



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVICIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN EXOSQUELETO QUE AUXILIE EN LA
MARCHA A PERSONAS CON DEBILIDAD MUSCULAR,
APOYADOS DE LA TEORÍA DE DISEÑO TRIZ”**

JOYA CRUZ MARTÍN

DIRECTOR: DR. ADRIAN ESPINOSA BAUTISTA

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente primeramente a mis padres por haberme dado la vida, en segundo lugar por haber depositado en mí su confianza y gracias a esto el llegar a este día que no es un logro solo mío, este es un logro también es suyo.

También agradezco a todas las personas que dedicaron un poco de su tiempo para ayudarme en momentos difíciles, donde sus palabras fueron de gran apoyo para llegar a este primer gran logro.

A mis maestros de jardín de niños, primaria, secundaria, preparatoria y la universidad, eterno agradecimiento ya que sin sus sabias enseñanzas no hubiera podido subir todos esos escalafones que son necesarios para poder llegar a este gran día.

Con lo que se refiere a la elaboración de este trabajo agradezco primeramente al Dr. Adrian Espinosa Bautista por haber aceptado dirigir mi trabajo, también agradezco al grupo de sinodales por también ser participes de este trabajo, además de haber sido mis maestros.

Agradecimiento a la Dra. Cristina León, profesora de esta facultad y al Dr. Oscar Dávila, médico ortopedista del Hospital General de México, por su ayuda en la obtención de datos que requería este trabajo.

Finalmente agradezco enormemente a mi tía Epigmenia Joya Blancas, ya que pensando en ella y la enfermedad que la aqueja fue el incentivo para realizar este trabajo.

RESUMEN

Se requiere diseñar un mecanismo que auxilie a las personas que sufran de debilidad muscular apoyados por la teoría TRIZ, a nivel conceptual. La teoría TRIZ sistemática se basa en la eliminación de contradicciones que surgen entre los parámetros del sistema tecnológico. Para llegar a la solución del diseño de concepto de este mecanismo surgieron dos contradicciones que se eliminaron con la ayuda de la matriz de las contradicciones de Altshuller. Las soluciones que se encontraron para poder realizar el movimiento de flexión y de extensión fue el colocar un resorte de extensión y un resorte NEG'ATOR, para que sean los encargados de hacer estas fuerzas.

En la etapa de diseño de detalle se aplicaron los conocimientos de dinámica y conceptos de experimentación para poder determinar el parámetro de fuerza de flexión y de extensión que será realizada por los resortes, este parámetro es necesario ya que a partir de este se realizaron los cálculos para el diseño de cada uno de los resortes. Para el resorte de extensión se aplicaron también los conceptos de escala para poder determinar la deflexión a la que estará expuesto, además de que se aplicaron conceptos de selección de materiales, para este resorte se eligió alambre de cuerda de piano, este por sus propiedades mecánicas y su acabado. Para el diseño del resorte NEG'ATOR primeramente se eligió acero al alto carbono y con el parámetro de fuerza se ingreso a tablas de diseño de este tipo de resortes y se encontraron los parámetros necesarios para su diseño.

Una vez que se diseñaron los resortes que realizaran la fuerza de flexión y de extensión, se realizaron los diseños de las barras que contendrán a estos dos elementos mecánicos, se eligió al ABS como material de manufactura de las barras, una vez que se realizaron los diseños se hizo un análisis de esfuerzos en los puntos críticos para determinar si el diseño propuesto era el diseño adecuado para soportar las sollicitaciones de fuerza a las que estarán expuestas. También se determinó el material del que estará hecha la banda de transmisión de la fuerza, esta será un fleje no metálico.

Como conclusiones de este trabajo se obtuvo que con la aplicación de la teoría TRIZ si se reduce el tiempo en la etapa de diseño de concepto, esto nos llevo a que se lograra el objetivo de mostrar una maqueta de la solución y se cumplieron con los requerimientos del usuario. También se logró obtener beneficios adicionales para el usuario como es el que se logrará una mejor postura al caminar y así se podrán evitar problemas posteriores. Como beneficio por haber utilizado esta metodología se me facilito la creación de ideas de solución para los problemas de diseño, además de poner en práctica mis conocimientos de ingeniería en diseño para este exoesqueleto.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y ALCANCES	3
CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES	4
3.1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
3.2: REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	8
CAPÍTULO 4: TEORÍA DE DISEÑO	9
CAPÍTULO 5: OBTENCIÓN DE LOS DATOS PARA EL DISEÑO DE LAS PARTES MECÁNICAS	17
CAPÍTULO 6: APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE DISEÑO	22
6.1: DISEÑO CONCEPTUAL	22
CAPÍTULO 7: OBTENCIÓN DE DATOS Y CALCULOS	28
CAPÍTULO 8: DISEÑO DE DETALLE	29
8.1: CALCULOS Y DISEÑO DE DETALLE	34
8.2: ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LOS DISEÑOS	40
8.3: PLANOS	42
CAPÍTULO 9: RESULTADOS	44
CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES	48
CAPÍTULO 11: REFERENCIAS	51
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	i
<i>ANEXO A</i>	ii
<i>ANEXO B</i>	iii

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es presentar una aplicación de la ingeniería mecánica en un área en la que se puede innovar más de lo que se ha hecho. Esta área pretende crear instrumentos que hagan que se facilite y mejore la calidad la vida de las personas de la tercera edad.

El origen de esta idea surgió a partir de un problema que se observa todos los días. Este problema aqueja a las personas de la tercera edad que como sabemos sufren de menosprecio de las personas jóvenes, uno de los mayores problemas a los que se enfrentan las personas mayores es el ya no poder hacer cosas que normalmente eran capaces de hacer por si mismas, por ejemplo para el caso de una mujer, ya no puede salir al mercado ni hacer los quehaceres de la casa por ya no poder caminar a causa de la debilidad muscular que es causada ya sea por enfermedad o por su edad avanzada. Estos problemas son los causantes de que se reduzca la calidad de vida.

Es por ello que se ha planteado el objetivo de diseñar un mecanismo que realice un porcentaje de la fuerza total que generan los músculos de las piernas y así auxilie en la marcha a personas de la tercera edad que padezcan de debilidad muscular, sin excluir a personas jóvenes que padezcan del mismo mal.

Para lograr este objetivo se cumplieron las siguientes metas:

- Identificar los requerimientos del usuario.
- Obtener las especificaciones del usuario.
- Entender la matriz de las contradicciones de TRIZ.
- Aplicar la matriz de las contradicciones
- Generar opciones de solución para los distintos sistemas del dispositivo.
- Realizar modelos de prueba
- Realizar el diseño conceptual

Para lograr este objetivo y resolver el problema se contará con el apoyo de la teoría de diseño TRIZ, tomando en cuenta que esta teoría de diseño es para encontrar la solución a nivel conceptual de nuestro mecanismo, una vez que se tenga el modelo de concepto se aplicarán conceptos de diseño de elementos de máquinas, ergonomía, mecánica de sólidos, diseño asistido por computadora así como selección de materiales.

La estructura del trabajo que a continuación se presenta es la que nos ayudará a llegar a nuestro objetivo que dará solución al problema, es la siguiente.

En los antecedentes de este trabajo se hace una explicación del origen de la teoría TRIZ, se muestran tres ejemplos de exoesqueletos que existen en la actualidad y que a partir de estos modelos se pretende que se generen las ideas para el diseño de un nuevo mecanismo que cumpla con la función de estos pero que también cumpla con los requerimientos de un usuario en particular, además de dar a conocer algunas de sus características de funcionamiento.

A continuación se explica el campo de conocimientos de ingeniería que se utilizaron para el diseño de este mecanismo.

En el capítulo de definición del problema se plantea el problema de manera formal, y como este es un trabajo de ingeniería de diseño se presentan las especificaciones y requerimientos del usuario.

En el capítulo de la teoría se describen todos los pasos que se deben seguir para la aplicación de la teoría de diseño que se utilizó para llegar a la solución del problema. Se explican los métodos experimentales que se aplicaron para la cuantificación de los parámetros necesarios para el diseño de los elementos mecánicos y que eran difíciles de medir de manera directa. También se explica el criterio que se aplicó para el diseño y selección de materiales del que estarán hechos cada una de las partes que componen el mecanismo.

En el capítulo de aplicación de la teoría, se describen los pasos que se siguieron para la correcta aplicación de la teoría de diseño TRIZ y así poder llegar al diseño de concepto que de solución al problema planteado, una vez que se tiene el modelo conceptual se aplicaron los métodos experimentales para poder encontrar los parámetros necesarios para diseñar los elementos mecánicos que componen el mecanismo, se muestran los cálculos que se realizaron para el diseño de cada uno de los elementos, dentro de los cálculos se aplican los conocimientos de selección de materiales. En este capítulo también se muestran las imágenes de los diseños de las barras que contendrán a los demás elementos así como sus planos y el análisis de las partes críticas del diseño.

En el capítulo de resultados se detallan y se analizan los resultados obtenidos además de hacer observaciones a cerca de la correcta aplicación de la teoría de diseño y se explica el por que si son aplicables los resultados obtenidos para dar una correcta solución al problema.

En las conclusiones se hace un análisis de cada uno de los resultados que se obtuvieron en el trabajo realizado, empezando por la aplicación del método de solución, los resultados numéricos obtenidos para poder determinar la factibilidad de que el mecanismo con los parámetros dados realmente realice la acción para la cual fue diseñado y pueda ser útil para personas que padezcan debilidad

muscular, y a partir de esto se indica que tan positivos son los resultados obtenidos y que limitantes se tienen con estos resultados, además se hacen algunas observaciones de mejoras. También se mencionan las conclusiones a las que se llegan por haber aplicado esta teoría de diseño en el desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo de este trabajo es diseñar un mecanismo que auxilie en la marcha a personas con debilidad muscular apoyados en la teoría TRIZ.

Un de los objetivos de este trabajo es comprobar la eficiencia de la aplicación de la teoría TRIZ, esto se podrá medir en tiempo empleado para llegar al modelo conceptual.

Se pretende hacer un diseño de concepto obtenido de aplicar la teoría TRIZ y presentar un modelo conceptual.

Se realizarán los cálculos necesarios para el diseño de los elementos mecánicos que compongan al mecanismo que se diseñe.

Si es el proceso lo permite se aplicarán técnicas experimentales para la obtención de parámetros que sean necesarios y que por la naturaleza del problema no sean fáciles de medir de manera directa.

Realizar diseño de las partes que no existan en el mercado y hacer el análisis de esfuerzos si es que se requiere y presentar los planos de conjunto de estas partes.

CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES

La ingeniería mecánica se aplicará en el diseño de un mecanismo que auxilie en la marcha a personas que padezcan de debilidad muscular. Estas personas pueden ser adultas o jóvenes que por alguna situación de salud padezcan de debilidad muscular y les impida caminar por tiempos prolongados.

Para entender el problema que se plantea sobre la debilidad muscular se explica a continuación qué tipo de personas son las candidatas a utilizar el mecanismo y además los tipos de trastornos que causan la debilidad muscular y algunas de sus características.

La debilidad muscular es un trastorno común entre los pacientes que concurren al consultorio del médico de familia. Aunque la causa de la debilidad a veces puede ser evidente, a menudo no es clara.

Para determinar la causa de la debilidad muscular es necesario diferenciar la debilidad primaria de la fatiga o la astenia, afecciones comunes diferentes, pero que con frecuencia se superponen a la debilidad muscular.

El término fatiga se refiere a la incapacidad de continuar haciendo una tarea luego de varias repeticiones; por el contrario, un paciente con debilidad primaria es incapaz de realizar la tarea desde el primer intento.

La astenia es una sensación de cansancio o letargo en ausencia de debilidad muscular. Esta condición es común en personas con síndrome de fatiga crónica, trastornos del sueño, depresión, o enfermedades cardíaca, pulmonar o renal crónicas.

Causas de astenia y fatiga

- Enfermedad de Addison
- Anemia
- Ansiedad
- Quimioterapia
- Síndrome de fatiga crónica
- Dolor crónico
- Desentrenamiento/ sedentarismo
- Estilo de vida
- Deshidratación y trastornos electrolíticos
- Depresión
- Diabetes
- Fibromialgia
- Enfermedad cardíaca
- Hipotiroidismo

- Infecciones (como la influenza, virus de Epstein-Barr, HIV, hepatitis C, tuberculosis)
- Medicamentos
- Narcóticos
- Síndrome paraneoplásico
- Embarazo/ posparto
- Enfermedad pulmonar
- Enfermedad renal
- Trastornos del sueño

Como se observa en la lista anterior estos son padecimientos muy comunes en nuestra sociedad; por lo que podemos decir que el diseño de aparatos, que asistan proporcionando un porcentaje de la fuerza que hacen los músculos en la marcha, es de gran aplicación en nuestra sociedad. ^[1]

Este trabajo tiene como base la aplicación de las herramientas de ingeniería de diseño. La herramienta principal de un proceso de diseño es la teoría que se sigue para poder llegar al modelo que da solución a nuestro problema. La teoría de diseño que se utilizó para poder resolver el problema planteado es un proceso sistemático innovador que es relativamente nuevo en nuestro país ya que llegó a principios de esta década, esta es la teoría TRIZ que son sus siglas en ruso que significa en español “Teoría para inventar o innovar de manera sistemática”. Esta es una aportación de un ingeniero ruso de apellido Altshuller. Lo único que hay que saber hacer para la correcta aplicación de esta herramienta de diseño es respetar el orden de los pasos a seguir.

¿Qué es la TRIZ?

Es una teoría para la solución sistemática de problemas de inventiva o de innovación tecnológica. Tiene como base los siguientes postulados:

1. Todos los sistemas tecnológicos evolucionan de acuerdo a 8 leyes principales y 2 leyes secundarias. Un Sistema Tecnológico puede ser desde un bolígrafo hasta un transbordador espacial.
2. Al inventar o innovar se deben eliminar las contradicciones que surgen dentro de un Sistema Tecnológico. Tales contradicciones pueden ser de dos tipos: Técnicas o físicas.
3. Existen 39 parámetros, en los sistemas tecnológicos, que pueden originar contradicciones físicas ó técnicas y mediante la teoría TRIZ, dichas contradicciones se pueden eliminar.
4. La teoría TRIZ cuenta con 40 principios de inventiva, para eliminar contradicciones de cualquier tipo.

5. Los 39 parámetros, así como los 40 principios, se combinan en una gran “Matriz de Contradicción”, que es la herramienta más poderosa con que cuenta esta teoría.

