UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA UNA MESA PORTA PIEZAS DE MANO EN UN SILLÓN DENTAL ANATÓMICO

Tesis previa a la obtención del

título de Ingeniero Mecánico.

Autor:

FERNANDO DANILO NOVILLO CHIRIBOGA

Director:

Ing. Fran Reinoso Avecillas

Cuenca, Marzo 2015

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi madre, Norma Chiriboga, por su amor incondicional, sus enseñanzas de vida y su ejemplo de perseverancia y dedicación para alcanzar las metas planteadas.

A mis hermanos, Marcia, Jenny y Arturo quienes me han apoyado incondicionalmente con sus consejos durante mi vida que me han ayudado a no rendirme y cada día crecer más.

A mi esposa, Karina quien me ha dado el apoyo, amor y fortaleza para seguir adelante y no rendirme ante nada, fomentando en mi pensamiento que nada en la vida es imposible de alcanzar.

Fernando

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Fran Reinoso – director de esta tesis, por el tiempo y apoyo motivación y sabiduría compartido, para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Nelson Jara por apoyo como director de carrera, como docente y amigo que estuvo siempre perseverante brindándome sus consejos y el empuje que muchas veces me hizo falta para no fracasar en mi estudio.

Al Eco. Fernando Vivar por su colaboración y apoyo brindado para el desarrollo del tercer capítulo.

DECLARATORIA

El trabajo que presento, es original y basado en el proceso y tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos – científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad del autor.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

Fernando Danilo Novillo Chiriboga

CERTIFICO

Que el presente proyecto de tesis “Diseño e implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico”, realizado por el estudiante: *Fernando Danilo Novillo Chiriboga*, fue dirigido por mi persona.

Ing. Fran Reinoso Avecillas

INTRODUCCIÓN

La presente tesis plantea el diseño y la implementación de un sistema automático para trasladar la mesa odontológica de la posición de reposo a su posición de trabajo; el mecanismo diseñado estaría montado lateralmente en un sillón dental anatómico. La idea de realizar un mecanismo diferente para el movimiento de la mesa odontológica surge, por la incomodidad de los pacientes al momento de ser atendidos; los médicos muchas veces se molestan al tener que mover manualmente la mesa parar llevarla a una posición normal de trabajo; además, los odontólogos al realizar el trabajo se sienten limitados por los diversos accesorios o piezas de mano que se encuentran por debajo o sobre la mesa, obligando al tratante a utilizar accesorios adicionales para colocar el instrumental y luego de terminada su tarea, tener que retirar la mesa a la posición de reposo en forma manual; los médicos han indicado sus molestias a varias casas comerciales, sin embargo, sus demandas han sido ignoradas haciendo que los odontólogos trabajen de forma inconforme. Los accesorios que poseen las mesas en la actualidad, generan temor en algunos pacientes, sobretodo, al momento de subir en el sillón dental, por el cuidado que se debe tener en no tropezar con mangueras o accesorios que el equipo posee en su exterior, provocando una gran inseguridad al paciente al momento de abordar el sillón.

La presente tesis pretende alcanzar el siguiente resultado. Diseñar un modelo de mesa para silla odontológica anatómica, la cual no tenga elementos sueltos que provoquen tropiezos en los pacientes; construir un mecanismo que permita llevar la mesa de la posición de reposo a la posición de trabajo sin incomodar al paciente o al médico tratante (de preferencia un sistema automático), minimizar la distancia entre las líneas de conexión hidroneumática (piezas de mano) y el paciente.

El desarrollo de la tesis está estructurado en tres capítulos. En el primer capítulo, se presenta una revisión bibliográfica de la evolución de la tecnología con respecto al sillón dental, cuáles fueron sus primeros inicios de acuerdo a la época, el desarrollo y la incorporación de mecanismos que fueron solventando las necesidades del médico como del paciente hasta llegar a los modelos actuales que han dado comodidad al paciente; se describe a detalle los componentes principales de un sillón dental, el uso y las funciones que cada uno desempeña en el equipo. En el capítulo II, se presenta el problema que presentan los sillones en la actualidad dando como resultado el

desarrollo de un nuevo modelo de mesa que solvente las necesidades del tratante como del paciente; el diseño se sustenta a través del cálculo y la construcción de los componentes mecánicos, electrónicos e hidroneumáticos que podrá observarse en gráficos y fotografías. Finalmente en el capítulo III, se realiza el costeo del proyecto en el cual se incorporan los montos económicos por mano obra, materiales directos e indirectos reflejando el valor real del proyecto.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **I**

AGRADECIMIENTOS ..... **II**

DECLARATORIA ..... **III**

CERTIFICO ..... **IV**

INTRODUCCIÓN ..... ¡Error! Marcador no definido.

Índice de figuras ..... **X**

Índice de tablas ..... **XII**

Índice de Anexos ..... **XII**

1. Revisión bibliográfica del desarrollo tecnológico de los sillones anatómicos. **1**

1.1. Introducción 1

1.2. Revisión histórica del sillón dental 1

1.3. Descripción del equipo dental 7

1.3.1. Salivadera o escupidera 8

1.3.2. Brazos de articulación 8

1.3.3. Lámpara de luz oral 8

1.3.4. Mesa porta piezas de mano 9

1.3.5. Piezas o instrumental de mano 10

1.3.6. Apoyo descansa brazos 12

1.3.7. Silla descansa pies 12

1.3.8. Manguera conductora de fluidos 12

1.3.9. Tapa frontal para conexiones externas 13

1.3.10. Succión 13

1.3.11. Cabecera 14

1.3.12. Espaldar 14

1.3.13. Chasis 15

1.3.14. Reóstato 15

1.4. Avances de los sillones y sus mesas en la actualidad 16
1.4.1. Sillones dentales modernos 16
1.4.2. Intervención de las empresas fabricantes. 16
1.4.3. Turbinas movidas por aire. 16
1.4.4. Equipos modernos 17
1.5. Clasificación de las sillas dentales modernas según su forma 18
1.5.1. Silla de campaña 18
1.5.2. Silla hidráulica 18
1.5.3. Silla eléctrica o electro-hidráulico 19
1.5.4. Sillón anatómico 20
1.5.5. Sillón anatómico modificado 20
1.5.6. Sillón dental simplificado 21
1.6. Problemática de los sillones en la actualidad 22
1.7. Conclusiones del capítulo 22
2. Diseño e implementación del sistema automático para la mesa porta piezas de mano en un sillón anatómico 23
2.1. Introducción 23
2.2. Posibles soluciones 23
2.3. Diseño mecánico 23
2.3.1. Diseño del sistema de posicionamiento de la mesa 24
2.3.2. Análisis del mecanismo: 25
2.3.4. Análisis de esfuerzos y cargas sometidas en el mecanismo: 26
2.3.5. Rozamiento del brazo articulado y soporte brazos paralelos 37
2.3.6. Esfuerzo cortante sobre los pasadores 38
2.3.7. Esfuerzo sobre pasadores que sujetan el motor eléctrico 39
2.3.8. Cálculo de soldadura en la placa base 41
2.3.9. Esfuerzo cortante sobre los pernos de anclaje 41

2.4. Diseño Hidroneumático 43
2.5. Diseño electrónico 45
2.5.1. Diseño de tarjeta de control. 45
2.5.2. Programación de placa de control: 46
2.5.3. Diseño de circuito de potencia para un motor de corriente directa 46
2.6. Proceso construcción y montaje del mecanismo 48
2.7. Conclusiones del capitulo 58
3. Análisis técnico-económico 59
3.1. Introducción: 59
3.2. Costeo por órdenes de trabajo y costeo por procesos 59
3.2.1. Costeo por órdenes del sistema mecánico 59
3.2.2. Requisición de materiales indirectos y mano de obra indirecta 61
3.2.3. Gastos indirectos de fabricación (GIF) 61
3.3. Conclusiones del capitulo 62
4. Conclusiones Generales. 62
5. Recomendaciones. 64
6. Referencias bibliográficas 64

Índice de figuras

Figura 1: Monje dando tratamiento odontológico a paciente postrado en una silla..... 2
Figura 2: Ludwing Cron. Extracción sobre sus piernas en una silla rígida..... 2
Figura 3: Sillón dental diseñado por Josiah Flagg 3
Figura 4: Sillón del siglo XIX con posibilidad de abatir el respaldo 3
Figura 5: Sillón portátil, 1847 Colín Montandon..... 4
Figura 6: Sillón inclinado de 1868 Sillón de James Beall Morrison..... 4
Figura 7: Asiento regulable a través de una manivela en la parte posterior 5
Figura 8: Sillón de Wilkerson 1886 (Cortesía del museo de dentistas) 5
Figura 9: Modelo esquemático del sillón de Le Corbusier 6
Figura 10: Primer consultorio dental equipado por la marca Ritter..... 6
Figura 11: Sillón dental anatómico 7
Figura 12: Escupidera de 262 mm de diámetro 8
Figura 13: Brazo articulado para mesa porta piezas de mano..... 8
Figura 14: Lámpara de luz oral (Tipo led y luz alógena)..... 9
Figura 15: Lámpara de luz oral (Tipo led y luz alógena)..... 9
Figura 16: Bandeja porta instrumental..... 10
Figura 17: Piezas de mano 11
Figura 18: Apoyo de brazo para sillón dental 12
Figura 19: Silla descansa pies para chasis de sillón dental 12
Figura 20: Manguera Porta piezas de mano..... 13
Figura 21: Tapa frontal del chasis y conexiones del equipo 13
Figura 22: Manguera de succión porta eyector..... 14
Figura 23: Cabecera de sillón dental anatómico 14
Figura 24: Espaldar de sillón dental anatómico 15
Figura 25: Chasis pantógrafo 15
Figura 26: Reostato multi posición 16
Figura 27: Turbina de alta o AIRATOR 17
Figura 28: Sillón dental de campaña o portátil de la marca ELCO 18
Figura 29: Silla hidraúlica con accionamiento de pedal y palanca 19
Figura 30: Sillón con acconamiento electro-hidráulico 19
Figura 31: Sillón anatómico con mando eléctrico al piso..... 20
Figura 32: Sillón anatómico modificado..... 21

Figura 33: Sillón anatómico simplificado con mesa tri-modular 21
Figura 34: Sillón anatómico penta modular con mesa automatica 24
Figura 35: Sistema de movimiento del paralelogramo 25
Figura 36: Grados de libertad del conjunto trapecio móvil..... 25
Figura 377: Resorte de compresión..... 26
Figura 38: Caracteristicas de resortes sometidoa a tracción 28
Figura 39: Parámetros de calculo de resorte de tracción del sistema para retroceso . 28
Figura 40: Rozamiento provocado en puntos de contacto 30
Figura 41: Rozamiento provocado en puntos de contacto 31
Figura 42: Radio menor y Radio mayor..... 33
Figura 43: Distribución de cargas y momentos en viga (Conjunto brazo articulado) 34
Figura 44: Diagrama de fuerzas sobre pasador 38
Figura 455: Diagrama de fuerzas sobre el brazo articulado..... 39
Figura 46: diagrama de soldadura en el soporte principal de la mesa. 41
Figura 47: Esquema disposición de los pernos de anclaje 42
Figura 48: Diseño hidroneumático para una mesa porta piezas de mano 43
Figura 49: Sistema neumatico para piezas de mano con irrigacion 45
Figura 50: Diagrama electrónico de automatización para un motor 45
Figura 51: Diseño electrónico de potencia (puente H) para un motor C.D..... 47
Figura 52: diseño del sistema mecánico (mesa)..... 48
Figura 53: diseño del sistema hidroneumático..... 48
Figura 54: diseño de tarjeta de control 49
Figura 55: mecanizado de polea para guía de manguera 49
Figura 56: mecanizado de guía para manguera..... 50
Figura 57: mecanizado base superior de barras paralelas. 50
Figura 58: cortado y pulido de la plancha para base 50
Figura 59: Soldado de base 51
Figura 60: Brazos paralelos del sistema de trapecio. 51
Figura 61: Brazos paralelos ensamblados al soporte base 51
Figura 62: brazo articulado 52
Figura 63: Brazo articulado reducido 15cn en su longitud 52
Figura 64: Buje con pletina de sujeción..... 52
Figura 65: sistema de articulación y soporte de mesa..... 53
Figura 66: Base de mesa 53

Figura 67: Cajas protectora para el circuito electrónico e hidroneumático 54
Figura 68: Cajas de protección de circuitos incorporadas a Placa Base 54
Figura 69: Acrílico opal base para mesa porta piezas de mano 55
Figura 70: Sistema mecánico de mesa porta piezas de mano 55
Figura 71: Montaje de carcasa a la base de mesa..... 55
Figura 72: Mesa en posesión de reposo 56
Figura 73: Mesa en la posición de trabajo 56
Figura 74: Mesa en posición de trabajo a 22cm desde el dorso del paciente..... 57
Figura 75: Tarjeta de potencia puente H 57
Figura 76: Tarjeta de control y tarjeta de potencia 58

Índice de tablas

Tabla 1: Rozamiento provocado en puntos de contacto..... 32
Tabla 2: Diagrama de cortante y momento en el conjunto brazo articulado 35
Tabla 3: Diagrama de deformación en el conjunto brazo articulado 35
Tabla 4: Los materiales requeridos para la fabricación del sistema hidroneumático: 44
Tabla 5: Materiales directos para la implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico..... 60
Tabla 6: Costos de mano de obra directa para la implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico 61
Tabla 7: Gastos de fabricación para la implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico..... 61

Índice de Anexos

ANEXO: 1 Catálogo Ivan Bohman AISI 1045..... 67
ANEXO: 2 Dibujo técnico de conjunto y particulares del diseño 68
ANEXO: 3 Programación en Arduino para el movimiento de la mesa 69

1. Revisión bibliográfica del desarrollo tecnológico de los sillones anatómicos.

1.1. Introducción

En este capítulo se da a conocer la evolución de la tecnología del sillón dental, cuáles fueron sus primeros inicios en función de la época en que fueron diseñados, el desarrollo y la incorporación de mecanismos que fueron adaptándose a las necesidades de médicos y pacientes, hasta llegar a los modelos actuales que tienen sistemas automáticos para facilitar el trabajo del médico dando también mayor comodidad al paciente; en este capítulo también, se describe a detalle los componentes principales de un sillón dental, el uso y la función que cada uno desempeña dentro del equipo. Otro tema a tratar es, una recopilación de la problemática que actualmente persiste, como es el uso de variados equipos auxiliadores adaptados al sillón dental anatómico, además de mangueras y subcomponentes que, varias veces han puesto en peligro la integridad del médico, el paciente y provocado un daño parcial o total de instrumentos médicos (por caídas o tropiezos).

1.2. Revisión histórica del sillón dental.

A través de la historia, manuscritos y también pinturas[1] demuestran la práctica odontológica de forma artesanal (*Figura 1*) y hasta se puede asegurar que fueron las primeras sillas dentales que se utilizó en la época. En la actualidad encontramos figuras en internet o en libros con monjes practicando procedimientos dentales con instrumentos fabricados por los herreros de la época quienes forjaban pinzas y tenazas adaptándolas a las necesidades del médico para que realicen la extracción dental, dichos instrumentos tenían una indebida asepsia contaminando al paciente y la sillas, teniendo el monje que renovar la silla periódicamente por la contaminación y por la fuerza que hacia el paciente al sostenerse de la silla.

La silla estaba fabricada en madera que recubría los custro lados dando el aspecto de una torre cónica; en la parte superior del asiento se colocaba una tela con la finalidad de que no se manche con sangre o fluidos del paciente.

[1] ESTOMATOLOGÍA - http://odontoestomato.blogspot.com/2013/11/historia-de-la-estomatologia.html

Figura 1: Monje dando tratamiento odontológico a paciente postrado en una silla.

Referencia: http://odontoestomato.blogspot.com/2013/11/historia-de-la-estomatologia.html

Los primeros modelos de sillas han ido cambiando en función a la comodidad del médico y el paciente. Se conoce que en la antigüedad los odontólogos colocaban a sus pacientes entre sus rodillas (Figura 2), de manera que tenían que sentarse en sillas rígidas para mayor seguridad de los pacientes y mayor efectividad de la fuerza empleada para el tratamiento.

Figura 2: Ludwing Cron. Extracción sobre sus piernas en una silla rígida

Referencia: http://univallefundamentos.blogspot.com/2011/04/modulo-vi-historia-del-equipo-dental-y.html

De acuerdo al desarrollo cronológico de la historia del sillón dental, el más destacado es el diseñado por Josiah Flagg (nacido en Boston-1763, considerado el padre de la

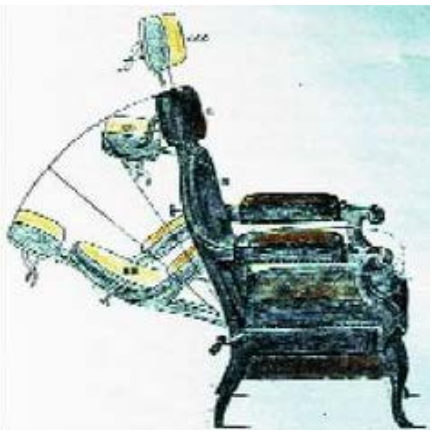
odontología americana), en 1790 adicionó a su modelo de sillón Windsor[2] un reposacabezas y un apoyabrazos (Figura 3) de mayores dimensiones aparecido en la actualidad al usado en los pupitres escolares unitarios.

Figura 3: Sillón dental diseñado por Josiah Flagg

Referencia: http://univallefundamentos.blogspot.com/2011/04/modulo-vi-historia-del-equipo-dental-y.html

Pocos años más tarde, en 1832 James Snell (nacido en 1928, matemático estadounidense) construyó el primer sillón abatible (posición horizontal), que estaba muy bien tapizado como se muestra en la (Figura 4).

Figura 4: Sillón del siglo XIX con posibilidad de abatir el respaldo



Referencia: http://www.gacetadental.com/2009/03/primeros-depsitos-dentales-en-espaa-31268/

En 1847, Jones White y Col, diseñaron un sillón para odontólogos ambulantes con un reposacabezas portátil y una lámpara de alcohol (Figura 5) que ingeniosamente adapto un espejo para que proyectara la luz hacia el área de trabajo.

[2] Silla Windsor.- Tiene un asiento de madera maciza del que salen enclavijados tanto el respaldo como las patas. En general en el asiento hay una hondonada tallada para que se adapte a la forma del cuerpo y sea más cómoda. Casi siempre las patas y los barrotes del respaldo son torneados, y estos últimos terminan en un arco de madera doblada que remata el respaldo.

