

APLICACIONES DE LA BIÓNICA EN PROYECTOS DE DISEÑO MECÁNICO

CAROLINA FERRER GÓMEZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2010

APLICACIONES DE LA BIÓNICA EN PROYECTOS DE DISEÑO MECÁNICO

CAROLINA FERRER GÓMEZ-200519409014

PROYECTO DE GRADO

VIVIANA OTÁLVARO GUZMÁN  
INGENIERA DE DISEÑO DE PRODUCTO  
*Asesor del proyecto*

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2010

*Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a mi madre que ha estado presente en cada paso que he dado en esta etapa de mi vida dándome fuerzas y amor.*

Agradezco a todos aquellos que con su acompañamiento y apoyo constante hicieron posible el desarrollo de este proyecto, mi familia y amigos, el jefe de carrera Jorge Restrepo, los profesores del departamento de ingeniería mecánica, el coordinador del proyecto Germán René Betancur y demás personas que siempre estuvieron presentes.

A mi asesora, Viviana Otálvaro por ayudarme incondicionalmente y entregarme sus conocimientos y su amistad.

A la naturaleza por ser mi fuente de inspiración.

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. METODOLOGÍA	18
4. MARCO TEÓRICO	20
4.1 ¿QUÉ ES LA BIÓNICA?	20
4.2 HISTORIA DE LA BIÓNICA.	21
4.3 BIÓNICA EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS MECÁNICOS	22
4.4 ANALOGÍAS	24
4.5 LOS MECANISMOS EN EL DISEÑO MECÁNICO	24
4.5.1 Mecanismos de transmisión	27
4.5.1.1 Poleas con banda	27
4.5.1.2 Ruedas de fricción	29
4.5.1.3 Engranajes con cadena	30
4.5.1.4 Tren de engranajes	32
4.5.1.5 Tornillo sinfín y rueda dentada	34
4.5.2 Relación de velocidades en los mecanismos de transmisión	36
4.5.3 Mecanismos de transformación	37
4.5.3.1 Leva	37
4.5.3.2 Piñón cremallera	39
4.5.3.3 Biela manivela	39
4.5.3.4 Tornillo de potencia	41
4.5.3.5 Tornillo tuerca	42

5. ANÁLISIS DE MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO	45
5.1 SÍNTESIS Y RELACIÓN DE FUNCIONES Y COMPONENTES DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO	45
5.2 ANÁLISIS CONCEPTUAL, CAJAS NEGRAS Y ESTRUCTURAS FUNCIONALES DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO	47
5.2.1 Polea con banda	48
5.2.2 Ruedas de fricción	49
5.2.3 Engranajes con cadena	50
5.2.4 Tren de engranajes	51
5.2.5 Tornillo sinfín y rueda dentada	52
5.2.6 Leva	53
5.2.7 Piñón cremallera	54
5.2.8 Biela manivela	55
5.2.9 Tornillo tuerca	56
6. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO EN LA NATURALEZA	57
6.1 LA POLEA Y SU REFERENTE BIOLÓGICO	57
6.1.1 Anatomía y fisiología de la mano:	57
6.1.2 Funcionamiento del mecanismo en la mano	60
6.1.3 Abstracción conceptual de la mano y sus falanges	64
6.2 EL ENGRANAJE Y LAS RUEDAS DE FRICCIÓN Y SU ANALOGÍA NATURAL	65
6.2.1 Anatomía y fisiología de la articulación trocleoartrosis del codo humano	65

6.2.2	Funcionamiento del mecanismo en la articulación trocleartrosis del codo humano	67
6.2.3	Abstracción conceptual de la articulación del codo	68
6.3	EL PIÑÓN CREMALLERA Y SU REFERENTE BIOLÓGICO	69
6.3.1	Anatomía y fisiología de la oruga	69
6.3.2	Funcionamiento del mecanismo de locomoción en la oruga	71
6.3.3	Abstracción conceptual de la oruga	73
6.4	LOS TORNILLOS Y SU REFERENTE BIOLÓGICO	74
6.4.1	Anatomía y fisiología del flagelo bacteriano	74
6.4.2	Mecanismo del movimiento flagelar	76
6.4.3	Abstracción conceptual del flagelo bacteriano	77
7.	ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE UN DEDO HUMANO	78
	CONCLUSIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA	85
	CLÁSICA	85
	INTERNET	88

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tamaño de cadenas con rodamientos. (MOTT 1995)	32
Tabla 2. Ecuaciones de los mecanismos de transmisión de potencia	37
Tabla 3. Síntesis y relación de funciones y componentes de los mecanismos	45
Tabla 4. Articulación Vs. Ángulo de desplazamiento de la falange	63

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Clasificación de los mecanismos	26
Ilustración 2. Polea con banda	27
Ilustración 3. Ruedas de fricción	29
Ilustración 4. Engranajes con cadena	31
Ilustración 5. Tren de engranajes	33
Ilustración 6. Tornillo sinfín y rueda dentada	34
Ilustración 7. Geometría de la rosca en tornillo sinfín	35
Ilustración 8. Leva	38
Ilustración 9. Piñón cremallera	39
Ilustración 10. Biela manivela	40
Ilustración 11. Tipos de roscas para tornillos de potencia	42
Ilustración 12. Tornillo y tuerca	43
Ilustración 13. Tipos de roscas de tornillo tuerca	44
Ilustración 14. Caja negra de mecanismo de poleas con banda	48
Ilustración 15. Estructura funcional de mecanismo de poleas con banda	48
Ilustración 16. Caja negra de mecanismo de ruedas de fricción	49
Ilustración 17. Estructura funcional de mecanismo de ruedas de fricción	49
Ilustración 18. Caja negra de mecanismo de engranajes con cadena	50
Ilustración 19. Estructura funcional de mecanismo de engranajes con cadena	50
Ilustración 20. Caja negra de mecanismo de tren de engranajes	51
Ilustración 21. Estructura funcional de mecanismo de tren de engranajes	51
Ilustración 22. Caja negra de mecanismo de tornillo sinfín y rueda dentada	52
Ilustración 23. Estructura funcional de mecanismo de tornillo sinfín y rueda dentada	52
Ilustración 24. Caja negra de mecanismo de leva	53
Ilustración 25. Estructura funcional de mecanismo de leva	53
Ilustración 26. Caja negra de mecanismo de piñón cremallera	54

Ilustración 27. Estructura funcional de mecanismo de piñón cremallera	54
Ilustración 28. Caja negra de mecanismo de biela manivela	55
Ilustración 29. Estructura funcional de mecanismo de biela manivela	55
Ilustración 30. Caja negra de mecanismo de tornillo tuerca	56
Ilustración 31. Estructura funcional de mecanismo de tornillo tuerca	56
Ilustración 32. Las poleas anulares	59
Ilustración 33. Diagrama de cuerpo libre de un dedo humano	62
Ilustración 34. Ángulo vs. Fuerza en las articulaciones de un dedo humano	64
Ilustración 35. Articulación trocleoartrosis del codo humano	66
Ilustración 36. Mecanismo de piñón cremallera	69
Ilustración 37. Oruga en su hábitat natural	70
Ilustración 38. Esquema de una oruga de lepidóptero	70
Ilustración 39. Principio funcional de la locomoción de la oruga	73
Ilustración 40. Fisiología del flagelo bacteriano	75
Ilustración 41. Mecanismos de locomoción del flagelo en las bacterias	76
Ilustración 42. Esfuerzos de Von Mises en $t= 45$ s	80
Ilustración 43. Esfuerzos de Von Mises en $t= 3$ s	80
Ilustración 44. Esfuerzos de Von Mises en $t= 74$ s	81
Ilustración 45. Esfuerzos de Von Mises en $t= 59$ s	81
Ilustración 46. Esfuerzos de Von Mises en $t= 90$ s	82
Ilustración 47. Esfuerzos de Von Mises en $t= 99$ s	82

## 1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de diseño mecánico durante su ejecución atraviesan por una fase conceptual, donde a partir de los requisitos del proyecto deben generarse uno o varios conjuntos de principios que interactúen sinérgicamente formando soluciones alternativas al problema de diseño.

Los métodos de creatividad para encontrar principios de solución son variados y la selección del método más adecuado depende del problema en cuestión. Entre estos métodos se encuentran las analogías directas con la naturaleza, la fisiología y la biología que son ricas en ideas, principios y soluciones directamente transferidos para resolver problemas de proyectos de diseño de artefactos y máquinas.

Por medio de la biónica se analizan los sistemas naturales con el objetivo de identificar principios de solución, que debidamente adaptados, puedan contribuir a solucionar problemas técnicos. Esas adaptaciones permiten crear formas, comportamientos o funciones análogas.

La vida en nuestro planeta es el resultado de los procesos de evolución y de selección natural que se desarrollan hace más de tres billones de años. En la lucha por la supervivencia, los organismos mas adaptados a las condiciones del medio tienen mayores opciones de sobrevivir. Sucesivamente las características que resultan en eficiencia y funcionalidad pasan para las generaciones siguientes. Así, los seres que no poseen esas características tienden a desaparecer.

La naturaleza posee millones de años de experiencia en la creación y adecuación de formas, mecanismos y sistemas autosuficientes y sostenibles. El hombre primitivo usó la naturaleza como fuente de inspiración para resolver sus problemas

diarios, realizando analogías basadas en los sistemas que lo rodeaban. Las primeras cabañas se asemejaban a nidos de pájaros. La punta del arpón, usado desde la edad de piedra, es semejante a los colmillos de algunos animales.

En la búsqueda de respuestas para sus problemas. El hombre puede obtener avances significativos si se vuelve a las soluciones existentes en el medio natural. Aprovechando la eficiencia y funcionalidad que la evolución ha creado en los sistemas naturales y el potencial evolutivo de esas lecciones, se puede encarar la naturaleza como fuente de inspiración consiente, capaz de ofrecer alternativas para la solución de los problemas y necesidades humanas.

Este trabajo pretende contribuir a estimular el interés por el potencial de las soluciones desarrolladas por la naturaleza durante el largo proceso de evolución, examinando la sabiduría contenida en los principios naturales y los ejemplos de su aplicación creativa en el diseño mecánico, demostrando a través de la percepción unificada de la naturaleza y de la técnica las ventajas que trae la conexión de conocimiento de diferentes áreas.

La aplicación de la biónica está fundamentada en dos actividades complementarias: la primera es la investigación básica que parte de la naturaleza, buscando interpretar fenómenos naturales, sin apuntar a aplicaciones inmediatas. El investigador intenta identificar sistemas naturales que posean características prometedoras desde el punto de vista técnico.

La segunda es la investigación aplicada en la ejecución de proyectos para lograr satisfacer las necesidades y deseos del hombre, esta actividad busca en los sistemas naturales, principios de solución que puedan contribuir para resolver esos problemas.

Para resolver problemas de diseño mecánico, se desarrollan proyectos en los que se hace un análisis cuidadoso de la situación, intentando identificar cuáles son las necesidades de los clientes o problemas existentes. El resultado de este análisis

es la definición de los requerimientos del futuro producto o servicio y las funciones que debe cumplir, esto permite que se pase a la etapa siguiente que es la búsqueda de principios de solución. Esta etapa puede darse en diferentes campos: mediante sistemas técnicos existentes, experimentación vía construcción de modelos, mediante la búsqueda de literatura y en otros medios que pueden contribuir a la localización del principio de solución deseado. Además de esas opciones, existe la posibilidad del uso de soluciones obtenidas a través de sistemas analógicos como la abstracción de sistemas naturales existentes.

En la búsqueda de soluciones en la naturaleza, se enfrentan algunas dificultades: localizar e identificar los sistemas naturales adecuados para su investigación. Buscar sistemas específicos sin excluir sistemas importantes. La obtención de informaciones sobre el asunto.

La tentativa de localizar e identificar cuáles son los sistemas naturales prometedores es un trabajo bastante arduo, debido a que el abanico de opciones ofrecido por la naturaleza es extenso. Además la falta de métodos identificados que ayuden a abstraer los principios de solución en los proyectos es una dificultad para la realización de ese trabajo.

Se puede concluir que el problema principal en la abstracción de analogías naturales en un proyecto de diseño mecánico es: cómo localizar e identificar sistemas naturales portadores de funciones o características aplicables en productos técnicos.

En el diseño mecánico es necesario desarrollar mecanismos que transmitan fuerzas y movimientos para modelar el funcionamiento de las máquinas.

El siguiente método propone una forma de analizar mecanismos biológicos capaces de transmitir movimientos y fuerzas con sistemas rígidos y mecánicos mediante cuatro elementos de análisis: forma, mecanismos, estructura y entorno.

Este método para analizar los sistemas naturales viabiliza la obtención de principios de solución eficientes en un sistema específico.

En la construcción del medio ambiente artificial, los proyectistas intentan crear formas y estructuras capaces de cumplir funciones que atiendan a las necesidades físicas y culturales del ser humano. Para atender a esas necesidades, el hombre utiliza su creatividad y conocimiento técnico para planear el flujo de materiales, energía o información en los diseños.

Tanto la creatividad como el conocimiento técnico, pueden ser multiplicados a través de la búsqueda de inspiración en la naturaleza, con el objetivo de copiar y abstraer los principios naturales para aplicarlos a soluciones tecnológicas más eficientes que las convencionales.

Comprender cómo la naturaleza consigue desarrollar sistemas tan eficientes, sin desperdiciar material o energía, y aplicar ese conocimiento en el desarrollo de proyectos de diseño de máquinas más eficientes que las habituales, proporciona un uso más sabio de los recursos naturales, con consecuencias positivas para el desarrollo tecnológico y el medio ambiente.

El número reducido de investigaciones relacionadas con la biónica, el tiempo necesario para realizar las investigaciones, y la casi ausencia de materias dedicadas a ese asunto en el área de proyectos de diseño mecánico, llevan a que el uso de la biónica en la actividad de proyectos se encuentre inexplorado.

Este trabajo pretende sistematizar el conocimiento existente sobre el tema, y demostrar las posibilidades abiertas por el uso de la biónica en proyectos de diseño mecánico; con el fin de estimular la creatividad y comprender los principios naturales y técnicos.

El estudio de la biónica en cursos de diseño mecánico permite una mejor comprensión de las posibilidades ofrecidas por la naturaleza y de la relación entre áreas de conocimiento tales como la física, la matemática y la biología.

La biónica puede contribuir en la concepción de diseños mecánicos, utilizando analogías naturales para estimular proyectistas a resolver creativamente problemas de generación de formas, establecimiento de funciones, racionalización de uso de materiales y creación de comportamientos análogos.

Este trabajo se limita a abordar las posibilidades de uso creativo de las analogías naturales relativas a los mecanismos, teniendo en cuenta las interrelaciones entre forma, función y material, ya que tanto en la naturaleza como en los diseños mecánicos difícilmente pueden ser disociados.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

El análisis funcional detallado de los mecanismos más usados en el diseño mecánico y la abstracción de principios de solución en sistemas naturales, apuntando a estimular la utilización de las analogías biónicas en el desarrollo de proyectos de diseño mecánico.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar datos referentes a investigaciones de principios existentes en la naturaleza, que tengan la posibilidad de ser aplicados en la solución de problemas técnicos mediante el uso de fuentes primarias.
- Estudiar las principales características de los mecanismos de transmisión y transformación del movimiento más usados en el diseño mecánico, clasificándolos y analizando el funcionamiento de los mismos.
- Sintetizar las funciones principales y parciales de cada uno de los mecanismos seleccionados, relacionando los componentes que los conforman.
- Investigar metodologías existentes en el área de la biónica para abstraer principios de solución desarrollados por la naturaleza, aplicables en el área de mecanismos que optimicen la eficiencia de los procesos mecánicos.

- Demostrar la eficiencia de uno de los sistemas naturales registrados mediante el análisis de elementos finitos.

### 3. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se basa en la recolección de información acerca de la biónica y sus aplicaciones en la creación de artefactos a través de la historia del hombre, se tiene previsto realizar esta investigación por medio de referencias bibliográficas.

Posteriormente se recolecta información acerca de los mecanismos usados en el diseño mecánico, analizando sus características y clasificándolos según la función principal que desempeñan.

Luego se selecciona y se documenta la información útil restringiendo el campo de acción a los mecanismos de mayor aplicación en el diseño mecánico.

En la siguiente etapa de análisis de los mecanismos seleccionados se desarrolla un análisis conceptual por medio de cajas negras y estructuras funcionales. Para esto se realiza una abstracción de la función principal y de las parciales con el fin de sintetizar y relacionar las funciones de los componentes de cada mecanismo.

La búsqueda de analogías biológicas que cumplan funciones similares a las de los mecanismos analizados, y que servirán como referentes para diseños mecánicos innovadores, se basa en metodologías aplicables desarrolladas anteriormente que analizan los seres vivos a partir de cuatro elementos básicos directamente relacionados entre sí. La forma, los mecanismos, la estructura y el entorno.