Una vez que se conoce el origen del problema y las causas que lo originan y además la herramienta que se utilizará para resolver el problema, se debe de buscar información que nos dé una primera idea de cómo iniciar a plantear el problema. Para el caso de este trabajo los exoesqueletos pueden asistir a personas con debilidad muscular.

Definición

Exoesqueletos: Son estructuras externas que funcionan como una estructura esquelética adicional a la que ya tenemos, y esta nos permite realizar actividades que nuestra estructura esquelética y muscular no nos lo permite por diversos aspectos, que pueden ser causa de un accidente, enfermedad muscular esquelética o por la edad avanzada.

Las ideas de las que se partieron para la solución de este problema se toman de la información de mecanismos ya existentes que realizan la misma función que se busca que realice el mecanismo que se diseñará. En las siguientes imágenes se muestran exoesqueletos que ya existen y se mencionan algunas características de funcionamiento.



3.1 Exoesqueleto Rewalk

En la figura 3.1 se muestra un modelo de exoesqueleto Rewalk que cumple con la función de realizar parte de la fuerza que debe de realizar el usuario para poder caminar; como se observa en la imagen esta es una estructura que esta unida a las piernas, brazos y tronco, además de contar con dos barras que están unidas a

los brazos para que estos sean la guía del movimiento de marcha. Este modelo utiliza energía eléctrica que hace que funcione la PC que es la generadora de la fuerza que se necesita para cumplir con el propósito para el que fue diseñado, este modelo esta hecho para mantener una posición recta y otra parte de la fuerza la realizan los brazos con ayuda de las barras que están unidas a estos. ^[2]



3.2 y 3.3 Exoesqueleto a base de sensores electrónicos

En las figuras 3.2 y 3.3 se muestra un segundo diseño de exoesqueleto, que se diseño en el año 2006 en E.U.A. y que cumple con la función de auxiliar a personas con debilidad muscular en la marcha, la fuerza es generada por motores eléctricos que funcionan a partir de señales eléctricas que le manda el cuerpo. Como se observa es un mecanismo que empieza por encima de la rodilla y hasta la planta de los pies, adopta la forma de la extremidad para que sea cómodo para el usuario, tiene dos cintas que lo unen a la pierna. Los motores están conectados a la rodilla por que ahí se hace la fuerza de flexión y extensión de la pierna. ^[3]



3.4 Exoesqueleto de Honda

Este tercer diseño, figura 3.4 fue generado por HONDA® en el año de 2008, y su función también es auxiliar la marcha, este asistente obtiene la información de

unos sensores ubicados en la cadera para ayudar al usuario a tener una postura erguida y usando motores, aumenta la potencia de los pasos. A diferencia del primer modelo en este se observa que es más ergonómico por lo que hace que sea más fácil de poner y quitar. Este mecanismo está unido al cuerpo por medio de un cinturón y dos cintas que abrazan a cada una de las piernas por encima de las rodillas, se observa que está hecho de aluminio esto hace que sea ligero además que esto se favorece por las dimensiones de los componentes de este.

Por el momento este Exoesqueleto se venderá para las personas mayores o aquellas que presenten algún tipo de discapacidad al caminar, aunque es casi seguro que muchas personas lo terminarían comprando para acondicionamiento físico. ^[4]

Como se puede observar existe gran variedad de exoesqueletos que realizan la acción que se requiere.

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere diseñar un mecanismo que ayude a realizar el movimiento periódico que se hace cuando caminamos, es decir la flexión y la extensión de la rodilla, que como se sabe la fuerza que se requiere para hacer esta acción la hacen los músculos que están sobre el fémur de nuestra extremidad inferior.

Algo que se debe de tomar en cuenta para el diseño de este mecanismo es que este sólo realizará un porcentaje de la fuerza total que se requiere para realizar la flexión y la extensión que se realiza en la acción de caminar, claro que se procurará que sea lo mayormente posible este porcentaje ya que como se trata que sea utilizado por personas de la tercera edad principalmente, es por ello que se buscará que el mecanismo haga la mayor fuerza posible.

3.2. REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

- ✓ Sólo se requiere para poder caminar.
- ✓ Que no utilice energía eléctrica.
- ✓ Que tenga una longitud menor a la longitud de la extremidad inferior.
- ✓ Que sea fácil de quitar y de poner.
- ✓ Que sea de un precio accesible.

Una vez que se observaron las características de algunos modelos de exoesqueletos que existen en el mercado y ya que tenemos los requerimientos de un usuario en particular, nos damos cuenta que ninguno de estos tres modelos que se mostraron cumplen con todos los requerimientos de este usuario.

CAPÍTULO 4: TEORÍA DE DISEÑO

Para la solución de este problema se empleara la teoría de diseño TRIZ, la cual se reconoce como la teoría más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática. Esta es una herramienta que se aplica en el proceso de diseño, en la etapa de diseño conceptual.

A continuación se describen los pasos a seguir de esta herramienta:

En la teoría de la TRIZ separa a los problemas por su nivel de complejidad, y nos dice que son cinco:

Nivel 1: “Estándar”, Solución simple.

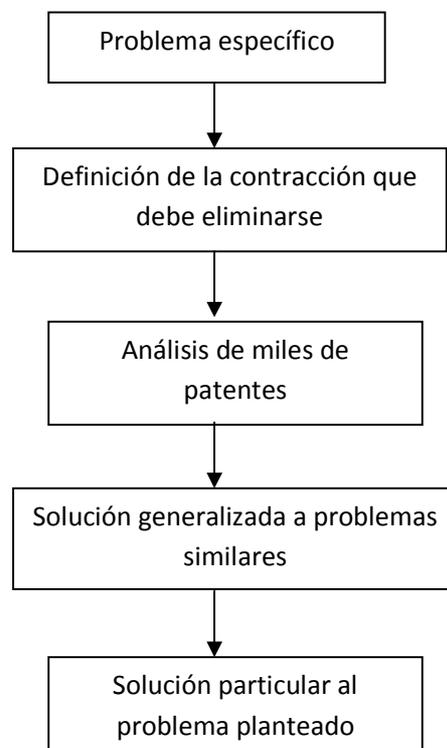
Nivel 2: “Mejora”, Se requiere de un pensamiento más avanzado.

Nivel 3: “Invención”, Resuelve un problema más complejo que los dos anteriores.

Nivel 4: “Cambio de paradigma”, Se crea todo nuevo, sistema o proceso tecnológico.

Nivel 5: “Descubrimiento”, Invención pionera que crea todo nuevo, sistema o proceso.

ESQUEMA GENERAL



En la teoría de la TRIZ, existen ocho leyes de evaluación de los problemas, además de dos leyes adicionales, estas son:

1. “Ley integradora de las partes de un sistema tecnológico”
2. “Se refiere a la transmisión de energía en un sistema”
3. “Un sistema tecnológico evoluciona al aumentar la armonía entre los cuatro órganos de trabajo que lo integran, lo cual incluye, la armonía de movimiento de frecuencias, de vibraciones y ritmos en general del sistema tecnológico”
4. “Idealidad evidente”, evaluación que sufren los sistemas tecnológicos hacia su mejor desempeño:

$$I = \frac{\sum ED}{(\sum EI + \sum C)}$$

Donde:

I – Sistema tecnológico ideal

\sum ED- Efectos deseados

\sum EI- Efectos indeseados

\sum C- Costo del sistema tecnológico

5. “Relaciona al desarrollo desfasado de los subsistemas de los sistemas tecnológicos”
6. “Cuando un sistema tecnológico llega a su máximo nivel de desarrollo o utilidad, puede estar sujeto a un “salto” tecnológico que lo convierta en un subsistema de un sistema de mayor jerarquía.
7. “Transición de un sistema tecnológico *macro* a otro *micro*”
8. “Incremento dinámico”, aumentar el grado de movilidad de alguna de las partes del sistema tecnológico con el objeto de hacerlo mas flexible y adaptable a los requerimientos”

Leyes adicionales

9. “Mayor interacción entre una sustancia y un campo, en un sistema tecnológico”
10. “Inercia psicológica”, se refiere a que el ser humano es muy refractario al cambio o sea que atrasa el desarrollo tecnológico por su forma de pensar.

Etapas de la evolución de los sistemas tecnológicos

- **Infancia.**- Están bastante alejados de la “solución ideal”, de la cuarta ley.
- **Crecimiento acelerado.**- A medida que pasa el tiempo, el sistema tecnológico va siendo mejorado de acuerdo a los descubrimientos de la ciencia.
- **Madurez.**- Se hace mucho más difícil mejorarlo ya que se ha estabilizado, y las mejoras son relativamente insignificantes.
- **Vejez.**- Aquí es cuando el sistema tecnológico ha llegado al final de su vida útil u obsolescencia, al no poder ser mejorado de manera significativa.

La TRIZ para su mejor desarrollo contempla treinta y nueve parámetros que tienen los sistemas tecnológicos y se mencionan a continuación:

1. Peso del objeto móvil	21. Potencia
2. Peso del objeto estacionario	22. Pérdida de energía
3. Longitud del objeto móvil	23. Pérdida de materia
4. Longitud del objeto estacionario	24. Pérdida de información
5. Área del objeto en movimiento	25. Pérdida de tiempo
6. Área del objeto estacionario	26. Cantidad de sustancia o materia
7. Volumen del objeto en movimiento	27. Confiabilidad
8. Volumen del objeto estacionario	28. Precisión en la medida
9. Velocidad	29. Precisión en la manufactura
10. Fuerza	30. Daño externo que afecta a un objeto
11. Esfuerzo o Presión	31. Daños generados por el propio objeto
12. Forma	32. Manufacturabilidad o facilidad para la fabricación
13. Estabilidad de la composición del objeto	33. Facilidad de operación
14. Resistencia	34. Facilidad de reparación
15. Duración de una acción del objeto móvil	35. Adaptabilidad
16. Duración de una acción del objeto estacionario	36. Complejidad del objeto
17. Temperatura	37. Complejidad de control
18. Brillantez	38. Nivel de automatización
19. Uso energético del objeto en movimiento	39. Capacidad/productividad
20. Uso energético del objeto estacionario	

En la TRIZ se menciona que hay que eliminar la contradicción para poder hacer el invento o la innovación tecnológica, por ello se tienen las siguientes definiciones:

Contradicción: En un sistema tecnológico, la contradicción es una condición que surge cuando entra en conflicto un subsistema con otro o cuando las propiedades de un subsistema entra en conflicto con ellas mismas, por lo que se hace necesario eliminar tales conflictos mediante una solución novedosa.

Contradicciones técnicas: Tratando de mejorar un atributo "A" de un sistema tecnológico, otro atributo "B" del mismo sistema se deteriora.

Contradicciones físicas: Se generan cuando una característica "X" de un sistema tecnológico, se requiere cambiar y ese cambio, por otra razón, resulta negativo, entrando dicha característica en conflicto consigo misma.

LOS 40 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA INVENTAR O INNOVAR EN LA TRIZ.

Sugerencias genéricas para llevar a cabo una acción determinada, dentro de un sistema tecnológico con el objeto de eliminar alguna contradicción técnica.

1. Segmentación

- i. Dividir un objeto en partes independientes.
- ii. Hacer un objeto fácil de desarmar.
- iii. Incrementar el grado de fragmentación o segmentación de un objeto.

2. Extracción: Separar o quitar la parte que genera el problema de contradicción.

3. Calidad local

- i. Cambio de una estructura homogénea a otra heterogénea de un objeto o a una acción del ambiente externo.
- ii. Que partes de un objeto tengan varias funciones.
- iii. Colocar cada parte de un objeto bajo las condiciones más favorables de su operación.

4. Asimetría

- i. Reemplazar una forma simétrica con otra asimétrica.

- ii. Si un objeto es asimétrico, incrementar dicha asimetría.

5. Consolidación ó combinación

- i. Cambiar en un espacio, objetos homogéneos o que estén destinados a una operación contigua.
- ii. Consolidar, en tiempo, operaciones simultáneas.

6. Universabilidad: Pretende que el objeto lleve a cabo varias funciones que normalmente tienen otros objetos.

7. Anidación

- i. Que el objeto pueda colocarse dentro de otros y ellos dentro de un tercero.
- ii. Un objeto pasa por la cavidad de otro.

8. Contrapeso

- i. Compensar el peso de un objeto cambiándolo con otro de tal manera que se tenga la fuerza elevadora.
- ii. Compensar el peso de un objeto con fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas que influyan o interactúen con el ambiente.

9. Acción contraria anticipada: Llevar a cabo una acción contraria y de manera anticipada.

10. Acción anticipada

- i. Llevar a cabo una acción anticipadamente.
- ii. Arreglar objetos con antelación de tal manera que entre una acción inmediatamente que sea necesario y en el lugar adecuado.

11. Acolchonado anticipado: Proteger un objeto contra el daño que pueda sufrir a futuro.

12. Equiponcialidad: Evitar levantar o bajar un objeto durante un tipo de acción.

13. Inversión o hacer algo en forma contraria a la convencional.

- i. En lugar de llevar a cabo la acción directa, dictada por el propio problema hacer lo contrario.
- ii. Voltear un objeto “boca abajo” para que lleve su función.

- iii. Hacer estacionaria una parte móvil de un objeto y lo estacionario móvil, que puede incluir el ambiente.

14. Esfericidad

- i. Reemplazar partes lineales por curvas o esferas.
- ii. Uso de rodillos o espirales.
- iii. Reemplazar un movimiento lineal por otro rotatorio.

15. Incremento dinámico o dinamismo

- i. Hacer que las características de un objeto o el ambiente se adapten para el rendimiento óptimo en cada etapa de su función.
- ii. Dividir un objeto en varios elementos de tal forma que cambien de posición unas con otras.
- iii. Si un objeto es rígido, hacerlo movable o intercambiable.

16. Acción excesiva o parcial: Si es imposible obtener un 100% del efecto deseado, mediante un sistema tecnológico, tratar de obtener el rendimiento más alto simplificando el sistema.

17. Transición a una nueva dimensión

- i. Cambiar un movimiento unidimensional a dos o tres dimensiones.
- ii. Utilizar objetos apilados en varios niveles.
- iii. Inclinar objetos o colocarlos sobre sus extremos.

18. Vibración mecánica

- i. Emplear oscilaciones.
- ii. Si ya existe una oscilación, incrementar su frecuencia e inclusive llegar al ultrasonido.
- iii. Usar vibraciones ultrasónicas junto con campos magnéticos.