Figura 5: Sillón portátil, 1847 Colín Montandon

Referencia:http://web.uchile.cl/vignette/anales/CDA/an_completa/0,1281,SCID%253D3639%2526ISID%253D261%2526ACT%253D0%2526PRT%253D3625,00.html

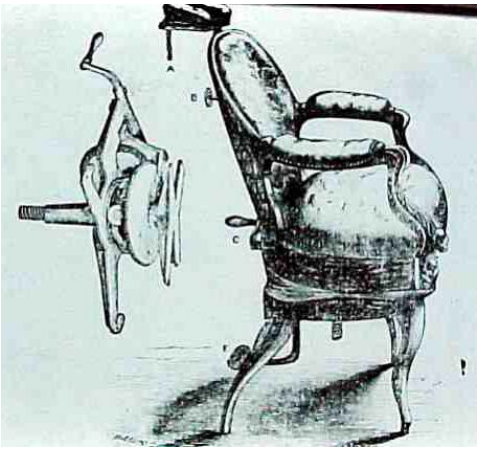
James Beall Morrison (nació en 1829, Ohio, Estados Unidos), fue bautizado como el visionario que revolucionó la práctica dental, diseñó un sillón, el cual puede inclinarse en ambas direcciones (Figura 6) pero solo se hicieron 4 unidades y adapto un jarrón para que el paciente salivara sin tener que levantarse.

Figura 6: Sillón inclinado de 1868 Sillón de James Beall Morrison

Referencia: http://es.slideshare.net/jtapiaanglas/mesa-clinica-el-torno-de-morrison

En 1871, la S.S. White Company diseñó el primer sillón que a través de una manivela sujeta a un tornillo central (Figura 7) que permitía levantar y bajar el asiento brindando mayor comodidad para el trabajo del médico, se realizó un mecanismo que con el pie retira un trinquete para que el espaldar se recline a la altura deseada ya que el medico podía decidir si trabajaba parado o apoyado sobre un taburete.

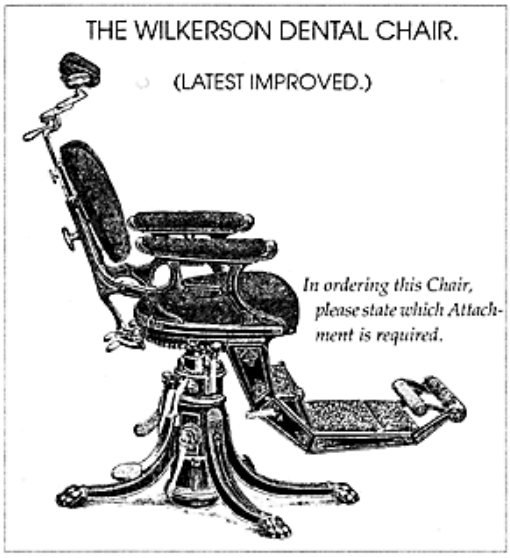
Figura 7: Asiento regulable a través de una manivela en la parte posterior



Referencia: http://www.gacetadental.com/2009/03/primeros-depsitos-dentales-en-espaa-31268/

La primera silla hidráulica (el sillón Willkenson) apareció en el año 1877, la cual contaba con un respaldo compensado con un cilindro hidráulico de amortiguamiento muy similar al de un vehículo (Figura 8), este se movía para mantener la misma posición relativa a la espalda del paciente.

Figura 8: Sillón de Wilkerson 1886 (Cortesía del museo de dentistas)

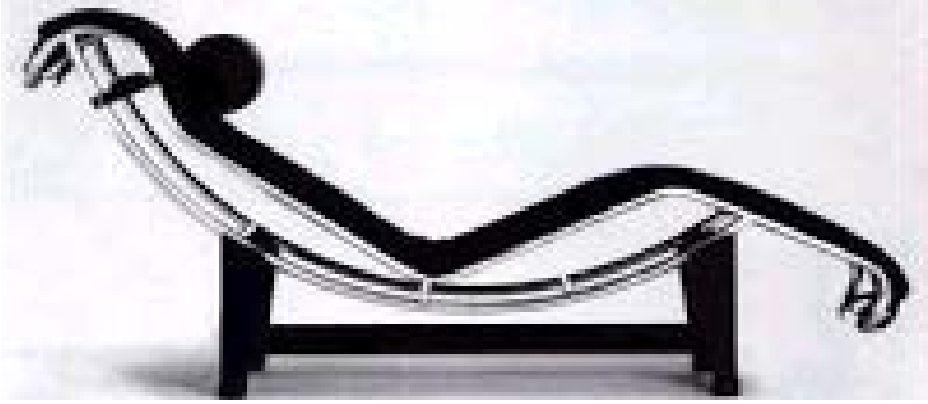


Referencia: http://www.universodontologico.com.ar/home_files/bases.htm

En la actualidad, el arquitecto suizo Le Corbusier destaca un modelo de sillón dental, él desarrollo un prototipo del sillón moderno basándose en la comodidad del paciente más que en la estética de la silla siendo un sillón que mantiene una ergonomía muy relajante para el paciente (Figura 9); pues lo que importaba era eliminar los puntos de tensión del cuerpo que causaron los primeros sillones, este sillón mantiene al paciente en forma recostada, el ángulo que forman entre la

espalda y muslo es de 150º y de la misma forma entre el muslo y las pernas apoyado sobre un soporte en forma circular y dar un ligero amortiguamiento al cuerpo.

Figura 9: Modelo esquemático del sillón de Le Corbusier



Referencia: http://univallefundamentos.blogspot.com/2011/04/modulo-vi-historia-del-equipo-dental-y.html

En 1937 se presentó una sala de exhibición mostrando 50 años de progreso en lo referente a aparatos odontológicos (Figura 10) para el Ritter Dental Manufacturing Company. En ese año, los dentistas de todo el mundo podrían ver el primer modelo de equipo que mantenía un sistema de aire a presión una salivadera y un equipo para tomar radiografías que se encontraba en un pedestal anclado al piso para mayor seguridad y mejor manipulación este pedestal se localizaba en la parte lateral del equipo; a este sillón se lo conoce como el primer sillón dental moderno por su gran avance en los componentes y equipamiento.

Figura 10: Primer consultorio dental equipado por la marca Ritter

Referencia: http://www.ritterdental.com/Story/TheGoldenYears/TheGoldenYears.htm

1.3. Descripción del equipo dental

Un sillón dental anatómico consta de varios componentes, pero entre los más destacados se tiene (Figura 11):

Figura 11: Sillón dental anatómico

Referencia: http://www.odontotienda.com.ar/shop/index.asp

Fuente: El Autor

1. Salivadera o escupidera.

2. Brazos de articulación.

3. Lámpara de luz oral.

4. Mesa porta piezas de mano.

5. Piezas de mano (micro motor; lámpara foto curado; turbina; jeringa triple)

6. Apoyo descansa brazos.

7. Silla descansa pies.

8. Manguera conductora de fluidos.

9. Tapa frontal para conexiones externas.

10. Succión.

11. Cabecera.

12. Espaldar.

13. Chasis.

14. Reóstato.

1.3.1. Salivadera o escupidera

Es un recipiente de forma circular con un diámetro aproximado de 23 a 30 cm de diámetro y 4 a 7 cm de alto, con un irrigador de agua para el arrastre de solidos o saliva evitando la obstrucción de los ductos, el sistema de irrigación está activado por una válvula de paso con accionamiento manual o eléctrica; junto a este existe un irrigador para la colocación de un baso en caso que el paciente requiera enjuagarse (Figura 12).

Figura 12: Escupidera de 262 mm de diámetro

Fuente: El Autor

1.3.2. Brazos de articulación

Son fabricados en hierro, internamente tiene un mecanismo de resorte que compensan el peso de la mesa porta piezas de mano o lámpara, en sus extremos tienen articulaciones en forma de bisagra que facilitan el libre movimiento de la mesa o lámpara de luz intra oral (Figura 13).

Figura 13: Brazo articulado para mesa porta piezas de mano

Fuente: El Autor

1.3.3. Lámpara de luz oral

La lámpara está diseñada para direccionar la luz en una sección de 10 a 12 cm de ancho y 7 a 9 cm de alto sobre la cavidad bucal, lámpara de foco incandescente o de luz alógena que esta direccionada a un cristal reflejante de forma cóncava que reduce

la dispersión de la luz; lámpara de luz led enfoca directamente a la cavidad bucal a través de focos led equidistantemente alineados y direccionados (Figura 14).

Figura 14: Lámpara de luz oral (Tipo led y luz alógena)

Referencia: http://www.odontotienda.com/shop/index.asp

1.3.4. Mesa porta piezas de mano

La mesa está diseñada con una base de metal que sirve para ubicar las válvulas neumáticas y el sistema eléctrico o electrónico que el equipo requiere para la conexión de las mangueras que transmiten los fluidos a las piezas de mano, la base está sujeta a uno o dos brazos articulados, oh, en una mesa móvil con pedestal (figura 15. a); una tapa o base que soporta la bandeja para instrumental; en la parte frontal de la mesa están colocados colgadores llamados “holder” o a su vez están construidos en la misma tapa, en el sistema colibrí tiene una goma rectangular con ligeras ondulaciones para ser soportar las mangueras y por ende las piezas de mano. (Figuras 15. a; 15. b y 15. c).

Figura 15: Lámpara de luz oral (Tipo led y luz alógena)

a) Mesa móvil con pedestal tipo carrito

b) Mesa articulada sobrepuesta con mangueras colgantes

c) Mesa articulada sobrepuesta tipo colibrí

Referencia:

http://www.mikrodenta.com/

http://www.antonsl.es/

http://www.kavo.co.uk/EN/News.aspx

1.3.4.1. Componentes de la mesa de trabajo

a) Bandeja porta instrumental

Está fabricada en acero inoxidable o de plástico la cual mantiene una forma rectangular o cuadrada, puede ser liza, oh con divisiones para la clasificación de los diversos instrumentos (figura 16).

Figura 16: Bandeja porta instrumental

Referencia: http://tecnidental.com.co/Internacional/

b) Brazo soporte

Este soporte puede estar constituido por uno o dos brazos que permiten ubicar la mesa en la posición de trabajo tanto en forma circular como en la altura que el médico requiera en función a su comodidad. Cada uno de los brazos mantiene en los extremos sistemas giratorios constituidos de un eje y un buje con la forma de una bisagra. En la parte interior de uno de los brazos tiene un sistema de elevación paralela para que la mesa se ubique en la altura requerida por el médico, el sistema interior consta d una barra rígida y una barra tensionada por un resorte regulado que ayuda a compensar el peso de la mesa y se pueda colocar en cualquier posición

c) Holder o colgador

Soporte para piezas de mano con una valvular de acción neumática o un interruptor eléctrico que permite el funcionamiento de la pieza de mano a utilizar.

d) Mangueras

Están fabricadas de gomas sintéticas que permiten una fácil manipulación y permiten conducir agua, aire y electricidad por ductos diferentes en la misma manguera.

1.3.5. Piezas o instrumental de mano

Se denominan piezas de mano a los diferentes accesorios que el médico manipula al momento de realizar el tratamiento dental (Figura 17):

Figura 17: Piezas de mano

Referencia: http://arijime.blogspot.com/2013/09/equipo-que-veo-en-un-consultorio-dental.html

a) **Micro motor o motor de bajas revolucione.-** Utilizado para la limpieza y pulido de las piezas dentales con una velocidad de giro de 100 – 25.000 rpm.

b) **Turbina.-** Sirve para el tallado o perforación de las piezas dentales con una velocidad de giro de 330.000 - 440.000 rpm.

c) **Escaler.-** Es utilizado para la limpieza de la dentadura cuando hay presencia de cálculos o impurezas aferradas.

d) **Lámpara de foto curado.-** La función de la lámpara es de foto polimerizar o endurecer diversos productos que reaccionan con la luz ultravioleta como por ejemplo resinas, pegamentos o ácidos.

e) **Jeringa triple o jeringa agua-aire.-** Está constituida por u irrigador de doble conducto por donde pasa el agua y el aire de forma independiente o mixta y un sistema de válvulas de acción que permiten el paso de agua o aire denominado pera mescladora; el nombre de jeringa proviene de la forma como expulsa los fluidos por la punta se asimila a los de una jeringa para inyectar y el termino triple viene dado por que puede 1 irrigar solo aire, 2 solo agua o pulsando los dos al mismo tiempo irriga aire y agua en forma de una nube de agua.

1.3.6. Apoyo descansa brazos

Es un soporte para los brazos y manos del paciente, estos ayudan a liberar la tensión al momento de ser atendido y sirven de apoyo para subir o bajar de la silla (Figura 18).

Figura 18: Apoyo de brazo para sillón dental

Referencia: http://www.dentamax.cl/

1.3.7. Silla descansa pies

Es un segmento acolchado donde el paciente se sienta de forma cómoda y relaja las piernas con un ángulo aproximado de 150 grados entre el muslo y la pantorrilla haciendo que las piernas liberen la tensión (Figura 19).

Figura 19: Silla descansa pies para chasis de sillón dental

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.3.8. Manguera conductora de fluidos

A través de estas mangueras fluye agua y aire a las piezas de manos; en algunos casos estas mangueras portan cables para las diversas piezas que requieren de energía eléctrica; en la punta tienen boquillas roscadas que sirven para sujetar las piezas de mano y trasmitir los diferentes fluidos (Figura 20).

Figura 20: Manguera Porta piezas de mano

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.3.9. Tapa frontal para conexiones externas

Esta tapa recubre las articulaciones bajas del chasis y la tarjeta de control del equipo además recubre las conexiones de agua, aire, luz eléctrica y desagüe que requiere el sillón para su funcionamiento (Figura 21).

Figura 21: Tapa frontal del chasis y conexiones del equipo

Fuente: El Autor

1.3.10. Succión

Es el dispositivo que succiona la saliva acumulada en la boca o los líquidos irrigados por el médico al momento del tratamiento. Este consta de una sonda o manguera de goma y un soporte que servirá para colocar un eyector desechable (Figura 22).

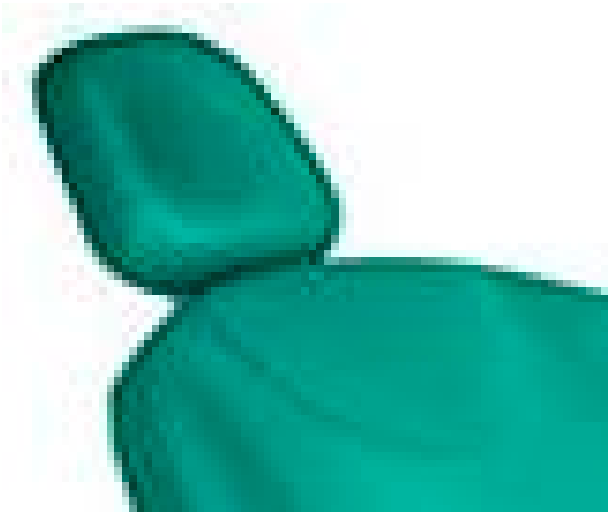
Figura 22: Manguera de succión porta eyector

Fuente: El Autor

1.3.11.Cabecera

Soportar la cabeza del paciente relajando los músculos del cuello y ubicarla en una posición adecuada para que el medico pueda trabajar en la zona bucal de forma cómoda (Figura 23).

Figura 23: Cabecera de sillón dental anatómico



Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.3.12.Espaldar

Es un segmento acolchado que se puede ubicar a la altura deseada por el médico; el espaldar tendría que formar un ángulo aproximado de 150 grados entre el tronco y el muslo del pariente liberando la tensión del tronco y cadera (Figura 24).

Figura 24: Espaldar de sillón dental anatómico

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.3.13. Chasis

Es una estructura metálica articulada a través de barras y mecanismos en forma de un pantógrafo, que con la ayuda de un motor eléctrico fijan la altura de toda la silla, soportando el peso del sillón, paciente e instrumental a utilizar, de acuerdo a la forma de su base puede estar anclado o no al piso (Figura 25).

Figura 25: Chasis pantógrafo

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.3.14. Reóstato

Es un mando de pie que sirve para controlar las funciones del equipo. Ascenso y descenso del sillón, espaldar; encendido de la lámpara de luz bucal, accionamiento regulado de las piezas de mano (Figura 26).

Figura 26: Reostato multi posición

Referencia: http://image.slidesharecdn.com/tema13-140611181332-phpapp02/95/equipo-dental-53-638.jpg%253Fcb%253D1402528915&imgrefurl/

1.4. Avances de los sillones y sus mesas en la actualidad

1.4.1. Sillones dentales modernos

En el desarrollo del sillón dental en función a la evolución y a través de la historia se lo puede clasificar de la siguiente manera: Sillón Simple, Hidráulico, Eléctrico, Anatómico (hidráulico o eléctrico), Campaña y sillón simplificado. Todos y cada uno de ellos mantienen la posición del modelo de sillón de Ritter. Los únicos avances que han sido notorios en los equipos actuales es la estética del sillón; mejor acolchonamiento, formas curvas tanto en el espaldar como en el reposa pies, la forma de los brazos que sujetan la mesa, lámparas de luz oral. Esto es muy notorio en la (Figura 1); y no presenta avances significativos a la evolución del equipo dental solo mejoras del mismo diseño.

1.4.2. Intervención de las empresas fabricantes.

A partir de 1940 las empresas constructoras de maquinaria y talleres artesanales se dedicaron a mejorar la apariencia del equipo Ritter dándolo formas y modelos tanto a la silla como a las mesas, se incorporaron nuevos diseños de lámparas bucales; los equipos han ido evolucionando en función a los avances tecnológicos como es la creación de piezas de mano con motor eléctrico, el que fue adaptado en la misma mesa; la jeringa ha sido mejorada en una sola pieza por válvulas de empuje (PUSH) sustituyendo las válvulas de globo independientes.

1.4.3. Turbinas movidas por aire.

En 1957 gracias a la turbina neumática se eliminaron factores como presión sobre la pieza a trabajar para que esta sea tallada:
Vibración.- evitando que fisure o fracture la dentadura;
Tiempo.- se ha minimizado la atención al paciente;
Ruido.- el paciente luego del tratamiento recibido no tiene trauma por el sonido que anteriormente el motor y la vibración sobre la pieza dental les generaba.
En sus inicios, estas turbinas de alta velocidad (500.000 RPM) tuvieron muchos inconvenientes: el ruido y la temperatura por la fricción. Hoy se ha logrado llevar el ruido a niveles por debajo de los 17 decibeles de sonido, tolerables para los

pacientes. Por medio de agua que cae en forma directa sobre la parte activa de la fresa y diente se ha logrado controlar las altas temperaturas que por fricción y velocidad se tenía.
En la (figura 27) se puede observar cómo está constituido el mecanismo de la turbina de aire. Carcasa, rodillos, impulsor, chuck o eje porta fresas y tapa.