En este proyecto se estudian los sistemas vivos desde la anatomía y fisiología, enfocando la aplicación de la metodología en los aspectos de forma y mecanismos, ya que son características funcionales que pueden ser aplicables en diferentes áreas del desarrollo de artefactos mecánicos. Una vez examinados los

referentes biológicos encontrados, se abstrae un principio de solución análogo a uno o varios de los mecanismos y se comparan entre sí.

El registro de las investigaciones, surgirá de la comparación de algunos principios existentes en la naturaleza con algunos que han sido utilizados en la técnica, y de analizar los principales procedimientos para la aplicación de la biónica en proyectos de diseño mecánico.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ¿QUÉ ES LA BIÓNICA?

La biónica es una rama reciente de la ingeniería que aplica los principios de la organización de los organismos vivos a la solución de los problemas de ingeniería. Específicamente estudia los seres vivos como prototipos en la investigación de la teoría y tecnología de la información.

El término biónica, fue acuñado por Jack E. Steele en 1960, quien lo empleó como denominación de un simposio que reunió a científicos de los siguientes campos del conocimiento: biología, medicina, fisiología, neurología, neurofisiología, psicología, física, electrónica, química, matemáticas, lógica e ingeniería.

El término biónica no proviene de la fusión de la biología y electrónica, sino que tiene su origen en una palabra griega que significa unidad viviente, precisamente porque el tema primordial de estudio de la biónica es el funcionamiento de un organismo antes que sus particularidades anatómicas.

Según otras definiciones, la biónica tiende a interpretar el fenómeno de la vida como un caso particular de sistema autoorganizado, concepto que proviene de la cibernética. De allí se han derivado todos aquellos dispositivos electromecánicos constituidos para imitar los comportamientos y reacciones de un ser vivo.

La mayor parte de las criaturas vivientes en nuestro planeta son producto de más de 2 mil millones años de evolución. Muchos investigadores de varias disciplinas aprovechan esta enorme experiencia evolutiva estudiando a los seres vivos o partes de éstos con el objeto de desarrollar sistemas análogos de utilidad para la sociedad; ya sea industrial, comercial, organizacional o en el área de la salud.

## 4.2 HISTORIA DE LA BIÓNICA.

“Como disciplina científica, la biónica nació de la necesidad común que ingenieros y biólogos, principalmente, tuvieron a la hora de resolver problemas que afectaban conjuntamente a sus tareas respectivas, aunque cabe entender que el tema a que se refiere ha interesado al hombre durante cientos de años, antes de su aparición formal.” (SEGRERA, 1999)

La biónica ha existido sin nombrarla así, desde el principio de la historia del ser humano, con la creación de herramientas o de artefactos que lo ayudan a desempeñarse mejor en su ambiente, supliendo así las necesidades básicas de alimentación y refugio, el hombre creó cuchillos, arpones, sistemas de riego, etc. En estos casos se puede evidenciar el uso de ideas tomadas de la naturaleza.

En el siglo XV, el gran genio italiano Leonardo Davinci por medio de la observación científica rigurosa y la documentación, empleó la naturaleza como fuente de sus proyectos y dibujos. Sus estudios anatómicos se adelantaron en gran medida a su época. Sus disecciones y comparaciones de los seres humanos y de otros animales le permitieron deducir importantes conclusiones. Además, mediante el estudio del vuelo de los pájaros, diseñó máquinas voladoras, helicópteros y un planeador. También barcos con un claro referente biológico, diseñó el primer robot conocido en la historia, basado en la anatomía humana y un submarino que llevó a planos pero que nunca desarrolló.

Adelantando en la historia, se encuentra el arquitecto inglés del siglo XIX Sir Joseph Paxton que para diseñar la cubierta del Crystal Palace en Hyde Park se basó en un nenúfar sudamericano, cuyas delicadas hojas de hasta 2 metros de diámetro podían soportar 90 kg. de peso gracias a un sistema de nervaduras que poseía el reverso de las hojas.

En 1935 el inventor Percy Shaw creó los reflectores de ojo de gato tras descubrir que estos felinos poseen un sistema de células que reflejan el más mínimo rayo de luz. En 1948 aparece otro de los grandes inventos biónicos: el velcro, que surgió tras una observación del ingeniero suizo George de Mestral quien analizó como los ganchos de las semillas se agarraban al pelo de su perro.

Haciendo un salto a la actualidad, aparece el italiano Carmelo Di Bartolo, diseñador industrial especialista en biónica, quien se basa en el análisis de las formas y mecanismos presentes en la naturaleza y sus posibles aplicaciones en el ámbito del diseño.

La biónica es tan antigua como el hombre, ya que consciente o inconscientemente la hemos usado desde la prehistoria hasta nuestros días.

#### 4.3 BIÓNICA EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS MECÁNICOS

Durante la última década, el oficio del diseñador ha aumentado considerablemente. Si nos fijamos en el caso de Leonardo Da Vinci, parece evidente que la biónica tendría que aportar al diseñador de hoy día un método de creatividad basado en la verificación de la eficiencia de los sistemas naturales. A causa de sus soluciones, a menudo inesperadas, la naturaleza esconde riquezas que los diseñadores están bien tentados de asimilar a sus diseños.

En el campo del diseño y en el desarrollo de productos industriales las formas orgánicas de los seres vivos han servido como modelos de estudio y desarrollo estético formal para aplicarlos a configuraciones completas de artefactos, que frecuentemente no tienen nada que ver con la naturaleza de las funciones a cumplir, o reflejar la conexión consecuente particular con la tecnología aplicada.

Inicialmente estas bioformas se generaron mediante la adaptación estrecha que tienen éstas a la morfología humana, en especial las sillas de montar, pedales, pulsores, manijas, teclas, auriculares y todo aquel dispositivo que entra en contacto estrecho con las extremidades humanas.

Algunos ejemplos sobre la aplicación de criterios biónicos en el campo de la ingeniería y del diseño son los siguientes: el paralelismo existente entre las funciones de las máquinas calculadoras y las del sistema nervioso del hombre; los sistemas de detección aérea o submarina denominados radar o sonar, deducidos de los que poseen los murciélagos y los delfines; la regla para curvas variables que se dedujo a partir del estudio del esqueleto de una serpiente.

Sistemas, aparatos e instrumentos como la propulsión a chorro, las incubadoras, el submarino, la respiración subacuática, los termómetros, el velcro, la electricidad y la iluminación son otros ejemplos de los tantos que la humanidad ha tomado de la naturaleza para construir su ambiente artificial. En la actualidad se continúan realizando investigaciones y aplicaciones en la inteligencia artificial, implantes protésicos y dispositivos de la nanotecnología.

De los sistemas de propulsión, reproducción y defensa de los animales pueden derivarse tanto conclusiones antropológicas como antropomórficas. Sobre las técnicas de transporte diseñadas por el hombre podrían incidir el estudio del reptar de las serpientes, el vuelo de las aves e insectos y el nado de los animales acuáticos.

Los fines últimos de las lecciones que nos brinda el mundo vivo es su adaptabilidad al cambio, en la búsqueda y reproducción de sistemas, técnicas y dispositivos de la flora y la fauna, incluyendo el mundo microcelular, y de este modo desarrollar mecanismos artificiales más eficientes.

#### 4.4 ANALOGÍAS

Las analogías comparan o relacionan dos o más objetos o experiencias, apreciando y señalando características generales y particulares, generando razonamientos y conductas basándose en la existencia de las semejanzas entre unos y otros.

En diversas metodologías de proyecto para el diseño de productos se evidencia que es importante el uso de herramientas de apoyo a la creatividad, para encontrar soluciones a los problemas basándose en principios existentes.

Por lo general, los diseñadores más creativos usan con frecuencia la analogía directa con la naturaleza, para encontrar soluciones de concepción y construcción de instrumentos o equipamientos de ingeniería. La biología es rica en ideas, principios y soluciones que pueden ser transferidos para solucionar problemas de proyecto de productos.

#### 4.5 LOS MECANISMOS EN EL DISEÑO MECÁNICO

El diseño de elementos mecánicos es parte integral del campo del diseño mecánico, el cual busca satisfacer una necesidad particular del ingeniero o diseñador. Sin embargo, para examinar cada uno de los mecanismos que conforman un sistema mecánico se deben tener en cuenta una serie de funciones y relaciones entre ellos para conformar un todo llamado máquina. Algunos de estos aspectos son el estudio de su estructura, cinemática y dinámica. Estas cuestiones sirven como base para el análisis y prestan gran ayuda en el diseño de nuevas máquinas.

El objetivo final del diseño mecánico es producir un dispositivo de utilidad que sea seguro, eficiente y práctico. Para esto es importante definir funciones y especificaciones del diseño, tanto para el dispositivo en general como para los componentes que interactúan entre sí.

“Un mecanismo es un sistema de cuerpos creado artificialmente y destinado a transformar el movimiento de uno o varios cuerpos en el movimiento que se requiere imprimir a otros”. (BARÁNOV 1979).

Los mecanismos que se encuentran actualmente en explotación en el diseño mecánico son muy diversos, tanto por su construcción como por su destino. Debido al extenso abanico de elementos ha sido necesario elegir y luego clasificarlos según el tipo de función principal que cumplen. Ver Ilustración 1



#### 4.5.1 Mecanismos de transmisión

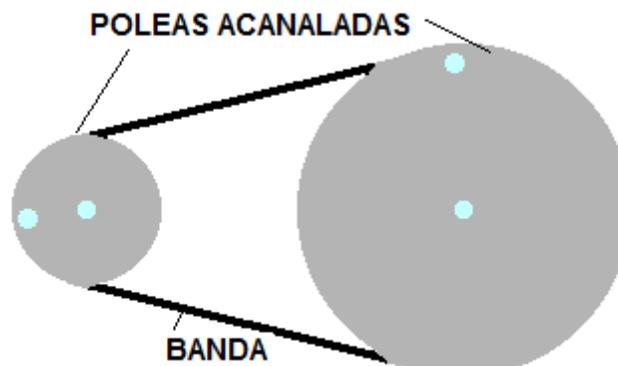
A continuación se hará una descripción detallada de cada uno de los mecanismos de transmisión y transformación de movimiento seleccionados.

##### 4.5.1.1 Poleas con banda

El mecanismo de poleas con banda (Ver Ilustración 2), al igual que los engranajes con cadena son transmisores de potencia flexibles y versátiles.

Esta combinación de poleas y banda se utilizan donde las velocidades de giro son relativamente altas, como en la primera fase de reducción mediante un motor; allí se monta la polea más pequeña en la flecha de alta velocidad y la de mayor se monta en la maquina que es impulsada. Producen niveles de sonido bajos en comparación con otros sistemas de transmisión y no requieren lubricación. Debido a que no hay contacto metal a metal entre las unidades de conducción y las conducidas, se da un aislamiento eléctrico.

Ilustración 2. Polea con banda



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Las poleas para correas o bandas pueden construirse con fundición gris, fundición de acero, acero, metales ligeros, madera y materiales sintéticos; quedando a disposición del diseñador la elección del material dependiendo de las velocidades

a las que se someterá el sistema. El más usado es la fundición gris, la cual debe ser tenaz y compacta para evitar el desgaste prematuro de la banda. Generalmente la superficie de trabajo de la polea debe mecanizarse lo más pulcramente posible para aumentar la eficiencia y el periodo de vida útil del mecanismo.

La cuestión del peso de la polea debe equilibrarse estática y dinámicamente. Para impulsores irregulares por ejemplo deben usarse poleas con suficiente masa para igualar las variaciones de energía y proteger a las correas de sobrecargas.

La banda es un elemento flexible capaz de transmitir potencia, está ajustada sobre el conjunto de poleas acanaladas y se diseña de manera que gire alrededor de las dos poleas sin deslizarse. Cuando se transmite potencia, la fricción provoca que la banda se adhiera a la polea impulsora. La fuerza de tracción que se genera en la banda ejerce una fuerza tangencial sobre la polea que es impulsada y por consecuencia se aplica un torque a la flecha que es impulsada.

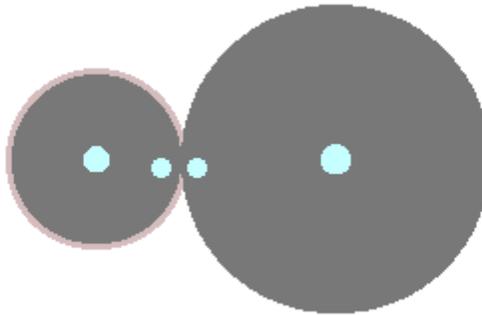
Existen varios tipos de bandas, entre los cuales están:

- Bandas planas: Se fabrican con piel o tela cubierta con hule. Se usa en máquinas delicadas, ya que la banda se desliza si el torque se incrementa a altos niveles.
- Bandas dentadas: Se desplazan sobre poleas provistas de ranuras con las que enlazan los dientes en el asiento de la banda. Usando este tipo de bandas se generan tensiones por los esfuerzos de tracción en los dientes.
- Bandas en V: Son las más usadas en la industria, sobretodo en impulsores industriales y aplicaciones en vehículos. La forma en v se inserta apretadamente en la ranura de la polea, lo que aumenta la fricción y permite transmitir torques de magnitud considerable sin que ocurra deslizamiento.

#### 4.5.1.2 Ruedas de fricción

Este mecanismo de transmisión circular consiste en dos o más ruedas que se tocan entre sí montadas sobre ejes paralelos, de modo que, mediante la fuerza que produce el rozamiento entre ambas, es posible transmitir la potencia entre los ejes, modificando la velocidad y el sentido de giro del movimiento circular. Ver Ilustración 3.

Ilustración 3. Ruedas de fricción



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Este sistema se usa para transmitir potencias relativamente bajas ya que puede ocurrir deslizamiento entre las superficies de las ruedas y esto genera pérdidas de velocidad. El uso continuo lleva al desgaste de las ruedas, a pesar de que las ruedas están revestidas de un material con bajo coeficiente de rozamiento. Sin embargo, presenta dos claras ventajas. Por una parte el bajo costo que supone la fabricación del mecanismo y, por otro lado, es un mecanismo que ocupa poco espacio ya que los árboles de transmisión de ambas ruedas deben estar muy cercanos.

Existen varios tipos de mecanismos de ruedas de fricción:

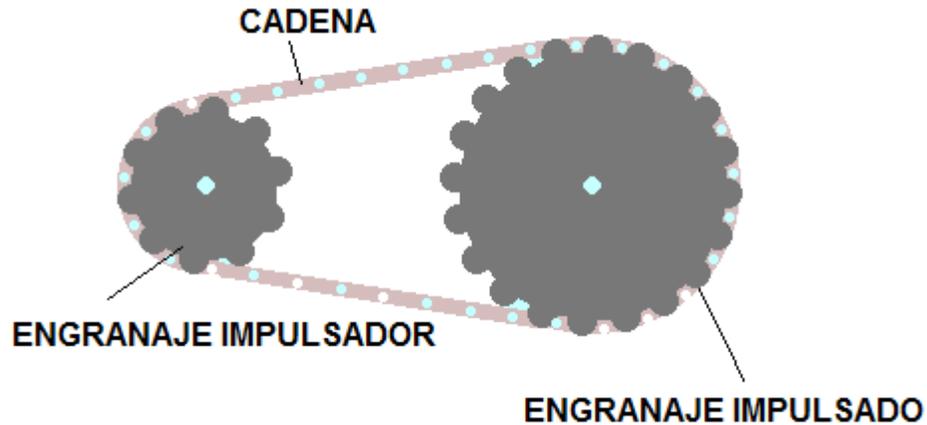
- Ruedas de fricción exteriores: Tienen forma cilíndrica. En ellas, el contacto se produce entre sus superficies exteriores. Giran en sentido inverso una de la otra.
- Ruedas de fricción interiores: también de forma cilíndrica, el contacto se produce entre la superficie interior de la rueda mayor y la exterior de la rueda menor; ambas giran en el mismo sentido.
- Ruedas de fricción troncocónicas: Tienen forma de tronco de cono y el contacto se produce entre sus superficies laterales. Se utilizan cuando los arboles de transmisión no son paralelos. Como en el caso de las ruedas exteriores, también producen la inversión de giro.

#### 4.5.1.3 Engranajes con cadena

Las transmisiones con cadenas son mecanismos de gran versatilidad, ya que permiten flexibilidad en la localización de los elementos motrices y de la maquinaria impulsada. Se usan para transmitir potencia entre flechas que se encuentran muy separadas.

Los impulsores de cadenas se emplean a velocidades relativamente bajas (comparadas con otros mecanismos de transmisión), por esto, los eslabones de las cadenas de acero tienen una alta resistencia a esfuerzos de tracción ya que soportan fuerzas derivadas de torques de alta magnitud. Pueden usarse para cargas altas y en casos donde se deben mantener relaciones precisas de velocidad. Ver Ilustración 4.

Ilustración 4. Engranajes con cadena



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Las cadenas usadas en este tipo de mecanismos son fabricadas como una serie de eslabones que se unen mediante pernos. Para transmitir la potencia entre ejes que giran la cadena activa dos ruedas dentadas unidas a estos, una de la ruedas es la impulsora y la otra la impulsada. Ver Una de las ventajas de usar este tipo de mecanismo como transmisor de potencia es que no existe deslizamiento entre la cadena y el engranaje por lo que la relación de transmisión se mantiene constante. Sin embargo es un sistema ruidoso y necesita métodos de lubricación, entre los cuales están:

- Lubricación manual o por goteo.
- Lubricación por baño o disco.
- Lubricación por tipo de aceite.