19. Acción periódica

- i. Reemplazar una acción continua con una periódica o con impulsos.
- ii. Si una acción ya es periódica, cambiar su frecuencia.

- iii. Usar pausas entre los impulsos para obtener una acción adicional.

20. Llevar a cabo acción positiva de manera continua

- i. Conducir la acción deseada sin pausas, todas las partes utilizarlas al máximo.
- ii. Eliminar “tiempos muertos”.

21. Aumentar la velocidad a la que se lleva a cabo una acción riesgosa o dañina.

22. Convertir algo dañino en benéfico

- i. Convertir dos o varios efectos dañinos en uno benéfico.
- ii. Incrementar la acción dañina hasta que cesa de serlo.

23. Retroalimentación

- i. Si no existe la retroalimentación establecerla.
- ii. Si ya existe la retroalimentación, incrementarla.

24. Mediador

- i. Emplear un objeto intermedio para transmitir una acción.
- ii. Temporalmente conectar un objeto a otro y después quitar uno de ellos.

25. Autoservicio

- i. Un objeto debe darse servicio así mismo y si es necesario repararse.
- ii. Aprovechase los materiales y energía desechada en un proceso.

26. Copiado

- i. Emplear una copia barata en lugar del objeto original que es frágil e inconveniente de operar.
- ii. Reemplazar el objeto original con su imagen óptica, la imagen puede ser reducida o aumentada.
- iii. Si se esta empleando una imagen óptica, esta puede ser reemplazada por una copia infrarroja o ultravioleta.

27. Desechar: Reemplazar un objeto costoso por otro que sea más barato y conveniente.

28. Reemplazar un sistema mecánico con otro sistema

- i. Reemplazar un sistema mecánico con un óptico, acústico o térmico.
- ii. Emplear campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto.
- iii. Uso de campos magnéticos en combinación con partículas ferromagnéticas.

29. Emplear un sistema hidráulico o neumático.

30. Membranas flexibles o películas delgadas.

- i. Separación de varios objetos mediante membranas flexibles.
- ii. Aislar una parte de un objeto del ambiente que lo rodea mediante una membrana o película flexible.

31. Material poroso

- i. Hacer un objeto poroso o emplear algún elemento que lo sea.
- ii. Si un objeto es poroso, llenar los poros con algún tipo de sustancia.

32. Cambio de color

- i. Cambiar el color de un objeto o de su ambiente.
- ii. Cambiar el nivel de translucidez de un objeto o de su ambiente.
- iii. Usar aditivos de algún color para resaltar alguna cualidad o proceso de visualizar.
- iv. Si ya emplean aditivos, usar algún tipo de pintura luminiscente para mayor contraste.

33. Homogeneidad: Objetos secundarios que interactúan con el objeto principal, deben fabricarse del mismo material o de los materiales similares al objeto.

34. Desechando y regenerando partes

- i. Después de terminar su función, un elemento de un objeto, debe descartarse, o puede ser modificado durante el proceso.

- ii. Los componentes usados de un objeto, deben ser reutilizados.

35.Transformación de propiedades

- i. Cambio del estado físico de algún componente del sistema tecnológico.
- ii. Cambio de concentración o de densidad.
- iii. Cambio de temperatura.

36.Transición de fase: Emplear el fenómeno de cambio de fase.

37.Expansión térmica

- i. Emplear la expansión o contracción de un material con el cambio de temperatura ambiental.
- ii. Usar varios materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica.

38.Oxidación acelerada: Llevar a cabo la transición, de un nivel inferior de oxidación a otro nivel mayor.

39.Ambiente inerte

- i. Reemplazar el ambiente natural por otro que sea inerte.
- ii. Llevar a cabo un proceso en el vacío.
- iii. Emplear una sustancia inerte.

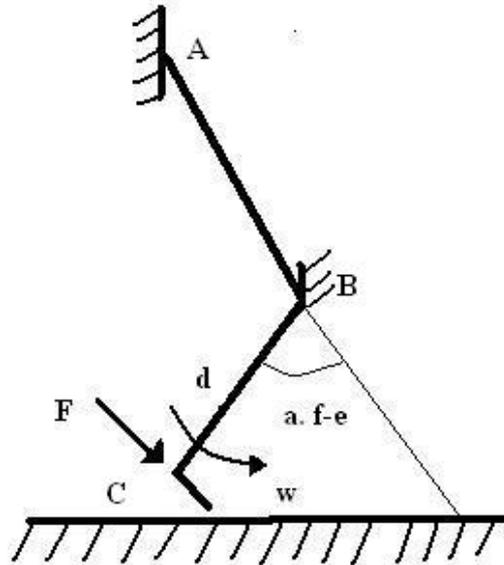
40.Materiales compuestos: Uso de nuevos materiales con características muy especiales.

CAPÍTULO 5: OBTENCIÓN DE LOS DATOS PARA EL DISEÑO DE LAS PARTES MECÁNICAS

Lo primero que se realizó para poder diseñar los elementos del mecanismo es conocer las sollicitaciones a las que va estar sometido, una vez que se conocen estas sollicitaciones del movimiento que va a realizar el mecanismo analizaremos este movimiento para poder determinar las variables que intervienen en el movimiento y así determinar el valor numérico de cada una de ellas.

La forma en la que se obtuvieron los datos necesarios para el diseño de las partes, fue dependiendo del tipo de parámetro que se este buscando. Para esto lo primero fue realizar el diagrama de movimiento que se hace cuando caminamos,

en este diagrama se observan las variables que intervienen además de mostrar las idealizaciones correspondientes para su mejor análisis, este se muestra en la imagen 5.1



5.1 Sistema de barras para el análisis de la marcha humana

En la imagen 5.1 se muestra un sistema de barras ABC el cual representa a la extremidad en posición de máxima flexión al caminar y también se muestran las variables involucradas en este movimiento.

Donde:

F – fuerza impulsora del movimiento circular

w – velocidad angular del movimiento

a. f. e – ángulo de flexión de la rodilla

d – radio de curvatura

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para el análisis de este movimiento fueron las siguientes:

- i. La barra AB es una barra fija.
- ii. El punto B es un centro de rotación fijo.
- iii. La barra BC está realizando un movimiento circular uniforme.

iv. La fuerza impulsora esta aplicada en el punto C.

El parámetro que se medirá en este análisis y que es necesario para el diseño de nuestros elementos es la fuerza (F). Para poderla calcular nos apoyaremos en la segunda ley de Newton:

$$F = m a \dots (1)$$

Donde:

Aceleración (a)

$$a = (v_f - v_i) / t \dots (2)$$

Donde:

v_f – velocidad final

v_i – velocidad inicial

t – tiempo de traslado

Velocidad lineal (v)

$$v = \omega r \dots (3)$$

Donde:

ω – velocidad angular

r – radio de curvatura

Velocidad angular (w)

$$w = (\Theta_f - \Theta_i) / t \dots (4)$$

Donde:

Θ_f – ángulo de flexión

Θ_i – ángulo de extensión

$$F = \frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt}$$

Donde:

p- cantidad de movimiento

m- masa

v- velocidad

Desarrollando:

m = constante

v = constante

Por lo tanto:

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

Entonces:

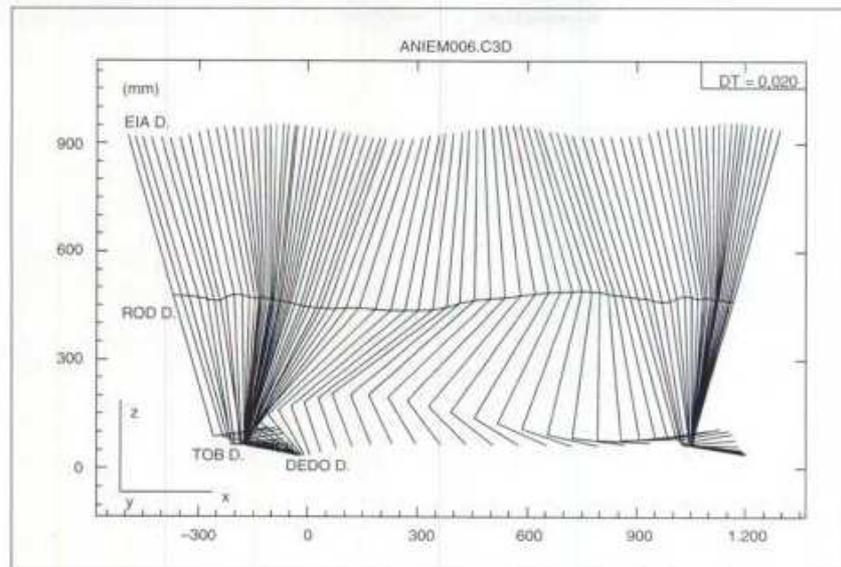
$$F = m \cdot 0 = 0$$

$$\frac{dp}{dt} = 0$$

Esto dice que el sistema esta en equilibrio

Para el análisis se considera que la posición que se observa en la figura 5.1, el ángulo de flexión (Θ_f) es igual al ángulo de extensión, el ángulo $\Theta_f = 65^\circ$ es un valor inicial y que se muestra en la imagen 5.2^[5]; el ángulo de extensión

es igual a 0° ya que se considera que la posición de extensión como la posición de arranque del movimiento.



5.2 Movimientos de la rodilla durante el ciclo de marcha. En esta imagen, la línea continua representa el marcador colocado en la rodilla. En el momento preciso del contacto del talón, la rodilla está en extensión casi total (extensión completa a velocidad muy lenta flexión cada vez más marcada al aumentar la velocidad). Se flexiona 20° durante todo el periodo de apoyo monopodal y, entre el 15 y el 45% el tríceps sural garantiza la estabilidad de cada rodilla semiflexionada. La rodilla se extiende de nuevo justo antes de que los dedos despeguen, y después se flexiona (65°) para facilitar el paso del pie bajo la pelvis durante la fase oscilante.

Se considera también que la velocidad lineal en esta misma posición v_i es igual a cero ya que se considera que esta es su posición de reposo, una vez que se tomaron en cuenta todas estas consideraciones la ecuación (2) nos queda como se muestra:

$$a = (\omega r) / t... (5)$$

Sustituyendo ecuación (5) en ecuación (1) tenemos:

$$F = (m \omega r) / t ... (6)$$

Donde:

m – masa de la barra BC

La incógnita de la ecuación (6) es la fuerza (F) por lo que debemos tener como datos a la masa (m), la velocidad angular (ω), el radio de curvatura (r) y el tiempo en que se realiza el movimiento de flexión (t).

Para obtener el dato de radio de curvatura se mide directamente a la persona, la masa se medirá también directamente bajo condiciones específicas, esto es que se tomaran datos de la báscula tomando en cuenta que el cuerpo de la persona con excepción de su tibia y peroné, que estarán en la báscula, este totalmente recargado el piso para que las medidas sean lo más cercanas a su valor real, una vez hecho esto se tomará el valor de masa media; para obtener el valor de la velocidad angular ya se cuenta con los valores de ángulos sólo es necesario medir el tiempo de recorrido del movimiento para cubrir esta variación del ángulo.

Para la medición del tiempo nos apoyaremos en un experimento el cual será realizado con la ayuda de la persona para la cual esta pensado el mecanismo.

El experimento se realizó haciendo recorridos de 5 [m] de distancia, los datos que se midieron son el tiempo en el que se realizó el recorrido además de contar el número de pasos que se dan en el recorrido, este experimento se realizó en cinco ocasiones.

Una vez que se tomaron estos datos se observó que se dieron el mismo número de pasos en cada recorrido pero los tiempos de recorrido fueron diferentes; con los tiempos obtenidos se calcula el tiempo medio y este tiempo se divide entre el número de pasos que se dieron en esta distancia, este tiempo es de un ciclo de flexión-extensión por lo que al tiempo obtenido de la división anterior se divide entre dos para poder tener el tiempo de extensión y suponemos que es igual al tiempo flexión ya que se supuso un movimiento uniforme.

Ya que tenemos el tiempo de extensión y se tiene el valor del ángulo de flexión se puede calcular la velocidad angular tomando en cuenta que el ángulo debe estar en unidades de radianes, ya que se tienen los valores de tiempo y velocidad angular además de los datos de masa y radio de curvatura se sustituyen en la ecuación (6) para obtener el valor de la fuerza. Este valor de fuerza tiene unidades de newton pero se realizarán conversiones a unidades de [kgf] y de [lb] por si los cálculos posteriores requieren que se trabaje con estas de unidades.

CAPÍTULO 6: APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE DISEÑO

En el capítulo anterior se describieron los pasos que se deben de seguir para la aplicación de la teoría TRIZ, además de los métodos que se seguirán para obtener los parámetros necesarios para poder calcular el parámetro de fuerza de extensión de la pierna.

A continuación se presenta el desarrollo de la teoría de diseño y los cálculos necesarios para el desarrollo del sistema tecnológico.

6.1: DISEÑO CONCEPTUAL

Aplicación de la TRIZ

Primer paso: determinar el nivel de complejidad del problema.

El nivel de complejidad del problema según un análisis realizado, se encontró que esta en el nivel 4.

Este nivel nos dice “*cambio de paradigma*”, se crea todo nuevo, sistema o proceso tecnológico.

Segundo paso: determinar las leyes de evaluación del problema.

Las leyes para evaluar este problema son:

Primera ley: “Ley integradora de las partes de un sistema tecnológico”

Tercera ley: “Un sistema tecnológico evoluciona al aumentar la armonía entre los cuatro órganos de trabajo que lo integran, lo cual incluye, la armonía de movimiento de frecuencias, de vibraciones y ritmos en general del sistema tecnológico”

Octava ley: “Incremento dinámico”, aumentar el grado de movilidad de alguna de las partes del sistema tecnológico con el objeto de hacerlo mas flexible y adaptable a los requerimientos”

Decima ley: “Inercia psicológica”, se refiere a que el ser humano es muy refractario al cambio o sea que atrasa el desarrollo tecnológico por la forma de pensar.

Tercer paso: determinar la etapa de evolución del sistema tecnológico.

De acuerdo con las especificaciones del sistema que se requiere diseñar, y basados en la investigación, este sistema se encuentra en la etapa de *infancia*, esto es que se encuentra demasiado alejado de la solución ideal.

Cuarto paso: determinar los parámetros de nuestro sistema tecnológico que nos pueden causar alguna contradicción.