Figura 27: Turbina de alta o AIRATOR

Referencia: http://www.praezimed-iberica.com/

El aire que el quipo requiere, proviene del compresor. El sistema de transmisión se basa en el principio de airator y es semejante al sistema de mecanismo de la turbina Pelton que consiste en mantener un flujo constante que golpea en una pequeña turbina haciéndola girar sobre rodillos.
Las fresas de altas velocidades se sostienen por un eje o sistema de sujeción llamado chuck. Control de movimiento: Las turbinas de altas velocidades siempre giran en sentido anti horario y las de bajas velocidades pueden girar a la derecha o a la izquierda según el sentido de corte de la fresa a utilizar.
En la mayoría de unidades dentales, el operador debe tener un sistema para pasar de alta a baja velocidad, si se opera a baja velocidad, no debe pasar agua a la pieza de mano, porque es perjudicial para el tipo de rotor; Unidades actuales manejan un reóstato que controla el paso del aire y el agua de forma automática.
Hay piezas de mano que necesitan aire con aceite para su lubricación, otras solo requieren una o dos gotas diarias o semanales para evitar el desgaste o deterioro de las piezas. La presión del aire debe estar regulada entre los 40 y 70 psi y no se debe aumentar para tener una mayor velocidad ya que en muchos casos los rodillos terminan fundidos o destrozados por las altas velocidades que alcanza.

1.4.4. Equipos modernos

En la actualidad los equipos dentales se clasifican de acuerdo al funcionamiento de la silla y sus componentes que se incorporan en la mesa, denominándose modular tri

modular, cuadri modular, o penta modular, el número se lo denomina según las piezas de mano que la mesa tenga, en las casas comerciales no se ofertan mesas que tengan más de cinco piezas incorporadas.

Los equipos tienen como componentes básicos una jeringa triple y dos mangueras con acople para piezas de nano; en las mesa de acuerdo al fabricante del equipos se puede incorporar hasta cuatro acoples en las que se coloca una o dos turbina un micro motor y un escaler o una lámpara de foto curado. A estos componentes se los denomina piezas de mano necesarias para la consulta.

1.5. Clasificación de las sillas dentales modernas según su forma

1.5.1. Silla de campaña

Es una silla fácil de transportar, es muy utilizada en zonas rurales no tiene aditamentos pero se los pueden acoplar como por ejemplo un compresor con un sistema de mangueras porta piezas de mano dentro de un maletín portátil, este equipo es conocido como sillón de campaña o portátil. (figura. 28).

Figura 28: Sillón dental de campaña o portátil de la marca ELCO

Referencia: http://elco.iompi.com/

1.5.2. Silla hidráulica

Se parece mucho a las sillas de peluquero ya que mantienen el mismo principio hidráulico que se acciona por una palanca a través de un cilindro hidráulico que eleva la silla dando mayor comodidad al odontólogo también mantiene una palanca para reclinar ligeramente el espaldar (Figura 29).

Figura 29: Silla hidraúlica con accionamiento de pedal y palanca

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.5.3. Silla eléctrica o electro-hidráulico

Es similar a la silla hidráulica con la diferencia que este ocupa dos cilindros uno para el espaldar y otro para la silla, accionados por un pequeño grupo electro-hidráulico; los controles del sillón se encuentran en los dos laterales del espaldar como se muestra en la (figura 30).

Figura 30: Sillón con acconamiento electro-hidráulico

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.5.4. Sillón anatómico

Este sillón se caracteriza por la comodidad del paciente (Figura 31) y su sistema de movimiento electrónico a través de motores que hace que el paciente se lo pueda ubicar sin movimientos bruscos. En la actualidad es el equipo más ocupado por el gremio de los odontólogos ya que se presenta varias ventajas:

a) Peso del paciente está distribuido en forma uniforme en el sillón.
b) Elimina las tensiones del paciente.
c) La entrada y la salida del paciente es con facilidad.
d) La posición del paciente ayuda al sistema cardiorrespiratorio.
e) Tiene un bloque de trabajo funcional para el odontólogo sujeto a un costado del sillón.

Figura 31: Sillón anatómico con mando eléctrico al piso

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.5.5. Sillón anatómico modificado

Es un sillón tradicional con una mejora en el espaldar y el asiento haciéndolo a este más cómodo, la mejora está en la sección media del espaldar se le coco dos segmentos que le da al espaldar una forma cóncava que adopta la forma de la espalda, ayuda soportar el peso de los brazos eliminando los apoyos que el modelo tradicional mantiene apoyando todo el cuerpo de una forma cómoda que libera la

tensión del cuerpo haciendo que el paciente se sienta cómodo y confortable (Figura 32).

Figura 32: Sillón anatómico modificado

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

1.5.6. Sillón dental simplificado

Es un sillón similar al anatómico con los mínimos componentes pero Con elementos menos costosos y más pequeños con la finalidad de reducir costos (Figura 33).

Figura 33: Sillón anatómico simplificado con mesa tri-modular

Referencia: http://img.medicalexpo.es/

La evolución del sillón dental ha permitido que de una mayor comodidad al paciente mejor postura del profesional y se mejora la atención al minimizar los tiempos de trabajo al tener cerca el instrumental y una disposición de trabajo adecuada.

1.6. Problemática de los sillones en la actualidad

La ubicación de la mesa y sus componentes no cumplen con las necesidades requeridas por los odontólogos y los pacientes ya que mantienen varios problemas en los elementos que conforman la Mesa de trabajo.

Los diseños de mesas porta piezas de mano no satisfacen las necesidades del médico y el paciente. El sistema de carrito o el sistema de mesa apoyada sobre brazos articulados sistemáticamente sujetos al chasis del sillón, da varios problemas cuando el medico llama al paciente para ser atendido; este se tiene que levantar a retirar la mesa con mucho cuidado para que las mangueras no se enreden en él apoya brazos o en la silla y el paciente pueda subir al equipo, sin embargo en ocasiones los pacientes se enredan los pies con las mangueras o golpean con su cuerpo la mesa o piezas de mano, dañándolas por el impacto de sufren al caer, teniendo el paciente que pagar la reparación o la reposición de la pieza.

Cuando el medico está dando atención, las mangueras se enredan constantemente con los brazos del paciente; apoya brazos o entre las mismas mangueras interrumpiendo el trabajo del médico. La mesa con sistema colibrí tiene similares inconvenientes, el mecanismo del brazo que guía la manguera se traba o choca esporádicamente con el vidrio deflector de luz de la lámpara que en ocasiones ha terminado trisándose o peor a un rompiéndose sobre el paciente. Las bases que soportan la mesa con el tiempo terminan endureciéndose o atascándose por el desgaste que se da en las articulaciones, este desgaste es ocasionado por la longitud de palanca de los brazos y el peso de la mesa sobre las articulaciones

1.7. Conclusiones del capítulo

- Desde sus inicios hasta la actualidad, el principal avance en el diseño y construcción de sillones odontológicos ha sido la ergonomía para dar más comodidad al paciente al momento de reposar sobre el mismo.
- Las mejoras que ha tenido el equipo desde 1940 hasta la actualidad han sido mayormente estéticas que funcionales.
- Los fabricantes de sillones dentales anatómicos no han considerado las sugerencias de los médicos tratantes para evitar mangueras sueltas o equipos que pueden estorbar al paciente, sobretodo, al momento de abordar al sillón.
- En los equipos tradicionales, las mangueras estorban constantemente al paciente y al tratante ya que estas tienden a enredarse entre sí.

2. Diseño e implementación del sistema automático para la mesa porta piezas de mano en un sillón anatómico

2.1. Introducción

En este capítulo propone dos mejoras dentro del diseño y se describe la implementación del sistema para el movimiento de la mesa, desde la adquisición de la materia bruta, el sillón anatómico hasta el funcionamiento del sistema ya incorporado al sillón.

Mejora 1.- Se ha implementado un sistema automático para la entrada y salida de la mesa a través de un sistema articulado que permite trasladar la mesa desde la posición de trabajo “mesa sobre el paciente con una separación aproximada 10 a 20 cm desde el pecho del paciente” hacia la posición de descenso “mesa sobre la base del apoya brazos hacia fuera del sillón”, de forma automática.

Mejora 2.- En la mesa de trabajo se eliminó definitivamente los tradicionales sistemas de mangueras colgantes o sobrepuestas.

Con estas dos mejoras se solventa las necesidades del médico o tratante y sobre todo se brinda un mejor servicio y comodidad a los pacientes al momento de ser atendidos.

2.2. Posibles soluciones

Se plantea eliminar las mangueras de la parte superior “sistema colibrí” e inferior de la mesa ubicándolas dentro de la misma y diseñar un sistema de retracción automática haciendo que las mangueras ingresen dentro de la mesa una vez acabada la utilización de la pieza de mano.
Diseñar un sistema automático para que la mesa se retire y se ubique al lado contrario a la subida o bajada del paciente con la finalidad que este aborde sin complicaciones o tropiezos. Se plantea eliminar un brazo articulado y disminuir la longitud del otro brazo con la finalidad de reducir la acción de palanca y minimizar el efecto de desgaste que se produce en las articulaciones. Con esto se solventa los inconvenientes que el medico tiene antes durante y después del tratamiento.

2.3. Diseño mecánico

En la parte mecánica se propone un sistema de movimiento articulado que permite trasladar la mesa de la posición de reposo a la posición de trabajo dando comodidad, seguridad y confianza al médico como al paciente; antes, durante y después del tratamiento eliminando definitivamente la inseguridad del paciente al subir o bajar del sillón; el medico deja de levantarse para retirar o colocar la mesa en posición de trabajo.

Los mecanismos de auto retorno para las mangueras que se incorporan dentro de la mesa de trabajo permiten al médico desempeñar su trabajo de forma rápida, cómoda y segura. Este sistema descarta definitivamente la caída de piezas de mano al piso y elimina los molestos enredos del paciente durante la atención.

2.3.1. Diseño del sistema de posicionamiento de la mesa

Se propone el diseño de un sistema automático para el desplazamiento de la mesa: Esta se trasladara de la posición de reposo, (Figura 34b) "mesa ubicada hacia fuera del sillón sobre la base del apoya brazos contrario al lugar de acenso y descenso del paciente" hasta llegar a la posición de trabajo (Figura 34a) "mesa sobre el pecho del paciente con una separación aproximada 10 a 20 cm" el sistema costa de una articulación que permite al médico ubicar la mesa a conveniencia en cualquier posición; en caso que la energía eléctrica fallare o el quipo tenga alguna avería se tiene un sistema articulado que permite trasladar la mesa a un costado para que el paciente pueda retirarse con suma facilidad (figura 34c) .

Figura 34: Sillón anatómico penta modular con mesa automatica

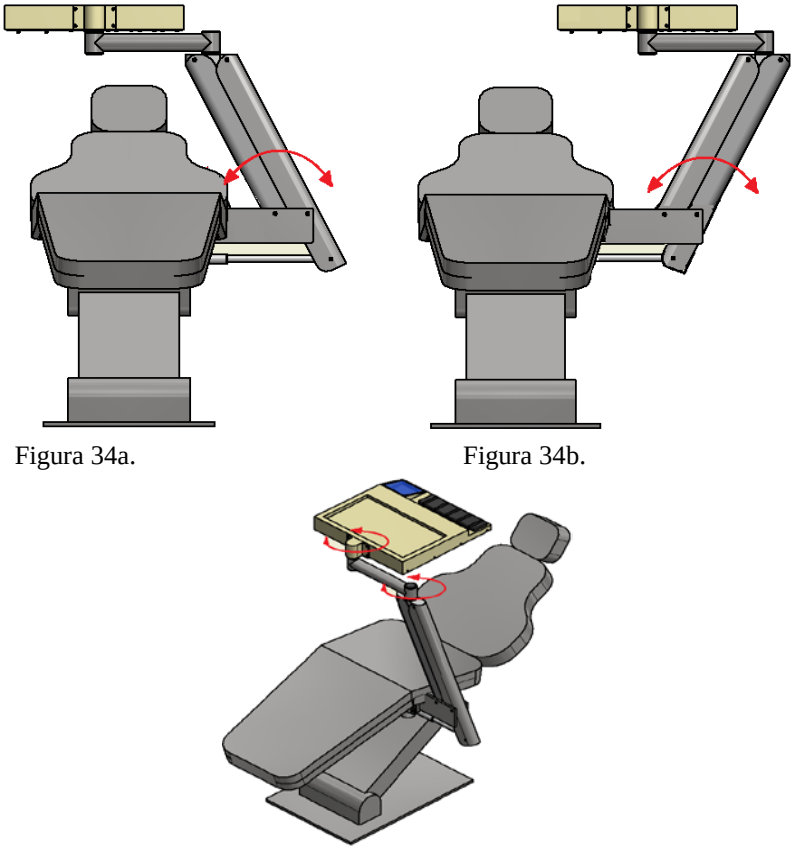


Figura 34a. Figura 34b.

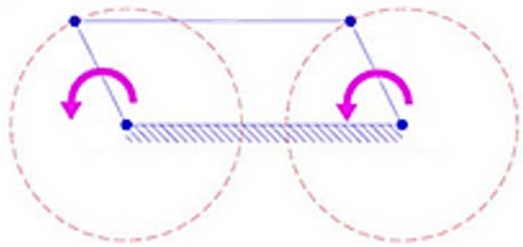
Figura 34c.

Fuente: El Autor

La mesa se traslada de la posición de reposo hacia la posición de trabajo a través del mecanismo de paralelogramo el cual es un cuadrilátero que tiene dos varillas

opuestas de la misma longitud. Lo utilizamos para que se mantenga el paralelismo de la mesa, (Figura 35) permaneciendo horizontal evitando que se caigan los objetos que coloquemos sobre la mesa.

Figura 35: Sistema de movimiento del paralelogramo



Fuente: El Autor

2.3.2. Análisis del mecanismo:

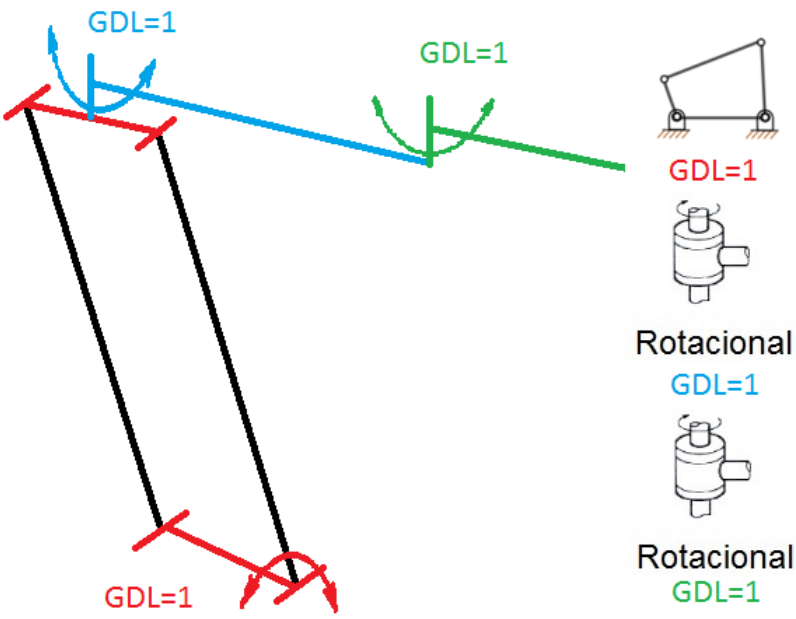
- **Grados de libertad del mecanismo**

Para esta caso se tiene como datos, el número de eslabones (L) = 6, el número de juntas (J) = 6 y el número de eslabones conectados a tierra (G) = 1, por tanto calculando se tiene (Figura 36),

$$GDL = M = 3 \cdot L - 2 \cdot J - 3 \cdot G$$

$$GDL = M = 3 \cdot 6 - 2 \cdot 6 - 3 \cdot 1 = 3$$

Figura 36: Grados de libertad del conjunto trapecio móvil



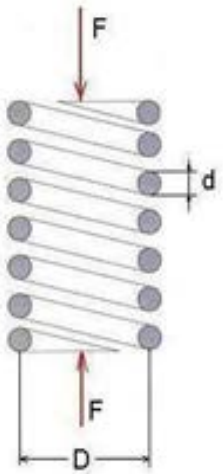
Fuente: El Autor

2.3.4. Análisis de esfuerzos y cargas sometidas en el mecanismo:

2.3.4.1. Cálculo del resorte de compresión de la clavija

El resorte helicoidal de compresión que se plantea para este sistema usa alambre de 0,5 mm de acero estirado duro (ASTM-A227), el diámetro exterior es de 3,5 mm, los extremos son cuadrados y rectificados, la longitud de reposo es 7,5 mm, la longitud en modo de trabajo es 5,5 mm y la carga aplicada es 5 N, entonces el modelo de cálculo sería, (Figura 37)

Figura 377: Resorte de compresión



Referencia: http://www.fullmecanica.com/definiciones/r/1183-resortes-helicoidales-de-compresion