El método de lubricación para las cadenas debe ser elegido de acuerdo a la velocidad lineal de la cadena.

La cadena de rodamientos se clasifica según su paso que es la distancia entre pernos adyacentes, se nombran con números que van del 25 al 240. Entre mayor

sea la longitud del paso mayor es la resistencia promedio al esfuerzo de tracción.  
Ver Tabla 1

Tabla 1. Tamaño de cadenas con rodamientos. (MOTT 1995)

<b>Número de cadena</b>	<b>Paso (pulgadas)</b>	<b>Resistencia promedio al esfuerzo de tracción (lb)</b>
25	1/4	925
35	3/8	2100
41	1/2	2000
40	1/2	3700
50	5/8	6100
60	3/4	8500
80	1	14500
100	1 1/4	24000
120	1 1/2	34000
140	1 3/4	46000
160	2	58000
180	2 1/4	80000
200	2 1/2	95000
240	3	130000

fuelle: MOTT @ 1995

#### 4.5.1.4 Tren de engranajes

“Un tren de engranajes es un par o más de engranajes que operan juntos para transmitir potencia”. (MOTT 1995).

Cuando se necesita transmitir un movimiento con ruedas dentadas, con frecuencia se encuentran limitaciones debido a los números de dientes de estas y su relación. Es decir, es complicado unir en una transmisión por engranaje, una rueda que tenga un pequeño número de dientes con una rueda dentada que tenga un gran número de dientes. Para obtener las relaciones de transmisión en un rango que no se salga de los límites debidos se emplean distintas variantes de trenes compuestos de varios engranajes.

Ilustración 5. Tren de engranajes



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Cada rueda gira con una velocidad angular distinta, tanto en magnitud como en dirección, por lo que deben ser calculados cuidadosamente los números de dientes de los engranes que se enlazan, tanto como sus diámetros. En cuanto al sentido de giro puede calcularse mediante la observación, teniendo en cuenta que hay un sentido inverso para cada par de engranajes. Ver Ilustración 5.

Existen trenes aumentadores o reductores de velocidad. Cuando el engranaje de entrada (el que está conectado a un eje rotatorio en movimiento) tiene una velocidad mayor que el engranaje de salida (el último que transmite la potencia y

el movimiento), se dice que es un tren reductor de velocidad. De lo contrario es un tren aumentador de velocidad.

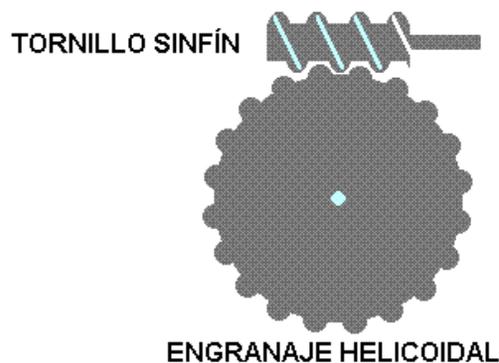
Por lo tanto al usar trenes de engranaje como mecanismos de transmisión de potencia y movimiento, se cuenta con las siguientes ventajas:

- Posibilidad de transmitir movimiento entre ejes alejados.
- Cambios del sentido del movimiento.
- Posibilidad de transmitir movimiento a varios ejes simultáneamente.
- Obtención de relaciones de transmisión no convencionales.

#### 4.5.1.5 Tornillo sinfín y rueda dentada

Cuando se desea transmitir movimiento y potencia entre flechas o ejes que no se intersecan se usan engranajes helicoidales. El mecanismo del tornillo sinfín consiste en un gusano en la flecha de alta velocidad cuyo aspecto es el de un tornillo de potencia roscado, en el que la cuerda o rosca es helicoidal. Este gusano trabaja como impulsor, transmitiendo su movimiento a un engranaje helicoidal. Ver Ilustración 6.

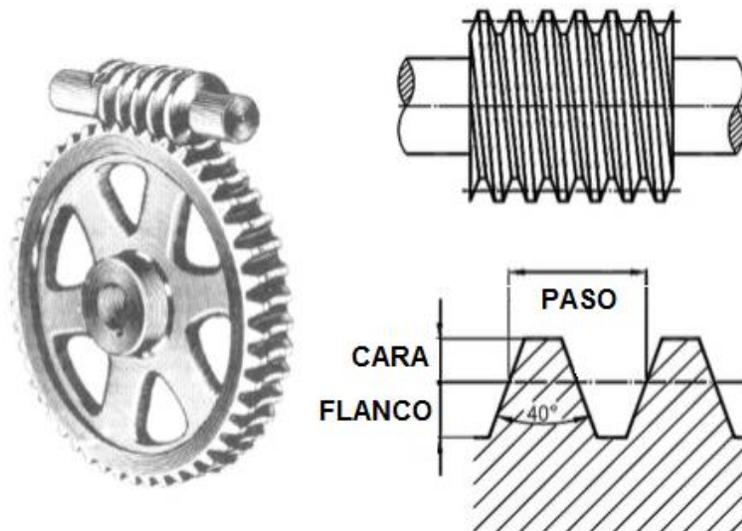
Ilustración 6. Tornillo sinfín y rueda dentada



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

El tipo de contacto entre las cuerdas de los dientes del gusano y del engranaje es un factor importante para decidir qué cantidad de potencia se puede transmitir. Cuando la zona de engrane es sólo puntiforme, es decir que el contacto ocurre en la parte superior del diente, este mecanismo no es apropiado para la transmisión de grandes esfuerzos. En contraste cuando los dientes del elemento impulsado son angostos (en tornillo sinfín envolvente simple), el contacto entre las cuerdas de los dientes del gusano y del engranaje tiene lugar a lo largo de una línea que abarca casi toda la periferia del diente (cara y flanco. Ver Ilustración 7) y la capacidad para transmitir potencia es buena.

Ilustración 7. Geometría de la rosca en tornillo sinfín



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Debido al funcionamiento del tornillo sinfín existen dos tipos de movimiento transmitidos por este mecanismo:

- Un movimiento puramente de rotación que determina el trabajo de rozamiento.
- Un movimiento progresivo en la dirección del eje de rotación que es el que impele la rueda dentada.

Cada paso del tornillo sinfín corresponde a un diente de la rueda, por cada vuelta que dé el tornillo el engranaje desplaza sólo un diente, lo que da a entender que el sistema tiene una relación de transmisión baja y que es un excelente reductor de velocidad.

#### 4.5.2 Relación de velocidades en los mecanismos de transmisión

Los mecanismos de transmisión varían las velocidades de sus componentes. Así que se pueden deducir ecuaciones que relacionan las siguientes variables:

- $n$ : velocidad de giro en revoluciones por minuto (rpm).
- $d$ : diámetro de la rueda.
- $z$ : número de dientes del engranaje.

Para diferenciar los componentes conviene usar números:

- 1: mecanismo conductor.
- 2: mecanismo conducido.

Entonces, si la velocidad de salida  $n_2$  es mayor que la de entrada  $n_1$ , se dice que el mecanismo completo es amplificador. De lo contrario, si  $n_2$  es menor que  $n_1$ , el mecanismo completo es un reductor de velocidad.

A continuación en la Tabla 2 se muestran las ecuaciones de los mecanismos de transmisión de potencia:

Tabla 2. Ecuaciones de los mecanismos de transmisión de potencia

Mecanismo de transmisión	Relación de velocidades en los componentes
Poleas con banda	$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$
Ruedas de fricción	$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$
Engranajes con cadena	$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$
Tren de engranajes	$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 = n_3 \cdot z_3$

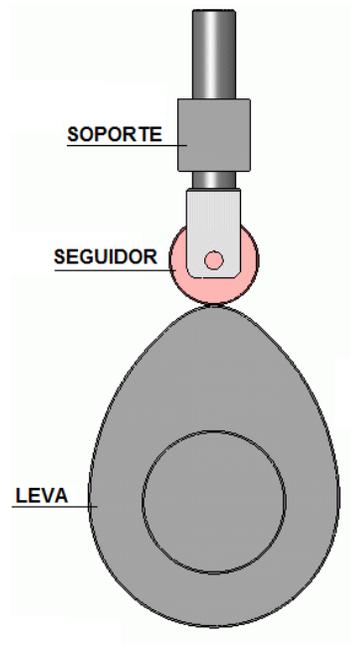
### 4.5.3 Mecanismos de transformación

#### 4.5.3.1 Leva

“Es un elemento que está animado por un movimiento simple de rotación, traslación u oscilación, y debido a su forma comunica un movimiento de características prefijadas a otra pieza llamada seguidor, que está ligada a la leva mediante un contacto deslizante o de rodadura”. (MARTELL 1976).

Un mecanismo plano de leva contiene por lo menos un par cinemático de 2 movimientos, y los 3 elementos que lo conforman (leva, seguidor y soporte), diseñados de una determinada forma, permiten obtener fácilmente la ley requerida para el movimiento del seguidor (ver Ilustración 8). Así los mecanismos de leva se usan para accionar las válvulas de un motor de combustión interna, para desconectar los contactos de un magneto, en muchos aparatos y prácticamente en todas las maquinas automáticas.

Ilustración 8. Leva



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

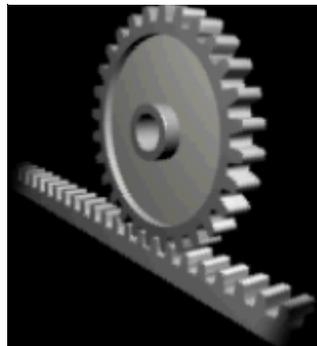
Existen diferentes tipos de levas según el carácter de movimiento de la leva y del seguidor:

- Levas de rotación: el movimiento giratorio de la leva se convierte en un movimiento rectilíneo alternativo del seguidor. cada giro representa un ciclo completo en el movimiento del seguidor.
- Levas de traslación: consiste en una placa que tiene un movimiento alternativo de traslación, conducida por una guía. Una acanaladura labrada en la placa produce el desplazamiento del seguidor.
- Levas de oscilación: el movimiento rectilíneo alternativo de la leva se transforma en un movimiento oscilante del seguidor cuya amplitud se mide con un ángulo determinado.

#### 4.5.3.2 Piñón cremallera

Este mecanismo convierte el movimiento circular de un piñón en uno lineal continuo por parte de la cremallera, que no es más que una barra rígida dentada. Este mecanismo es reversible, es decir, el movimiento rectilíneo de la cremallera se puede convertir en un movimiento circular por parte del piñón. En el primer caso, el piñón al girar y estar engranado a la cremallera la empuja provocando su desplazamiento lineal. (Ver Ilustración 9)

Ilustración 9. Piñón cremallera



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Aunque el sistema es perfectamente reversible, su utilidad práctica suele centrarse solamente en la conversión de movimiento circular en lineal continuo. Es muy usado para conseguir movimientos de precisión.

#### 4.5.3.3 Biela manivela

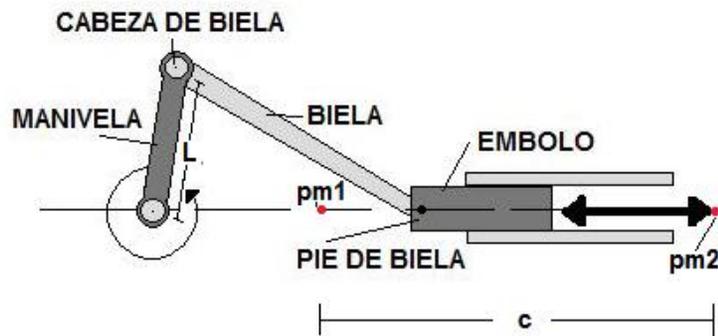
El mecanismo de biela y manivela consta de una palanca fijada a un extremo de un eje que gira alrededor de dos puntos fijos (manivela), y de una barra rígida

(biela) en la que uno de sus extremos está unido a la manivela y el otro experimenta un movimiento lineal.

Este mecanismo transforma un movimiento rectilíneo en uno rotativo en las máquinas motrices, o transforma uno rotativo en un lineal en las máquinas de trabajo, donde la energía procedente del árbol se cede a la manivela y por ende a la biela, que generalmente está conectada a otro elemento llamado embolo que realiza el movimiento lineal.

Para prevenir el desgaste en las articulaciones, entre los componentes de este sistema se colocan unos cojinetes de fricción en la cabeza y en el pie de la biela ubicados en los extremos. Ver Ilustración 10.

Ilustración 10. Biela manivela



Fuente: Propia

El mecanismo de biela-manivela posee dos posiciones extremas llamadas puntos muertos ubicados en donde el eje longitudinal del brazo de la manivela y el de la biela coinciden. El punto muerto superior (pm1) el que está a mayor distancia del eje de la manivela y punto muerto inferior (pm2) el que está más próximo. La distancia entre el pm1 y el pm2 se llama carrera ( $c$ ).

El acoplamiento biela manivela puede ser centrado o descentrado, dependiendo de la distancia entre el punto muerto uno (pm1) y el punto muerto dos (pm2). Si  $c$

es igual a dos veces la longitud de la manivela, el mecanismo es centrado. Si esto no se cumple, se dice que el sistema es descentrado.

#### 4.5.3.4 Tornillo de potencia

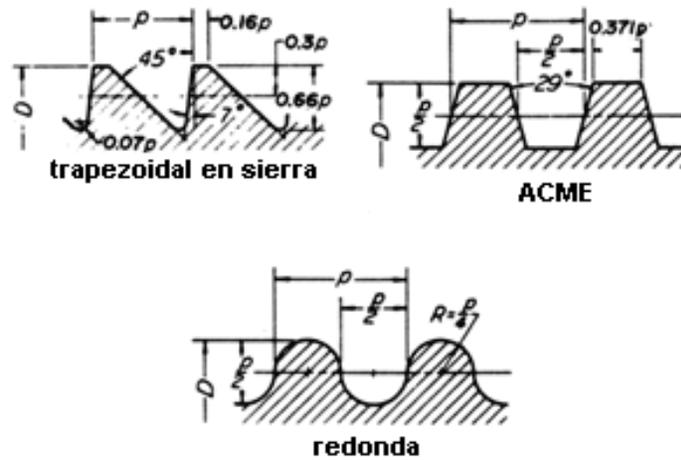
Los tornillos de potencia son actuadores lineales que convierten el movimiento giratorio en movimiento lineal en forma suave y uniforme. Gracias a esto ejercen la fuerza necesaria para mover una pieza de una máquina a lo largo de una trayectoria deseada.

La forma de la rosca en los tornillos de movimiento es un factor importante al diseñar, ya que de ésta depende el valor de la resistencia por rozamiento. Existen diferentes tipos de roscas o cuerdas (ver Ilustración 11):

- Trapezoidales: recomendables cuando la fuerza debe transmitirse en un sólo sentido, ya que están diseñadas para resistir cargas en una sola dimensión. Son de fácil fabricación y tienen una sección amplia en la base lo que las hace muy resistentes.
- ACME: fueron el primer tipo de roscas usadas en tornillos de potencia. Es fácil de maquinar. Se crearon para usarlas en máquinas herramientas.
- Redondas: se aplica a las roscas bastas en las que son de esperar oxidaciones, suciedades y mutilaciones. Los tornillos con este tipo de rosca son los más eficientes en cuanto a fricción por deslizamiento pero tienen ventaja mecánica baja. Es difícil de maquinar.

Los tornillos de potencia se usan en gatos para automóviles, tornillos de avance en tornos (husillo), prensas tipo tornillo, vástagos de válvula, etc.

Ilustración 11. Tipos de roscas para tornillos de potencia

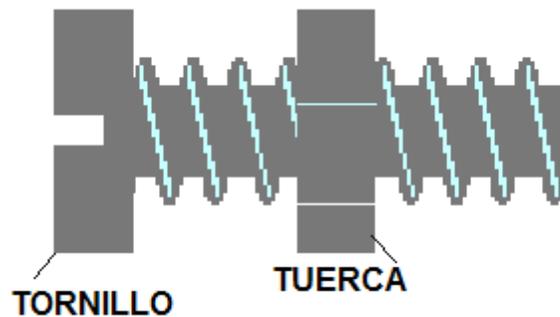


Fuente: Pontificia Universidad católica de Chile @ 2010

#### 4.5.3.5 Tornillo tuerca

“Un perno es un afianzador provisto de cuerda que se diseña de manera que pase a través de orificios en las piezas que se enlazan y se asegure al apretar una tuerca desde el extremo opuesto a la cabeza del perno”. (MOTT 1995)

Ilustración 12. Tornillo y tuerca



Fuente: EDUCAMADRID @ 2010

Un mecanismo de tornillo tuerca sirve para unir o tensar elementos de máquinas que requieran de conexiones que puedan desensamblarse. Además en máquinas sujetas a vibraciones debe usarse este tipo de unión de modo que no cause sacudidas (Ver Ilustración 12 ).