1. Peso del objeto móvil
2. Longitud del objeto móvil
3. Velocidad
4. Fuerza
5. Forma
6. Estabilidad de la composición del objeto
7. Resistencia
8. Duración de una acción del objeto móvil
9. Uso energético del objeto en movimiento
10. Potencia
11. Confiabilidad
12. Daños generados por el propio objeto
13. Facilidad para la fabricación
14. Facilidad de operación
15. Facilidad de reparación
16. Adaptabilidad

Quinto paso: entrar a la matriz de contradicción para eliminar las contradicciones de nuestro problema.

PRIMERA CONTRADICCIÓN

La primera contradicción con la que nos encontramos en el diseño de nuestro sistema tecnológico es la generación de *una fuerza vs la duración de una acción del objeto en movimiento*, ya que se requiere que el sistema realice un movimiento de extensión.

El segmento de matriz de contradicción se muestra abajo.

- Wors																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1: Weight of moving object	*	-	15 8 29 34	-	29 17 38 34	-	29 2 40 28	-	2 8 15 38	8 10 18 37	10 36 37 40	10 14 35 40	1 35 19 39	28 27 18 40	5 34 31 35	-	
2: Weight of stationary	-	*	-	10 1 29 35	-	35 30 13 2	-	5 35 14 2	-	8 10 19 35	13 29 10 18	13 10 29 14	26 39 1 40	28 2 10 27	-	2 2 19	
3: Length of moving object	8 15 29 34	-	*	-	15 17 4	-	7 17 4 35	-	13 4 8	17 10 4	1 8 35	1 8 10 29	1 8 15 34	8 35 29 34	19	-	
4: Length of stationary	-	35 28 40 29	-	*	-	17 7 10 40	-	35 8 2 14	-	28 10	1 14 35	13 14 15 7	39 37 35	15 14 28 26	-	1 1 34	
5: Area of moving object	2 17 29 4	-	14 15 18 4	-	*	-	7 14 17 4	-	29 30 4 34	19 30 35 2	10 15 36 28	5 34 29 4	11 2 13 39	3 15 40 14	6 3	-	
6: Area of stationary	-	30 2 14 18	-	26 7 9 39	-	*	-	-	-	1 18 35 36	10 15 36 37	-	2 38	40	-	2 1 19	
7: Volume of moving object	2 26 29 40	-	1 7 4 35	-	1 7 4 17	-	*	-	29 4 38 34	15 35 36 37	6 35 36 37	1 15 29 4	28 10 1 39	9 14 15 7	6 35 4	-	
8: Volume of stationary	-	35 10 19 14	19 14 35 8	35 8 2 14	-	-	-	*	-	2 18 37	24 35 35 40	7 2 35	34 28 35 40	9 14 17 15	-	35 34	
9: Speed	2 28 13 38	-	13 14 8	-	29 30 34	-	7 29 34	-	*	13 28 15 19	6 18 38 40	35 15 18 34	28 33 1 18	8 3 26 14	3 19 35 5	-	
10: Force (Intensity)	8 1 37 18	18 13 1 28	17 19 9 36	28 10	19 10	1 18 15	15 9 36 37	2 36 12 37	13 28 18 37	x	18 21 15 12	10 35 11	35 10 40 34	35 10 21	35 10 14 27	19 2	-

Tabla 6.1.1 Segmento de la matriz de primera contradicción

Como se muestra en la tabla 1 se entra con estos parámetros a la matriz de contradicción, y se encuentra que los probables principios de solución son el 2 y 19.

2.-Extracción: Separar o quitar la parte que genera el problema de contradicción.

19.-Acción periódica

- iv. Reemplazar una acción continua con una periódica o con impulsos.
- v. Si una acción ya es periódica, cambiar su frecuencia.
- vi. Usar pausas entre los impulsos para obtener una acción adicional.

Por las características del problema la opción de solución que nos va a ayudar a dar solución es el principio 19 en su primer inciso.

Acción periódica: reemplazar una acción continua con una periódica o con impulsos.

En la imagen se muestra el prototipo 1 del sistema tecnológico que esta compuesto de dos barras unidas por un resorte de extensión, este resorte será el encargado de realizar la acción de extensión en la acción de caminar, y como sabemos esta es una acción periódica.



Prototipo 1

SEGUNDA CONTRADICCIÓN

Con el modelo que se tiene nos encontramos con una contradicción física, esta se encuentra entre los parámetros de *fuerza vs la estabilidad de la composición del objeto*. Nuestro sistema ya realiza la extensión pero al caminar se flexiona y se extiende, por lo que se requiere que el sistema se flexione.

El segmento de matriz de contradicción se muestra abajo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1: Weight of moving object	*	-	15 8 29 34	-	29 17 38 34	-	29 2 40 28	-	2 8 15 38	8 10 18 37	10 36 37 40	10 14 35 40	1 35 19 39
2: Weight of stationary	-	*	-	10 1 29 35	-	35 30 13 2	-	5 35 14 2	-	8 10 19 35	13 29 10 18	13 10 29 14	26 39 1 40
3: Length of moving object	8 15 29 34	-	*	-	15 17 4	-	7 17 4 35	-	13 4 8	17 10 4	1 8 35	1 8 10 29	1 8 15 34
4: Length of stationary	-	35 28 40 29	-	*	-	17 7 10 40	-	35 8 2 14	-	28 10 1 14	13 14 35	13 14 15 7	39 37 35
5: Area of moving object	2 17 29 4	-	14 15 18 4	-	*	-	7 14 17 4	-	29 30 4 34	19 30 35 2	10 15 36 28	5 34 29 4	11 2 13 39
6: Area of stationary	-	30 2 14 18	-	26 7 9 39	-	*	-	-	-	1 18 35 36	10 15 36 37	-	2 38
7: Volume of moving object	2 26 29 40	-	1 7 4 35	-	1 7 4 17	-	*	-	29 4 38 34	15 35 36 37	6 35 36 37	1 15 29 4	28 10 1 39
8: Volume of stationary	-	35 10 19 14	19 14 35 8 2 14	35 8 2 14	-	-	-	*	-	2 18 37	24 35 35	7 2 35	34 28 35 40
9: Speed	2 28 13 38	-	13 14 8	-	29 30 34	-	7 29 34	-	*	13 28 15 19	6 18 38 40	35 15 18 34	28 33 1 18
10: Force (Intensity)	8 1 37 18	18 13 1 28	17 19 9 36	28 10 10 12	19 10 10 12	1 18 10 12	15 9 12 37	2 36 18 37	13 28 15 12	*	18 21 11	10 35 40 34	35 10 21 14

Tabla 6.1.2 Segmento de la matriz de segunda contradicción

Una vez que se entro a la matriz de contradicción se encuentra que los principios de solución a nuestro problema son: el 10, 21 y 35.

10.-Acción anticipada

- iii. Llevar a cabo una acción anticipadamente.
- iv. Arreglar objetos con antelación de tal manera que entre una acción inmediatamente que sea necesario y en el lugar adecuado.

21.-Aumentar la velocidad a la que se lleva a cabo una acción riesgosa o dañina.

35.-Transformación de propiedades

- iv. Cambio del estado físico de algún componente del sistema tecnológico.
- v. Cambio de concentración o de densidad.
- vi. Cambio de temperatura.

Por las características del problema el principio que nos ayudará a dar solución a este, es el principio 10 en su segundo inciso.

Realizar una acción anticipada: arreglar objetos con antelación de tal manera que entre en acción inmediatamente que sea necesario y en el lugar adecuado.

La solución a esta contradicción aplicando el principio de solución antes mencionado, es colocar un resorte NEG'ATOR en la parte superior del sistema que se muestra en la imagen y este es el prototipo 2.

En la imagen se muestra el sistema tecnológico una vez que se colocó el resorte NEG'ATOR para que se realice la acción deseada en el momento que se requiere, este es el movimiento de flexión al caminar. El resorte esta colocado en la barra superior y esta conectado con la barra inferior con una banda que será la transmisora de la fuerza de flexión.



Prototipo 2

CAPÍTULO 7: OBTENCIÓN DE DATOS Y CÁLCULOS

Datos:

La distancia (d) se obtiene midiendo directamente a la persona la longitud que mide de la rodilla a la planta del pie.

$$d = 46 \text{ [cm]} = 0.46 \text{ [m]}$$

El ángulo (a. f-e) se obtuvo de la imagen mostrada en el capítulo de teoría de diseño y este es igual a 65° .

Los 65° grados se miden a máxima inclinación del fémur y de la tibia y peroné.

$$a.f-e = \Theta = 65^\circ = \frac{13}{36} \pi \text{ [rad]}$$

Los resultados del experimento para el cálculo del tiempo de recorrido del ángulo se muestran en la tabla 7.1.

Núm. de experimento	Longitud recorrida [m]	Tiempo de traslado [s]	Ciclos flexión-extensión
1	5	10.1	7
2	5	10.37	7
3	5	8.7	7
4	5	8.41	7
5	5	8.4	7

Tabla 7.1 Resultados de experimento para el cálculo de tiempo

Con los resultados de tiempo de traslado se calcula el tiempo medio de traslado.

$$\bar{t} = 9.11 \text{ [s]}$$

Para conocer el tiempo de un ciclo de flexión-extensión ó un paso se divide en tiempo medio entre siete.

$$t_{f-e} = 9.11 \text{ [s]} / 7 = 1.3 \text{ [s]}$$

Consideramos ahora que el tiempo de flexión es igual al tiempo de extensión, haciendo esta consideración hacemos:

$$t_{f-e} / 2 = 1.3 \text{ [s]} / 2 = 0.651 \text{ [s]} = \text{tiempo de extensión} = t_e$$

Con el tiempo de extensión y el ángulo de flexión-extensión se puede calcular la velocidad angular.

$$w = \frac{13\pi}{36[\text{rad}] \cdot 0.651[\text{s}]} = 1.743 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

La masa de la tibia y peroné y pie se midió directamente en una báscula y el valor medio obtenido de masa de esta parte de la extremidad inferior es de:

$$m = 6[\text{kg}]$$

Los datos de masa (m), longitud de la barra BC (d), velocidad angular (w) y tiempo de extensión se sustituyen en la ecuación (6) para obtener el valor de la fuerza necesaria para realizar el movimiento de extensión de la pierna.

$$F = \frac{(6[\text{kg}])(1.143 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right])(0.46 [\text{m}])}{0.651 [\text{s}]}$$

$$F = 7.32 [\text{N}]$$

$$F = 0.75377 [\text{kgf}]$$

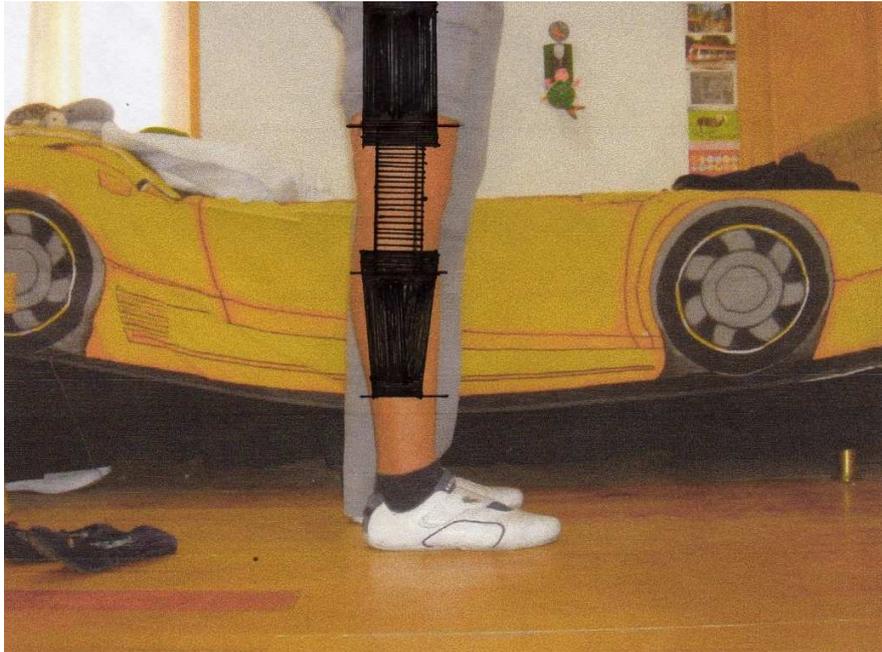
$$F = 1.662 [\text{lb}]$$

CAPÍTULO 8: DISEÑO DE DETALLE

Una vez que se definieron los elementos mecánicos que realizarán la fuerza de flexión y de extensión estos serán dos resortes, uno es un resorte de extensión y el otro un resorte de fuerza constante ó NEG'ATOR. Se procederá a realizar los cálculos necesarios para el diseño de estos elementos.

Con el valor de fuerza que se obtuvo todavía no es posible calcular la deflexión del resorte de extensión que es el parámetro importante en el diseño de este, para poder calcular la deflexión se debe tener un valor de referencia para poder compararlo con el que se obtenga del cálculo, y así poder determinar si el material y las dimensiones propuestas para el resorte son las correctas.

La deflexión de referencia se midió con la ayuda del concepto de escala, se tomaron fotos a la pierna de una persona con marcas que tengan la longitud propuesta del cuerpo del resorte, esta se muestra en la imagen 8.1.



8.1 Imagen para el cálculo de la escala

La escala se determina con la fórmula:

$$E = \text{Magnitud dibujada} / \text{magnitud real}$$

Ya determinada esta escala se toma una segunda foto en posición de flexión de la rodilla a 90°, y se traza el arco que se formarí a si el resorte se extendiera y se mide la longitud de arco con la ayuda de la fórmula:

$$S = r \Theta$$

Donde:

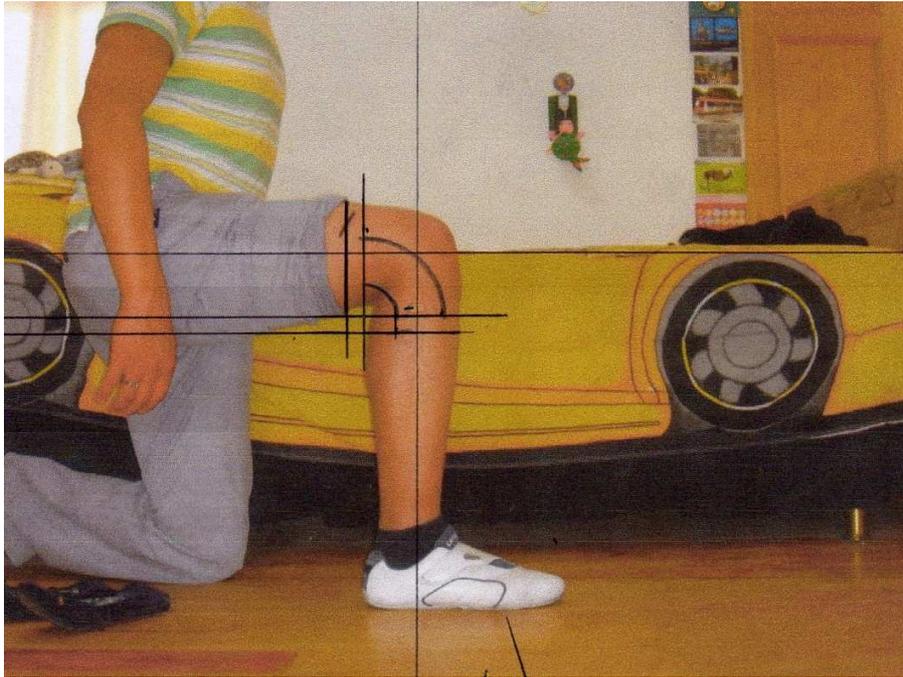
S – longitud de arco [cm]

r – radio de curvatura [cm]

Θ – ángulo de curvatura, donde $\Theta = 90^\circ$

Se mide el radio en la foto se multiplica por la escala y por el ángulo en unidades de radianes.