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$$

$$F_1 = \mu \cdot \delta_1$$

$$F_2 = \mu \cdot \delta_2$$

$$K = \frac{F_1}{\delta_1} = \frac{F_2}{\delta_2}$$

Donde G = 79289708871,4 Pa, por tanto la forma de resolver sería,

$\Delta\delta = 0{,}0075\ m - 0{,}0055\ m = 0{,}002\ m$

Siguiente el proceso de cálculo se tiene,

$$F_1 = \mu \cdot \delta_1$$

$$F_2 = \mu \cdot \delta_2$$

Las expresiones se pueden definir como,

$$0\ N = K \cdot \delta_1 => \delta_1 = \frac{0\ N}{K}$$

$$5\ N = K \cdot (\delta_1 - 0{,}002\ m)$$

$$5\ N = K \cdot \left(\left(\frac{0\ N}{K}\right) - 0{,}002\ m\right) => 5\ N = 0\ N - K \cdot 0{,}002\ m$$

$$K = \frac{0\ N - 5\ N}{0{,}002\ m} = -2500\left(\frac{N}{m}\right)$$

Con el valor de K se despeja Na (número de espiras) de la ecuación,

$$Na = \frac{G \cdot \Delta\delta^4}{8 \cdot D^3 \cdot K}$$

$$Na = \frac{79289708871{,}4\ \text{Pa} \cdot (0{,}00052\ m)^4}{8 \cdot (0{,}0035)^3 \cdot -2500\left(\frac{N}{m}\right)}$$

$$Na = -6{,}7607 \sim -6{,}8\ espiras$$

La fuerza máxima permisible se puede calcular,

$$F_{mx.p} = \frac{A \cdot d^{3-m}}{5{,}88 \cdot (D + 0{,}5 \cdot d)}$$

$$F_{mx.p} = \frac{1510 \cdot 0{,}00052^{(3-0{,}201)}}{5{,}88 \cdot (0{,}0035 + 0{,}5 \cdot 0{,}00052)} = 43{,}9041\ N$$

$$FS = \frac{F_{mx.p}}{F_{mx.aplicada}}$$

$$FS = \frac{43{,}9041\ N}{5\ N} = 8{,}7808 \sim 8{,}8$$

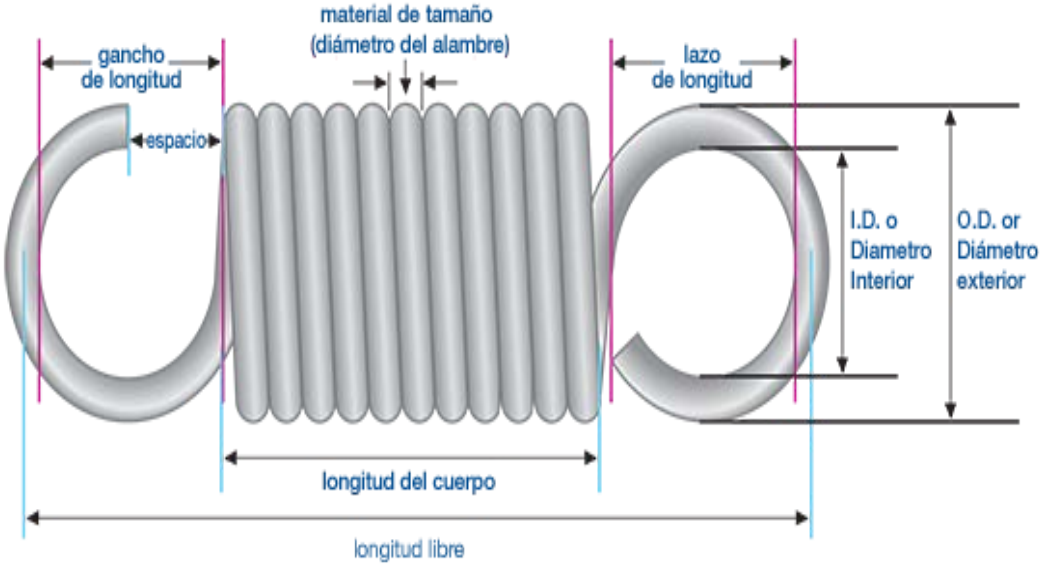
El cálculo indica que tenemos un buen factor de seguridad para este caso y que no se debe rediseñar el resorte.

2.3.4.2. Cálculo del resorte de tracción para el retorno de la manguera

El resorte de tracción (Figura 38) para este caso tiene ciertos parámetros de diseño, como autor, planteo una diámetro exterior de 8 mm y es de alambre de 0,67 mm de acero estirado duro (ASTM-A227). El resorte no tiene precarga, en una carrera completa del resorte la fuerza varía de 0 N a 12N. Se puede estimar que la longitud inicial en 84 mm y la longitud máxima de trabajo es 313 mm. Entonces se determinará las longitudes máxima y mínima durante la carga cíclica, la rigidez del

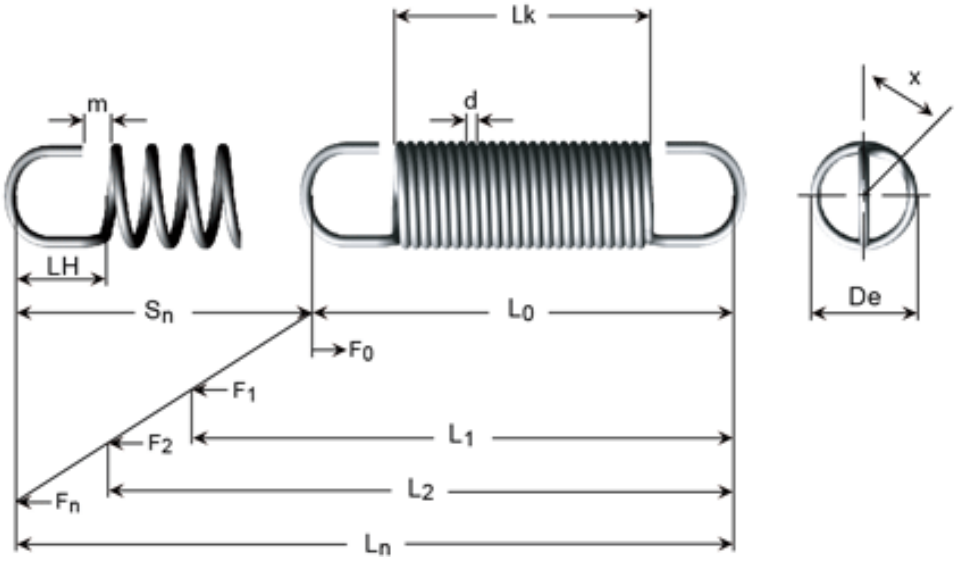
resorte, el número de espiras y la longitud libre del resorte. Como dato se tiene (Figura 39),

Figura 38: Caracteristicas de resortes sometidoa a tracción



Referencia: http://www.newcombspring.com/Spanish/spn.extsn.html

Figura 39: Parámetros de calculo de resorte de tracción del sistema para retroceso



Referencia: http://www.newcombspring.com/Spanish/spn.extsn.html (18-12-2014 - 09:00 PM)

$$K = \frac{G \cdot \Delta\delta^4}{8 \cdot D^3 \cdot Na}$$

Donde G = 79289708871,4 Pa, por tanto la forma de resolver sería,

$$\Delta\delta = \delta_2 - \delta_1$$

Resolviendo,

$\Delta\delta = 0{,}313\ m - 0{,}084\ m = 0{,}229\ m$

Siguiente el proceso de cálculo se tiene,

$$F_1 = \mu \cdot \delta_1$$

$$F_2 = \mu \cdot \delta_2$$

$$K = \frac{F_1}{\delta_1} = \frac{F_2}{\delta_2}$$

Las expresiones se pueden definir como,

$$0\ N = K \cdot \delta_1 => \delta_1 = \frac{0\ N}{K}$$

$$12\ N = K \cdot (\delta_1 + 0{,}229\ m)$$

$$12\ N = K \cdot \left(\left(\frac{0\ N}{K}\right) + 0{,}229\ m\right) => 12\ N = 0\ N + K \cdot 0{,}229\ m$$

$$K = \frac{12\ N - 0\ N}{0{,}229\ m} = 52{,}4017\ \left(\frac{N}{m}\right)$$

Con el valor de K se despeja Na (número de espiras) de la ecuación,

$$Na = \frac{G \cdot \Delta\delta^4}{8 \cdot D^3 \cdot K}$$

$$Na = \frac{79289708871{,}4\ \text{Pa} \cdot (0{,}00067\ m)^4}{8 \cdot (0{,}008\ m)^3 \cdot 52{,}4017\left(\frac{N}{m}\right)}$$

$$Na = 74{,}44 \sim 74{,}5\ espiras$$

Entonces se tiene un resorte de tracción de 100 mm de longitud total en reposo y que puede llegar a una longitud máxima de 329 mm, sin embargo la longitud de trabajo se define usando el mismo cálculo pero como longitud final se tiene 291,5 mm y una carga de trabajo de 10 N, entonces,

$$\Delta\delta = 0{,}2755\ m - 0{,}084\ m = 0{,}1915\ m$$

$$K = \frac{12\ N - 0\ N}{0{,}1915\ m} = 57{,}8313\ \left(\frac{N}{m}\right)$$

Entonces el K del resorte es 57, 83 N/m mientras que la cantidad de espiras para este resorte es 74, 5; con estos datos ya se puede mandar a construir el resorte a medida para este diseño.

La fuerza máxima permisible se puede calcular,

$$F_{mx.p} = \frac{A \cdot d^{3-m}}{5{,}88 \cdot (D + 0{,}5 \cdot d)}$$

$$F_{mx.p} = \frac{1510 \cdot 0{,}00067^{(3-0{,}201)}}{5{,}88 \cdot (0{,}008 + 0{,}5 \cdot 0{,}00067)} = 40{,}2603\ N$$

$$FS = \frac{F_{mx.p}}{F_{mx.aplicada}}$$

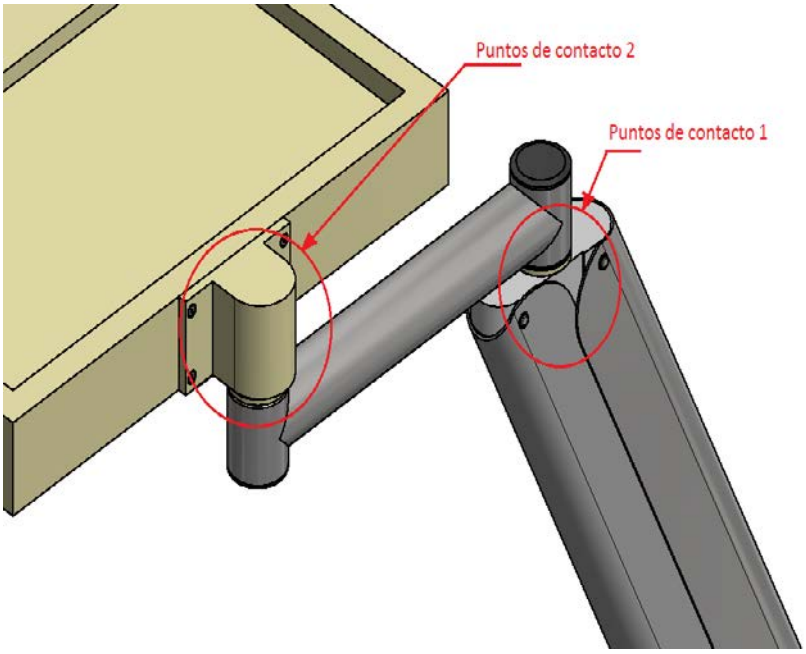
$$FS = \frac{40{,}2603\ N}{12\ N} = 3{,}355 \sim 3{,}4$$

Ya que el factor de seguridad es relativamente alto, se mantiene el planteamiento del resorte de tracción sin variaciones.

2.3.4.3. Rozamiento entre eje de la mesa y el buje antifricción.

El rozamiento provocado entre el eje del brazo articulado (Figura 40) genera una carga desigualmente distribuida entre el eje y el buje, esta carga genera una fricción desigual que puede provocar conicidad u ovalamiento del buje, la figura muestra la forma como la carga influye sobre ambos cuerpos; por tanto, para calcular el rozamiento se toma en cuenta los puntos donde la carga aplicada es mayor, para este caso se tomará: el frente (X) o el posterior (-X) y cualquiera de los laterales cuya carga es uniforme (Y) (Figura 41).

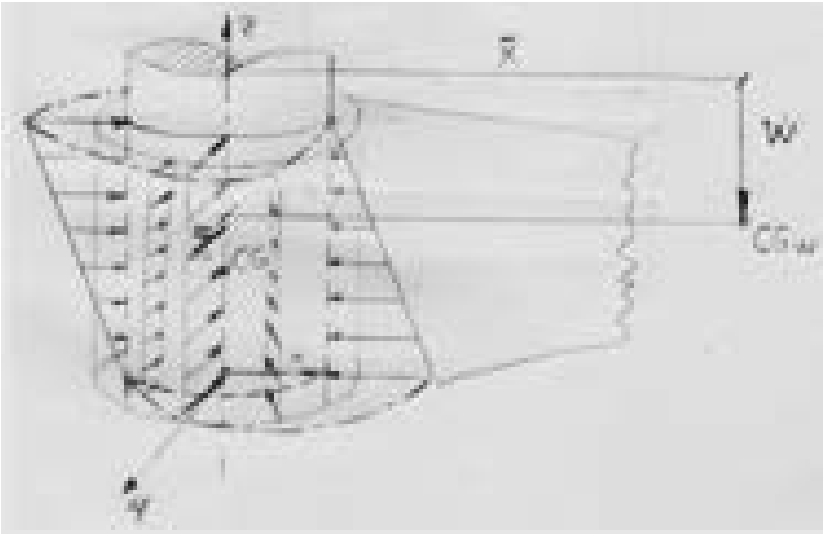
Figura 40: Rozamiento provocado en puntos de contacto



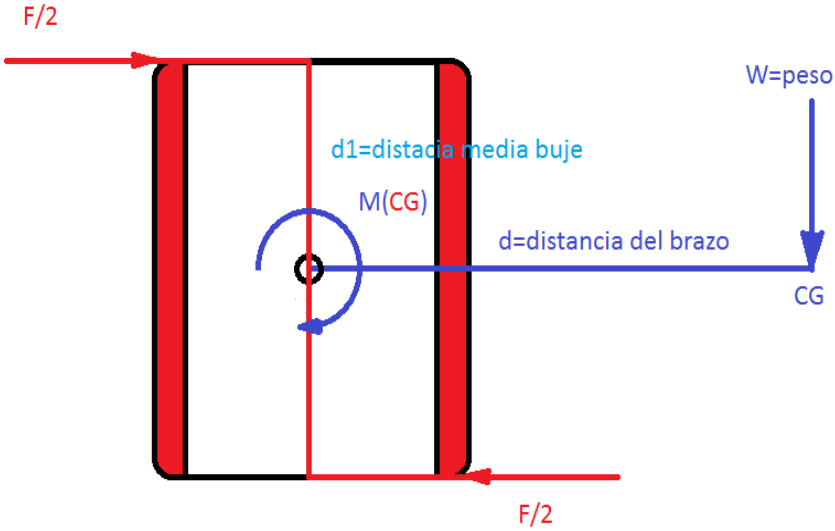
Fuente: El Autor

Figura 41: Rozamiento provocado en puntos de contacto

a) Esquema de análisis de fuerzas hecho a mano



b) Esquema de análisis de fuerzas usado para método de cálculo



Fuente: El Autor

Como datos se tiene la masa de la mesa completamente cargada que es 35 kg (masa sobre dimensionada), el centro de gravedad en función el eje imaginario esquematizado está a 300 mm en X y 0 mm en Y, el coeficiente de fricción cinética de 0,04 (obtenido de la Tabla 1 mostrada),

Tabla 1: Rozamiento provocado en puntos de contacto

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO		
MATERIALES EN ROZAMIENTO	FRICCION ESTATICA	FRICCION CINETICA
HIELO / HIELO	0,1	0,03
VIDRIO / VIDRIO	0,9	0,4
MADERA / CUERO	0,4	0,3
MADERA / PIEDRA	0,7	0,3
MADERA / MADERA	0,4	0,3
ACERO / ACERO	0,74	0,57
ACERO / HIELO	0,03	0,02
ACERO / LATON	0,5	0,4
ACERO / TEFLON	0,04	0,04
TEFLON / TEFLON	0,04	0,04
CAUCHO / CEMENTO (SECO)	1	0,8
CAUCHO / CEMENTO (HUMEDO)	0,3	0,25
COBRE /HIERRO (FUNDIDO)	1,1	0,3
ESQUI (ENCERADO) / NIEVE (0°C)	0,1	0,05
ARTICULACIONES HUMANAS	0,1	0,003

Referencia: http://fisicamona.blogspot.com/2010/03/coeficiente-de-rozamiento.html

$$M_{CG} = W \cdot d$$

$$M_{CG} = m \cdot g \cdot d = (35\ kg) \cdot \left(9.806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right) \cdot (0{,}3\ m) = 102{,}963\ Nm$$

$$F_{sobre\ el\ buje} = M_{CG} \cdot d_{media\ del\ buje}$$

$$F_{sobre\ el\ buje} = 102{,}963\ Nm \cdot 0{,}025\ \ m = 2{,}5740N$$

Sin embargo ya que la fuerza es máxima en los dos extremos del buje y el buje soporta cargas en dos puntos, la fuerza aplicada en cada punto sería la mitad de la fuerza ya calculada (1,2870 N) por tanto el cálculo quedaría

$$Fr_1 = \mu_c \cdot N_1$$

$$Fr_2 = \mu_c \cdot N_2 = 0$$

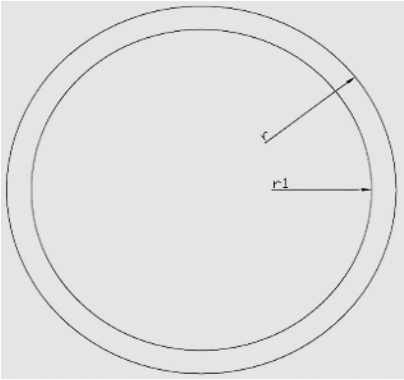
$$Fr_1 = 0{,}04 \cdot 1{,}2870\ N = 0{,}05148\ N$$

Ya que la fuerza de fricción es sumamente baja, se mantiene el planteamiento de hacer el eje de acero y el buje antifricción de GRILON.

2.3.4.4. Flexión y torsión de brazo articulado para movimiento manual

Para e análisis del brazo articulado para movimiento manual se plantea una viga empotrada en un extremo y libre en el otro, la mesa odontológica cuenta como una carga puntual hacia abajo de unos 35 kg (cantidad de masa exagerada cuando sobre la mesa se asienten todos los instrumento de trabajo), por tanto el cálculo se desarrolla como sigue (Figura 40 y 42).