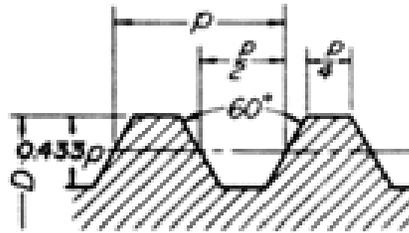
Además del tornillo y la tuerca, en ocasiones este sistema consta de otros componentes llamados roldanas o arandelas, que distribuyen la carga de afianzamiento sobre un área extensa y proporcionan una superficie de apoyo para el giro relativo de la tuerca. Estas por lo general son discos planos con un orificio a través del cual pasa el perno, pero su forma puede cambiar de acuerdo a las especificaciones del diseño.

Los materiales y formas de las tuercas difieren tanto como el tipo de aplicaciones especiales de las mismas. En contraste, los tornillos siempre son cilindros roscados con cabezas alargadas que se apoyan sobre la parte que se va a afianzar. Los tipos de roscas que se usan en tornillos sujetadores son (Ver Ilustración 13):

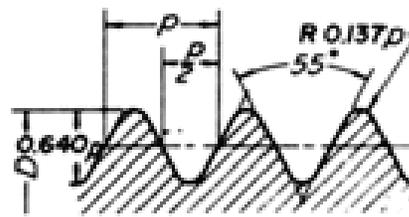
- Sellers: es una modificación de la rosca más antigua (rosca en v), que reemplazó las crestas y raíces agudas con superficies planas, aliviando las grandes concentraciones de esfuerzos. La forma fundamental es el triángulo equilátero con uno de los vértices truncados.

- Withworth: la cresta y la raíz están redondeadas, la forma fundamental es el triángulo isósceles con un ángulo de  $55^\circ$  entre flancos.

Ilustración 13. Tipos de roscas de tornillo tuerca



**sellers**



**whitworth**

Fuente: Pontificia Universidad de Chile @ 2010

## 5. ANÁLISIS DE MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO

El análisis de los mecanismos de transmisión y transformación del movimiento en este proyecto se basa en estudiar las funciones que estos desempeñan en las máquinas, herramientas o artefactos. Por ende primero se relacionan los componentes de cada mecanismo y se describe en pocas palabras su funcionamiento. Luego se procede con un análisis conceptual de cada uno, esquematizando cajas negras y estructuras funcionales.

### 5.1 SÍNTESIS Y RELACIÓN DE FUNCIONES Y COMPONENTES DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO

A continuación en la Tabla 3. Síntesis y relación de funciones y componentes de los mecanismos de transmisión y transformación del movimiento elegidos para ser analizados en este proyecto.

Tabla 3. Síntesis y relación de funciones y componentes de los mecanismos

MECANISMO	FUNCIÓN PRINCIPAL	COMPONENTES	FUNCIONAMIENTO
Poleas con banda	Transmisión circular	Banda, Ruedas acanaladas	Una de las ruedas acanaladas gira debido a la rotación de su eje. Esta polea está rodeada por una banda finita que envuelve a otra polea. La banda transmite el movimiento.
Ruedas de fricción	Transmisión circular	Dos o más ruedas, dos o más ejes paralelos	Debido a que las ruedas están en contacto se produce una fuerza de fricción cuando una de estas está girando, esto transmite el movimiento invirtiendo el sentido de giro, modificando la velocidad

MECANISMO	FUNCIÓN PRINCIPAL	COMPONENTES	FUNCIONAMIENTO
Engranajes con cadena	Transmisión circular	Cadena sin fin, dos ruedas dentadas, dos ejes	Los eslabones de la cadena engranan con los dientes de las ruedas y se genera una fuerza de empuje que transmite el movimiento manteniendo la relación de transmisión constante
Tren de engranajes	Transmisión circular	Dos o más engranajes	Uno de los engranajes está conectado con un eje que lo hace girar. Los dientes de dicho engranaje están en contacto con los dientes de un segundo engranaje, esto causa una fuerza de reacción que lo hace girar en sentido contrario. Y así sucesivamente según el número de engranajes.
Tornillo sinfín y rueda dentada	Transmisión circular	Tornillo sinfín, rueda dentada	La rosca del tornillo está conectada con un eje que lo hace girar y a su vez está engranada con los dientes de la rueda de modo que los ejes de transmisión de ambos giran en direcciones perpendiculares entre sí.
Leva	Transformación de movimiento circular a movimiento alternativo	Leva, seguidor	La leva tiene un contorno especial y está sujeta en un pivote a un eje que gira. El seguidor es tocado y empujado por la leva.
Piñón cremallera	Transformación de movimiento circular a movimiento lineal	Piñón, cremallera	Los dientes del piñón están engranados con los dientes de la cremallera, y debido a este contacto el movimiento rotacional proporcionado por el eje empotrado en el piñón se transmite a la cremallera que comienza a desplazarse linealmente.
Biela manivela	Transformación de movimiento circular a movimiento alternativo	Biela, manivela, émbolo	La manivela que está unida a un extremo de la biela le transmite a ésta una fuerza producida por su movimiento de rotación, lo que hace que el pivote del otro extremo de la biela se desplace linealmente
Tornillo tuerca	Transformación de movimiento circular a movimiento lineal	Tornillo, tuerca	El tornillo es inducido a un movimiento rotacional y está sujeto a una tuerca. Ambos componentes están roscados, el tornillo en su exterior y la tuerca en su interior. Esto transmite el movimiento a la tuerca, que es orientada hacia uno de los extremos del cilindro (tornillo) en un movimiento lineal.

## 5.2 ANÁLISIS CONCEPTUAL, CAJAS NEGRAS Y ESTRUCTURAS FUNCIONALES DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO

En el diseño mecánico existen metodologías que contribuyen en el desarrollo de artefactos y máquinas. Por lo general los primeros análisis que deben realizarse son de tipo conceptual, para definir claramente las especificaciones del proyecto y transformarlas en alternativas de conceptos para el producto.

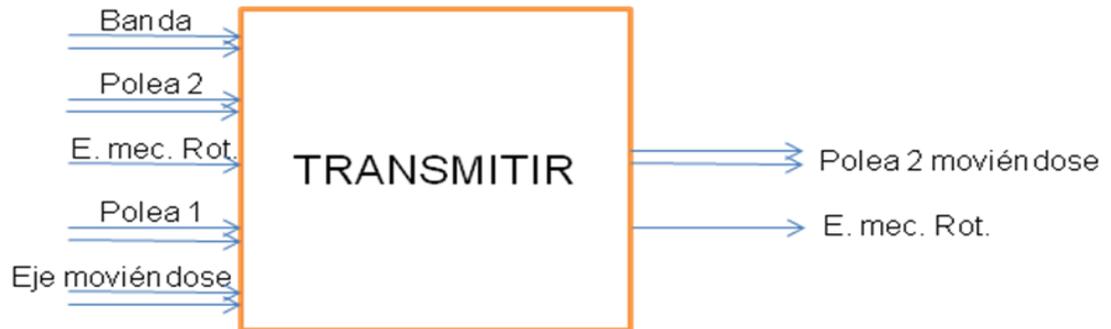
“El proyecto conceptual para el diseño mecánico consiste en generar un conjunto de principios de solución que representan el comportamiento funcional del producto.” (OGLIARI, 2007).

La fase del proyecto conceptual es esencialmente creativa y es fundamentada en la creación de sistemas técnicos o soluciones que transformen elementos de entrada (de energía, materia e información) en elementos de salida. Para conseguir este concepto y proseguir con las siguientes etapas de diseño es necesario realizar una integración de las funciones, teniendo en cuenta la función principal del artefacto y las funciones parciales que se derivan de ésta.

En esta sección se hace un análisis de los principales mecanismos de transmisión y transformación del movimiento centrándose en el despliegue de la función principal por medio de las funciones parciales.

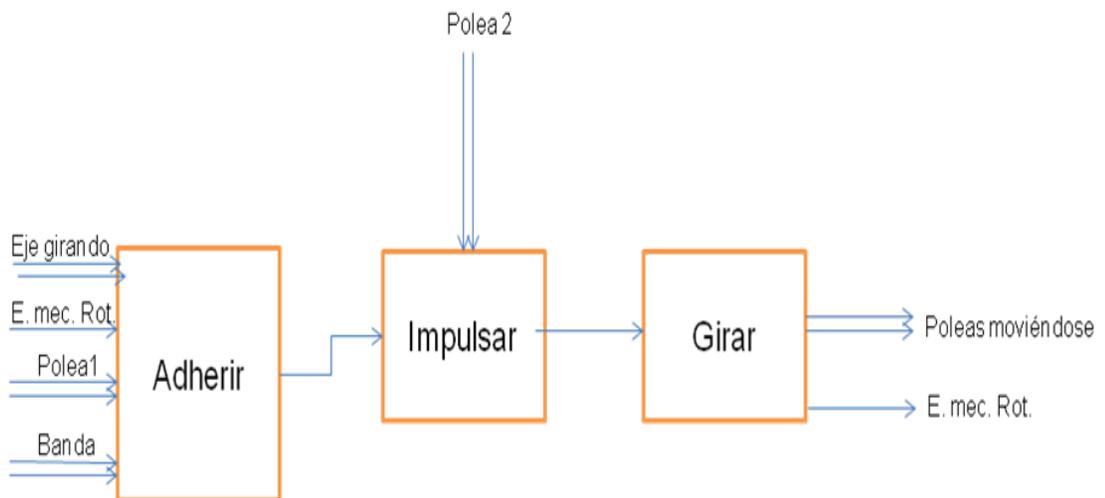
### 5.2.1 Polea con banda

Ilustración 14. Caja negra de mecanismo de poleas con banda



Fuente: Propia

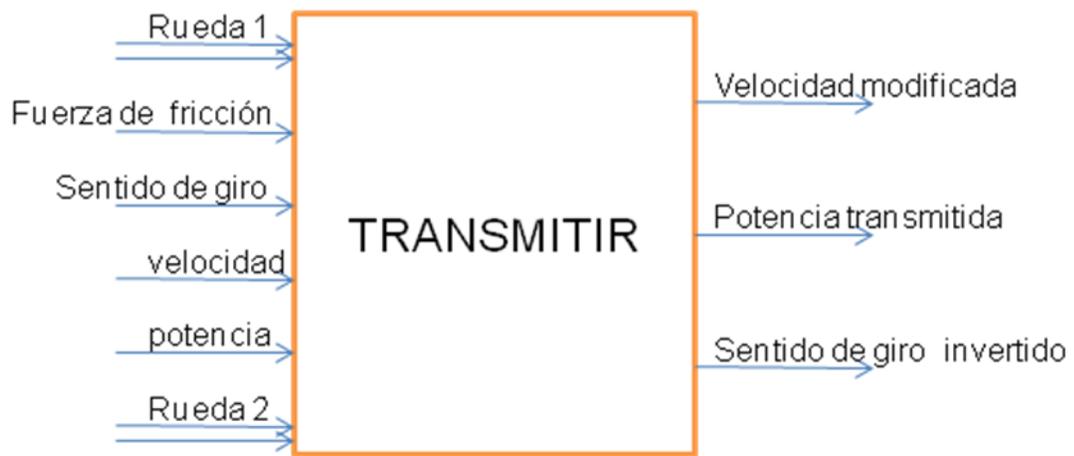
Ilustración 15. Estructura funcional de mecanismo de poleas con banda



Fuente: Propia

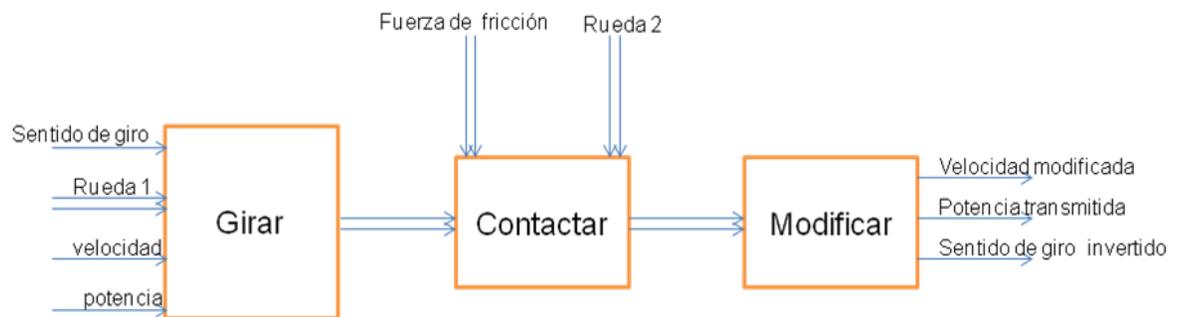
## 5.2.2 Ruedas de fricción

Ilustración 16. Caja negra de mecanismo de ruedas de fricción



Fuente: Propia

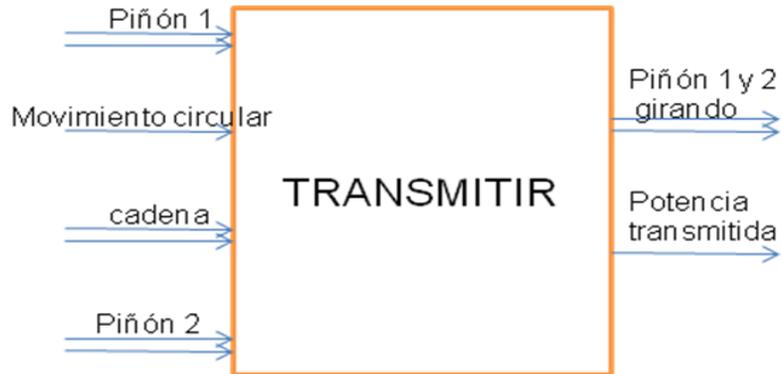
Ilustración 17. Estructura funcional de mecanismo de ruedas de fricción