La imagen 8.2 muestra la flexión a 90°, y los arcos que representan el resorte.



8.2 Cálculo de la deflexión del resorte a 90°

El valor que se obtenga será la longitud de extensión del resorte a 90° que es la mayor extensión a la que estará expuesto el resorte; con esta longitud y la longitud del cuerpo del resorte se calcula la deflexión de referencia.

Para el cálculo de la deflexión del resorte se deben de conocer las dimensiones del resorte como son: el diámetro exterior del resorte, el diámetro del alambre con el cual se fabricará el resorte, el número de vueltas activas del resorte y el módulo de rigidez a corte del material.

El diámetro exterior del resorte esta determinado por el diseñador, el número de vueltas, el diámetro del alambre y el módulo de rigidez están se determinan a partir de la elección del material del alambre.

Para la elección del material se tomaran en cuenta principalmente los rangos permitidos de diámetro del alambre, ya que no deben de ser muy ancho ya que será un resorte que estará a la vista de personas y este se debe de ver estético, también se tomarán en cuenta aspectos del acabado del material por la misma situación.

Una vez que se determine el material del resorte de extensión que cumpla con los requerimientos ya mencionados se elige el calibre del alambre que debe estar dentro del rango permitido, estos datos se obtienen de tablas de diseño de resortes así como el módulo de rigidez a corte del material. El número de vueltas

activas del resorte se calculan con los datos de longitud del cuerpo (previamente ya determinada), y con el diámetro del alambre, apoyados de la fórmula:

$$N = l_b / d$$

Donde:

l_b – es la longitud del cuerpo del resorte [cm]

d – diámetro del alambre [cm]

N – número de vueltas del resorte

Para el cálculo de la deflexión de un resorte helicoidal se tiene la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{8PD^3 N}{Gd^4}$$

Donde:

δ – deflexión del resorte [cm]

P – fuerza [kgf]

D – diámetro exterior del resorte [cm]

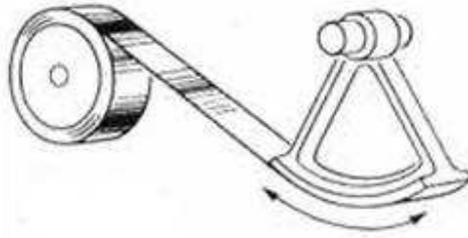
d – diámetro del alambre [cm]

G – módulo de rigidez del material [kgf /cm²]

N – número de vueltas activas del resorte

Con el valor de las variables que intervienen en el modelo anterior es posible determinar la deflexión del resorte. La deflexión que se obtenga de este cálculo se debe de comparar con la deflexión que se midió y será posible determinar si ese material y esas dimensiones son las que cumplen con nuestras solicitudes, una vez que se cumplan con las solicitudes se tendrán los parámetros necesarios de diseño del resorte.

Se continua con el diseño del resorte NEG'ATOR, para el diseño de este resorte solo hay que determinar el uso para la cual se requiere. La función del resorte se muestra en la imagen 8.3.

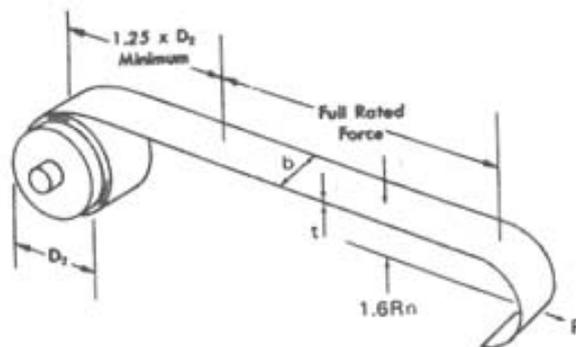


8.3 Modo de uso del resorte NEG'ATOR

Una vez que se determinó la función del resorte se da el valor de la fuerza que se requiere para que realice la acción deseada, esta fuerza es la que se determinó para el movimiento de flexión de la rodilla.

Los parámetros necesarios para el diseño de este tipo de resortes se determinaron bajo un análisis de fatiga para diversos tiempos de vida en ciclos y para dos tipos de materiales y estos están escritos en tablas, a las que se entra determinando el material del resorte y la fuerza a la que será expuesto.

Los parámetros que se determinan a partir de la fuerza, se muestran en la imagen 8.4.



8.4 Parámetros del resorte NEG'ATOR

Donde:

P – fuerza [lb]

D_2 – diámetro del tambor [in]

t – espesor del material [in]

$2R_n$ – diámetro natural de la bobina [in]

b – ancho de la cinta [in]

Una vez que se han determinado los parámetros de diseño de los elementos mecánicos se continúa con la elección del material de las barras que conforman el cuerpo del mecanismo y el diseño de estas partes.

Para la elección del material del cual estarán hechas las barras que contendrán a los resortes que conforman el mecanismo, se tomará en cuenta que debe de ser un material de buenas propiedades mecánicas pero que además sea ligero, ya que es un aparato que será utilizado por personas con debilidad muscular este debe de ser lo más ligero y resistente posible.

El diseño del cuerpo del mecanismo se debe de hacer de manera que sea lo más estético y ergonómico posible para poder cumplir con todos los requerimientos del usuario, además de ser un diseño que no falle con las sollicitaciones a las que estará expuesto por las fuerzas de flexión y de extensión de la pierna.

Una vez que se tengan los diseños de las barras se determinaran los puntos críticos de estas y se calcularan los esfuerzos cortantes o normales a los que estarán expuestos estos puntos y se determinará si las dimensiones que se le dieron son las adecuadas o hay que modificarlas o agregarles algún filete.

Ya que se tienen los diseños de cada una de las partes que conforman al mecanismo se determinará el método de sujeción, para este mecanismo la sujeción más importante es la que estará uniendo a las barras con el resorte de extensión.

Todo lo antes expuesto se realizará para poder cumplir con los requerimientos del usuario, por que como se sabe para que el diseño sea completamente satisfactorio debe de cumplir con todos los requerimientos del usuario. Se puso especial énfasis en el requerimiento de bajo costo del mecanismo, por que como se observó en los exoesqueletos de la investigación, ninguno cumple con el requerimiento de que sea de un precio accesible.

8.1: CÁLCULOS Y DISEÑOS DE DETALLE

La escala que se utilizará para la medición de la deflexión de referencia se mide con el dato de la longitud del cuerpo del resorte que es de 15 [cm] es la magnitud real y la longitud de la foto que es de 1.73 [cm] que para el cálculo escala es la magnitud dibujada.

$$E = 1.73 \text{ [cm]} / 15 \text{ [cm]}$$

El resultado de este cálculo nos dice que la escala de reducción es 1:9

Ahora que se conoce la escala con la que se va a trabajar se realiza el cálculo de la longitud de arco de que describiría el resorte a máxima extensión.

$$S = (1.65 \text{ [cm]}) (\pi/2) (9) = 23.23 \text{ [cm]}$$

La deflexión se calcula como se muestra a continuación:

$$\delta = L_f - L_i$$

Donde:

δ – deflexión

L_i – longitud inicial

L_f – longitud final

Para este resorte:

$$\delta = 23.23 \text{ [cm]} - 15 \text{ [cm]} = 8.23 \text{ [cm]}$$

El material que se elige por sus características de alta resistencia, excelente vida a la fatiga, además de que tiene una superficie libre de defectos y con un acabado brillante es el alambre cuerda de piano.

Se elige el calibre 11 para el diámetro del alambre por las restricciones de diámetro que tiene este material.

$$0.010 < d < 0.487 \text{ [cm]}$$

De tablas calibre 11 tiene $d = 0.3061 \text{ [cm]}$

El número de vueltas activas del resorte esta dada por la siguiente fórmula:

Para este resorte:

$$l_b = 15 \text{ [cm]}$$

$$d = 0.3061 \text{ [cm]}$$

Por lo tanto se tiene:

$$N = 15 / 0.3061 = 49 \text{ vueltas}$$

De tablas de propiedades de alambre para resortes helicoidales se tiene que el alambre cuerda de piano tiene módulo de elasticidad por cortante:

$$G = 843700 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

La fuerza de extensión del resorte es de:

$$P = 0.75377 \text{ [kg]}$$

Además se tiene un diámetro exterior del resorte de:

$$D = 6.35 \text{ [cm]}$$

Todos estos datos se sustituyen en la fórmula de la deflexión del resorte:

$$\delta = \frac{8 (0.75377 \text{ [kg]}) (6.35 \text{ [cm]})^3 (49)}{(843700 \text{ [kg/cm}^2\text{]}) (0.3061 \text{ [cm]})^4}$$

Se obtiene:

$$\delta = 10.21 \text{ [cm]}$$

Este resultado deja ver que la deflexión calculada es mayor que la deflexión medida, lo cual nos dice que si con estos parámetros se logra esta deflexión, con los mismos parámetros se lograra con mayor facilidad una deflexión menor.

Las dimensiones del resorte de extensión son:

Diámetro exterior: 6.35 [cm]

Diámetro del alambre: 0.3061 [cm]

Diámetro interior del resorte: 5.7378 [cm]

Diámetro de los extremos: 6.0439 [cm]

Carga: 7.32 [N]

Longitud del cuerpo: 15 [cm]

Longitud entre extremos: 27.7 [cm]

Número de vueltas activas: 49

Los extremos del resorte serán como se muestran en la imagen 8.1.1.



Imagen 8.1.1 Ojo y resorte mostrados en línea

Para el diseño del resorte de fuerza constante ó también conocido como NEG' ATOR se utilizó un manual de tablas [6] de diseño para este tipo de resortes, este procedimiento consiste en tener la fuerza de sollicitación a la cual va a estar sometido el resorte, la fuerza debe de estar en unidades del sistema ingles, en este caso la fuerza se mide en [lb].

El material del que estará hecho el resorte es acero al alto carbono ya que no se trata de una fuerza grade.

Con el parámetro de fuerza de $P = 1.662$ [lb] se buscó en tablas, y los resultados se encontraron en la tabla 8.1.1.

Tabla 8.1.1 Parámetros del resorte NEG'ATOR

	b	B	C	D	E	F	G	J	K	P	R	S	U	V	W	Y
		½	⅓	¼	⅓	½	⅓	¼	⅓	1	1¼	1½	2	2½	3	4
t	2Rn	D ₂	LOAD P													
chart G fatigue life—1,000,000 cycles high carbon spring steel																
.002	500	600	.020	.030	.040	.050	.061	.076	.091	.122						
.003	.750	900	.030	.045	.061	.076	.091	.122	.152							
.004	1.00	1.20		.061	.081	.102	.122	.163	.203	.244	.326					
.005	1.25	1.50			.102	.127	.152	.203	.254	.305	.407					
.006	1.50	1.80			.122	.152	.183	.244	.305	.369	.488	.609				
.007	1.75	2.10				.178	.213	.285	.356	.427	.569	.711	.854			
.008	2.00	2.40					.244	.325	.406	.488	.650	.812	.975			
.010	2.50	3.00					.305	.407	.508	.610	.813	1.02	1.22	1.63		
.012	3.00	3.60						.488	.610	.732	.976	1.22	1.46	1.95		
.014	3.50	4.20							.711	.854	1.14	1.42	1.71	2.28	2.84	
.015	3.75	4.50							.915	1.22	1.52	1.83	2.43	3.04	3.68	
.016	4.00	4.80								1.30	1.63	1.95	2.60	3.25	3.90	
.018	4.50	5.40								1.46	1.83	2.19	2.93	3.65	4.39	
.020	5.00	6.00								1.63	2.03	2.44	3.25	4.06	4.88	6.50
.022	5.50	6.60									2.24	2.68	3.58	4.47	5.37	7.15
.025	6.25	7.50										3.05	4.07	5.08	6.10	8.13
.028	7.00	8.40											3.41	4.55	5.68	6.83
.032	8.00	9.60												5.20	6.50	7.80

En la tabla se observa encerrado el valor de la fuerza más cercana al que el resorte estará sollicitado es de $P = 1.71$ [lb]. Para este valor de fuerza las dimensiones del resorte deben ser:

$$b = 1.5 \text{ [in]}$$

$$t = 0.014 \text{ [in]}$$

$$2Rn = 3.5 \text{ [in]}$$

$$D_2 = 4.2 \text{ [in]}$$

En unidades métricas los parámetros de la imagen 9 son:

$$b = 3.81 \text{ [cm]}$$

$$t = 0.03556 \text{ [cm]}$$

$$2Rn = 8.89 \text{ [cm]}$$

$$D_2 = 10.668 \text{ [cm]}$$

Además de ser este un resorte para 1, 000,000 de ciclos lo cual nos dice que para el uso al que estará sometido se puede considerar que es un resorte de vida ilimitada.

Una vez que se tienen los diseños de los resortes, el material que se propone para la fabricación de las barras que contendrán a los resortes es un material polimérico de aplicación en ingeniería, este material es el ABS, sus propiedades mecánicas se muestran en la siguiente tabla.