Figura 42: Radio menor y Radio mayor



Fuente: El Autor

El momento de inercia de un perfil tubular se calcula de la siguiente manera,

Como datos tenemos:

$r_{mayor} = 50\ mm = 0{,}05\ m$

$r_{menor} = 46\ mm = 0{,}046\ m$

Entonces la ecuación queda descrita como,

$$Ix = Iy = \frac{\pi}{4} \cdot \left({r_{mayor}}^4 - {r_{menor}}^4\right)$$

Mientras que el área del anillo se describe,

$$A = \pi \cdot \left({r_{mayor}}^2 - {r_{menor}}^2\right)$$

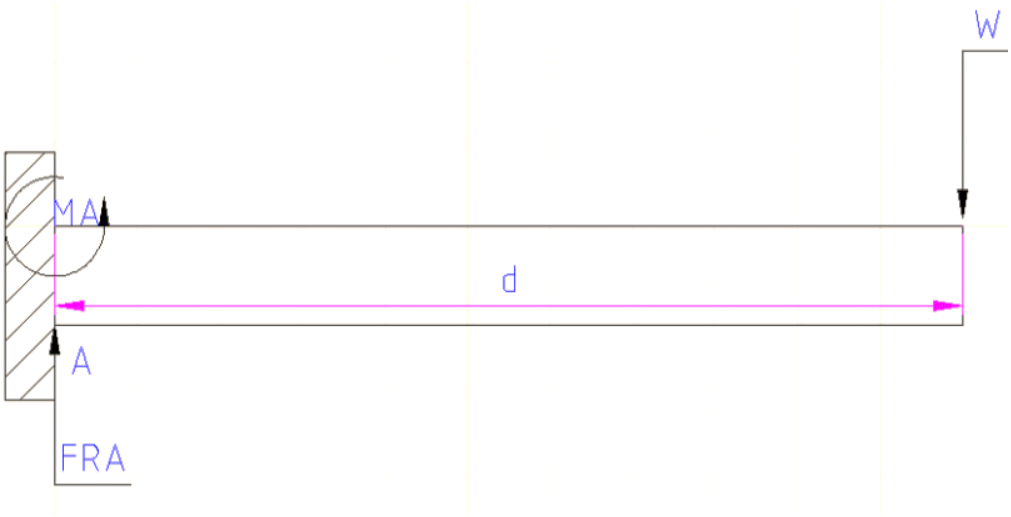
Resolviendo se calcula,

$Ix = Iy = \frac{\pi}{4} \cdot ((0{,}05\ m)^4 - (0{,}046)^4)$

$Ix = Iy = 1{,}3921E - 06\ m^4$

Ahora se procede al cálculo de las fuerzas de reacción y el momento en el punto A para hallar la deflexión (Figura 43),

Figura 43: Distribución de cargas y momentos en viga (Conjunto brazo articulado)



Fuente: El Autor

$$\sum Fy = 0$$

$F_{RA} - W = 0$

$F_{RA} - m \cdot g = 0$

$F_{RA} = (35\ kg) \cdot \left(9.806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right) = 343{,}21\ N$

$$\sum M_A = 0$$

$M_A - W \cdot d = 0$

$M_A = W \cdot d$

$M_A = (343{,}21\ N) \cdot (0{,}35\ m) = 120{,}1235\ Nm$

Según la ecuación para la hallar la deformación en Y de la viga en voladizo se tiene,

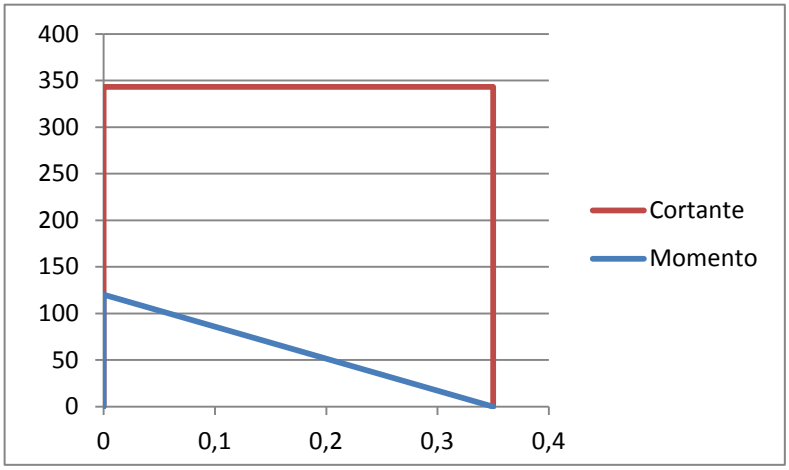
$$\partial_y = \frac{L^3 \cdot F}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$\partial_y = \frac{(0{,}35\ m)^3 \cdot (343{,}21\ N)}{3 \cdot \left(200\ E09\ \left(\frac{N}{m^2}\right)\right) \cdot (1{,}3921E - 06\ m^4)} = 1{,}76\ E - 05\ m$$

$$= 1{,}76\ E - 02\ mm$$

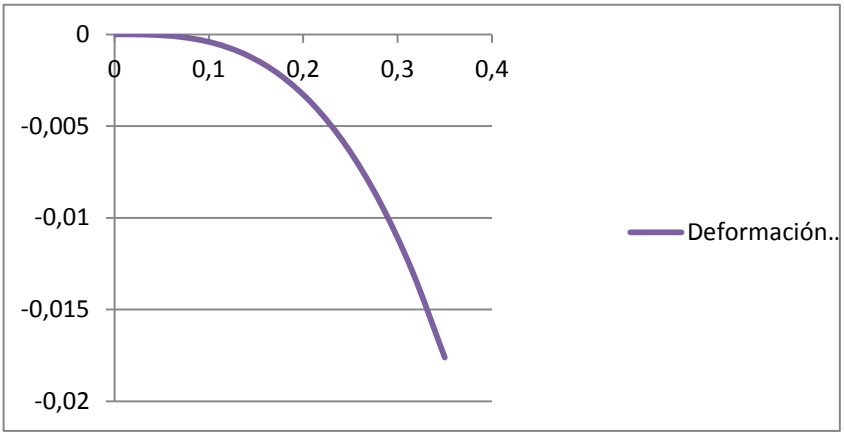
Los diagramas de *momento*, *cortante* y *deflexión* se muestran en los siguientes esquemas (Tabla 2 y 3)

Tabla 2: Diagrama de cortante y momento en el conjunto brazo articulado



Fuente: El Autor

Tabla 3: Diagrama de deformación en el conjunto brazo articulado



Fuente: El Autor

Según la tabla obtenida por el catálogo BOHMAN (Anexo 1) se tiene para el acero AISI 1045 un esfuerzo cortante de 313792000 Pa, mientras que realizando el cálculo del esfuerzo al corte se tiene,

$$\sigma_{calculado} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{calculado} = \frac{F}{\pi \cdot \left({r_{mayor}}^2 - {r_{menor}}^2\right)}$$

$$\sigma_{calculado} = \frac{(343{,}21\ N)}{\pi \cdot ((0{,}05\ m)^2 - (0{,}046\ m)^2)} = 284497{,}7501\ \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

Entonces el factor seguridad para este caso es,

$$FS = \frac{\sigma_{tabla}}{\sigma_{calculado}}$$

$$FS = \frac{313792000\ \left(\frac{N}{m^2}\right)}{284497{,}7501\ \left(\frac{N}{m^2}\right)} = 1103$$

A más del esfuerzo de flexión provocado se tienen un esfuerzo de torsión cuando la mesa está perpendicular al brazo articulado, por tal razón el esfuerzo de torsión para este caso se calcula como (Figura 42),

$$Iz = \frac{\pi}{2} \cdot \left({r_{mayor}}^4 - {r_{menor}}^4\right)$$

$$Iz = \frac{\pi}{2} \cdot ((0{,}05\ m)^4 - (0{,}046)^4)$$

$$Iz = 2{,}7843E - 06\ m^4$$

Mientras que el momento torsor que intenta deformar el brazo articulado se calcula,

$$F = m \cdot g$$

$$F = (35\ kg) \cdot \left(9.806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right) = 343{,}21\ N$$

Y el centro de gravedad de la carga está ubicado a 300 mm del eje del brazo articulado, por tanto el momento en el eje Z sería,

$$M_Z = F \cdot d$$

$$M_Z = 343{,}21\ N \cdot 0{,}3\ m = 102{,}963\ Nm$$

Y el radio medio para motivos de cálculo es,

$$r_m = \frac{r_{mayor} + r_{menor}}{2}$$

$$r_m = \frac{0{,}05\ m\ + 0{,}046\ m}{2} = 0{,}048\ m$$

$$\boldsymbol{\Omega} = \frac{Iz}{{r_m}^2}$$

$$\boldsymbol{\Omega} = \frac{2{,}7843E - 06\ m^4}{(0{,}048\ m)^2} = 0{,}0012\ m^2$$

El esfuerzo máximo es,

$$\zeta_{max} = \frac{M_Z}{\boldsymbol{\Omega} \cdot r_m}$$

$$\zeta_{max} = \frac{102{,}963\ Nm}{0{,}0012\ m^2 \cdot 0{,}048\ m} = 1775029{,}29\ \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

El ángulo de deformación provocada por la fuerza de torsión se calcula,

$$\theta = \frac{\zeta_{max}}{G \cdot r_m}$$

$$\theta = \frac{1775029{,}29\ \left(\frac{N}{m^2}\right)}{75E09\ \left(\frac{N}{m^2}\right) \cdot 0{,}048\ m} = 4{,}93E - 04\ rad = 2{,}83E - 02\ °$$

El factor seguridad para este caso se calcularía como sigue,

$$FS = \frac{\zeta_{tabla}}{\zeta_{max}}$$

$$FS = \frac{313792000\ \left(\frac{N}{m^2}\right)}{1775029{,}29\ \left(\frac{N}{m^2}\right)} = 176{,}8$$

El factor de seguridad en el esfuerzo de flexión y torsión es sumamente alto, pero se mantiene este valor por motivos de construcción ya que un espesor menor del tubo que arma el brazo articulado no se podría soldar.

2.3.5. Rozamiento del brazo articulado y soporte brazos paralelos

El rozamiento provocado genera una carga desigualmente distribuida entre el eje y soporte (Figura 40 y 41), esta carga genera una fricción desigual que puede provocar conicidad u ovalamiento del buje, la figura muestra la forma como la carga influye sobre ambos cuerpos; por tanto, para calcular el rozamiento se toma en cuenta los puntos donde la carga aplicada es mayor, para este caso se tomará: el frente (X) o el posterior (-X) y cualquiera de los laterales cuya carga es uniforme (Y).

Como datos se tiene la masa de la mesa completamente cargada que es 35 kg (masa sobre dimensionada), el centro de gravedad en función el eje imaginario esquematizado está a 300 mm +325 mm (distancia brazo articulado) en X y 0 mm en Y, el coeficiente de fricción cinética de 0,47 (Tabla 1),

$$M_{CG} = W \cdot d$$

$$M_{CG} = m \cdot g \cdot d = (35\ kg) \cdot \left(9.806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right) \cdot (0{,}65\ m) = 214{,}5062\ Nm$$

$$F_{sobre\ el\ buje} = M_{CG} \cdot d_{media\ del\ buje}$$

$$F_{sobre\ el\ buje} = 214{,}5062\ Nm \cdot 0{,}025\ \ m = 5{,}3626\ N$$

Sin embargo ya que la fuerza es máxima en los dos extremos del buje y el buje soporta cargas en dos puntos, la fuerza aplicada en cada punto sería la mitad de la fuerza ya calculada (2,6813 N) por tanto el cálculo quedaría

$$Fr_1 = \mu_c \cdot N_1$$

$$Fr_2 = \mu_c \cdot N_2 = 0$$

$$Fr_1 = 0{,}47 \cdot 2{,}6813\ N = 1{,}2602\ N$$

Ya que la fuerza de fricción es sumamente baja, se mantiene el planteamiento de hacer el eje de acero y el soporte de aluminio.

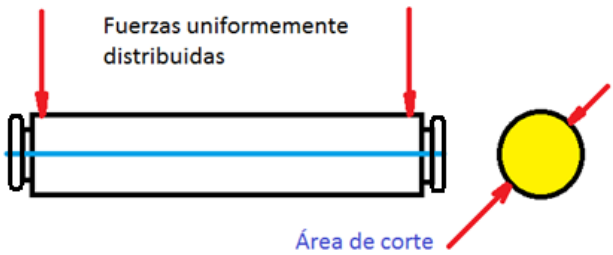
2.3.6. Esfuerzo cortante sobre los pasadores

Para este caso se plantea una carga constante definida por el peso de los mecanismos que se encuentran hacia arriba de la placa base, el esfuerzo cortante máximo se da en estos pasadores ya que los mismos soportan el peso de todo el conjunto armado; ya que dos pasadores se encargan de sostener todo el equipo mecánico, y estos pasadores reciben dos cargas puntuales cerca a sus extremos, el cálculo se define como,

$$\sigma_{calculado} = \frac{F}{A}$$

Teniendo en cuenta que el peso total del equipo montado más la mesa de trabajo es de aproximadamente 35 kg, la carga aplicada en cada extremo del pasador sería la cuarta parte de la masa multiplicada por la gravedad teniendo (Figura 44),

Figura 44: Diagrama de fuerzas sobre pasador



Fuente: El Autor

$$F = m \cdot g$$

$$F = (8{,}75\ kg) \cdot \left(9{,}806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right) = 85{,}8025\ N$$

Y el área se define como,

$$A = \pi \cdot (r^2)$$

$A = \pi \cdot ((0{,}004\ m)^2) = 5{,}0265\ E - 05\ m^2$

El esfuerzo calculado sería,

$$\sigma_{calculado} = \frac{85{,}8025\ N}{5{,}0265\ E - 05\ m^2} = 1706986{,}501\ \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

Según la tabla obtenida en el catálogo BOHMAN el esfuerzo cortante es 313792000 Pa, por tanto el factor de seguridad sería,

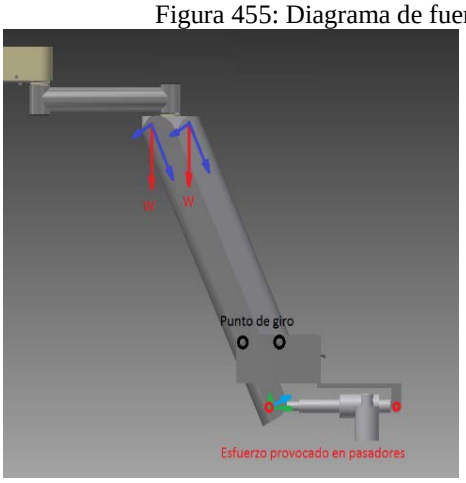
$$FS = \frac{313792000\ \left(\frac{N}{m^2}\right)}{1706986{,}501\ \left(\frac{N}{m^2}\right)} = 183{,}8$$

El factor seguridad esta sobre el rango deseado, se mantendrán los parámetros originales de diseño sin cambio en las dimensiones por razones de estética.

2.3.7. Esfuerzo sobre pasadores que sujetan el motor eléctrico

Aunque el mayor esfuerzo se provoca por cizalladura en los pasadores que soportan todo el mecanismo (los dos pasadores soporte 8 x 74), sin embargo, por motivos de diseño se calcula el esfuerzo sobre los dos pasadores que transmiten el movimiento del cilindro eléctrico al trapecio que forman los brazos paralelos, para mejor entendimiento.

Figura 455: Diagrama de fuerzas sobre el brazo articulado



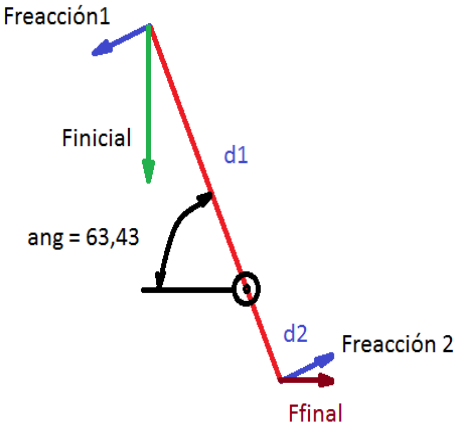


Figura 45a. Figura 45b.

Fuente: El Autor

Como se ve en la (Figura 45), ya que la carga se distribuye en los brazos paralelos, entonces la carga se divide para dos y se descompone paralelamente y

perpendicularmente sobre los brazos paralelos, la carga perpendicular realiza un momento sobre su punto de giro y gracias al sistema de palanca, la fuerza resultante permitirá hallar el esfuerzo en los pasadores, entonces la manera de calcular sería,

$$F = \frac{m \cdot g}{2}$$

$$F_{inicial} = \frac{(35\ kg) \cdot \left(9{,}806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right)}{2} = 171{,}605\ N$$

$$F_{reacción1} = F_{inicial} \cdot \cos(63{,}43°)$$

$$F_{reacción1} = 171{,}605\ N \cdot \cos(63{,}43°) = 76{,}7573\ Nm$$

Entonces en momento sería,

$$M_{CG} = F_{inicial} \cdot d_1$$

$$M_{CG} = 76{,}7573\ N \cdot 0{,}503\ m = 38{,}6089\ Nm$$

$$F_{reacción2} = \frac{M_{CG}}{d_2}$$

$$F_{reacción2} = \frac{38{,}6089\ Nm}{0{,}148\ m} = 260{,}8712\ N$$

$$F_{final} = F_{reacción2} \cdot \cos(90 - 63{,}43°)$$

$$F_{final} = F_{reacción2} \cdot \cos(90 - 63{,}43°) = 233{,}3202\ N$$

El esfuerzo entonces se calcula usando como referencia el diámetro del pasador (8 mm es el valor considerado por el diseñador) y tomando en cuenta que la carga se distribuye uniformemente a ambos extremos del pasador, por lo que la carga aplicada se debe dividir para dos, entonces se calcula (figura 44),

$$\sigma_{calculado} = \frac{F}{2 \cdot A}$$

$$A = \pi \cdot (r^2)$$

$$A = \pi \cdot ((0{,}004\ m)^2) = 5{,}0265\ E - 05\ m^2$$

El esfuerzo calculado sería,

$$\sigma_{calculado} = \frac{233{,}3202\ N}{2 \cdot 5{,}0265\ E - 05\ m^2} = 2320879{,}565\ \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

Según la tabla obtenida en el catálogo BOHMAN el esfuerzo cortante es 313792000 Pa, por tanto el factor de seguridad sería,

$$FS = \frac{313792000 \left(\frac{N}{m^2}\right)}{2320879{,}565 \left(\frac{N}{m^2}\right)} = 135{,}2$$

El factor seguridad esta sobre el rango deseado, se mantendrán los parámetros originales de diseño sin cambio en las dimensiones por razones de estética.

2.3.8. Cálculo de soldadura en la placa base

Para el cálculo de las uniones soldadas se usa el criterio de agotamiento de los cordones de soldadura.