Fuente: Propia

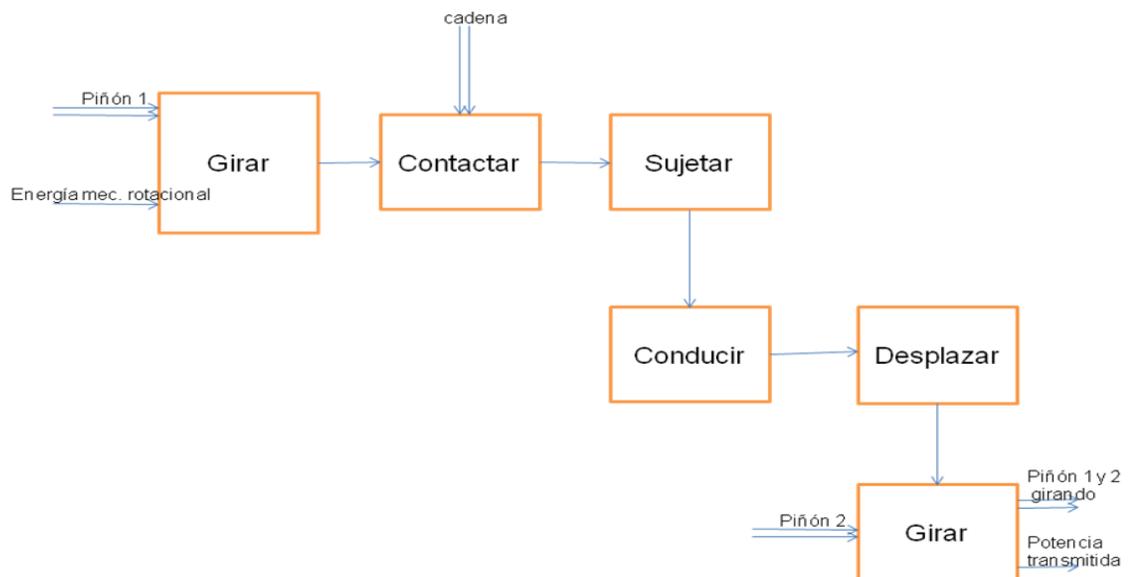
### 5.2.3 Engranajes con cadena

Ilustración 18. Caja negra de mecanismo de engranajes con cadena



Fuente: Propia

Ilustración 19. Estructura funcional de mecanismo de engranajes con cadena



Fuente: Propia

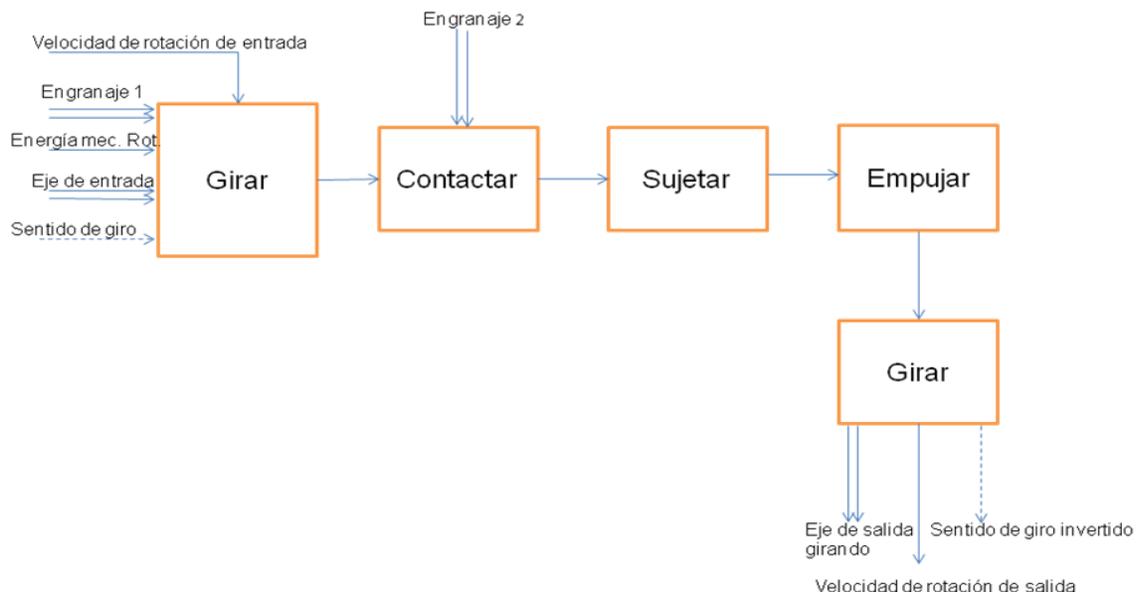
## 5.2.4 Tren de engranajes

Ilustración 20. Caja negra de mecanismo de tren de engranajes



Fuente: Propia

Ilustración 21. Estructura funcional de mecanismo de tren de engranajes



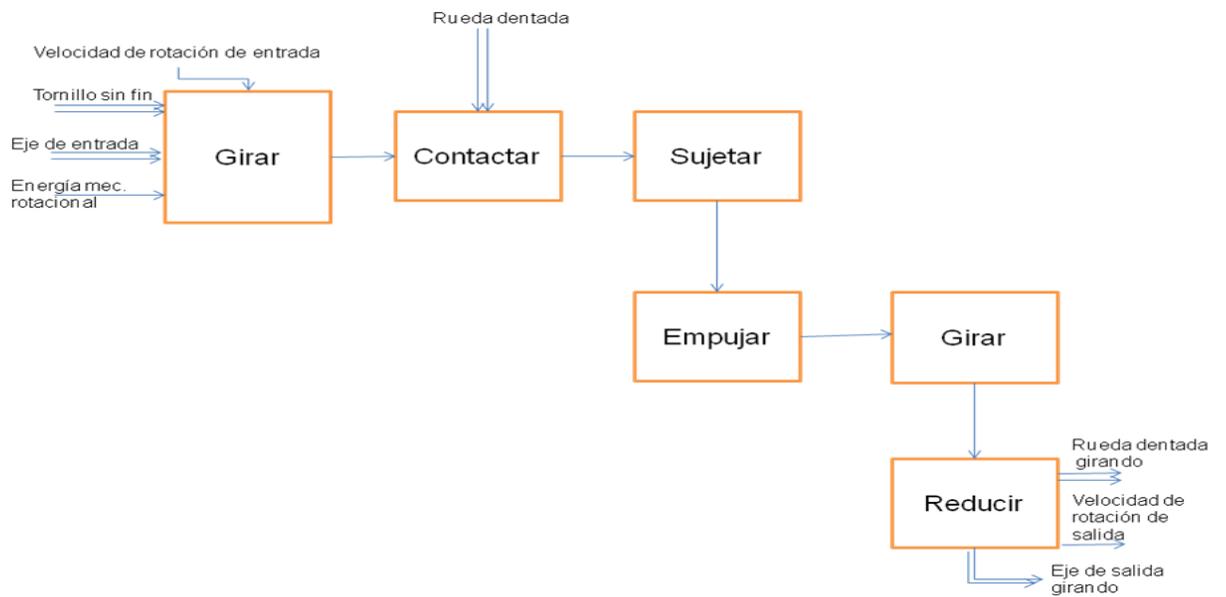
## 5.2.5 Tornillo sinfín y rueda dentada

Ilustración 22. Caja negra de mecanismo de tornillo sinfín y rueda dentada



Fuente: Propia

Ilustración 23. Estructura funcional de mecanismo de tornillo sinfín y rueda dentada



Fuente: Propia

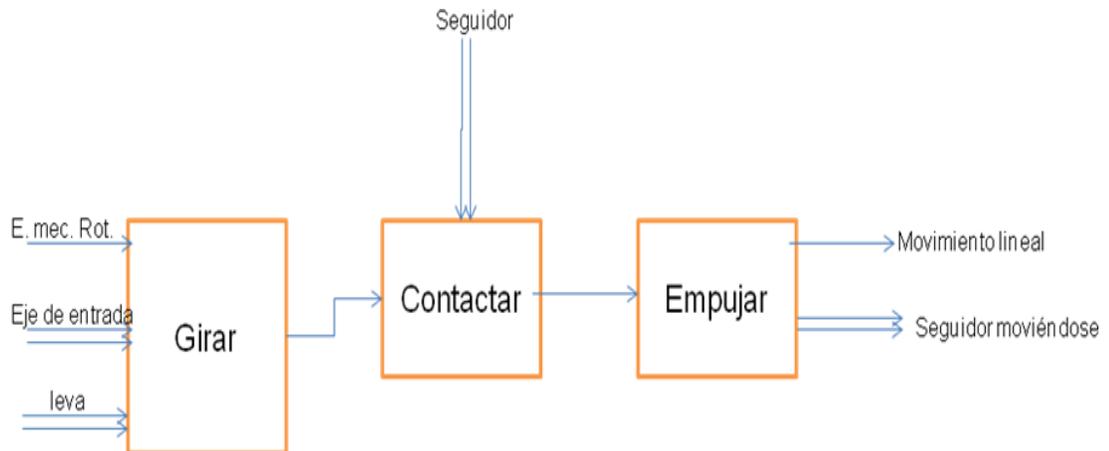
## 5.2.6 Leva

Ilustración 24. Caja negra de mecanismo de leva



Fuente: Propia

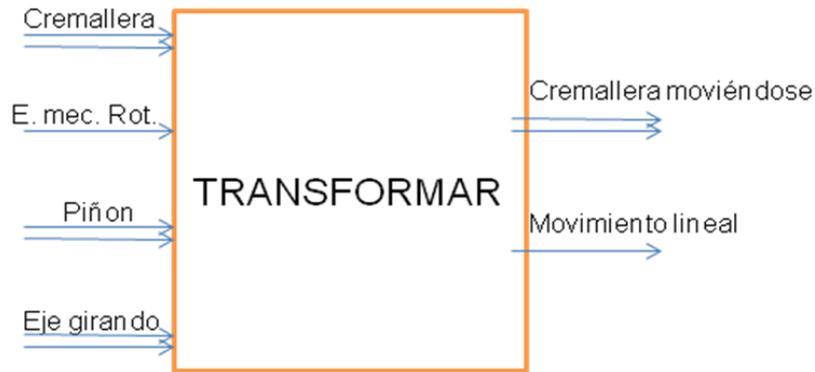
Ilustración 25. Estructura funcional de mecanismo de leva



Fuente: Propia

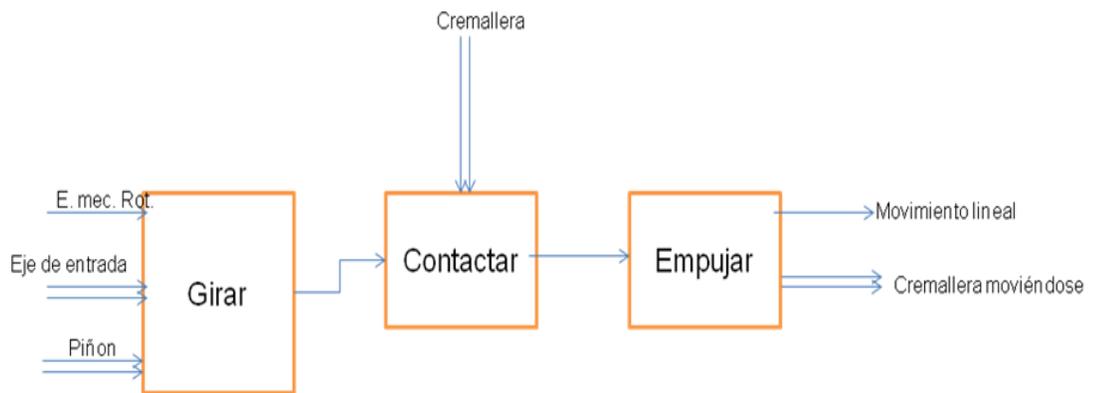
### 5.2.7 Piñón cremallera

Ilustración 26. Caja negra de mecanismo de piñón cremallera



Fuente: Propia

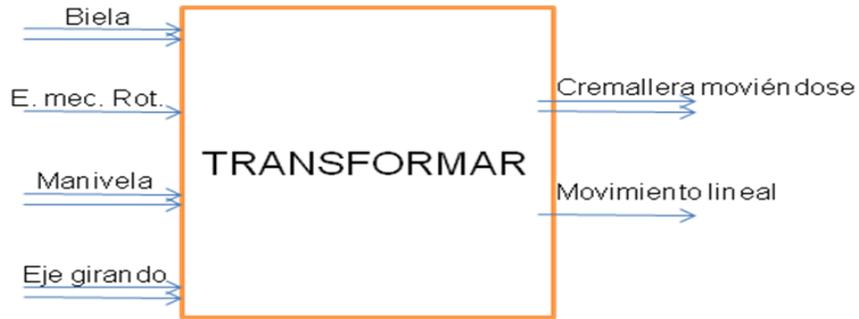
Ilustración 27. Estructura funcional de mecanismo de piñón cremallera



Fuente: Propia

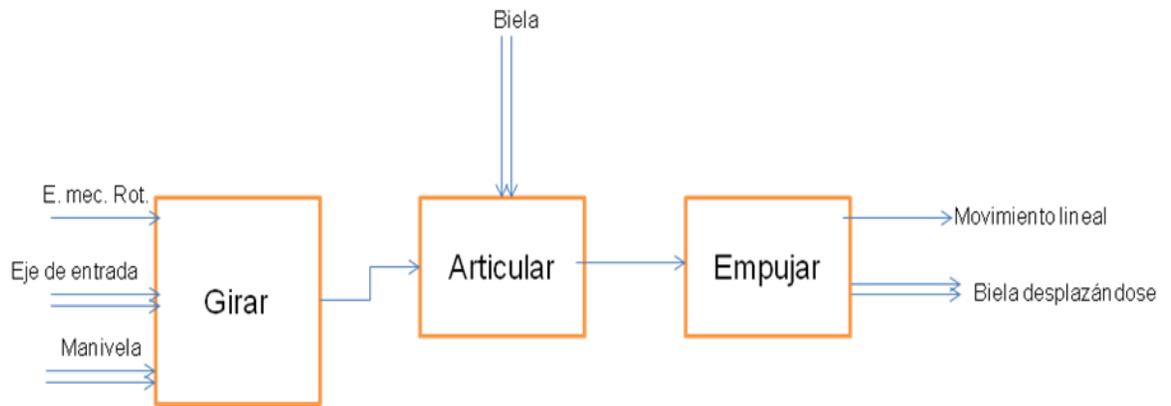
## 5.2.8 Biela manivela

Ilustración 28. Caja negra de mecanismo de biela manivela



Fuente: Propia

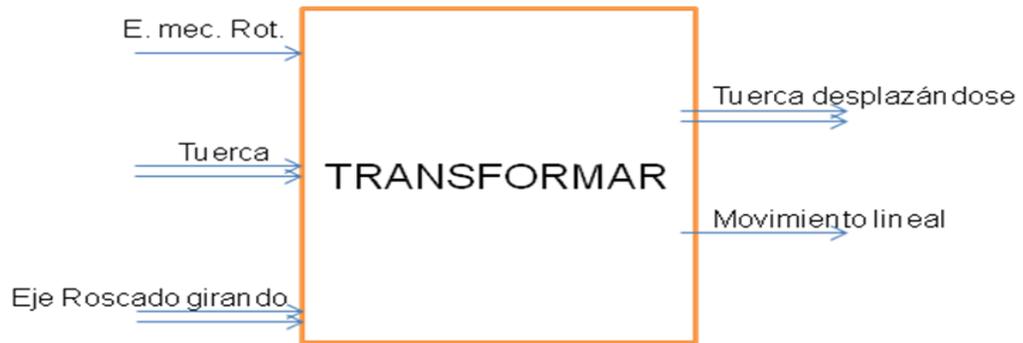
Ilustración 29. Estructura funcional de mecanismo de biela manivela



Fuente: Propia

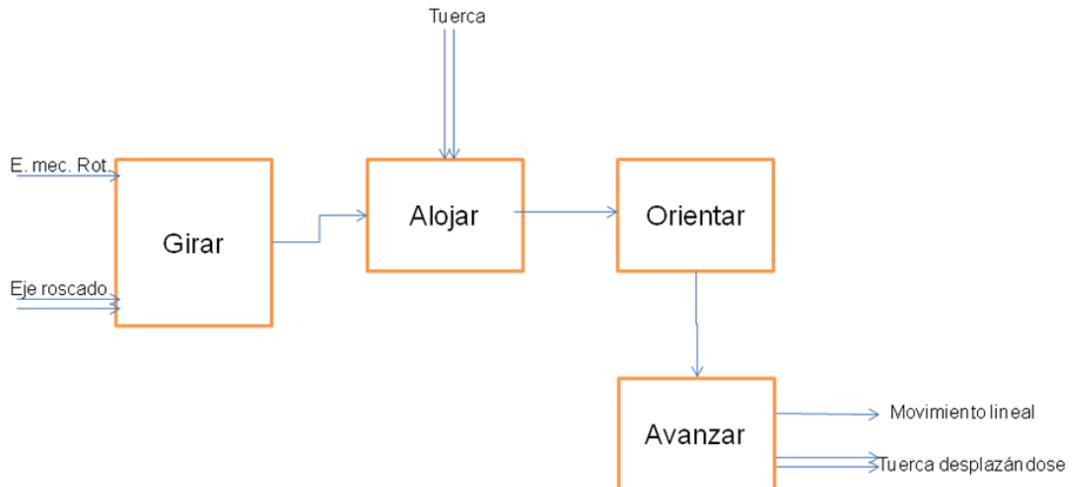
## 5.2.9 Tornillo tuerca

Ilustración 30. Caja negra de mecanismo de tornillo tuerca



Fuente: Propia

Ilustración 31. Estructura funcional de mecanismo de tornillo tuerca



Fuente: Propia

## 6. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO EN LA NATURALEZA

Al estudiar metodologías existentes en el área de la biónica para abstraer principios de solución, se decide abstraer informaciones basadas en la forma y en los mecanismos de sistemas naturales. Esto con el fin de aplicar el análisis en el área de los mecanismos más usados en el diseño mecánico

### 6.1 LA POLEA Y SU REFERENTE BIOLÓGICO

El aparato locomotor humano es el encargado de producir los movimientos en el cuerpo, este aparato está compuesto principalmente de cinco elementos esenciales:

- Los huesos
- Los músculos
- Los cartílagos
- Los tendones
- Los ligamentos

La forma, unión e interacción de estos elementos configuran las articulaciones para desde ellas generar movimiento y realizar diferentes funciones en el sistema locomotor.

#### 6.1.1 Anatomía y fisiología de la mano:

La mano cuenta con 27 huesos y carillas articulares que hacen posible en conjunto con los tendones y ligamentos, una serie de movimientos versátiles y precisos que permiten principalmente agarrar y sostener objetos, entre otros usos.

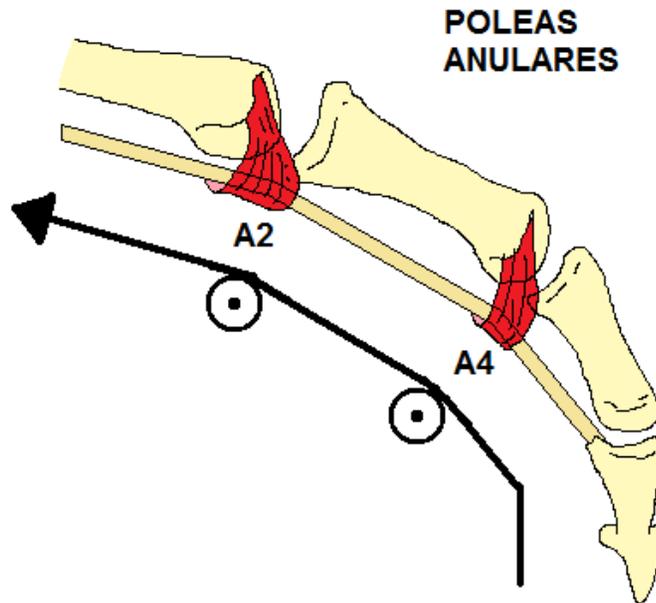
Los huesos están compuestos aproximadamente en un 70 % de materia inorgánica como fosfato de calcio, carbonato de calcio y fosfato de magnesio. A esto se debe su dureza. El resto es una mezcla de sustancias orgánicas como colágeno, elastina, material celular y grasas. Estas derivan la elasticidad del hueso.