ABS – POLIACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO
 ABS Polyacrylonitrile butadiene styrene

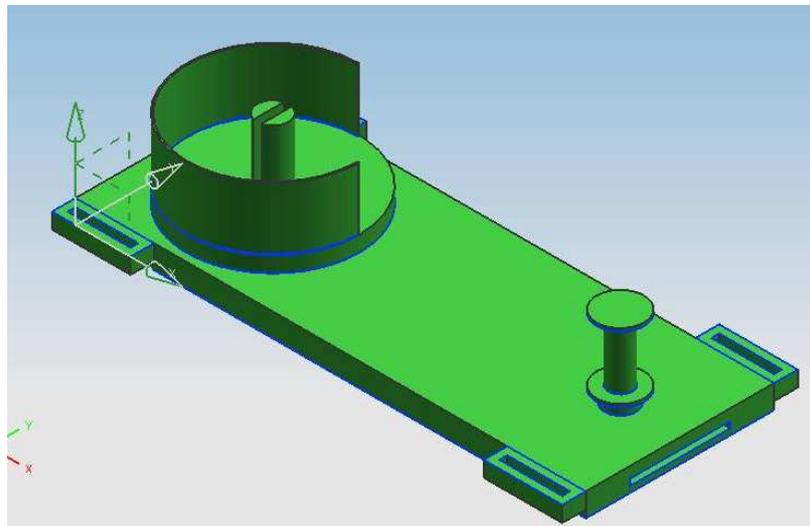
Propiedades Físico – Mecánicas Physical & Mechanical Properties	
Alargamiento a la Rotura (%) <i>Elongation at break (%)</i>	45
Coefficient de Fricción <i>Coefficient of friction</i>	0,5
Módulo de Tracción (GPa) <i>Tensile modulus (GPa)</i>	2,1-2,4
Resistencia a la Tracción (MPa) <i>Tensile strength (MPa)</i>	41-45
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹) <i>Izod impact strength (J m⁻¹)</i>	200-400
Absorción de Agua - en 24 horas (%) <i>Water absorption - over 24 hours (%)</i>	0.3-0.7
Densidad (g cm ⁻³) <i>Density (g cm⁻³)</i>	1,05
Resistencia a la Radiación <i>Radiation resistance</i>	Acceptable <i>Fair</i>
Resistencia a los Ultra-violetas <i>Resistance to Ultra-violet</i>	Mala <i>Poor</i>

El parámetro de densidad es uno de los más importantes ya que este determinará en función del volumen de las barras la masa del mecanismo, que como ya se había mencionado es uno de los parámetros importantes, lo segundo en importancia es que el material tenga buena resistencia, como se observa en la tabla su módulo de tracción es bueno así como su resistencia a la tracción y esto se prueba gracias a que se sabe de la gran aplicación de este material para hacer autopartes.

El material que se utilizará para que sea cómodo y no lastime a los usuarios será esponja y estará colocada entre la pierna y las barras del mecanismo y tendrán forma cilíndrica para que se acomoden a la forma de la pierna, esto es para lograr que sea ergonómico.

La banda que transmitirá la fuerza del resorte de fuerza constante y que estará unido en la parte inferior de la barra inferior será un fleje no metálico ya que por sus características de resistencia hace de este el material más adecuado de para que cumpla con esta función.

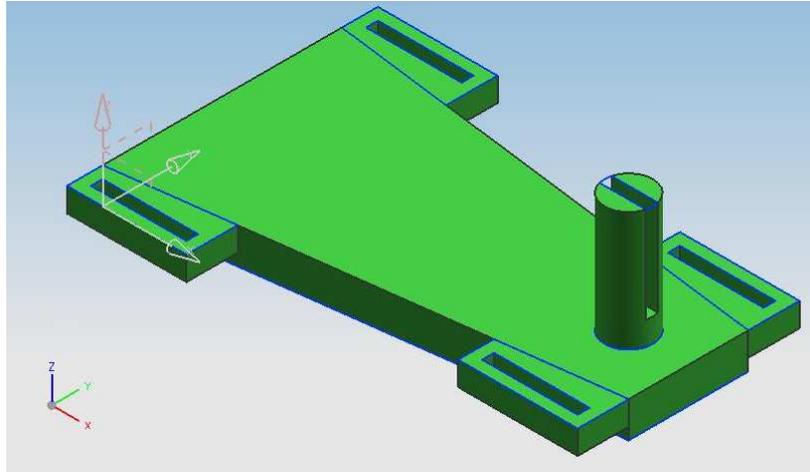
Los diseños propuestos de las barras que contendrán a los resortes se muestran en las siguientes imágenes:



8.1.2 Diseño de barra superior

Se considera que este diseño será capaz de resistir las sollicitaciones a las que estará expuesto, en este diseño se presentan esfuerzos cortantes en el perno de la parte inferior de la barra superior, estos ya no se cuantificaron puesto que son

esfuerzos menores que los que presenta el punto crítico de la barra inferior, que se muestra a continuación:

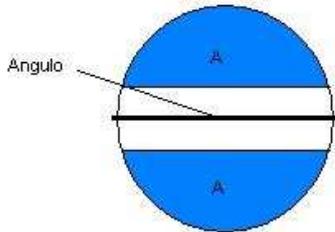


8.1.3 Diseño de barra inferior

8.2: ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LOS DISEÑOS

En la barra inferior el punto crítico se encuentra en el perno de la parte inferior de la barra, este perno estará expuesto a esfuerzos cortantes producidos por la fuerza de flexión que produce el resorte NEG'ATOR. El diámetro total del perno es de 2 [cm], el esfuerzo cortante que se produce en la sección transversal del perno es de 23 300 [Pa], si se toma en cuenta este valor de esfuerzo cortante para esta sección podemos decir que esta sobrado en dimensiones gracias a las características mecánicas del ABS, pero se considera que la cinta de fleje estará abrazada la sección recortada del perno, por lo tanto el área que se debe de tomar en cuenta para el análisis de la resistencia del diseño a los esfuerzos cortantes es el área pequeña que se observa en la imagen del diseño, para esta área se encontró que el esfuerzo cortante es de 68 930 [Pa], y de la tabla de propiedades del ABS observamos que la resistencia a la tracción del material es de 41 000 000 [Pa], por lo que podemos observar el diseño esta sobrado y no tendrá fallas de ruptura por esta fuerza, por lo que podemos decir que el diseño no necesita ningún tipo de filete.

Entonces con estos cálculos realizados para el perno de la barra inferior podemos decir que el diámetro de 1.5 [cm] del perno de la barra superior esta también sobrado y podrá soportar los esfuerzos cortantes producidos por la fuerza de flexión que es de 7.32 [N].



Para el cálculo del esfuerzo en el perno de la barra inferior, se supone que la banda estará abrazada de la sección A provocando un esfuerzo cortante, entonces se calculará el esfuerzo en esta sección.

$$\text{Ángulo} = 16^\circ = 0.27925 \text{ [rad]} \times 2 = 0.5585 \text{ rad}$$

$$P = 1 \text{ [cm]} \times 2 \times \pi = 6.283185 \text{ [cm]}$$

$$P_A = P - 4S; \text{ S- longitud de arco}$$

$$4S = 4(\text{ángulo} \times r) \rightarrow 4S = 4(0.27925 \times 1) = 1.117 \text{ [cm]}$$

$$P_A = 6.283185 \text{ [cm]} - 1.117 \text{ [cm]} = 5.1662 \text{ [cm]}$$

$$P / 2\pi = r; \quad A = \pi r^2, \text{ por lo tanto } A = P_A^2 / 4\pi$$

$$A = (5.1662 \text{ [cm]})^2 / 4\pi = 2.1239 \text{ [cm]}^2$$

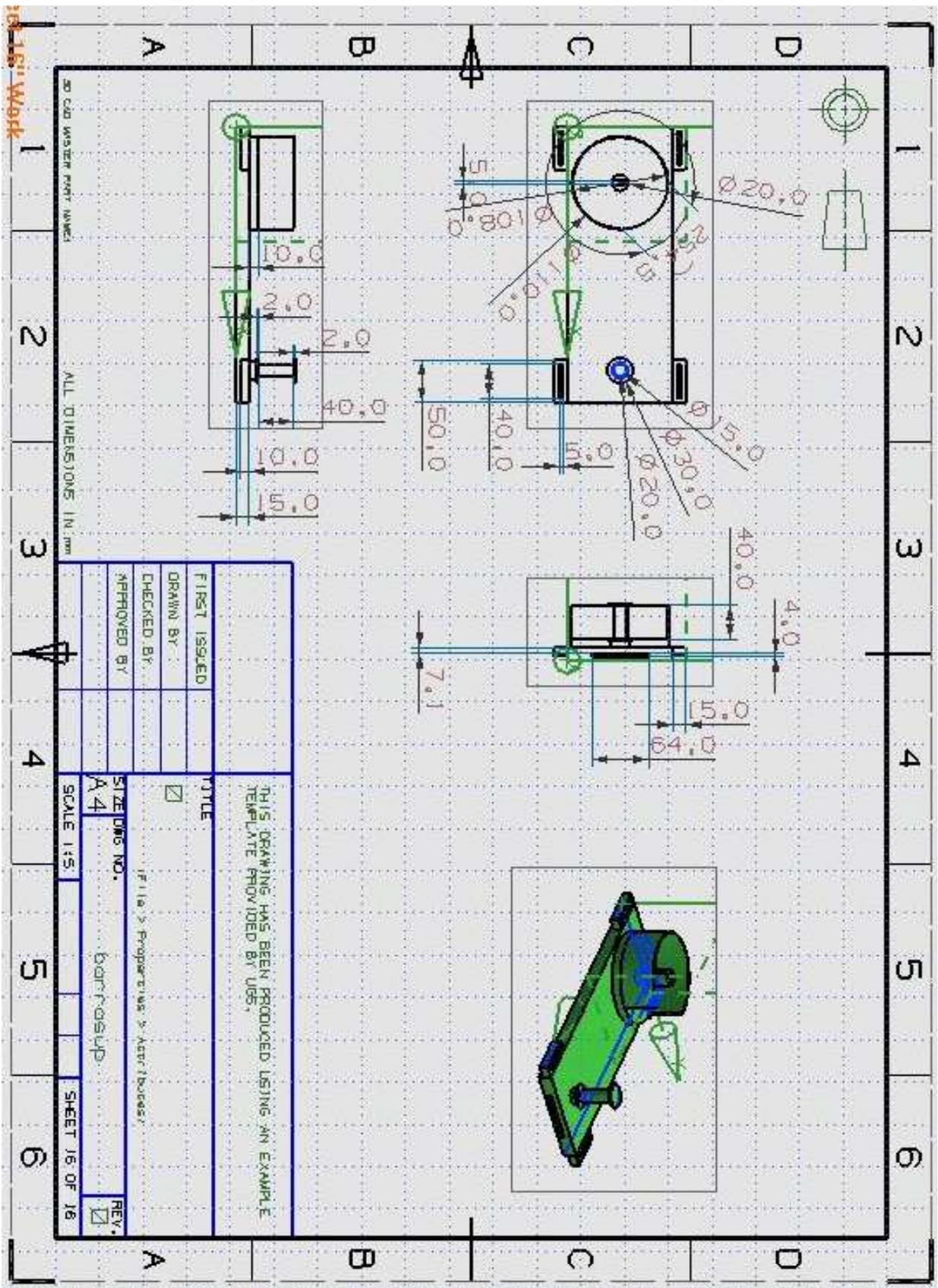
$$A_A = 2.1239 \text{ [cm]}^2 / 2 = 1.06195 \text{ [cm]}^2 = 1.06195 \times 10^{-4} \text{ [m]}^2$$

$$\xi = F/A; \quad \xi = 7.32 \text{ [N]} / 1.06195 \times 10^{-4} \text{ [m]}^2 = 68930 \text{ [Pa]}$$

$$\xi_{\text{perno sup.}} = 7.32 \text{ [N]} / 1.7671 \times 10^{-4} \text{ [m]}^2 = 41422.73 \text{ [Pa]}$$

A continuación se muestran los planos de cada una de las barras que contendrán a los elementos mecánicos de nuestro mecanismo.

8.3 Planos



CAPÍTULO 9: RESULTADOS

Los resultados que aquí se reporten se harán con respecto a los pasos del método que se siguió para el correcto desarrollo de este proyecto; los resultados que se obtuvieron fueron revisados por el director de este trabajo.

Los resultados que se obtuvieron de la aplicación de la teoría TRIZ en el diseño conceptual del mecanismo que da solución a este problema son muy buenos, ya que uno de los objetivos de la aplicación de esta teoría es hacer que los diseños se realicen en el menor tiempo posible, y por el grado de complejidad de este problema y después de haber utilizado otra teoría de diseño en otros proyectos puedo afirmar que esta teoría reduce considerablemente el tiempo que se dedica para llegar a una solución de concepto, que en diseño esta es la etapa que se lleva más tiempo.

Como ya se había dicho esta teoría es sistemática, esto es, que cualquiera que tenga un problema de diseño y que no necesariamente sea ingeniero pero que conozca esta teoría puede solucionar su problema siguiendo los pasos que esta marca.

Recapitulando, el método consiste en tener bien definido el problema y ya que se tiene la idea de como se pretende que se solucione el problema, siempre nos encontramos con detalles que nos impiden dar la mejor solución a los problemas, a estos detalles la teoría los llama contradicciones, estas surgen entre los parámetros que contienen los sistemas tecnológicos, el método dice que se identifiquen los parámetros que están causando la contradicción y una vez que se tienen bien identificados se entra a la matriz de las contradicciones para ver que principio de solución se ha utilizado para eliminar la contradicción en otros sistemas que tuvieron alguna contradicción con esos mismos parámetros de su sistema.

En este diseño se encontraron dos contradicciones, la primera que se encontró fue al querer generar una fuerza que generara el movimiento de extensión pero que además se tomara en cuenta la duración de la acción de extensión, ya que se tuvieron definidos los parámetros que estaban causando la contradicción se entró a la matriz de las contradicciones y como se dijo anteriormente ahí se encontraron los principios de solución para poder eliminar esta contradicción, estos principios que arroja el haber entrado a la matriz son soluciones a problemas diversos que suprimen la contradicción entre estos dos parámetros, el conocimiento de nuestro problema nos dice cual de estos principios encontrados es el que da solución al problema, para este problema se encontraron dos principios de solución, estos fueron el de extracción y el de acción periódica este cuenta con tres incisos que

nos hablan de generar o cambiar la velocidad y la frecuencia con la que se hacen las acciones periódicas. Por las características de nuestro problema se determinó que el principio de solución era el de acción periódica, y dice que se cambie una acción continua por una que genere impulsos. Ya que se tiene el principio de solución, se pensó en algún elemento mecánico que lograra que se tuviera una acción de extensión y que se lograra tener de manera periódica, se llegó a que el elemento que cumplía con este requisito era un resorte de extensión que se podría colocar entre dos barras y este estuviera colocado a la altura de la rodilla ya que aquí es donde se hace la flexión, y con la energía que almacena el resorte en su posición de extensión se genera la fuerza que se requiere para que el sistema ayude al usuario a realizar la acción de extensión de la rodilla.