Toda la información del (anexo 46) permite tener un mejor entendimiento para realizar el cálculo de las uniones soldadas, para las uniones soldadas de todo el conjunto base de componentes, el diseñador de la presente tesis plantea que todas las uniones soldadas tengan un espesor de 10 mm, el valor mínimo de a por consecuencia será de 3 mm, en el caso de los soportes de los brazos paralelos y la placa soporte inferior se plantea una longitud del cordón de soldadura L = 100 mm, (Figura 46)

Los electrodos a utilizar, por experiencia de trabajo serían:

Electrodo E60-11 para soldadura interior,

Electrodo E60-13 para revestimiento y acabado.

Figura 46: diagrama de soldadura en el soporte principal de la mesa.

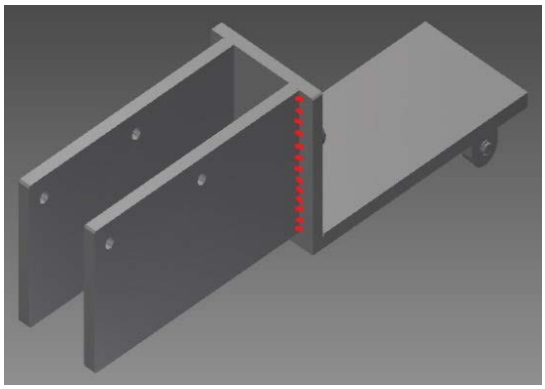


Figura 46a.

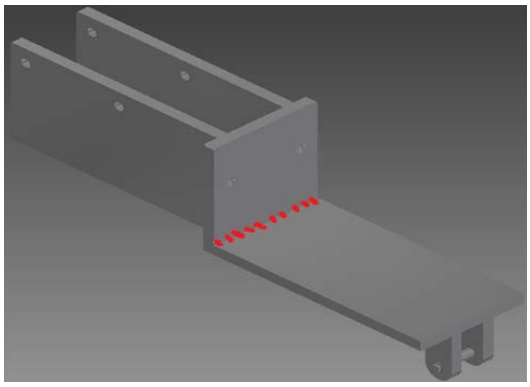


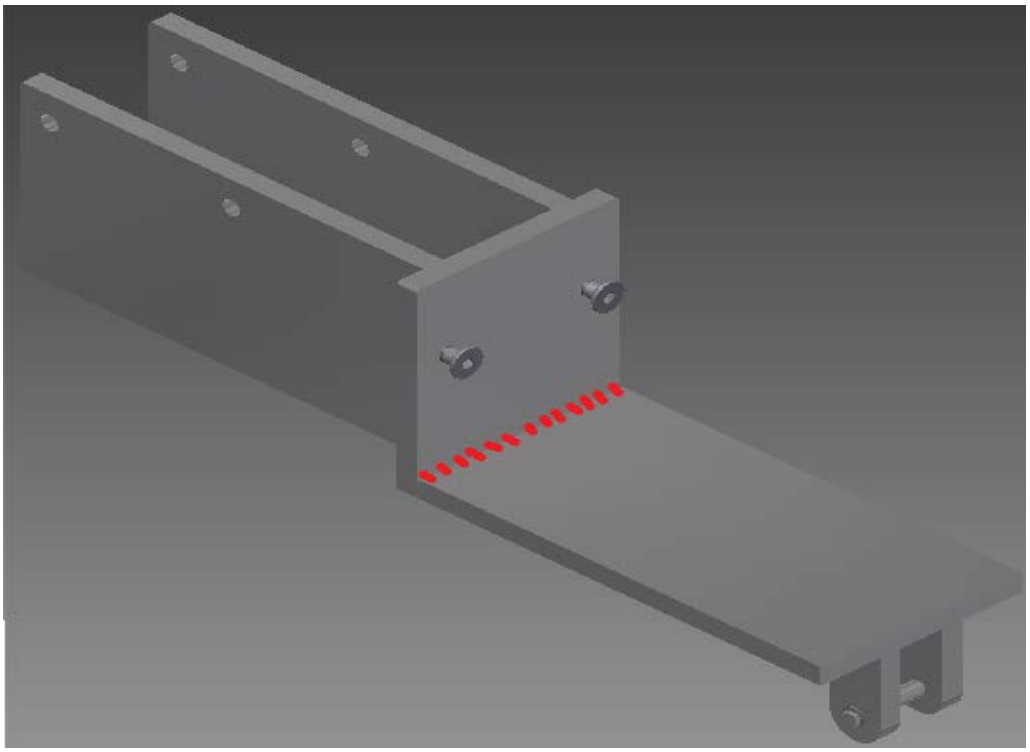
Figura 46b.

Fuente: El Autor

2.3.9. Esfuerzo cortante sobre los pernos de anclaje

Para este modelo se plantea una carga constante definida por el peso de los mecanismos que se encuentran sujetando la placa base, el esfuerzo cortante se calcula como,

Figura 47: Esquema disposición de los pernos de anclaje



Fuente: El Autor

$$\sigma_{calculado} = \frac{F}{A}$$

Teniendo en cuenta que el peso total del equipo montado más la mesa de trabajo es de aproximadamente 35 kg, la carga aplicada en cada extremo del pasador la mitad de la masa multiplicada por la gravedad teniendo (Figura 44),

$$F = m \cdot g$$

$$F = (17.5\ kg) \cdot \left(9{,}806\ \left(\frac{m}{s^2}\right)\right) = 171{,}605\ N$$

Y el área se define como,

$$A = \pi \cdot (r^2)$$

$$A = \pi \cdot ((0{,}004\ m)^2) = 5{,}0265\ E - 05\ m^2$$

El esfuerzo calculado sería,

$$\sigma_{calculado} = \frac{171{,}605\ N}{5{,}0265\ E - 05\ m^2} = 3413973{,}001\ \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

Según la tabla obtenida en el catálogo BOHMAN el esfuerzo cortante es 313792000 Pa, por tanto el factor de seguridad sería,

$$FS = \frac{313792000\ \left(\frac{N}{m^2}\right)}{3413973{,}001\ \left(\frac{N}{m^2}\right)} = 91{,}91$$

El factor seguridad esta sobre el rango deseado, se mantendrán los parámetros originales de diseño sin cambio en las dimensiones por razones de estética.

Lo planos del diseño final del prototipo se encuentran en el (anexo 2)

2.4. Diseño Hidroneumático

A través de este diseño se realiza la selección de válvulas y accesorios para el funcionamiento del sistema hidroneumático. (Figura 48).
La (figura 48a.) nos indica cómo está armado el sistema de válvulas; neumática e hidroneumáticas que sirven para el funcionamiento de las piezas de mano. También nos muestra cómo es el funcionamiento de las válvulas que están dentro de la jeringa triple.
La (figura 48b) nos indica la conexione eléctrica para el funcionamiento del sistema hidroneumático.

Figura 48: **D**iseño hidroneumático para una mesa porta piezas de mano

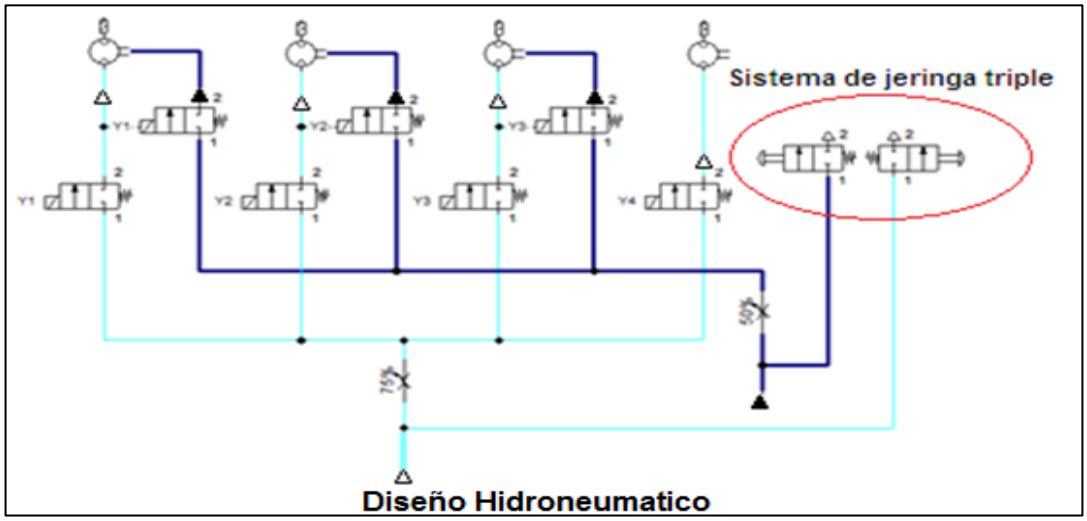


Figura 48a.

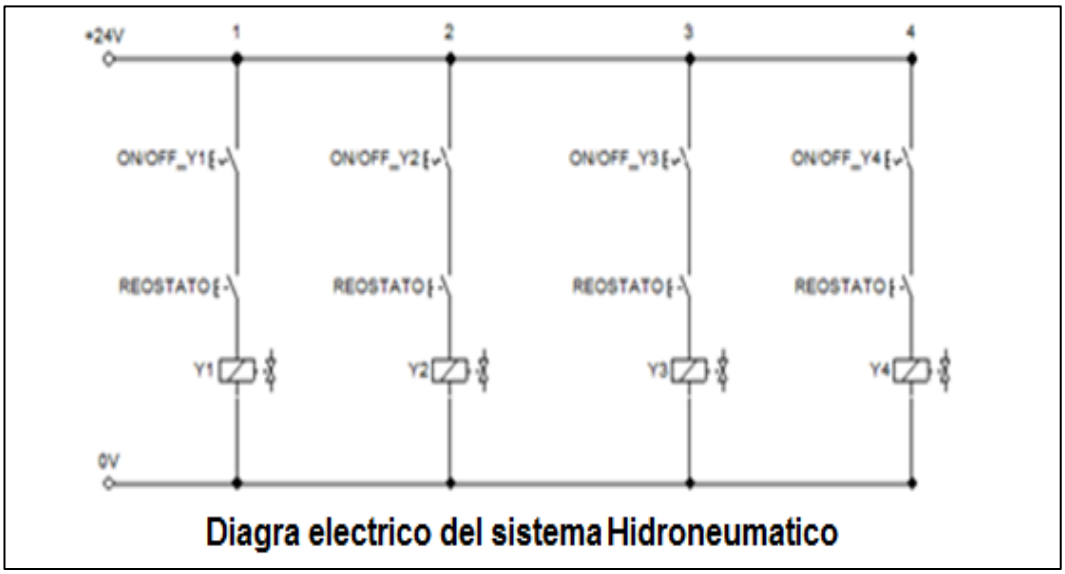


Figura 48b.
Fuente: El Autor

A partir del diseño hidroneumático podemos detallar a continuación las válvulas y accesorios que se requieren para el funcionamiento de las piezas de mano (Tabla 5).

Tabla 4: Los materiales requeridos para la fabricación del sistema hidroneumático:

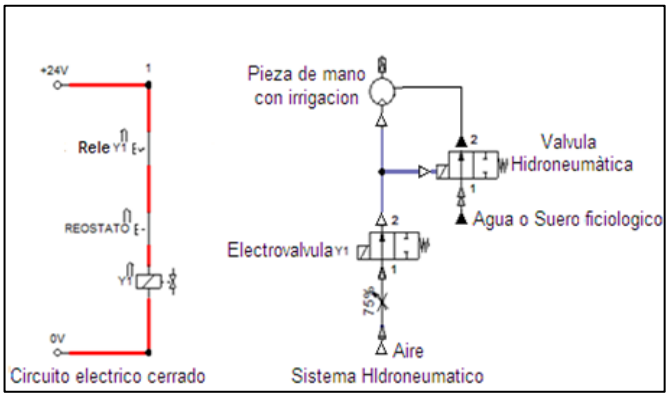
Cantidad	Válvula	Tipo
4	2 vias-2 posiciones	Electro neumática
3	2 vias-2 posiciones	Hidroneumática
1	(Jeringa triple) válvula doble 2 vias-2 posiciones	Neumática - Hidráulica
1	reguladoras de presión	Neumáticas
1	reguladora de presión	Hidráulica

Fuente: El Autor

La secuencia en el sistema neumático permite al médico controlar el funcionamiento de las piezas de mano a través de un reóstato de piso, el cual activa secuencialmente las válvulas neumáticas e hidroneumáticas para que trabaje la pieza de mano y enfrié la zona a tratar. (Figura 49).

Funcionamiento.- cuando el medico toma una pieza de mano, hala hacia fuera de la mesa y pulsa el reóstato; cierra el circuito eléctrico que activa una electroválvula, dando paso de aire hacia la valvular hidroneumática de irrigación como a la pieza de mano a utilizar.

Figura 49: Sistema neumatico para piezas de mano con irrigacion



Fuente: El Autor

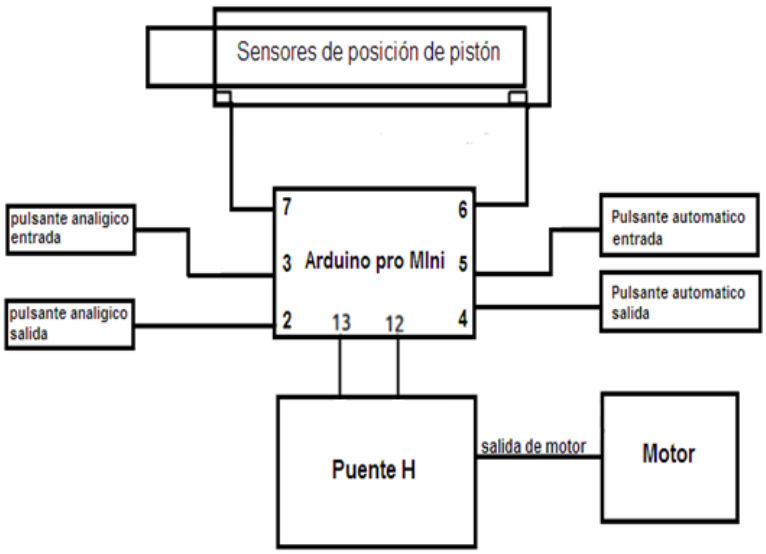
2.5. Diseño electrónico

El diseño electrónico se basa en el control que comanda los movimientos de la silla. Para mover el motor que controla la mesa de forma automática y manual se ubicó un mando de cuatro pulsantes en el piso con la finalidad de darle al médico una mejor comodidad de manejo.

2.5.1. Diseño de tarjeta de control.

El sistema electrónico de comando se realizó en una placa programable de "Arduino pro Mini" y se la enlazo a un puente H de potencia para la inversión del giro del motor. El sistema de comandos tiene cuatro pulsantes, (dos para el sistema automático y dos para el sistema analógico). Además el circuito consta de dos salidas para los sensores de posicionamiento en el pistón, como se muestra, (figura 50).

Figura 50: Diagrama electrónico de automatización para un motor



Fuente: El Autor

2.5.2. Programación de placa de control:

Previo a la programación se analizaron los problemas que tenían el médico y el paciente antes, durante y después de la atención con la finalidad de determinar los movimientos que la mesa debía hacer y solucionar esta problemática. Se determinó que la mesa debía realizar los movimientos de entrada y salida de forma automática y manual con la finalidad de posicionarla a conveniencia del médico y la comodidad del paciente.

La programación se realizado en el programa de Arduino en el que se determinó puntualmente los movimientos del motor, (sistema automático y análogo). Además se hiso la programación de los sensores del pistos tanto de entrada como el de salida para poder limitar los movimientos de la mesa.

Se incorporó un sistema de emergencia en todos los pulsantes del comando con la finalidad que el motor se detenga automáticamente en la posición que se pulse cualquier botón del control.

La programación del sistema se la puede visualizar en: (anexo 39).

2.5.3. Diseño de circuito de potencia para un motor de corriente directa

A través del programa Proteus para diseño electrónico, se procedió a diseñar la tarjeta que mandara a controlar al motor que se instalara en el mecanismo de movimientos automáticos para la mesa porta piezas de mano, (Figura 51) para lo cual se colocara un motor de corriente continua de 24v marca LINAK para equipamiento médico con un IP de 54, el consumo de corriente máxima es de 4.5A; con una carga máxima de empuje de 3500N; un factor de trabajo de 10% con una duración máxima de 2min/18min.

El tiempo aproximado de trabajo al cual estará sometido el equipo será de 1min/20min dándonos un factor de seguridad de 2 en el motor

Figura 51: Diseño electrónico de potencia (puente H) para un motor C.D.