En la mano los huesos se agrupan en cinco áreas: carpo, metacarpo, falange, falangina y falangeta. Los del carpo que conforman la articulación de la muñeca son irregularmente cuboides (con seis caras), dos de las caras son rugosas y las otras cuatro son lisas. Los demás grupos óseos son los que forman los dedos y son alargados y delgados.

Los tendones en la mano humana transmiten la energía generada por reacciones químicas ocurridas en los músculos del antebrazo. Están compuestos por colágeno, una escasa cantidad de fibras elásticas y mucopolisacaridos que forman tejidos fibrosos que se adhieren a los huesos. En zonas donde se presenta mucha fricción están encerrados en vaina sinovial que facilita el deslizamiento y lubrica.

Los tendones flexores son mantenidos en constante relación con los ejes articulares por una estructuras reticulares llamadas poleas, estas conllevan la eficacia de la flexión de los dedos. Estas poleas se clasifican en anulares y cruciformes según su forma y ubicación. Las anulares A2 ubicada en la falange y la A4 ubicada en la falangina son las más importantes biomecánicamente. (Ver Ilustración 32).

Ilustración 32. Las poleas anulares



Fuente: Propia

“La estructura de los tendones, alargada, fuerte, poco elástica, recuerda la de los cables, que suelen tener la función de transportar la fuerza generada por el motor al punto en el cual se necesita” (FUCCI, 2003).

Para que los movimientos angulares de la mano sean posibles es necesario mantener unidos los huesos, permitiendo deslizamiento y giro. De ahí que se desarrollan diferentes tipos de uniones según los grados de libertad de movimiento que el elemento óseo debe tener.

Las articulaciones de la muñeca y los dedos en la mano son las encargadas de transmitir la fuerza de un hueso a otro. Su superficie consta de un cartílago fibroso que reduce la fricción, además de estar recubiertas con líquido sinovial. Reciben el nombre de articulaciones condiloideas y permiten movimientos sobre dos ejes debido a su estructura compuesta de una superficie cóncava y otra convexa que unidas forman una elipse.

#### 6.1.2 Funcionamiento del mecanismo en la mano

Para que se pueda producir un movimiento en cualquier mecanismo es necesaria una fuerza externa que en muchos casos es producida por un motor. En el caso de la mano, la potencia se genera en los músculos de los antebrazos que se contraen al recibir un estímulo oportuno que viene desde el sistema nervioso y genera una serie de reacciones químicas capaces de llevar a la liberación de la energía acumulada excitando las fibras o miofibrillas que conforman los músculos.

Los dedos tienen confiados movimientos muy exactos, por lo que las tensiones deben ser graduadas con mucha precisión, por esto los músculos flexores, extensores y abductores del antebrazo transforman su forma y estructura a lo largo del antebrazo convirtiéndose en tendones. En la mano estos músculos se comportan como cables o líneas de fuerza y están insertados a las falanges con ligamentos.

Cuando los músculos del antebrazo se contraen, transmiten esta fuerza a los huesos por medio de los tendones, que se deslizan sobre las articulaciones y hacen que los huesos se comporten como palancas otorgando un alcance específico debido a que el segmento que cubre cada falange con sus articulaciones permite ampliar o multiplicar los ejes de alcance para los dedos.

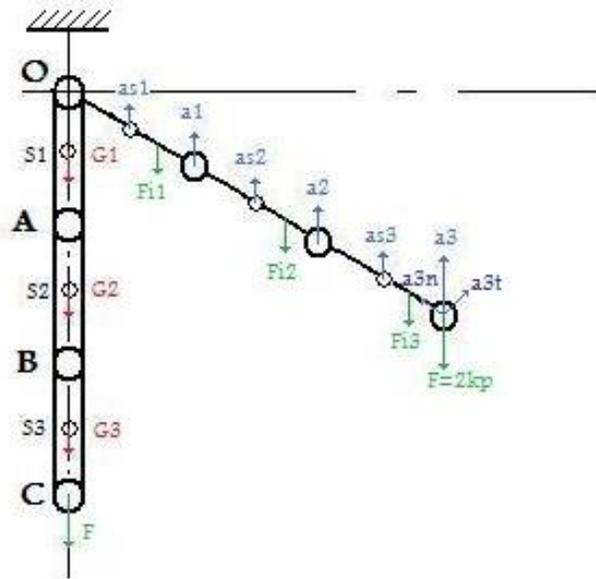
Una mano normal y saludable tiene 29 grados de libertad de movimiento. La universidad de Zagreb en Yugoslavia en 1979 desarrolló un modelo teórico, matemático y físico para describir uno de los movimientos de la mano. Por cuestiones de simplificación se estudian dos posturas típicas de trabajo de la mano en un movimiento de flexión de los dedos y se hallan las fuerzas involucradas en las articulaciones, tanto como las aceleraciones allí y en los centros de masa de las falanges para pasar de una postura a otra.

A continuación se hace una breve reseña de este modelo que analiza mecánicamente los dedos y las variables físicas involucradas en este movimiento.

En la Ilustración 33 puede observarse un diagrama de cuerpo libre, donde:

O, A y B son las articulaciones; S1, S2 y S3 son las posiciones del centro de masa de las falanges; G1, G2 y G3 son los pesos de las mismas. En el punto C hay una fuerza  $F=2$  kpa de tracción cutánea que se opone al movimiento.  $As_1$ ,  $as_2$  y  $as_3$  son las aceleraciones de los centros de gravedad de cada falange, y las aceleraciones en las articulaciones son  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ . Por último  $Fi_1$ ,  $Fi_2$  y  $Fi_3$  son fuerzas inerciales que actúan sobre las falanges.

Ilustración 33. Diagrama de cuerpo libre de un dedo humano



Fuente: MUFTIC,1979

El máximo grado de giro permitido por las articulaciones que unen las falanges es de  $90^\circ$ .

En este modelo se estudiaron 20 manos de estudiantes menores de 24 y se promediaron longitudes ( $L$ ) y pesos ( $G$ ) de las 3 falanges que forman un dedo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- $L1 = 350 \text{ mm}$
- $L2 = 280 \text{ mm}$
- $L3 = 170 \text{ mm}$
- $G1 = 2.02 \text{ kg}$
- $G2 = 1.85 \text{ kg}$
- $G3 = 0.47 \text{ kg}$

Con estos datos y la aplicación de ecuaciones de movimiento del modelo se calculan las fuerzas que actúan en las articulaciones en función del ángulo de rotación del dedo.

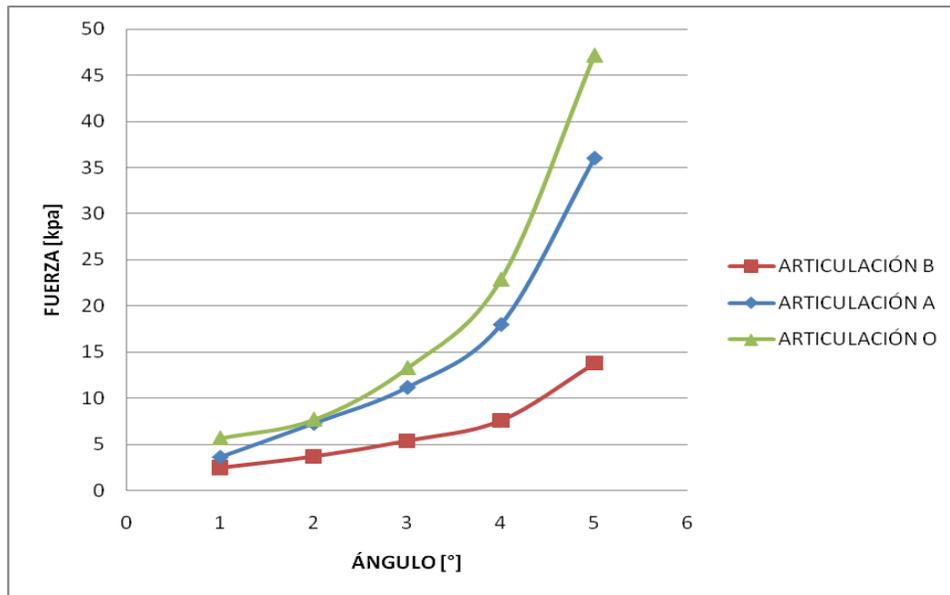
En la Tabla 4. Articulación Vs. Ángulo de desplazamiento de la falange se observan los resultados del análisis con dicho modelo, mostrando las fuerzas que actúan sobre las articulaciones interfalángicas.

En la Ilustración 34 se grafican estas dos variables, las curvas que se obtienen demuestran que en ángulos pequeños de elevación del dedo, los tres huesos que lo conforman soportan valores de fuerza similares, pero a medida que aumenta el ángulo las articulaciones más cercanas a la restricción de movimiento soportan valores más elevados de fuerza, la función exponencial crece más en la curva de la articulación O, la terminación ósea ubicada entre el metacarpo y la falange es la que más experimenta esfuerzos y deformaciones.

Tabla 4. Articulación Vs. Ángulo de desplazamiento de la falange

		Ángulo de rotación de la articulación				
		0°	15°	30°	45° Kpa	70°
Articulación	B	2,47 Kpa	3,7 Kpa	5,4 Kpa	7,6 Kpa	13,8 Kpa
	A	3,65 Kpa	7,3 Kpa	11,2 Kpa	18 Kpa	36 Kpa
	O	5,68 Kpa	7,7 Kpa	13,3 Kpa	22,9 Kpa	47,2 Kpa

Ilustración 34. Ángulo vs. Fuerza en las articulaciones de un dedo humano



Fuente: MUFTIC, 1979

### 6.1.3 Abstracción conceptual de la mano y sus falanges

Teniendo en cuenta la función principal y las parciales que desempeñan los mecanismos de poleas, se concluye que en la mano ocurre una transmisión de movimiento desde los músculos del antebrazo hasta los huesos de los dedos. Los tendones se adhieren a las poleas A2 y A4, impulsando las falanges y haciendo girar las articulaciones.

Así, el mecanismo que hace mover los dedos de la mano es un análogo de los mecanismos que usan poleas en el diseño mecánico para transmitir movimiento y modificar velocidades. Los tendones funcionan como bandas, correas o cables y

las poleas anulares funcionan como poleas, alojando los tendones y permitiendo la transmisión del movimiento.

## 6.2 EL ENGRANAJE Y LAS RUEDAS DE FRICCIÓN Y SU ANALOGÍA NATURAL

“Las articulaciones son los elementos de conjunción de los huesos y están hechas de forma que permitan el movimiento recíproco entre aquellos; en base a esta función y a su forma pueden ser comparadas a juntas mecánicas” (FUCCI, 2003).

### 6.2.1 Anatomía y fisiología de la articulación trocleoartrosis del codo humano

Las superficies articulares están cubiertas por tejido cartilaginoso que impide su desgaste debido a la elevada fuerza de fricción que soportan. Estos cartílagos tienen dos caras, una de ellas se adhiere al hueso y la otra esta bañada por un líquido viscoso producido por la membrana sinovial ubicada en la parte interna de las articulaciones.

Las articulaciones y sus cartílagos están a su vez recubiertos por una cápsula fibrosa muy resistente reforzada por ligamentos y de nuevo por líquido sinovial.

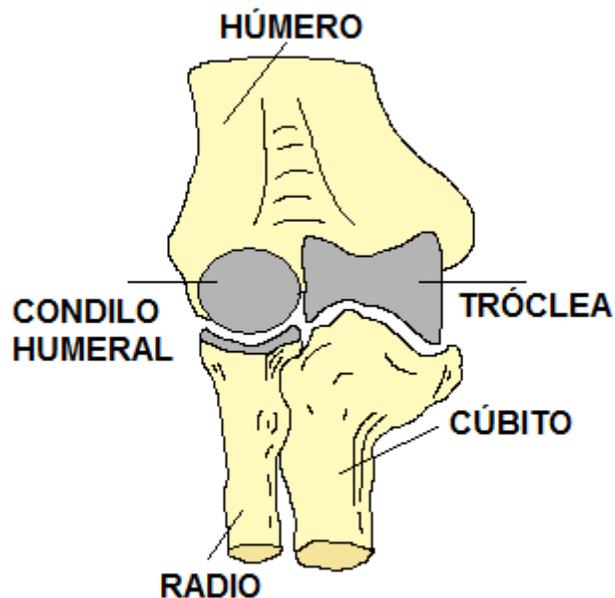
El aparato locomotor cumple diversas funciones, y según la ubicación de la articulación debe transmitir movimiento adecuadamente. Las articulaciones desarrollan formas diferenciales a partir del fin para el que fueron creadas.

Su forma depende del grado de libertad del movimiento que el elemento óseo debe tener. Se pueden hallar en el cuerpo humano unas capaces de moverse en

un solo eje (trocleoartrosis), otras tienen la posibilidad de moverse sobre dos ejes (condiloideas) y otras con capacidad de rotación sobre tres ejes (enartrosis).

La articulación troclear posee una cara convexa que se apoya sobre otra cóncava. En el codo, el hueso humero del brazo termina en forma convexa, articulándose con la cavidad cóncava del cúbito. (Ver Ilustración 35) Esto solo permite movimientos de flexo extensión del antebrazo sobre el brazo, todo movimiento de lateralidad y rotación axial quedan imposibilitados.

Ilustración 35. Articulación trocleoartrosis del codo humano



Fuente: Propia

## 6.2.2 Funcionamiento del mecanismo en la articulación trocleartrosis del codo humano

El movimiento en el codo se realiza en función de la rodadura y el deslizamiento recíproco de las superficies articulares. Esto genera fuerzas de rozamiento altas, pero la naturaleza ha evolucionado para resolver este problema que podría ocasionar desgaste precoz de las carillas, alta dispersión de energía y calor.

El material y la forma, la lisura de las superficies, el tipo y la cantidad de lubricante y la elasticidad son factores que determinan el coeficiente de rozamiento  $K$ . Entonces se puede deducir una simple pero valiosa ecuación para encontrar el valor de la fuerza de rozamiento  $f=K*N$ , donde  $N$  es la fuerza normal ejercida por las presiones sobre el cartílago y las fuerzas musculares. (FUCCI, 2003).

Las células del cartílago articular son arqueadas y elásticas, por eso cuando se produce un movimiento de flexión o extensión estas se deforman aplastándose y aumentando el área de contacto, esto lleva a una disminución de la presión en los puntos de apoyo.

El líquido sinovial formado por moléculas constituidas por largas cadenas de átomos de carbono, se adhiere a las superficies y se interpone entre ellas para evitar el contacto directo, esto reduce el factor  $K$  ya que se sustituye el rozamiento debido al contacto directo de dos superficies, por el rozamiento de deslizamiento entre los estratos moleculares, que es mucho menor.

Además de esta excelente propiedad, el líquido sinovial tiene la función de alimentar el cartílago transportando las sustancias nutritivas en un proceso de expresión y absorción que consiste en la alternancia de las presiones musculares y del movimiento de las superficies articulares.

La capsula fibrosa que cubre la articulación cumple la función de contención, siendo reforzada por los ligamentos y tendones.

Los movimientos realizados por la articulación trocleoartrosis del codo son de flexión y extensión. Los músculos del bíceps ubicados en el brazo se contraen y se insertan en el húmero y desplazan la articulación del codo, permitiendo que los huesos del antebrazo se muevan. El brazo, en el momento que se produce la extensión o la flexión, puede identificarse como la distancia entre el centro de rotación de la articulación y el punto de inserción del tendón.

### 6.2.3 Abstracción conceptual de la articulación del codo

Las ruedas de fricción y los engranajes transmiten la potencia de un eje a otro debido al contacto entre sus ruedas, sean dentadas o no. El contacto que se da entre ellas genera fuerzas que son las responsables de este proceso dinámico.

En las articulaciones ocurre lo mismo, para que los movimientos en el cuerpo humano ocurran, es necesario transmitir movimiento entre los huesos, por esto la forma de las articulaciones y las fuerzas que se generan pueden ser comparadas a los procesos que ocurren en un par de ruedas de fricción o en un tren de engranajes. En el codo humano, el motor que genera la potencia para iniciar el proceso de transmisión es el músculo del brazo. Las reacciones que allí se generan producen una contracción que hace desplazar a los tendones unidos a los huesos del antebrazo. Así que los huesos funcionan como ejes de transmisión, al moverse hacen que la articulación gire, y ésta al estar en contacto con la otra superficie articular permite que el movimiento se efectúe. Por lo tanto las superficies o carillas articulares funcionan como ruedas de fricción o engranajes, ejerciendo y modificando las fuerzas que allí se producen.