Una vez que se solucionó el problema de cómo lograr una fuerza que ayude a realizar la extensión de la rodilla de la persona, nos encontramos que este resorte por si solo no puede flexionarse y se encontró con una nueva contradicción, esta vez es entre el parámetro de fuerza y la estabilidad del movimiento del sistema. Entramos a la matriz de las contradicciones y nuevamente se encontraron los principios de solución para eliminar la contradicción, esta vez se encontraron tres principios que son el de acción anticipada, aumentar la velocidad de la acción dañina y el de transformar las propiedades de las sustancias que se estén empleando en el sistema. Por las características del problema el principio de solución que ayudaría a eliminar la contradicción es el de acción anticipada, y dice que se coloque con anticipación algo en el lugar adecuado para que realice la acción deseada en el momento que se requiere. La acción que se requiere es la de flexión, además contamos con que el método dice que hay que aprovechar recursos entonces se pensó en aprovechar de alguna manera la fuerza que se genera del movimiento de extensión del resorte, con base en esto se colocó en la parte superior de la barra superior del mecanismo un resorte de fuerza constante o NEG'ATOR y este estará unido a la barra inferior con una banda que será la encargada de transmitir la fuerza, el resorte NEG'ATOR aprovechará la fuerza que se genera en la extensión del resorte para extenderse y como sabemos este tiende a contraerse y al contraerse se logrará que este realice la flexión del resorte y de la rodilla del usuario.

Esto dio solución al diseño conceptual al sistema que se pretende que ayude a caminar a personas con debilidad muscular; se llegó a este en un tiempo razonablemente corto tomando en cuenta el tiempo del planteamiento del problema y la obtención de los requerimientos y de la investigación sobre la existencia de mecanismos que realicen esta misma acción.

Una vez que se tiene el modelo conceptual se procedió al diseño de los elementos mecánicos que lo componen, que son el resorte de extensión y el

resorte NEG'ATOR, para el diseño de estos dos elementos se requiere de la fuerza que hacen los músculos para realizar la flexión y la extensión de la rodilla, para el cálculo de esta fuerza se hizo un esquema de barras que realizarán esta acción y nos apoyamos en la segunda ley de Newton para el cálculo de la fuerza, a este modelo se puso en función de parámetros que se pudieran medir y aunque algunos de estos datos como el tiempo que le lleva a una persona realizar el movimiento de extensión que es un tiempo demasiado corto se conto con la herramienta de la experimentación que en ingeniería es una de las herramientas más utilizadas y más importantes.

Los resultados que se obtuvieron de la experimentación son bastante buenos, se encontró que la velocidad angular del movimiento de flexión-extensión es de $1.743 \frac{\text{rad}}{[\text{s}]}$ y con este valor y la masa de 6 [kg] de la parte que corresponde al pie y la parte de tibia y peroné encontramos una fuerza de 7.32 [N] este valor de fuerza que se encontró para el diseño de los resorte es un valor razonablemente bueno para el cálculo de los resortes.

El criterio que se tomó en cuenta para el diseño del resorte de extensión fue el considerar uno de los requerimientos del usuario y este es el que no se tiene que ver muy voluminoso además en la elección del material con el que estará hecho el resorte se tomó en cuenta que se viera estético ante los ojos de terceras personas.

Para las dimensiones del resorte de NEG'ATOR no se pudo hacer lo mismo que se hizo con el resorte de extensión por las dimensiones de este se determinan por la fuerza a la que este será sometido, estos valores de dimensiones se toman de tablas de diseño.

Con los resultados numéricos que se obtuvieron de cálculo de los resortes podemos decir que si es factible su aplicación en un modelo físico, lo que da pie a decir que los elementos mecánicos que se calcularon si cumplirán con la tarea de ayudar en la marcha a personas que sufran de debilidad muscular.

Una vez que se han diseñado los resortes que estarán encargados de hacer la fuerza de flexión y extensión de la rodilla se procedió a elegir el material del que estarán hechas las barras que contendrán a estos, para la elección del material se tomaron en cuenta principalmente que debía de ser un material de baja densidad para que el peso de este fuera lo mas bajo que se pueda, también se tomo en cuenta que este material debe de contar con una buena resistencia mecánica puesto que estará expuesto a una fuerza que no será muy grande pero después de cierto tiempo se verá dañado el material por estar expuesto a esta fuerza. Por lo antes mencionado se determinó que el material que cumple con las

características anteriores es el ABS, por contar con las características ya mencionadas y además de ser un material que se utiliza con mucha frecuencia en ingeniería en la construcción de autopartes.

El diseño propuesto de las barras que serán el cuerpo del mecanismo y que además contendrá a los resortes que realizarán la fuerza de flexión y extensión, es un diseño bastante sencillo en cuestión de forma, lo que se buscó cuando se diseñaron las barras fue que fueran estéticas y tomando esto en cuenta se hizo el diseño para que los extremos del resorte de extensión estén contenidos en las barras y esto aportara a que se vea mejor el mecanismo.

Para lograr que el diseño sea ergonómico se propone que se coloquen colchones que estarán entre la barra y la pierna del usuario, estos colchones tendrán forma cilíndrica para que se acomode a la forma de la pierna y así el aparato no lastime al usuario y con esto se logrará comodidad para la persona.

Otra de las cosas que se realizó una vez que se tuvieron los diseños de las barras, fue analizar los puntos donde el material estaría expuesto a esfuerzos cortantes y por los cuales dependiendo de la de la forma y de las dimensiones que se propusieron para estos puntos críticos, estos pudieran presentar fallas de ruptura del material.

El esfuerzo cortante que se encontró para el punto de mayor riesgo fue de 68 930 [Pa] y tomando en cuenta que el material tiene una resistencia a la tracción de 41, 000, 000 [Pa], podemos decir que las dimensiones que se proponen son más que suficientes. Ya que se tienen estos valores de área y de esfuerzo cortante no se reducen las dimensiones del perno por que se tome en consideración la decima ley de la teoría TRIZ, que en otras palabras nos dice que si la persona piensa que no funciona el mecanismo no lo utilizará, en cuestión de las dimensiones no se reducen por que son dimensiones pequeñas y si se reducen la persona puede pensar que se puede romper muy fácilmente y por esta situación no tendría la confianza de ponerse el aparato.

La elección del material así como los diseños propuestos cumplen con los requerimientos del usuario lo cual nos dice que se ha hecho una correcta elección del material y un buen diseño.

La banda transmisora de la fuerza del resorte NEG'ATOR será un fleje polimérico ya que cuenta con excelentes propiedades mecánicas tomando en cuenta el uso para el que esta destinando. Las dimensiones de esta banda de fleje serán las mismas que para la cinta que del resorte NEG'ATOR.

Por todo lo antes mencionado se puede decir que el método que se utilizó para llegar al diseño del mecanismo que da solución al problema que se planteo, si nos condujo a la solución que se estaba buscando.

CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se logró satisfactoriamente el diseño de concepto de un mecanismo que auxilien en la marcha a personas con debilidad muscular. Decimos satisfactoriamente por que se logrón el diseño en un tiempo razonablemente corto, se menciona el tiempo de diseño puesto que se utilizó la teoría de diseño TRIZ para comprobar que realmente es una herramienta de diseño que reduce los tiempos de trabajo, y con el desarrollo de este trabajo se puede comprobar que en realidad se reducen estos tiempos que pueden utilizados para la parte siguiente del proceso de diseño.

El utilizar esta teoría de diseño pensaríamos que por ser sistemática no sirve para poner en acción nuestra creatividad, pero una vez que se utiliza nos damos cuenta que en realidad si se pone en práctica la creatividad del diseñador de igual manera que en la tormenta de ideas. En esta teoría nos da como información de solución la acción que se debe de realizar para poder llegar a la solución, no nos dice que cosa se debe de colocar o quitar para poder solucionar el problema; el que solo nos diga la acción da pie a que se piense que cosa es lo que hace la acción que el método nos dijo.

Por lo anterior se puede decir que la teoría de diseño cumple con uno de sus propósitos principales, que es el de reducir tiempo empleado en el diseño de concepto, para este mecanismo se empleo un tiempo aproximado de ocho horas tomando en cuenta desde el momento en que se planteo el problema hasta que se llego al modelo de concepto, y podemos considerar que es un tiempo razonablemente bajo, pues si se hubiera elegido otra metodología tendríamos que haber utilizado un tiempo mucho mayor, que es resultado de la creación de ideas y de la evaluación de cada una de las ideas hasta que se definiera la idea que se considere la solución al problema resultado del criterio del diseñador además de que se tiene el riesgo de que esa idea que se planteo como solución resulte que realmente no era, esta se descarta en el diseño de detalle normalmente y este ya es un paso muy avanzado en el diseño de un sistema tecnológico.

Algo importante que se logró en este trabajo fue que se pudo utilizar la experimentación para poder obtener los parámetros necesarios para el cálculo de las partes mecánicas que componen nuestro sistema.

Los procedimientos que se utilizaron para poder encontrar los parámetros necesarios para el diseño de las partes mecánicas del sistema, y los criterios utilizados para el diseño de cada una de las partes incluyendo la elección de los materiales se hicieron a partir de los conocimientos adquiridos en el aula y sin perder de vista los requerimientos del usuario.

Para lograr que el diseño sea ergonómico se propone que se coloquen colchones que estarán entre la barra y la pierna del usuario, estos colchones tendrán forma cilíndrica para que se acomode a la forma de la pierna y así el aparato no lastime al usuario y con esto se logrará comodidad para la persona.

Para lograr mejorar el diseño se identifica que el diseño tienen diversas partes en que se puede mejorar para su mayor eficiencia, se puede mejorar en el cambio de las dimensiones de las barras pues es posible mejorar la forma de estas para que se tenga un menor volumen conservando sus características de resistencia mecánica, también se puede mejorar en cuestión del material empleado para la manufactura de estas de tal forma que se conserven las características de peso y resistencia, con respecto al material que se eligió para el resorte de extensión que es el alambre de cuerda de piano considero que no necesita ser modificado ya que cuenta con buenas propiedades mecánicas y por su excelente acabado que nos ayuda a cumplir con el requerimiento del usuario de que debe de ser estético.

Una de las cosas que obtendrá el usuario como beneficio del uso de este mecanismo es que logrará una postura recta de la espalda sin la necesidad de tener algo adicional que force esta postura, esto se logra a partir de que el resorte de extensión hará que la rodilla se extienda en su totalidad y no como comúnmente damos los pasos, con un grado de flexión en la rodilla y esto hace que no se logre la postura recta de la espalda y nos lleve en un futuro a tener problemas de salud en la espalda.

Por todo lo anterior podemos decir que si se lograron los objetivos que se plantearon al inicio de este trabajo, aunque no se esta exento de que se le puedan hacer cambios en beneficio del mecanismo y principalmente de los usuarios de este.

Acerca de lo que aprendí con la aplicación de la teoría TRIZ puedo comentar que fue una muy buena experiencia ya que ahora puedo comparar los pros y los contras que se tienen con esta teoría de diseño en comparación de otras teorías de diseño que utilice durante mi formación, considero que seria muy bueno que se incluyera en el plan de estudios de todas las ingenierías ya que no solo sirve para diseñar también nos enseña a llevar un orden, cosa que a muchos se nos olvida,

otra cosa para la que nos sirve esta metodología es para resolver cualquier tipo de problema que se nos presente y no solo de diseño en ingeniería.

Una de las cosas que note con el uso de esta metodología es que se facilita la generación de ideas para poder solucionar el problema planteado ya que por experiencia propia se me complica crear ideas para solucionar el problema, es por ello que siempre manifesté estar en desacuerdo con la aplicación de la tormenta de ideas por mi dificultad de crear ideas, y con la aplicación de esta metodología la creación de las ideas para eliminar la contradicción fue más sencilla.

Con respecto a como encontré los parámetros de fuerza, pude observar que fui capaz de aplicar mis conocimientos para generar un experimento que me facilitara la medición del parámetro y poderlo medir a partir de otros parámetros que fueran más fáciles de medir y tomando en cuenta ciertas simplificaciones que se consideraron lógicas.

Finalmente puedo comentar que una de las cosas que me motivaron a realizar este trabajo fue el poder aplicar los conocimientos adquiridos para diseñar un mecanismo que ayude a mejorar la calidad de vida de un grupo de personas muy vulnerable de nuestra sociedad que es el de las personas de la tercera edad, y así poderme dar cuenta que la ingeniería mecánica tiene un gran campo de aplicación y no solo es para aplicaciones industriales.

CAPÍTULO 11: REFERENCIAS

- [1] Publicado por Gerur - Gerontología Uruguay
<http://ar.groups.yahoo.com/group/gerur/>, Publicado por Licenciatura en Gerontología el día: Noviembre 17, 2005, 13/Noviembre/2008
- [2] www.mmagnum.com, 20/Enero/2009
- [3] www.neoteo.com, 20/Enero/2009
- [4] www.jukuasu.com, 20/Enero/2009
- [5] Viel Erick “La marcha humana la carrera y el salto”, Masson
- [6] <http://www.sdp-si.com/Gateway/D220-T171.htm>, 10/Marzo/2009

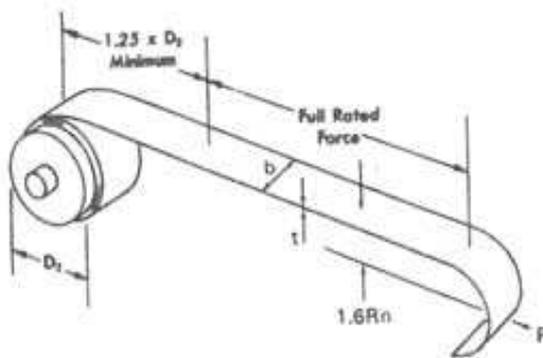
BIBLIOGRAFÍA

- Coronado Maldonado Margarito, Oropeza Monterrubio Rafael, Rubio Arzate Enrique, “TRIZ, *La Metodología más Moderna para Inventare o Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática*”, México 2002
- William C. Orthwein, “Diseño de Componentes de Máquinas”, Compañía Editorial Continental S.A. de C.V., Primera Edición, México 1996
- Virgil Morning Faires, “Diseño de Elementos de Máquinas”, UTEHA 1985
- R.H. Warring, “Spring Desig and Calculation”, META Publications 1973
- www.triz40.com, 13/Febrero/2009

ANEXO B

Tablas para determinar las dimensiones del resorte NEG'ATOR [7]

TABLE 1 (SHEET 1 of 7)



Symbols used in NEG'ATOR Design Tables.