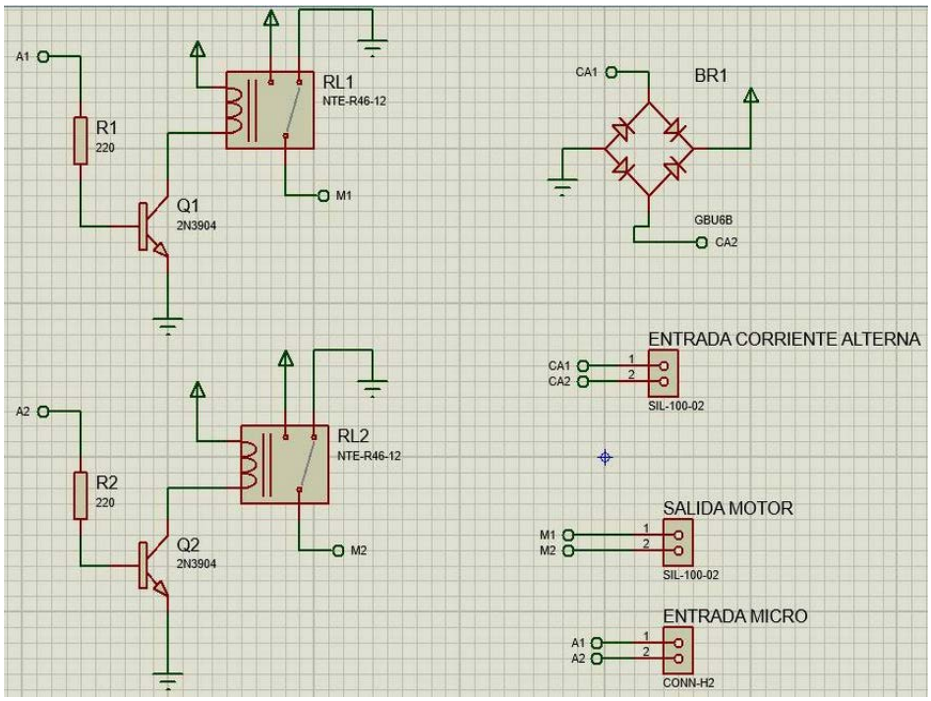
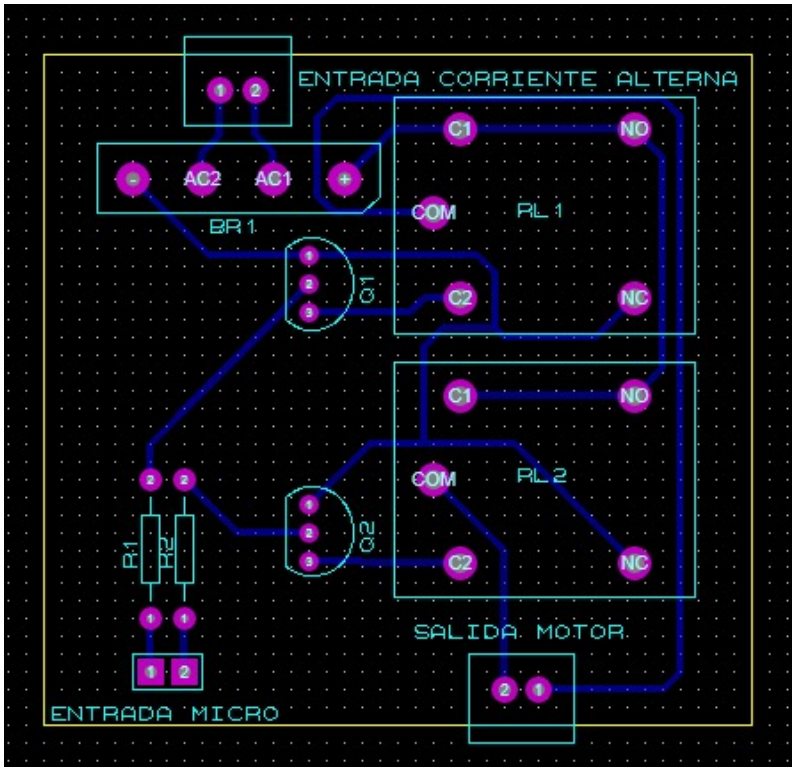


Figura 51a. Esquema electrónico del puente H

Figura 51b. Diseño de placa para implesion



Fuente: El Autor

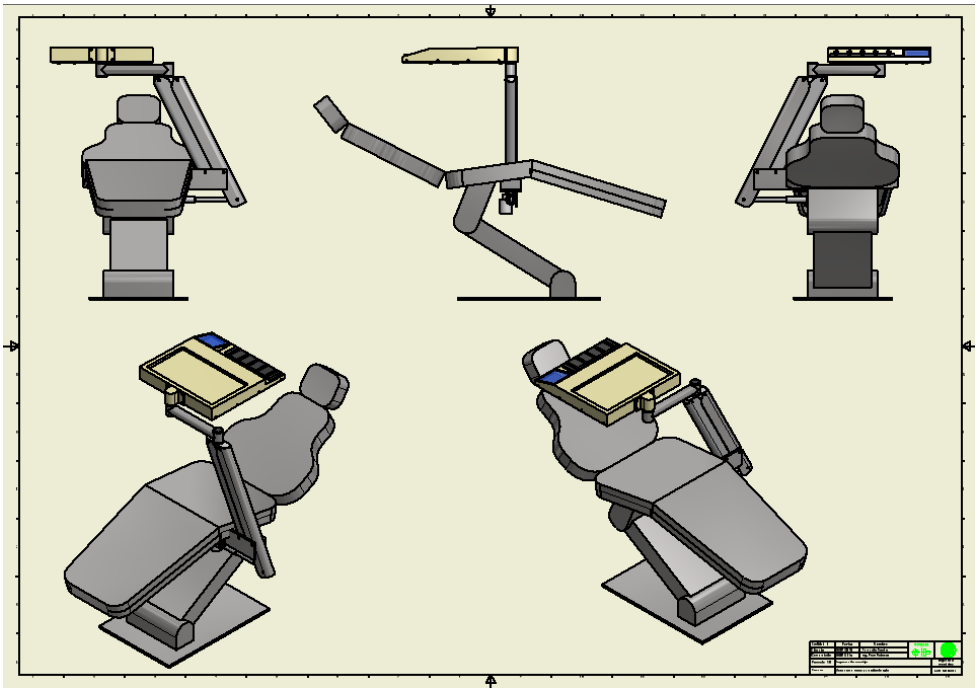
2.6. Proceso construcción y montaje del mecanismo

Descripción del proceso de fabricación de la mesa porta piezas de mano de un sillón dental anatómico:

2.6.1. El proceso de diseño

a) Mecánico.

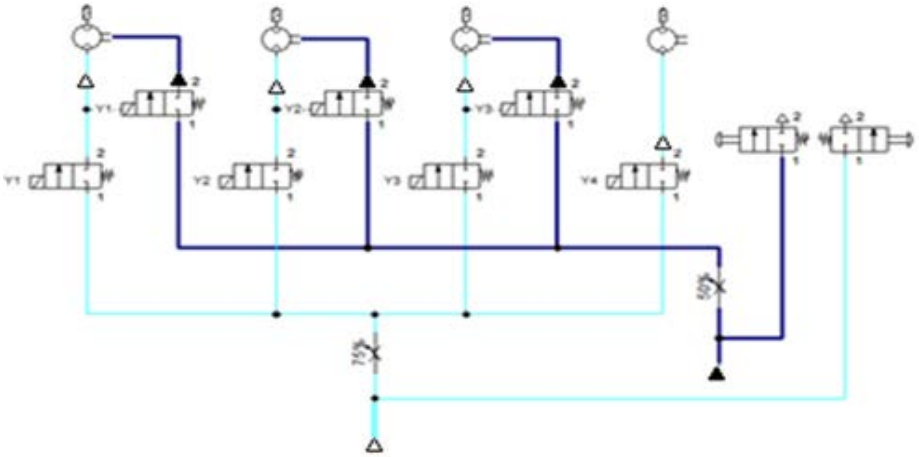
Figura 52: diseño del sistema mecánico (mesa)



Fuente: El Autor

b) Hidroneumático.

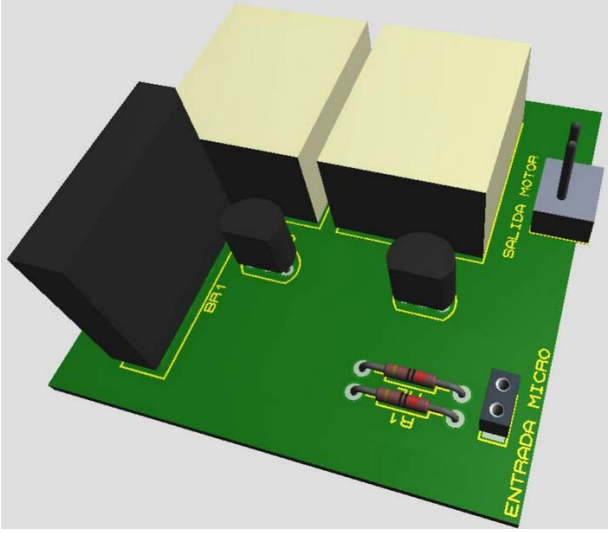
Figura 53: diseño del sistema hidroneumático



Fuente: El Autor

c) Electrónico.

Figura 54: diseño de tarjeta de control



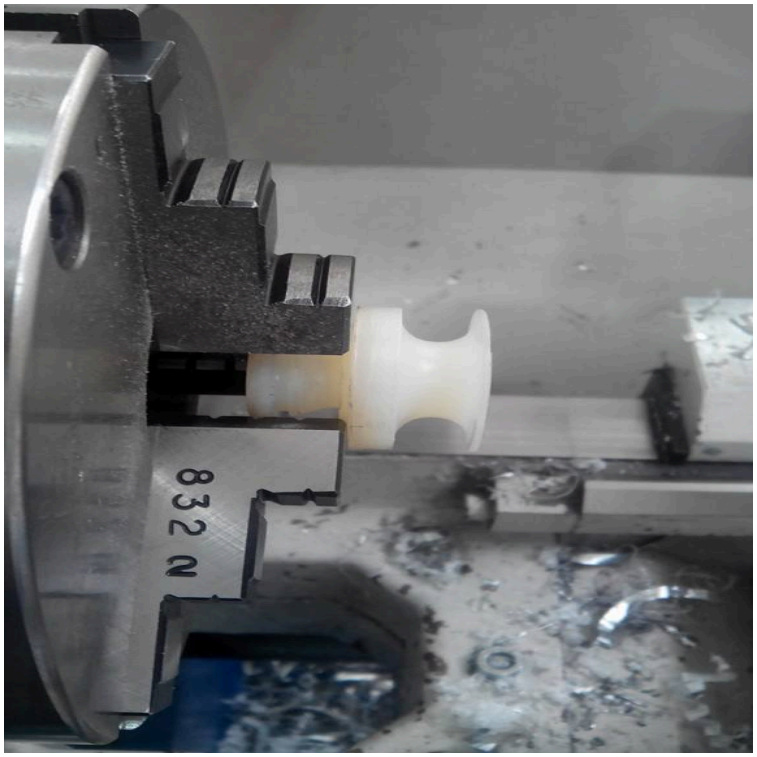
Fuente: El Autor

2.6.2. Proceso de construcción.

a) mecánico.

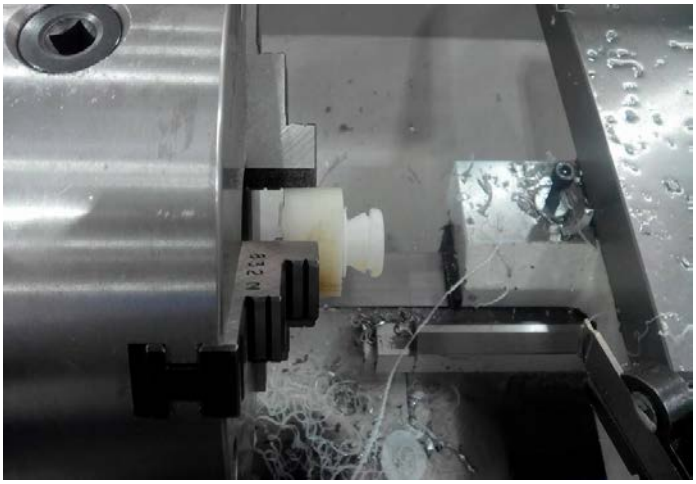
- Mecanizado en torno y fresadora de componentes.

Figura 55: mecanizado de polea para guía de manguera



Fuente: El Autor

Figura 56: mecanizado de guía para manguera



Fuente: El Autor

Figura 57: mecanizado base superior de barras paralelas.

Fuente: El Autor

- Proceso de cortado, pulido y soldado de las planchas para fabricar el subconjunto base de componentes.

Figura 58: cortado y pulido de la plancha para base

Fuente: El Autor

Figura 59: Soldado de base

Fuente: El Autor

- Proceso de cortado, pulido y doblado de los componentes del subconjunto trapecio móvil.

Figura 60: Brazos paralelos del sistema de trapecio.

Fuente: El Autor

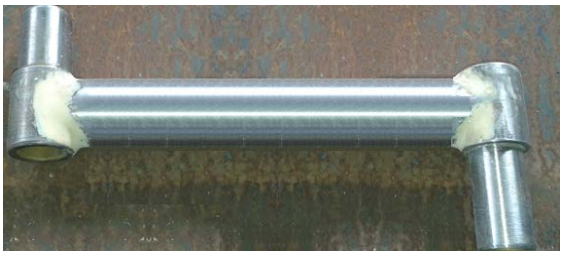
- Proceso de armado del sistema de paralelogramo

Figura 61: Brazos paralelos ensamblados al soporte base

Fuente: El Autor

- Proceso de corte y soldado del brazo articulado.

Figura 62: brazo articulado



Fuente: El Autor

Figura 63: Brazo articulado reducido 15cn en su longitud

Fuente: El Autor

- Proceso de soldadura del buje con la platina de anclaje de la mesa.

Figura 64: Buje con pletina de sujeción

Fuente: El Autor

- Ensamblado del soporte de mesa con el brazo articulado

Figura 65: sistema de articulación y soporte de mesa.

Fuente: El Autor

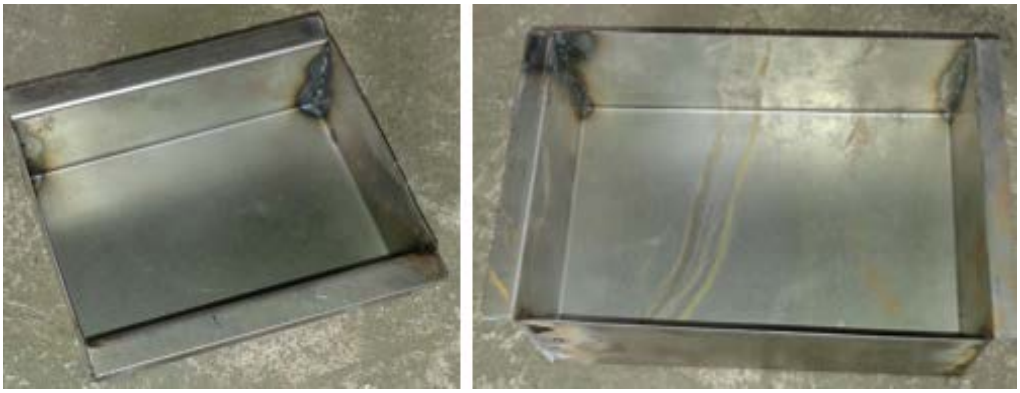
- Proceso de corte y doblado y soldado de la plancha metálica para hacer la base de la mesa.

Figura 66: Base de mesa

Fuente: El Autor

- Proceso de cortado, doblado y soldado de protectores para el sistema eléctrico e hidroneumático.

Figura 67: Cajas protectora para el circuito electrónico e hidroneumático



Fuente: El Autor

- Proceso de ensamblado de protectores en la base de la mesa

Figura 68: Cajas de protección de circuitos incorporadas a Placa Base

Fuente: El Autor

- Proceso de cortado y doblado de la base porta piezas de mano

Figura 69: Acrílico opal base para mesa porta piezas de mano

Fuente: El Autor

- Ensamblado de mesa porta piezas de mano en un sillón anatómico

Figura 70: Sistema mecánico de mesa porta piezas de mano

Fuente: El Autor

- Ensamblado de acrílico porta piezas de mano en la placa base de la mesa

Figura 71: Montaje de carcasa a la base de mesa

Fuente: El Autor

- Comprobación de movimiento del mecanismo de la mesa en la posición de trabajo como en la posición de reposo.

Figura 72: Mesa en posesión de reposo

Fuente: El Autor

Figura 73: Mesa en la posición de trabajo

Fuente: El Autor

- Comprobación de la comodidad del paciente y la distancia real entre el dorso del paciente y la mesa.

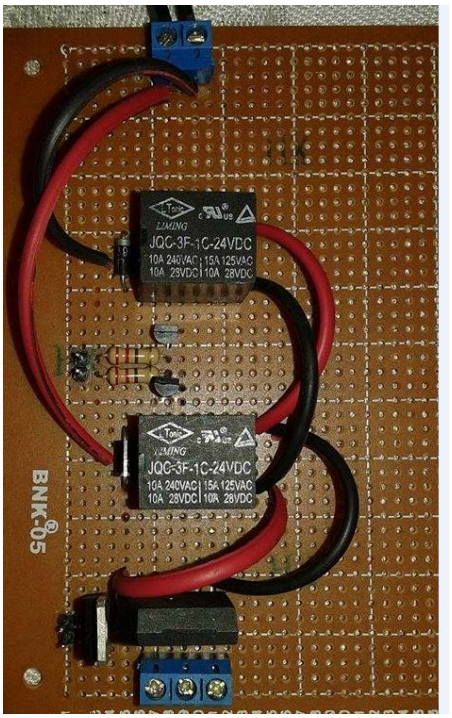
Figura 74: Mesa en posición de trabajo a 22cm desde el dorso del paciente.

Fuente: El Autor

b) Electrónico

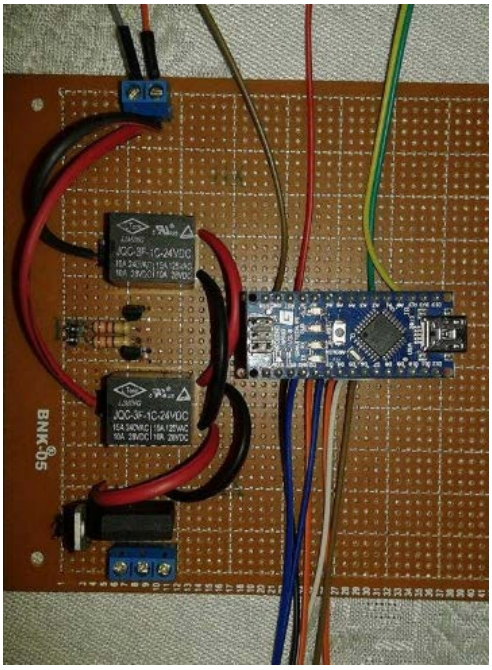
- **Proceso de ensamblado de tarjeta de potencia (puente H)**

Figura 75: Tarjeta de potencia puente H



Fuente: El Autor

Figura 76: Tarjeta de control y tarjeta de potencia



Fuente: El Autor

2.7. Conclusiones del capitulo

- Como se planteó en el objetivo principal, el tratante no necesita levantarse de su silla para mover la mesa hacia el punto de trabajo.
- Para llegar al diseño final de mecanismo de trapecio móvil, como autor de la presente tesis, tuve que tomar en consideración las dimensiones aproximadas de un paciente y la posición de la mesa en función del mismo paciente.
- Los espesores de los componentes del equipo diseñado no fueron cambiados evidenciando que se tuvo un buen criterio técnico en la fase de diseño.
- En el caso de varios componentes calculados, se evidenció que podrían funcionar perfectamente con espesores menores a los diseñados pero que se mantuvieron por estética.
- El factor de seguridad elevado que se obtuvo en la fase de diseño en varios componentes permite una mayor vida útil de los mismos dentro del conjunto armado.
- La mesa de trabajo dio mayor trabajo en la fase de construcción ya que varios de los componentes eran muy pequeños y difíciles de construir, además la forma de la mesa presentó problemas de construcción sobretodo en sus vértices, sin embargo todos los problemas se pudieron resolver satisfactoriamente.
- En el sistema hidroneumático y electrónico no se tuvo ningún inconveniente tanto en el diseño o durante la construcción.