### 6.3 EL PIÑÓN CREMALLERA Y SU REFERENTE BIOLÓGICO

La capacidad de moverse está extendida en todo el reino animal, ya que todos los animales tienen que obtener alimento de su entorno. Así que la mayoría a través de la evolución ha desarrollado mecanismos versátiles y eficientes para su locomoción. Según el medio en el que se desenvuelve el animal está sometido a variables físicas como gravedad, fricción, flotabilidad, etc.

Ilustración 36. Mecanismo de piñón cremallera



fuentes: EPSTEIN, Marc E. @ 1997

#### 6.3.1 Anatomía y fisiología de la oruga

La oruga es una larva de mariposa herbívora cuyo cuerpo es blando, segmentado y organizado en tres partes: Cabeza, tórax y abdomen.

En la cabeza se encuentran los ojos y unas fuertes mandíbulas que trituran el alimento. En los segmentos torácicos (I, II, III en la Ilustración 38) se sitúan tres pares de patas verdaderas que son usadas en la alimentación y en la locomoción.

El abdomen posee patas falsas llamadas propodios que sirven como sostén ya que generan una ventosa que se adhiere a las superficies de hojas y tallos. En los segmentos abdominales también se sitúan los opérculos o espináculos que son cavidades que comunican el aparato respiratorio con el exterior. En el último segmento obtiene los orificios de excreción.

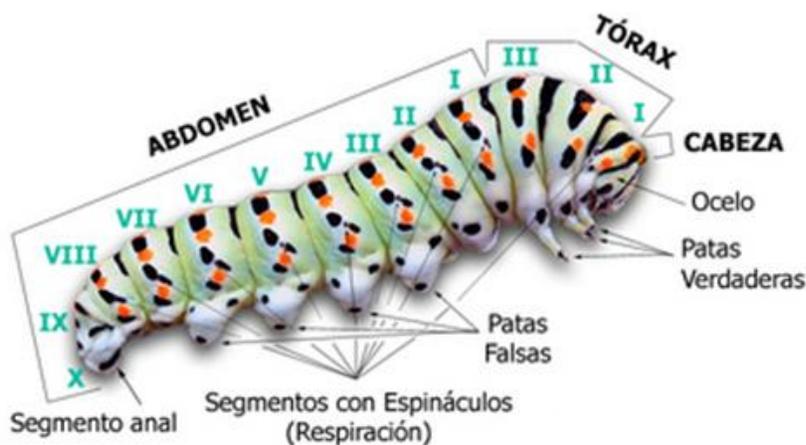
Internamente la oruga cuenta con un intestino en forma de tubo sostenido por la parte superior de la cabeza y por la cola y desconectado de la pared del cuerpo.

Ilustración 37. Oruga en su hábitat natural



Fuente: Propia

Ilustración 38. Esquema de una oruga de lepidóptero



Fuente: TUFTS University @ 2010

### 6.3.2 Funcionamiento del mecanismo de locomoción en la oruga

Las orugas se arrastran debido a contracciones musculares en serie que ocurren en el esqueleto fluido. El movimiento hacia adelante comienza en el segmento anal, éste se levanta y avanza, haciendo desplazar los segmentos torácicos. Este movimiento continúa de forma secuencial con cada segmento por la contracción de los músculos dorsales longitudinales del segmento anterior, creando una onda de desplazamiento que atraviesa todo el cuerpo de la oruga.

La locomoción de la oruga envuelve una complejidad de estructuras, conductas y posiciones en relación con la superficie de contacto. Las patas falsas poseen unas pastas membranosas que las recubren y en algunos casos, si la planta de la cual se alimenta la oruga es muy lisa, estas patas desarrollan verrugas subventrales que actúan como velcro adhiriéndose a la superficie para brindar el agarre necesario.

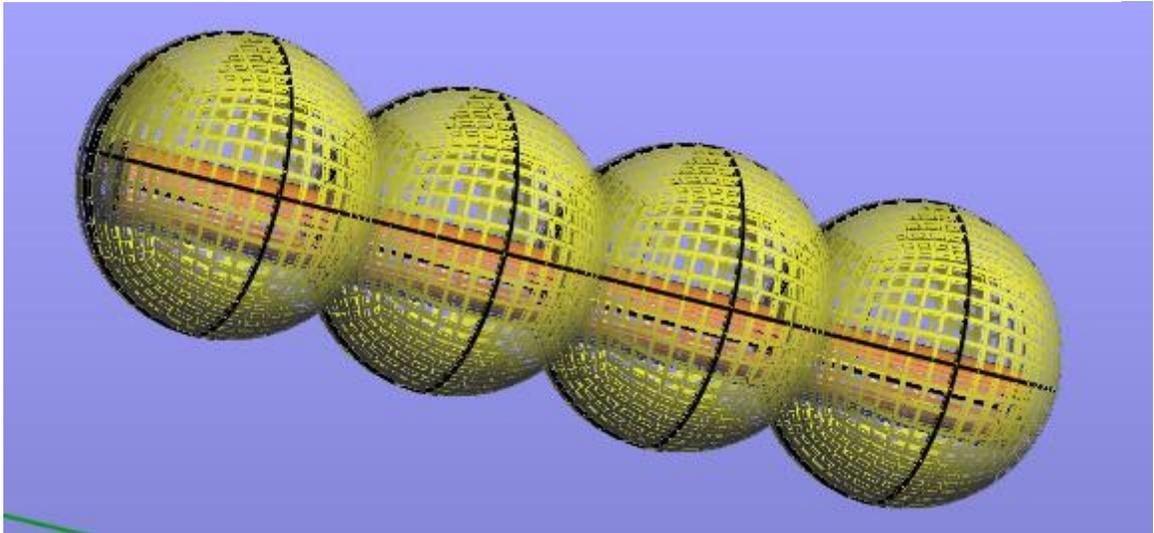
Sin embargo los movimientos descritos anteriormente ocurren en la parte externa del animal, tras años de investigación los estudiantes de biología en la School for Arts and Science de Tufts en Medford Massachusetts descubrieron que la oruga posee un sistema de dos cuerpos independientes de locomoción que nunca ha sido reportado en ningún animal. En el interior el sistema nervioso maneja el intestino que se mueve hacia adelante de forma independiente y con anterioridad a la pared que rodea el cuerpo y las piernas.

Los investigadores usaron rayos X, microscopios de luz visible y videos para estudiar el tiempo relativo de movimiento del intestino de la oruga y de las patas abdominales, se encontró que el intestino avanza cerca de un paso completo antes de las estructuras circundantes. Por otra parte las velocidades varían en diferentes puntos del intestino, lo que prueba que este se mueve por acortamiento y alargamiento.

El movimiento de los tejidos internos de un cuerpo debido a la locomoción es un evento común en la naturaleza, sin embargo las orugas se impulsan a través de este sistema de dos cuerpos y el desplazamiento del cuerpo es consecuencia de estos dos movimientos independientes. El intestino funciona como un pistón que ayuda al insecto a promover su transporte. Esto desata un tipo de locomoción con gran libertad de movimiento.

En la Ilustración 39 se observa el principio funcional extraído del mecanismo, el cilindro de color naranja funciona como pistón, siendo accionado por reacciones químicas producidas en el sistema nervioso del animal. El cilindro está ligado a el cuerpo exterior solo en el primer segmento y en el último, en estos puntos de contacto se transmite el movimiento, pero los demás segmentos del cuerpo se mueven libremente con un movimiento ondulatorio.

Ilustración 39. Principio funcional de la locomoción de la oruga



Fuente: Propia

### 6.3.3 Abstracción conceptual de la oruga

El cuerpo externo de la oruga que envuelve todo su organismo es a su vez un elemento importante para su locomoción. Se puede decir que actúa como una cremallera a la que se le imprime movimiento por medio de un piñón, con la gran diferencia de que la trayectoria lineal que genera una oruga al desplazarse no deriva de un movimiento rotacional, por el contrario, en su interior posee un intestino que está ligado en los extremos con el cuerpo exterior y funciona como motor de propulsión, empujando la cola del animal. Cuando ésta se desplaza genera una serie de ondas que se propagan por todo el animal y hacen que avance por segmentos.

Sin embargo al existir una superficie de contacto entre los extremos del intestino y la pared del cuerpo, se puede afirmar que allí existe una transmisión de movimiento como ocurre con un mecanismo de piñón cremallera.

## 6.4 LOS TORNILLOS Y SU REFERENTE BIOLÓGICO

La rueda es el principal elemento de toda la tecnología humana. “en el interior de nuestras casas empleamos ejes de manivela, motores eléctricos rotativos, poleas giratorias, engranajes, cabrestantes, bisagras, levas, molinetes, ruedas de trinquete, cojinete y ejes, por sólo mencionar los más evidentes”. VOGEL (1998).

La mayoría de mecanismos comúnmente empleados en el diseño mecánico son ruedas o adaptaciones de éstas, todos nuestros vehículos terrestres van montados sobre ellas, los barcos son accionados por hélices y los aviones utilizan turbinas.

Los mecanismos que constan de tornillos para efectuar sus funciones (tornillo sinfín y rueda dentada, tornillo de potencia y tornillo tuerca), también se valen de formas circulares para generar fuerzas y torques que van a transformar el movimiento rotacional en uno lineal.

Por el contrario la naturaleza no utiliza la rueda en sus mecanismos de locomoción, salvo en un caso excepcional. El profesor de física de la universidad de Harvard Howard Berg fue quien descubrió la única rueda funcional en la naturaleza que se emplea en el movimiento de los flagelos de las bacterias.

### 6.4.1 Anatomía y fisiología del flagelo bacteriano

Las bacterias son organismos unicelulares formados por tres capas que envuelven la estructura celular interna. En la capa externa poseen pequeños filamentos llamados cilios que sirven para que se adhiera a las superficies. En el interior de la bacteria nacen una serie de filamentos que conforman el flagelo, éste traspasa las tres capas bacterianas y se extiende por fuera de éstas. Tiene la forma de un conjunto de ondulaciones muy regulares que conforman una estructura rígida. Es decir, un tubo hueco helicoidal similar a un sacacorchos.

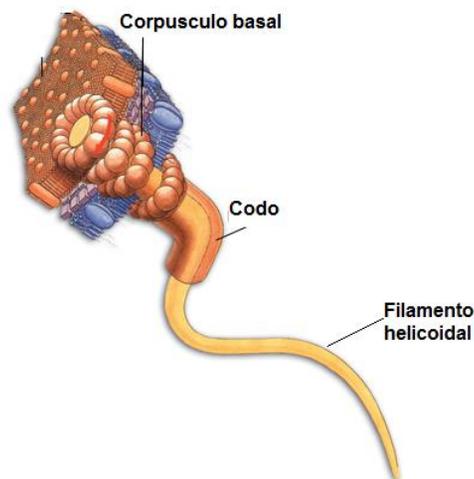
Los flagelos están compuestos por cerca de 20 proteínas capaces de auto ensamblarse moviéndose a través del orificio central para organizarse.

A nivel microscópico electrónico se pueden observar tres subestructuras que forman el flagelo (Ver Ilustración 40):

El filamento helicoidal: es de forma alargada, compuesto por una cadena de miles de proteínas llamadas flagelinas. Es notablemente rígido por lo que durante el movimiento sólo sufre pequeñas deformaciones.

- El codo o gancho: estructura curvada que consta de 120 unidades de una proteína alargada dispuestas en una matriz cilíndrica que une el filamento y el corpúsculo basal.
- El corpúsculo basal: inmerso en las capas membranosas de las paredes bacterianas, es un cilindro que ensarta dos pares de anillos y se encarga de anclar el flagelo y unirlo con el mecanismo interno del movimiento (un motor rotatorio que puede girar en ambos sentidos).

Ilustración 40. Fisiología del flagelo bacteriano



Fuente: harunyahya @ 2010

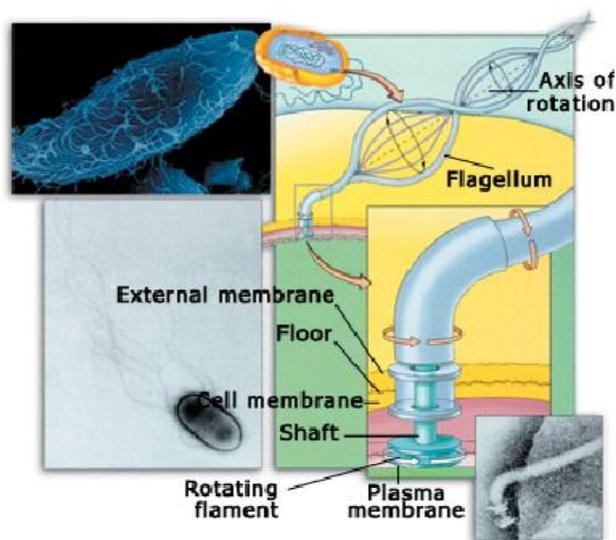
#### 6.4.2 Mecanismo del movimiento flagelar

Como todo mecanismo, el flagelo necesita una potencia para realizar sus giros (de 10 a 100 veces por segundo). El motor rotativo de este sistema se ubica en el punto de anclaje del flagelo y está formado por varios anillos de proteínas que generan un gradiente de protones (potencial electroquímico generado por el transporte de iones de hidrógeno).

La fuerza protón-motora que hace girar los anillos es transmitida por el eje corpúsculo basal que forma un eje motriz. Los anillos que se encuentran en el corpúsculo funcionan como cojinetes reduciendo la fricción entre dicho eje y las membranas.

La velocidad de rotación de los flagelos aumenta o disminuye en relación con la fuerza motriz de los protones. Este motor además de rotativo es capaz de invertir su sentido de giro debido a diversos estímulos externos, cuando esto ocurre se genera una carga torsional que hace que el flagelo cambie de conformación y cada filamento tira independientemente de un lado de la bacteria, lo que hace que ésta se reoriente en otro sentido.

Ilustración 41. Mecanismos de locomoción del flagelo en las bacterias



Fuente: harunyahya @ 2010

El codo, que une el filamento y el corpúsculo basal, actúa a modo de junta universal. Contiene dos discos de proteínas, cada uno consiste en dos giros de hélice que adaptan el ensamblaje del flagelo. (Ver Ilustración 41)

#### 6.4.3 Abstracción conceptual del flagelo bacteriano

El mecanismo de locomoción bacteriano convierte un movimiento rotacional que se origina en el interior de la célula en uno lineal, generando una trayectoria de desplazamiento del organismo relativamente recta.

La forma helicoidal que toman los flagelos al ser obligados a girar recuerda las formas alargadas de los tornillos con dientes impuestos helicoidalmente para transmitir y transformar movimiento y potencia.

La gran diferencia entre estos dos elementos es que los tornillos son de un material rígido y su forma helicoidal es fija, los flagelos toman su forma de espiral debido al movimiento rotacional que les es transmitido, por esto cuando el sentido de giro se invierte, éstos cambian de forma y pueden modificar la dirección del movimiento lineal.

## 7. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE UN DEDO HUMANO

El movimiento de flexión en el dedo humano genera esfuerzos elevados en las articulaciones interfalángicas, por lo que resulta útil analizar como aumentan éstos a medida que los ángulos de flexión se incrementan.

Los sistemas biológicos son complicados de modelar con software de modelación mecánica, debido a sus formas tan irregulares y a su gran variedad de materiales con propiedades extraordinarias. Debido a esto en la universidad de Utah, Estados Unidos, surgió en el 2000 la necesidad de crear el Laboratorio de investigación muscoesquelético, que fue fundado por el doctor Jeffrey A. Weiss.

Las investigaciones en biomecánica computacional desarrolladas en dicho laboratorio se centran en el uso de métodos de elementos finitos para estudiar la mecánica de los tejidos blandos y duros. Esto llevó al equipo de trabajo a desarrollar un paquete de software que permite modelar componentes y sistemas orgánicos. El software consta de tres herramientas:

- Preview: es una herramienta de edición de malla que permite al usuario especificar condiciones de contorno y propiedades de materiales.
- FEBio: es una herramienta de software que utiliza el método de elementos finitos para la resolución de problemas no lineales de gran deformación. Está especialmente dirigido a resolver problemas en el campo de la biomecánica.
- Postview: es una herramienta que procesa la información proveniente del análisis en Febio que ofrece una interfaz gráfica para visualizar y analizar el modelo.

En los tutoriales ofrecidos en la página de la universidad de Utah, se encuentran varios ejemplos de problemas solucionados, entre ellos el análisis de elementos finitos para encontrar la variación en los esfuerzos de Von Mises en un dedo índice en movimiento de flexión. Este ejemplo se adoptó para mostrar como varían y en qué puntos se concentran los esfuerzos en dichos sistemas.

En las siguiente ilustraciones (Ver Ilustraciones 42 a 47), se evidencia que a medida que aumenta el tiempo, el dedo índice analizado avanza en su proceso de flexión, lo que genera esfuerzos que van aumentando conforme aumentan los ángulos de flexión en las articulaciones interfalángicas. Se puede observar también que en las zonas donde se ubican las poleas anulares los esfuerzos aumentan, así que se concluye que estos son los elementos que soportan los tendones y que hacen posible el movimiento.