- t—material thickness (in.)
- b—material width (in.)
- 2R_n—natural coil diameter (in.)
- D₂—recommended drum diameter (in.)
- P—load (lbs.)

Note: These charts indicate *pre-calculated* designs and do not constitute a catalog of NEG'ATOR springs available from stock.

	b →	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	P	R	S	U	V	W	Y
t	2R _n	LOAD P														

chart B fatigue life—5,000 cycles high carbon spring steel

.002	200	240	104	156	208	260	312										
.003	300	360	156	234	312	390	469	623	782								
.004	400	480		312	415	520	623	830	1 04	1 25	1 56						
.005	500	600			520	650	780	1 04	1 30	1 56	2 08						
.006	600	720			623	780	936	1 25	1 56	1 87	2 50	3 12					
.007	700	840				910	1 09	1 46	1 82	2 18	2 91	3 64	4 37				
.008	800	960					1 25	1 67	2 08	2 50	3 33	4 16	5 00				
.010	1 00	1 20					1 56	2 08	2 60	3 12	4 16	5 20	6 24	8 32			
.012	1 20	1 44						2 50	3 12	3 74	5 00	6 24	7 49	9 99			
.014	1 40	1 68							3 64	4 36	5 82	7 28	8 72	11 6	14 5		
.015	1 50	1 80								4 68	6 24	7 80	9 36	12 5	15 6	18 7	
.016	1 60	1 92									6 66	8 32	9 99	13 3	16 6	20 0	
.018	1 80	2 16									7 50	9 36	11 2	15 0	18 7	22 4	
.020	2 00	2 40									8 32	10 4	12 5	16 6	20 8	24 9	33 3
.022	2 20	2 64										11 4	13 7	18 3	22 9	27 4	36 6
.025	2 50	3 00											15 6	20 8	26 0	31 2	41 6
.028	2 80	3 38											17 4	23 2	29 0	34 8	46 4
.032	3 20	3 84												26 6	33 2	39 7	53 2

TABLE 1 (SHEET 3 of 7)

		b	B	C	D	E	F	G	J	K	P	R	S	U	V	W	Y
		→	½	⅜	¼	⅜	⅜	½	⅜	¼	1	1¼	1½	2	2½	3	4
t	2 Rn	D ₂	LOAD P														

chart E fatigue life—35,000 cycles high carbon spring steel

.002	400	480	.030	.046	.061	.076	.092										
.003	600	720	.046	.069	.092	.115	.138	.185	.231								
.004	800	960		.092	.123	.154	.185	.246	.307	.369	.493						
.005	1.00	1.20			.154	.192	.231	.308	.384	.461	.616						
.006	1.20	1.44			.184	.231	.277	.369	.461	.554	.738	.923					
.007	1.40	1.68				.269	.323	.431	.538	.646	.862	1.07	1.29				
.008	1.60	1.92					.369	.492	.615	.738	.984	1.23	1.48				
.010	2.00	2.40					.461	.615	.769	.923	1.23	1.54	1.85	2.46			
.012	2.40	2.88						.739	.923	1.11	1.48	1.84	2.21	2.95			
.014	2.80	3.36							1.07	1.29	1.72	2.15	2.58	3.44	4.31		
.015	3.00	3.60								1.38	1.85	2.31	2.77	3.69	4.61	5.54	
.016	3.20	3.84									1.97	2.46	2.95	3.94	4.92	5.90	
.018	3.60	4.32									2.22	2.77	3.32	4.43	5.54	6.64	
.020	4.00	4.80									2.46	3.08	3.69	4.92	6.15	7.38	9.84
.022	4.40	5.28										3.38	4.06	5.41	6.77	8.12	10.8
.025	5.00	6.00											4.61	6.15	7.69	9.23	12.3
.028	5.60	6.72											5.14	6.89	8.61	10.3	13.8
.032	6.40	7.68												7.88	9.84	11.8	15.7

chart F fatigue life—100,000 cycles high carbon spring steel

.002	.444	.533	.025	.037	.050	.063	.075										
.003	.667	.800	.037	.056	.075	.094	.114	.152	.189								
.004	.889	1.07		.075	.101	.126	.152	.202	.253	.303	.404						
.005	1.11	1.33			.126	.158	.189	.253	.316	.379	.505						
.006	1.33	1.60			.152	.189	.227	.303	.379	.455	.606	.758					
.007	1.56	1.87				.221	.265	.354	.441	.530	.707	.884	1.06				
.008	1.78	2.14					.303	.404	.505	.606	.808	1.01	1.21				
.010	2.22	2.66					.379	.505	.631	.758	1.01	1.26	1.52	2.02			
.012	2.67	3.20						.606	.758	.909	1.21	1.52	1.82	2.42			
.014	3.11	3.73							.884	1.06	1.41	1.77	2.12	2.83	3.54		
.015	3.33	4.00								1.14	1.51	1.89	2.27	3.03	3.79	4.55	
.016	3.56	4.27									1.62	2.02	2.42	3.23	4.04	4.85	
.018	4.00	4.80									1.82	2.27	2.73	3.64	4.55	5.45	
.020	4.44	5.33									2.02	2.53	3.03	4.04	5.05	6.07	8.08
.022	4.89	5.87										2.78	3.33	4.44	5.56	6.67	8.89
.025	5.56	6.67											3.79	5.05	6.31	7.58	10.1
.028	6.22	7.46											4.24	5.73	7.07	8.48	11.3
.032	7.11	8.53												6.54	8.08	9.70	12.9

TABLE 1 (SHEET 4 of 7)

		b	B	C	D	E	F	G	J	K	P	R	S	U	V	W	Y
			$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	4
t	2Rn	D ₂	LOAD P														

chart G fatigue life—1,000,000 cycles high carbon spring steel

.002	.500	600	.020	.030	.040	.050	.061											
.003	.750	900	.030	.045	.061	.076	.091	.122	.152									
.004	1.00	1.20		.061	.081	.102	.122	.163	.203	.244	.326							
.005	1.25	1.50			.102	.127	.152	.203	.254	.305	.407							
.006	1.50	1.80			.122	.152	.183	.244	.305	.369	.488	.609						
.007	1.75	2.10				.178	.213	.285	.356	.427	.569	.711	.854					
.008	2.00	2.40					.244	.325	.406	.488	.650	.812	.975					
.010	2.50	3.00						.305	.407	.508	.610	.813	1.02	1.22	1.63			
.012	3.00	3.60							.488	.610	.732	.976	1.22	1.46	1.95			
.014	3.50	4.20								.711	.854	1.14	1.42	1.71	2.28	2.84		
.015	3.75	4.50									.915	1.22	1.52	1.83	2.43	3.04	3.68	
.016	4.00	4.80										1.30	1.63	1.95	2.60	3.25	3.90	
.018	4.50	5.40										1.46	1.83	2.19	2.93	3.65	4.39	
.020	5.00	6.00										1.63	2.03	2.44	3.25	4.06	4.88	6.50
.022	5.50	6.60											2.24	2.68	3.58	4.47	5.37	7.15
.025	6.25	7.50												3.05	4.07	5.08	6.10	8.13
.028	7.00	8.40												3.41	4.55	5.68	6.83	9.11
.032	8.00	9.60													5.20	6.50	7.80	10.4

chart H fatigue life—2,500 cycles stainless steel

.002	.145	.174	.164	.246	.329	.411	.492										
.003	.218	.261	.247	.370	.494	.616	.740	.988	1.32								
.004	.291	.349		.493	.658	.822	.986	1.32	1.64	1.97	2.64						
.005	.353	.436			.821	1.03	1.23	1.64	2.05	2.46	3.28						
.006	.436	.523			.986	1.23	1.48	1.97	2.47	2.96	3.95	4.94					
.008	.581	.697					1.97	2.63	3.29	3.95	5.24	6.58	7.90				
.010	.727	.873					2.48	3.30	4.12	4.95	6.60	8.25	9.90	13.2			
.012	.873	1.05						3.96	4.95	5.91	7.92	9.90	11.9	15.8			
.014	1.02	1.22							5.77	6.93	9.24	11.5	13.9	18.5	23.1		
.016	1.16	1.40							6.60	7.92	10.6	13.2	15.8	21.1	26.4	31.7	
.018	1.31	1.57							7.44	8.89	11.9	14.9	17.8	23.8	29.7	35.6	
.020	1.46	1.75							8.25	9.90	13.2	16.5	19.8	26.4	33.0	39.6	52.8
.022																	
.025	1.82	2.18									16.5	20.6	24.8	33.0	41.2	49.5	66.0
.028																	
.031	2.25	2.71												40.9	51.1	61.3	81.8

TABLE 1 (SHEET 5 of 7)

		b	B	C	D	E	F	G	J	K	P	R	S	U	V	W	Y
		→	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
t	2 Rn	D₂	LOAD P														

chart J fatigue life—5,000 cycles stainless steel

002	.171	.205	.126	.189	.253	.315	.379										
003	.257	.308	.189	.283	.379	.473	.567	.757	.946								
004	.343	.412		.379	.505	.630	.757	1.01	1.26	1.51	2.01						
005	.478	.513			.633	.789	.947	1.26	1.57	1.88	2.52						
006	.514	.617			.757	.945	1.13	1.51	1.88	2.27	3.02	3.76					
008	.686	.824					1.51	2.01	2.51	3.02	4.02	5.06	6.06				
010	.855	1.03					1.88	2.51	3.14	3.77	5.02	6.28	7.53	10.0			
012	1.03	1.23						3.01	3.77	4.52	6.03	7.53	9.04	12.1			
014	1.20	1.44							4.39	5.27	7.03	8.79	10.5	14.1	17.6		
016	1.37	1.64							5.01	6.03	8.04	10.0	12.1	16.1	20.1	24.1	
018	1.54	1.85							5.65	6.80	9.04	11.3	13.6	18.1	22.6	27.1	
020	1.71	2.05							6.28	7.53	10.0	12.6	15.1	20.1	25.1	30.1	40.2
022																	
025	2.14	2.56									12.6	15.7	18.8	25.1	31.4	37.7	50.2
028																	
031	2.65	3.18												31.1	38.9	46.7	62.4

chart K fatigue life—13,000 cycles stainless steel

002	.222	.267	.079	.119	.158	.198	.237										
003	.333	.400	.119	.178	.237	.296	.356	.474	.593								
004	.444	.533		.236	.316	.395	.474	.632	.790	.948	1.26						
005	.555	.665			.395	.494	.592	.790	.988	1.19	1.58						
006	.666	.798			.474	.593	.711	.948	1.19	1.42	1.90	2.37					
008	.888	1.06					.948	1.26	1.58	1.90	2.52	3.16	3.79				
010	1.11	1.33					1.19	1.58	1.98	2.37	3.16	3.95	4.74	6.33			
012	1.33	1.59						1.90	2.37	2.84	3.79	4.74	5.69	7.58	9.48		
015	1.66	1.99								3.56	4.74	5.93	7.11	9.48	11.9	14.2	
018	2.00	2.40									5.69	7.11	8.53	11.4	14.2	17.1	
020	2.22	2.65									6.32	7.90	9.48	12.6	15.8	19.0	25.3
022	2.42	2.91										8.69	10.4	13.9	17.4	20.9	27.8
025	2.78	3.33											11.9	15.8	19.8	23.7	31.6
028	3.11	3.73												17.7	22.1	26.5	35.4
031	3.44	4.12												19.6	24.5	29.4	39.2

TABLE 1 (SHEET 7 of 7)

		b	B	C	D	E	F	G	J	K	P	R	S	U	V	W	Y
			$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	4
t	2Rn	D _z	LOAD P														

chart N fatigue life—100,000 cycles stainless steel

.002	44.3	534	.021	.032	.043	.054	.065										
.003	666	800	.032	.048	.065	.081	.097	130	163								
.004	890	1.07		.065	.086	.109	.130	174	.217	.261	348						
.005	1.11	1.33			.109	.136	.163	217	.272	.326	435						
.006	1.33	1.59			.130	.163	.196	261	.326	.391	521	652					
.008	1.78	2.14						261	348	434	521	695	869	1.04			
.010	2.22	2.66						.326	435	543	652	869	1.09	1.30	1.74		
.012	2.67	3.20						.522	.652	.782	1.04	1.30	1.56	2.09	2.61		
.015	3.33	4.00								.978	1.30	1.63	1.96	2.61	3.26	3.91	
.018	4.00	4.80									1.56	1.95	2.35	3.13	3.91	4.69	
.020	4.44	5.33									1.74	2.17	2.61	3.48	4.35	5.21	6.95
.022	4.89	5.87										2.39	2.89	3.82	4.78	5.74	7.64
.025	5.55	6.66											3.26	4.35	5.43	6.52	8.69
.028	6.23	7.46												4.87	6.08	7.30	9.73
.031	6.90	8.28												5.39	6.74	8.08	10.8

chart P fatigue life—1,000,000 cycles stainless steel

.002	500	600	.017	.026	.034	.043	.052										
.003	750	900	.026	.039	.052	.065	.078	104	130								
.004	1.00	1.20		.052	.069	.086	.104	139	174	208	278						
.005	1.25	1.50			.086	.108	.130	174	217	260	347						
.006	1.50	1.80			.104	.130	.156	208	260	312	416	520					
.008	2.00	2.40						208	278	347	416	555	694	832			
.010	2.50	3.00						260	347	434	521	694	868	1.04	1.39		
.012	3.00	3.60							416	521	625	833	1.04	1.25	1.67	2.08	
.015	3.75	4.50								.781	1.04	1.30	1.56	2.08	2.60	3.12	
.018	4.50	5.40									1.25	1.56	1.87	2.50	3.12	3.75	
.020	5.00	6.00									1.39	1.74	2.08	2.78	3.47	4.16	5.55
.022	5.50	6.60										1.91	2.29	3.05	3.81	4.58	6.11
.025	6.25	7.50											2.60	3.47	4.34	5.21	6.94
.028	7.00	8.40												3.89	4.86	5.83	7.77
.031	7.75	9.30												4.30	5.38	6.45	8.61