar a un diseño óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ancheta E. (2014). Caracterización de trastornos músculo-esqueléticos en profesionales de Odontología Municipio Girardot, Estado Aragua.
   Universidad de Carabobo. Facultad de Ciencias de la Salud

2. https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Paginas/Ejercicios_para_descansar_brazos_y_piernas.aspx

3. https://www.suseso.cl/606/w3-article-40066.html

4. Bugarín-González, R., Galego-Feal, P., García-García, A., & Rivas-Lombardero, P. (2005). Los trastornos musculoesqueléticos en los odontoestomatólogos.
   RCOE, 10(5-6), 561-566.

5. https://www.espressif.com/en/support/download/documents

6. https://www.xataka.com/makers/empezar-arduino-que-placa-kits-iniciacion-comprar

7. https://soloarduino.blogspot.com/2017/03/que-es-un-esp32.html

8. https://randomnerdtutorials.com/esp32-dual-core-arduino-ide/

ANEXO A: ENCUESTA

Odóntologo Nº	1	2	3	4	5
Sexo	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Hombre
Horas de trabajo semanales	44	48	44	36	53
Años de ejercicio de la profesión	30	18	12	30	6
¿Se da el tiempo de descansar, estirar, y/o ejercitar las zonas del cuerpo mas ocupadas en su trabajo?	Al menos una vez al dia	Si, puedo hacerlo entre cada paciente	No tengo tiempo	Solo un par de veces durante el trabajo	Si, puedo hacerlo durante el trabajo varias veces entre algunos pacientes
¿En su tiempo libre realiza ejercicios que involucren las zonas criticas que utiliza en su trabajo?	No	Si	No	No	Si
¿Sufre usted alguna molestia o lesión en las zonas que involucran su trabajo?	Tengo lesion(es)	Tengo lesion(es)	Solo molestia	Solo molestia	Solo molestia
Las molestias o lesiones que sufre están directamente relacionadas con el ejercicio de su profesión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Tal vez
En que zonas usted tiene estas molestias o lesiones	Cuello, Hombro	Cuello, Hombro, Codo, Muñeca	Hombro, Espalda	Cuello, Hombro, Zona lumbar	Muñeca
¿Alguna lesión particularmente recurrente o grave?	Capsulitis del hombro	Hernia cervical, artrosis vértebral	No	Dolor espalda y hombro	No
Cuanto tiempo al año usted esta con licencia debido a estas molestias o lesiones	al menos un mes	Nunca	Nunca	Nunca	Nunca

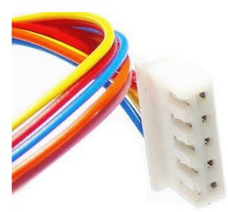
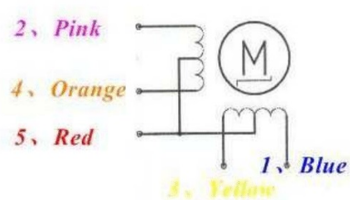
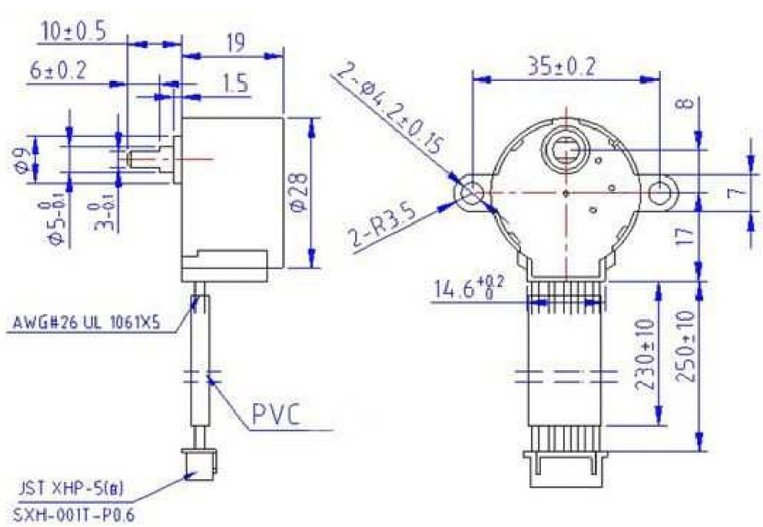
Odóntologo Nº	6	7	8	9	10
Sexo	Mujer	Hombre	Hombre	Hombre	Mujer
Horas de trabajo semanales	44	40	45	44	40
Años de ejercicio de la profesión	30	30	30	18	20
¿Se da el tiempo de descansar, estirar, y/o ejercitar las zonas del cuerpo mas ocupadas en su trabajo?	No siento la necesidad	Solo un par de veces durante el trabajo	Solo un par de veces durante el trabajo	Al menos una vez al dia	Solo un par de veces durante el trabajo
¿En su tiempo libre realiza ejercicios que involucren las zonas criticas que utiliza en su trabajo?	No	No	No	No	No
¿Sufre usted alguna molestia o lesión en las zonas que involucran su trabajo?	Solo molestia	Tengo lesion(es)	Tengo lesion(es)	Solo molestia	Tengo lesion(es)
Las molestias o lesiones que sufre están directamente relacionadas con el ejercicio de su profesión?	Sí	Tal vez	Sí	Sí	Sí
En que zonas usted tiene estas molestias o lesiones	Mano	Cuello, Hombro	Cuello, Hombro	Cuello, Hombro	Codo
¿Alguna lesión particularmente recurrente o grave?	Recurre en la mano	No	Hernia cervical - ruptura de ligamentos hombro	No aún	Epicondilitis
Cuanto tiempo al año usted esta con licencia debido a estas molestias o lesiones	Nunca	Nunca	menos de un mes	menos de una semana	menos de una semana

Odóntologo Nº	11	12	13	14	15
Sexo	Mujer	Mujer	Mujer	Mujer	Mujer
Horas de trabajo semanales	42	50	44	44	44
Años de ejercicio de la profesión	30	30	12	15	15
¿Se da el tiempo de descansar, estirar, y/o ejercitar las zonas del cuerpo mas ocupadas en su trabajo?	Al menos una vez al dia	Al menos una vez al dia	No siento la necesidad	No tengo tiempo	No tengo tiempo
¿En su tiempo libre realiza ejercicios que involucren las zonas criticas que utiliza en su trabajo?	No	Si	Si	No	No
¿Sufre usted alguna molestia o lesión en las zonas que involucran su trabajo?	Tengo lesion(es)	Tengo lesion(es)	Solo molestia	Solo molestia	Solo molestia
Las molestias o lesiones que sufre están directamente relacionadas con el ejercicio de su profesión?	Sí	Sí	Tal vez	Sí	Sí
En que zonas usted tiene estas molestias o lesiones	Cuello, Hombro, Codo	Codo	Cuello, Hombro	Cuello, Muñeca, Zona lumbar	Cuello, Muñeca, Lumbar
¿Alguna lesión particularmente recurrente o grave?	Lesion manguito rotador		No	Tension cervical-cefaleas	Cefaleas-tension cervical
Cuanto tiempo al año usted esta con licencia debido a estas molestias o lesiones	al menos un mes	al menos un mes	menos de una semana	Nunca	Nunca

ANEXO B: DATASHEET MOTOR 28BYJ-48

Kiatronics
electronic design and manufacture

28BYJ-48 – 5V Stepper Motor

The 28BYJ-48 is a small stepper motor suitable for a large range of applications.

Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25℃)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz,No load,10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V