Ilustración 42. Esfuerzos de Von Mises en  $t= 3$  s



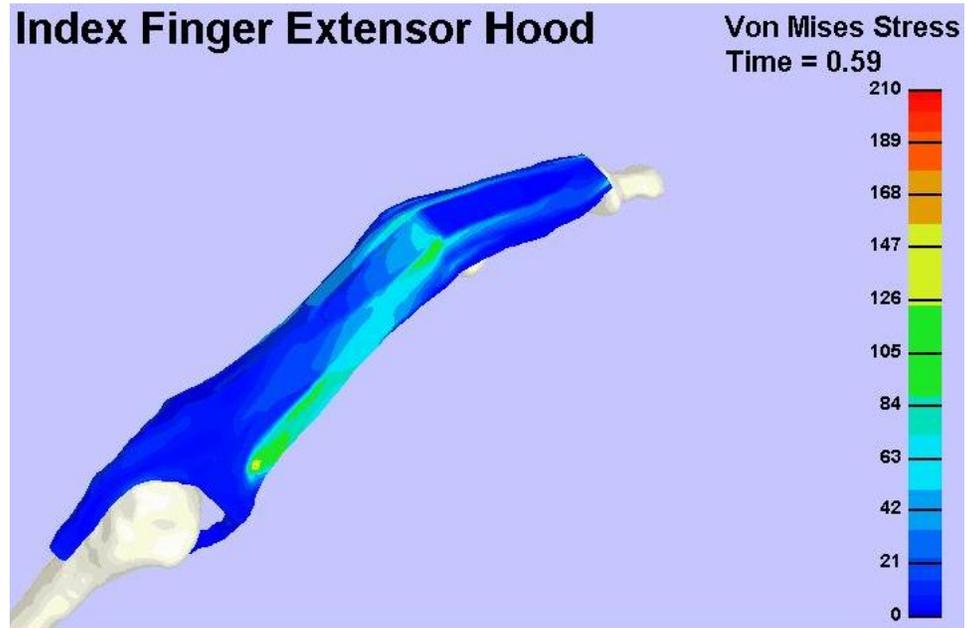
Fuente: UTAH University @ 2010

Ilustración 43. Esfuerzos de Von Mises en  $t= 45$  s



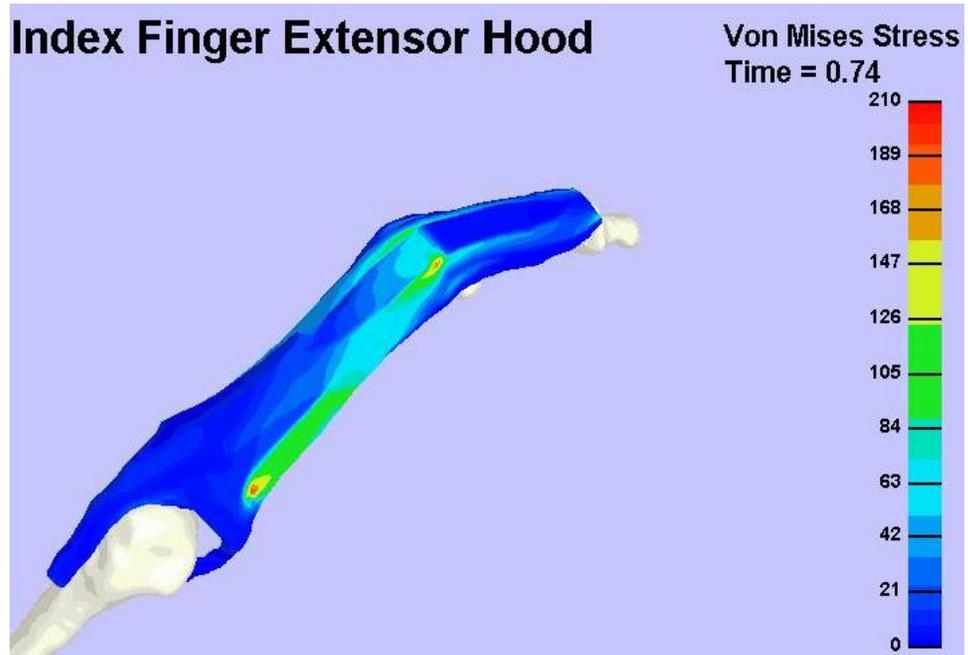
Fuente: UTAH University @ 2010

Ilustración 44. Esfuerzos de Von Mises en  $t= 59$  s



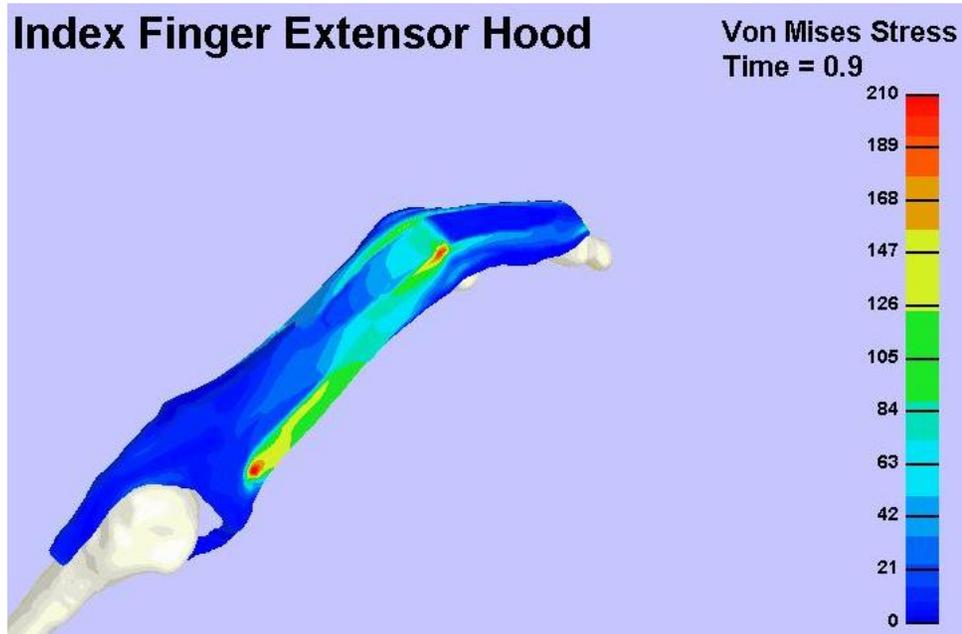
Fuente: UTAH University @ 2010

Ilustración 45. Esfuerzos de Von Mises en  $t= 74$  s



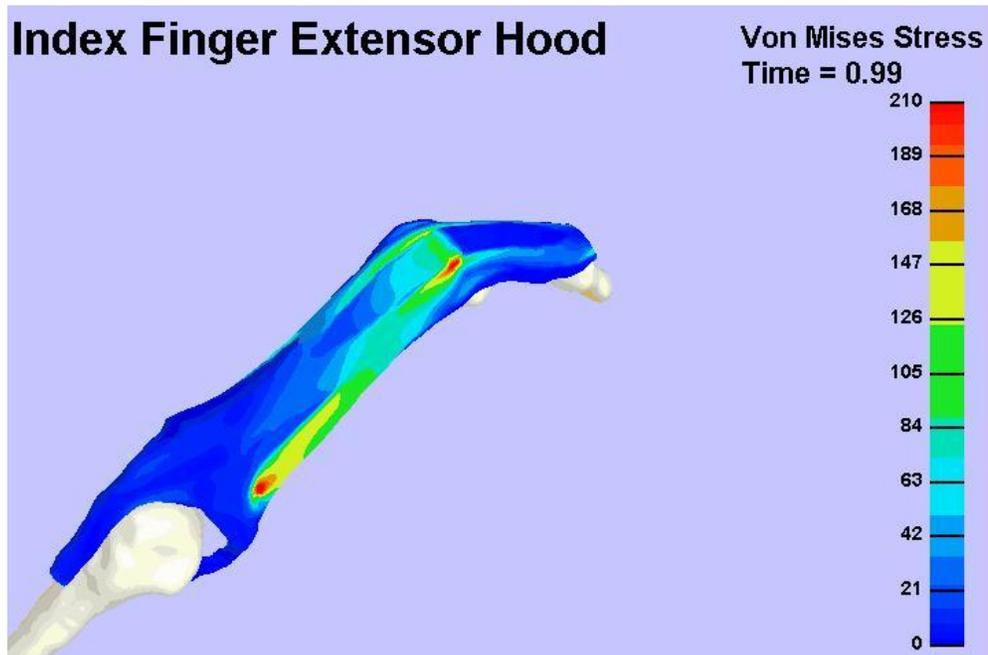
Fuente: UTAH University @ 2010

Ilustración 46. Esfuerzos de Von Mises en  $t = 90$  s



Fuente: UTAH University @ 2010

Ilustración 427. Esfuerzos de Von Mises en  $t = 99$  s



Fuente: UTAH University @ 2010

## CONCLUSIONES

Según los objetivos específicos planteados en el anteproyecto se concluye.

- *Recolectar datos referentes a investigaciones de principios existentes en la naturaleza, que tengan la posibilidad de ser aplicados en la solución de problemas técnicos mediante el uso de fuentes primarias.*

Los sistemas naturales estudiados y analizados por medio de la biónica no están sistematizados y resulta difícil abstraer la información ya que se encuentra dispersa y abordada desde diferentes perspectivas.

- *Estudiar las principales características de los mecanismos de transmisión y transformación del movimiento más usados en el diseño mecánico, clasificándolos y analizando el funcionamiento de los mismos.*

Existe gran variedad de información acerca de los mecanismos en el diseño mecánico, así como infinidad de normas y ecuaciones para el diseño de los mismos, lo que facilita la abstracción de las características formales y funcionales.

- *Sintetizar las funciones principales y parciales de cada uno de los mecanismos seleccionados, relacionando los componentes que los conforman.*

Al sintetizar la información se encontraron muchas similitudes entre los mecanismos seleccionados, obteniendo como resultado análisis conceptuales similares para varios de los mecanismos de transmisión y transformación del movimiento.

- *Investigar metodologías existentes en el área de la biónica para abstraer principios de solución desarrollados por la naturaleza, aplicables en el área de mecanismos que optimicen la eficiencia de los procesos mecánicos.*

No existen gran variedad de metodologías en el campo de la biónica, cada investigador o diseñador interesado en esta rama del conocimiento debe desarrollar su propio método de investigación y abstracción de la información. Pero en todas estas metodologías prima un concepto, es el uso de un pensamiento analógico.

- *Demostrar la eficiencia de uno de los sistemas naturales registrados mediante el análisis de elementos finitos.*

El análisis de elementos finitos es una herramienta concisa que permite visualizar claramente los esfuerzos que se presentan en los puntos críticos de los sistemas naturales. Sin embargo la naturaleza ha desarrollado diversas adaptaciones que generan resultados eficientes integrando el funcionamiento mecánico con otros aspectos como el entorno y los demás sistemas adyacentes.

## BIBLIOGRAFÍA

### CLÁSICA

LITINETSKY, I. B. Iniciación a la biónica. Barcelona: Barral editores, 1974. 288 p.

GERO, J. S. Artificial intelligence in engineering desing. Amsterdam: Elsevier, 1998. 465 p.

VOGEL, Steven. Ancas y palancas: Mecánica natural y mecánica humana. Barcelona: Tusquets, 2000. 400 p.

MATTHECK, Claus. Design in Nature: learning from trees. Berlin: Springer, 1997. 268 p.

SALVAT, M. El diseño industrial. Barcelona: Salvat, 1973.

MUFTIC, O. Some biomechanical aspects of the hand movement. En: The American Society of Mechanical Engineers. Proceedings of the fifth world congress on THE THEORY OF MACHINES AND MECHANISMS. New York: United engineering center, 1979. P. 864-866.

FUCCI S., BENIGNI M., FORNASARI V. Biomecánica del aparato locomotor aplicada al acondicionamiento muscular. Cuarta edición. Madrid: Elsevier, 2003. 163 p.

CORREA CASTAÑO, David. Diseño y construcción de mano animatrónica. Medellín, 2007, 113 p. Trabajo de grado para optar a título de Ingeniero Mecánico. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica, Área Mecatrónica.

BARANOV, G. C. Curso de la teoría de mecanismos y maquinas. Moscú: Editorial Mir, 1979. 523 p.

RODRÍGUEZ, A., PINEDA, F. Mecanismos en aparatos: Máquinas e instrumentos. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2009. 348 p.

OTÁLVARO, V., MÉNDEZ L.M. Estudio de la biónica como metodología aplicable en ingeniería de diseño de producto y su formalización a través de una propuesta de investigación del semillero HECAS-ID de la universidad EAFIT. Medellín, 2006, 263 p. Trabajo de grado para optar a título de Ingeniero de diseño de producto. Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería de Diseño de Producto.

ORTHWEIN, William C. diseño de componentes de máquinas. México: CECSA, 1996. 1009 p.

WOOLLEY, David M. Flagellar oscillation: a commentary on proposed mechanisms. En: Cambridge Physiological Society. Biological Reviews. P 453–470.

TORTORA G., FUNKE B., CASE C. Introducción a la microbiología. Novena edición. Buenos Aires: Editorial médica panamericana S.A., 2007. 917 p.

DAVIS, G., SCOTT, J.A. Estrategias para la Creatividad. Buenos Aires: Ed. Paidós Educador, 1992.

DIBARTOLO, Carmelo. Bionics: Natural development in desing. En: Domus. No. 818 (Septiembre de 1999). P 49-53.

MARGUERRE, Hans. Bionics: At the crossroads of nature and technology. En: Energy and automation. Vol. 10, No. 5 (Septiembre-Diciembre de 1988). P 32-33.

WAINWRIGHT, S. A. Diseño mecánico en organismos. Madrid: Blume, 1980. 481 p.

SEGRERA, Arturo. La visión de la simplificación de la naturaleza en el diseño. En: Anfora, Vol. 7, No. 14 (Julio de 1999-Enero de 2000). P 17-24.

SIERRA, Fernando. ¿Por qué mirar la naturaleza?. En: Iconofacto, Vol. 1, No 1 (Julio de 2005). P 23-29.

MARTEL, J., RODRÍGUEZ, A., MOLINER, P. Elementos de máquinas. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 1976. 123p.

DEUTSCHMAN, A., MICHELS, W., WILSON C. Diseño de máquinas: teoría y práctica. México, D.F.: Compañía Editorial Continental, S.A., 1885. 903 p.

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Segunda edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1995. 787 p.

## INTERNET

CORONADO, R. @ 2007. Universidad de Palermo. [En línea]. Visitada 10 de octubre de 2009.

Disponible en:  
[http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/encuentro2007/02\\_auuspicios\\_publicaciones/actas\\_diseno/articulos\\_pdf/C021.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/encuentro2007/02_auuspicios_publicaciones/actas_diseno/articulos_pdf/C021.pdf)

SAUGAR ABELLÁN, J. @2000. Arturosoria. [En línea]. Visitada 2 de febrero de 2010.

Disponible en:  
<http://www.arturosoria.com/eprofecias/art/bionica.asp>

OGLIARI, Andre @2007

Metodologia de projeto em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. [En línea] Visitada 21 de febrero de 2010. Disponible en:

<http://emc5302.ogliari.prof.ufsc.br/Restrito/EMC%205302%20CAPITULO%206%202007.pdf>

EY Chao@1989

books.google.com Biomechanics of the hand. A Basic Research Study. [En línea] Visitada 1 de Agosto de 2010. Disponible en:

<http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=7SI5NJDC5gIC&oi=fnd&pg=PR5&dq=biomechanical+aspects+of+the+hand+movement&ots=RrqPpaanJh&sig=hLVgyOXe5fmBdrCdwaujIzq9ma4#v=onepage&q&f=false>

GONZÁLEZ, Carlos Arturo @ 2005

Anatomía de la mano. [En línea] Visitada 25 de Julio de 2010. Disponible en:

<http://www.elportaldelasalud.com>

RAMOS VERTIZ, Alejandro José@2004

Sutura de los tendones flexores de la mano en zona II. GAMMA Clínica de la mano. [En línea] Visitada 28 de Julio de 2010. Disponible en:

<http://www.gammaweb.com.ar>

GUTIERREZ, Gilberto @ 2004

books.google.com Principios de anatomía, fisiología e higiene: Educación para La salud. [En línea] Visitada 16 de Agosto de 2010. Disponible en:

<http://books.google.com/books>

EPSTEIN, Marc E. @ 1997

Evolution of locomotion in slug caterpillars (Lepidoptera: Zygaenoidea: Limacodid group). [En línea] Visitada 20 de Agosto de 2010. Disponible en:

<http://lepidopteraresearchfoundation.org>

TUFTS University @ 2010

Caterpillars Crawl Like None Other: Unique means of animal locomotion Has Implication for Robotic, Human Biomechanics. En: ScienceDaily (22 de Julio de 2010). [En línea] Visitada 5 de Septiembre de 2010. Disponible en:

<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/07/100722132332.htm>

UTAH University @ 2010

Musculoskeletal Research Laboratories. [En línea] Visitada 28 de Septiembre de 2010. Disponible en: <http://mrl.sci.utah.edu>