3. Análisis técnico-económico

3.1. Introducción:

El objetivo principal de cualquier empresa, ya sea comercial, de servicios o manufacturera es el de maximizar sus utilidades. Para poder cumplir con este objetivo es necesario conocer los costos en los que está incurriendo la empresa. Para lo cual en este capítulo se manejaran el costeo por órdenes o periodos, que determinan los valores de mano de obra a través de documentos financieros como factura cotizaciones etc. se establece los costos directos e indirectos que nos dará una idea clara de los gastos del proyecto.

3.2. Costeo por órdenes de trabajo y costeo por procesos

Dentro de las empresas manufactureras existen dos sistemas de costeo que permiten el cálculo de los costos unitarios de producción y como consecuencia permiten valorar los inventarios, fijar el precio de los productos y servicios y por último determinar correctamente las utilidades. Estos sistemas son:

- Sistemas de costeo por órdenes (o por pedidos).
- Sistema de costeo por procesos.

Para este caso se utilizara el sistema de costeo por órdenes.

3.2.1. Costeo por órdenes del sistema mecánico

Un sistema de costeo por órdenes se utiliza cuando se fabrican pedidos especiales o específicos, o cuando se prestan servicios que varían de acuerdo con las necesidades del cliente. La materia prima utilizada, la mano de obra requerida y los gastos indirectos de fabricación son diferentes para cada orden y se deberá llevar un control y registro por separado. Los costos deben acumularse de manera independiente para cada orden o servicio.[3]

3.2.1.1. Hoja de costos para cada orden

Debido a que se trata de ordenes especiales o específicas, la manera más sencilla de llevar un buen control de costos es utilizando una hoja de costos para cada orden. En esta hoja se especificará el número de orden de producción, el nombre del cliente, fecha de inicio, fecha de terminación, breve descripción del artículo, cantidad de unidades que se fabricarán, requisiciones de materia prima directa y sus costos, tarjetas de tiempo de la mano de obra directa y su tarifa y la tasa predeterminada de gastos indirectos de fabricación utilizada.

En una hoja de costos podemos encontrar información sobre tres elementos del costo de producción:

1. Materiales directos.

2. Mano de obra directa
3. Gastos indirectos de fabricación.

3.2.1.2. Requisición de materiales

Para llevar un buen control de estos costos, en un sistema de costeo por órdenes se llevan formas o documentos que permiten conocer la materia prima directa requerida, las horas de mano de obra directa y los gastos indirectos de fabricación que se aplicaron para cada orden. Adicionalmente, en una hoja de costos por orden se tiene que contabilizar el flujo de costos para determinar los costos totales y unitarios del pedido(Tabla 6).[3]

Para nuestro caso como formato de requisición de materiales se utilizarán las proformas, cotizaciones y facturas que nos enviaron los proveedores para determinar el costo de los materiales directos, los cuales se adjuntarán como anexos (Anexos 3).

Tabla 5: Materiales directos para la implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico

Cantidad	**Descripción**	**Valor unitario**	**Valor total**
1	Acero de transmisión – D 7/16”x15cm	0.54	0.54
1	Nylon – D 40mm x L 70mm	2.68	2.68
1	Nylon – D 50mm x L 50mm	2.95	2.95
1	Duraluminio cuadrado – 2 x 2” x L 140mm	30	30
1	Acero de transmisión – D 2” 260mm	9.82	9.82
1	Nylon – D 25mm x L 60mm	0.89	0.89
1	Acero de transmisión - D 5/16” x L 100mm	0.89	0.89
1	Broca dormer - D 5/16	4.02	4.02
4	Cuchillas con widia – D 6 P30	4.02	12.05
8	Seguros para exteriores - E 8mm	0.22	3.79
1	Tol de 122cm x 244cm x E 1.5mm	38	38
1	Acrílico blanco 122cm x 244cm x E 2mm	110	110
5	Resorte de expansión D8mm x L 84mm	7	35
5	Guía con trinquete de enclavamiento	25	125
5	Mangueras L 1,50 m	17.50	87.5
5	Electroválvulas 24v Nc	29.65	148.25
4	Válvulas dual aire - agua x D 6mm	37.12	145.25
1	Chasis-Sillón anatómico con silla	550	550
1	Plancha de 250mm x 500mm x E 10mm	23	23
1	Tarjeta electrónica de comando para un motor	123	123
1	Pintura 1/4 de Gl	35	35
2	Electrodo (E6011/E6013) de D 1/8 x Kg	5	10
1	Motor 24v. CC marca LINAK - 3500N	320	320
		Sub. Total:	1399
		IVA:	167.88
		Costo total	**1566.88**

Fuente: El Autor

3.2.1.3. Tarjeta de tiempo

Para determinar la mano de obra directa se utiliza un documento conocido como tarjeta de tiempo. Por medio de este documento podemos asociar las horas requeridas de mano de obra directa con cada orden específica.

3.2.1.4. Tarjeta de reloj

Generalmente en todas las fábricas, cada empleado tiene una tarjeta de reloj en la que tiene que checar la hora en la que entra y en la que sale un reloj o marcador de tiempo (Tabla 7).

Tabla 6: Costos de mano de obra directa para la implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico

Cantidad	**Descripción**	**Valor unitario (USD)**	**Valor total (USD)**
85 hrs	Diseño	25.00	2125.00
69 hrs	Construcción	25.00	1725.00
COSTO TOTAL (USD)			**3850.00**

Fuente: El Autor

3.2.2. Requisición de materiales indirectos y mano de obra indirecta

Los materiales indirectos y la mano de obra indirecta forman parte de los gastos directos de fabricación, por lo que no será necesario hacer una requisición de materiales indirectos para cada orden específica, ni llenar boletas de tiempo por los empleados que no trabajan directamente en la producción.

3.2.3. Gastos indirectos de fabricación (GIF)

Los gastos indirectos de fabricación no se pueden identificar plenamente con la orden específica y además no se presentan de manera uniforme durante un periodo contable, entonces es necesario el empleo de una tasa estimada o predeterminada de gastos indirectos de fabricación (GIF).Los gastos indirectos de fabricación para un solo producto se pueden asignar directamente.[3] [4]

Se puede determinar el costo total de fabricación de una orden especial haciendo uso de una hoja de costos (Tabla 8).

Tabla 7: Gastos de fabricación para la implementación de un sistema automático para una mesa porta piezas de mano en un sillón dental anatómico

DESCRIPCIÓN	**COSTO TOTAL (USD)**
Materiales directos	1566.88
Mano de obra directa	3850
Mano de obra indirecta	0
COSTO TOTAL **(USD)**	**5416.88**

Fuente: El Autor

3.3. Conclusiones del capitulo

- Para la implementación del sistema mesa móvil en un sillón anatómico se realizó un estudio de los costos que intervinieron en el desarrollo del proyecto, determinando el valor de los materiales utilizados en el proceso de fabricación y la mano de obra directa.
- Si hacemos una comparación entre el costo del diseño y los costos por fabricación nos daremos cuenta que no existe mucha diferencia lo cual es muy beneficioso en caso que se llegue a producir por las prestaciones que dejaría para la empresa
- Si realizamos una comparación de costo entre los quipos tradicionales de sistema colibrí y el costo de nuestro prototipo sigue siendo competitivo y de menor costo comercial.

4. Conclusiones Generales.

- La información encontrada para la presente tesis demuestra que el desarrollo de los primeros sillones tuvo comienzo en los años de 1750-1760 aproximadamente, estos fueron mejorados a través del tiempo en su forma y diseño para ajustarse a las condiciones del paciente, hasta llegar al modelo de sillón que mantiene al paciente en decúbito dorsal. Los avances más destacados se dieron hasta 1940 prevaleciendo el mismo diseño hoy en día; los nuevos sillones dentales no presentan avances en el diseño, solo mejoras en la estética.
- El tema de diseño planteado al inicio del proyecto se cumplió en su totalidad ya que el modelo propuesto para que la mesa se moviera de forma automática

hacia el lugar de trabajo como al lugar de reposo fue un éxito, el mecanismo de movimiento de paralelogramo mantiene la mesa en los lugares propuesto desde el inicio, (Mesa fuera del sillón o área de trabajo; mesa sobre el dorso del paciente con una separación de 10 a 30cm).

- El sistema de auto retracción de las mangueras dio muchas complicaciones en el diseño ya que se tuvo que plantear diversos modelos del mecanismo y determinar cuál era el idóneo para la mesa, las complicaciones fueron; el área ocupada por los mecanismos de retracción, peso del sistema sobre la mesa, costos de fabricación, modelo estético. Llegando a definir un mecanismo sencillo de auto enclavamiento por trinquete deslizando sobre una guía rectangular, que mantiene un peso ligero por los pocos componentes que tiene, comparado con los modelos que se planteó en el desarrollo del diseño.
- Los procesos de cálculo aplicado y los resultados garantizan la funcionabilidad del equipo.
- Los procesos de cálculo demostraron, que tanto el diseño como la selección de los materiales fue la correcta para realizar este conjunto.
- Se realizó un cambio de dimensión del brazo articulado al momento de realizar la construcción que difiere del diseño original, la razón, al momento de colocar la mesa en la posición de reposo, el paciente podía golpearse contra el brazo articulado o la mesa, por tanto el brazo articulado se redujo 150 mm del valor propuesto en el diseño.
- Gracias a la presente tesis e pudo comprobar, que minorando el costo de los materiales, se puede construir y mejorar el diseño planteado.
- El diseño planteado presenta dos mejoras sustanciales que favorecen al paciente y prestan un mejor ambiente de trajo para el tratante. El paciente podrá subir o bajar del sillón con suma libertad ya que se eliminaron los inconvenientes por enredos o tropiezos en las mangueras y piezas de mano; el medico no tendrá que levantarse para mover la mesa, basta con pulsar el mando de entrada o salida de la mesa y esta lo realizara en forma automática, dando facilidad al médico auxiliar para retirar el instrumental utilizado, realizar la limpieza y ubicar el nuevo instrumental, para el paciente que ingresa.

5. Recomendaciones.

- Se recomienda como un siguiente proyecto en relación al presente, mejorar el diseño y ubicación de la escupidera ya que el paciente tiene que esforzar su espalda para realizar el salivado.
- Proponer nuevos modelos de mesa con la finalidad de mejorar su estética y tratar de reducir el tamaño que se presentó en el proyecto.
- Recomendar a futuro, no anclar la lámpara de luz bucal al quipo ya que al subir o bajar el sillón genera un movimiento brusco en la lámpara quemando eventualmente el foco. Por tanto sugiero que la lámpara se ancle al techo, dando espacio y comodidad al médico tratante.
- El costo de materiales disminuiría si se plantea fabricar el diseño en serie ya que para la fabricación del prototipo, se requirió comprar más material del necesario, la principal razón es que los lugares destinados para la compra de materiales ya tienen las dimensiones específicas de venta lo cual resulta ser de mayor dimensión que las requeridas.

6. Referencias bibliográficas

[1] Norton, R. Diseño de maquinaria. Cuarta edición. México. McGraw-Hill. 2009

[2] Mott, R. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta edición. México. Pearson-Educación. 2006

[3] Arredondo, M. Contabilidad y análisis de costos. Primera edición. Editorial Continental. 2005

[4] Hernández, R. Metodología de la investigación. Quinta edición. McGraw-Hill. 2010

[5] Shank, J. Gerencia estratégica de costos. Tercera edición. Editorial Lil S.A.. Costa Rica

[6] Martín, Juan. Automatismos industriales. Editex. Madrid. 2012

[7] Kalpakijan, S. Manufactura, ingeniería y tecnología: procesos de manufactura. Séptima edición. Editorial Pearson. México. 2014

[8] Sclater, N. Handbook of electrical design details. Second edition. United States. McGraw-Hill. 2003

[9] N,N (2010, marzo). Tareas de física. Disponible en:

http://fisicamona.blogspot.com/2010/03/coeficiente-de-rozamiento.html

[10] Fullmecánica (2014). Resortes/Muelles/Helicoidales de compresión. Disponible en:

http://www.fullmecanica.com/definiciones/r/1183-resortes-helicoidales-de-compresion

[11] NEWCOMB SPRING CORP (2015). Resortes de extensión. Disponible en:

http://www.newcombspring.com/Spanish/spn.extsn.html

[12] ANALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE SEXTA SERIE (2000, Octubre). Facultad de odontología. Disponible en:

http://web.uchile.cl/vignette/anales/CDA/an_completa/0,1281,SCID%253D3639%2526ISID%253D261%2526ACT%253D0%2526PRT%253D3625,00.html

[13] Anton S.L. suministros dentales (2015). Equipamiento clínico. Disponible en: http://www.antonsl.es/

[14] Jiménez, A (2013). La forma correcta del cepillado de tus dientes. Disponible en: http://arijime.blogspot.com/2013/09/equipo-que-veo-en-un-consultorio-dental.html

[15] ELCO (2015). Mesa de exploración. Disponible en: http://elco.iompi.com/

[16] DENTAMAX CHILE (2015). Información. Disponible en: http://www.dentamax.cl/

[20] ESTOMATOLOGÍA (2013, Noviembre). Historia de la estomatología (odontológica) en la edad media al siglo XIX. Disponible en: http://odontoestomato.blogspot.com/2013/11/historia-de-la-estomatologia.html

[21] DENTALUS (2015). Gaceta dental. Disponible en: http://www.gacetadental.com/2009/03/primeros-depsitos-dentales-en-espaa-31268/

7. ANEXOS

ANEXO: 1 Catálogo Ivan Bohman AISI 1045

760=AISI 1045
Acero al carbono para maquinaria

GENERALIDADES: Acero al carbono sin alear de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB.

ANÁLISIS TÍPICO %

C	Si	Mn	Cr	P	S
760	0.50	0.30	0.60	--	0.04
AISI 1045	0.43 - 0.50	--	0.60 - 0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Resistencia a la Tracción	65 Kg/mm²
Esfuerzo de cedencia	32 Kg/mm²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40%
Dureza	220-235

EQUIVALENCIAS:

AISI	1045
SAE	C1045
W. Nr	1.1820
DIN	CK45

APLICACIONES:

Componentes sencillos, como por ej:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado	800 - 1050	°C
Normalizado	830 - 850	°C
Temple (agua)	770 - 810	°C
Temple (aceite)	790 - 830	°C
Revenido (herramientas de corte)	100 - 3000	°C
Revenido de bonificación	550 - 650	°C

MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
25	3,9
32	6,3
38	8,9
40	9,9
45	12,5
50	15,4
60	22,2
70	30,2
80	39,5
90	49,9
100	61,7
105	68,0
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
140	120,8
150	138,7
165	167,9
170	178,2
180	199,8
200	246,6
230	326,1
250	385,3
300	554,9
310	592,5
320	631,3
350	755,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10 x 60	4,7
10 x 150	11,8
12 x 40	3,8
12 x 60	5,7
12 x 120	11,3
15 x 100	11,8
15 x 150	17,7
20 x 100	15,7
20 x 120	18,8
20 x 130	20,4
20 x 150	23,6
20 x 200	31,4
20 x 300	47,1
20 x 50	7,9
20 x 80	12,6
20 x 90	14,1
25 x 50	9,8
25 x 80	15,7
25 x 250	49,1
30 x 50	11,8
30 x 90	21,2
30 x 300	70,7
40 x 100	31,4
60 x 100	47,1

CUADRADO

Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)
6 x 6	0,3
8 x 8	0,5
10 x 10	0,8
12 x 12	1,1
16 x 16	2,0
20 x 20	3,1
25 x 25	4,9
30 x 30	7,1
32 x 32	8,0
35 x 35	9,6
40 x 40	12,6
45 x 45	15,9
50 x 50	19,6
60 x 60	28,3
70 x 70	38,5
80 x 80	50,2
90 x 90	63,6
130 x 130	132,7

ANEXO: 2 Dibujo técnico de conjunto y particulares del diseño

ANEXO: 3 Programación en Arduino para el movimiento de la mesa

```
// Introducimos la variable por donde saldrá nuestra señal digital hasta el zumbador
int ME=12;
int MS=13;
 // Pins de entrada teclas
int Bo1=2;
int Bo2=3;
int Au1=4;
int Au2=5;
int SI=6;
int SF=7;
int pot= A7;
int pul=0;
void setup()
{
//Definicion de entradas
pinMode(Bo1, INPUT_PULLUP);
pinMode(Bo2, INPUT_PULLUP);
pinMode(Au1, INPUT_PULLUP);
pinMode(Au2, INPUT_PULLUP);
pinMode(SI, INPUT_PULLUP);
pinMode(SF, INPUT_PULLUP);
pinMode(ME, OUTPUT);
pinMode(MS, OUTPUT);
while(1){
if(digitalRead(SI) == HIGH){
digitalWrite(ME,HIGH);
}else{
digitalWrite(ME,LOW);
break;
}
}
}
void loop()
{
pul= analogRead(pot);
if(digitalRead(Bo1) == LOW){
delay(200);
while(digitalRead(Bo1)== LOW){
if(digitalRead(SF)==LOW){
break;
}
```

```
digitalWrite(MS,HIGH);
}
digitalWrite(MS,LOW);
}
if(digitalRead(Bo2) == LOW){
delay(200);
while((digitalRead(Bo2)== LOW)){
if(digitalRead(SI)==LOW){
break;
}
digitalWrite(ME,HIGH);
}
digitalWrite(ME,LOW);
}
if(digitalRead(Au1) == LOW){
delay(200);
while(digitalRead(SF)== HIGH){
digitalWrite(MS,HIGH);
if(digitalRead(Bo1) == LOW){
break;
}
if(digitalRead(Bo2) == LOW){
break;
}
if(digitalRead(Au1) == LOW){
break;
}
if(digitalRead(Au1) == LOW){
break;
}
}
digitalWrite(MS,LOW);
}
if(digitalRead(Au2) == LOW){
delay(200);
while(digitalRead(SI)== HIGH){
pul=  analogRead(pot);
digitalWrite(ME,HIGH);
if(digitalRead(Bo1) == LOW){
break;
}
if(digitalRead(Bo2) == LOW){
```

```
break;
}
if(digitalRead(Au1) == LOW){
break;
}
if(digitalRead(Au1) == LOW){
break;
}
}
digitalWrite(ME,LOW);
}
}
```