



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ciencias Económico Administrativas

**REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA
PROFESIONAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

PRESENTA:
JULIO CESAR RIVERA RODRIGUEZ

CARRERA:
INGENIERIA MECATRONICA

DISEÑO Y CREACIÓN DE EXOESQUELETO PARA PERSONAS CON PARAPLEJIA

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



M.C. Edinguer Vázquez Ayala
Nombre del asesor externo

M.C. Víctor Manuel Herrera Ambriz
Nombre del asesor Interno

CAPÍTULO 1: PRELIMINARES

2. Agradecimientos.

Mis agradecimientos a mis asesores, familiares, amigos y todos aquellos que me han permitido seguir aprendiendo.

3. Resumen.

El proyecto de exoesqueleto de extremidades inferiores tuvo que desarrollar una tecnología que permita a personas con discapacidad o lesiones mejorar su movilidad y calidad de vida.

Se utilizó la metodología del diseño 3D e impresión 3D para diseñar un exoesqueleto personalizado. Esto se logró por medio del estudio antropométrico para la definición de variables como dimensiones morfológicas, edad, sexo, raza, etc. Pero para llegar a esto, tuvimos una alta variedad de procedimientos para empezar a construir el prototipo, nos encontramos con pros y contras, se tuvieron dificultades para poder tener una idea estable en base a los materiales a utilizar, diseño, sensores y actuadores.

El diseño desarrollado fue a través de SolidWorks, en donde se permitió identificar posibles mejoras en el diseño antes de generar dicha impresión 3D, dicho diseño ayudo a analizar los distintos tipos de opciones (riesgos, máximo nivel de soporte, resistencia de cada material al uso prolongado y con peso excesivo).

Este trabajo se realiza en simulación, y también se hicieron pruebas experimentales con los sensores y actuadores por medio del controlador arduino UNO y el programa de Labview.

Junto al docente del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga que fue el asesor de dicho proyecto, pudimos obtener el primer prototipo a escala en donde se desarrollan pruebas para obtener un prototipo final y adaptarlo a la necesidad del paciente a elegir. Pero este modelo fue satisfactorio para la conformación del mecanismo y del usuario.

4. Índice.

Índice

<i>CAPÍTULO 1: PRELIMINARES.....</i>	<i>2</i>
<i>2. Agradecimientos.</i>	<i>2</i>
<i>3. Resumen.</i>	<i>2</i>
<i>4. Índice.....</i>	<i>3</i>
<i>Lista de Figuras</i>	<i>5</i>
<i>CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO</i>	<i>6</i>
<i>5.- Introducción.....</i>	<i>6</i>
<i>6. Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del residente.</i>	<i>7</i>
<i>Misión.....</i>	<i>7</i>
<i>7. Problemas a resolver, priorizándolos.</i>	<i>8</i>
<i>8. Justificación</i>	<i>9</i>
<i>9. Objetivos (General y Específicos).....</i>	<i>10</i>
<i>CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO</i>	<i>11</i>
<i>10. Marco Teórico (fundamentos teóricos).</i>	<i>11</i>
<i>Servomotores: control, precisión y velocidad</i>	<i>16</i>
<i>Acelerómetro y giroscopio</i>	<i>19</i>
<i>CAPÍTULO 4: DESARROLLO.....</i>	<i>31</i>
<i>11. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.</i>	<i>31</i>
<i>Cronograma de actividades.....</i>	<i>32</i>
<i>Planificación y diseño.....</i>	<i>32</i>
<i>Preparación del equipo</i>	<i>32</i>
<i>Producción.....</i>	<i>32</i>
<i>Recolección de fallas</i>	<i>32</i>
<i>Ajuste de fallas</i>	<i>32</i>
<i>Ajustes finales</i>	<i>32</i>
<i>Entrega y documentación.....</i>	<i>32</i>
<i>CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....</i>	<i>33</i>
<i>12. Resultados.....</i>	<i>33</i>

<i>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES</i>	40
<i>13. Conclusiones del Proyecto</i>	40
<i>CAPÍTULO 7: COMPETENCIAS DESARROLLADAS</i>	40
<i>14. Competencias desarrolladas y/o aplicadas.</i>	40
<i>CAPÍTULO 8: FUENTES DE INFORMACIÓN</i>	41
<i>15. Fuentes de información</i>	41
<i>CAPÍTULO 9: ANEXOS</i>	44
<i>17. Anexos</i>	44

Lista de Figuras

Ilustración 1. https://www.maxongroup.com/es-es/conocimientos-y-asistencia-tecnica/blog	15
Ilustración 2. Servomotores.....	16
Ilustración 3. PARTES DE CONTROL DE SERVOMOTOR	17
Ilustración 4.SERVOMOTOR	18
Ilustración 5 GIROSCOPIO	19
Ilustración 6. Características mecánicas	21
Ilustración 7. giroscopio	21
Ilustración 8. ESQUELETO HUMANO	24
Ilustración 9. Articulaciones fibrosas	25
Ilustración 10. Articulaciones Cartilaginosas y sinoviales	26
Ilustración 11 sistema muscular torio parte anterior	28
Ilustración 12. vista posterior.....	29
Ilustración 13. Anatomía de las extremidades inferiores	30
Ilustración 14. Anatomía de extremidades inferiores	30
Ilustración 15. exoesqueleto impreso en PLA	33
Ilustración 16. Diseño creado en solid.....	34
Ilustración 17. Pruebas de prototipo	34
Ilustración 18. Servomotores de 15 kg, 35 kg y 80 kg.	34
Ilustración 19. Arduino uno	35
Ilustración 20. Interfaz programa LabView	36
Ilustración 21. Fuente de poder.....	37
Ilustración 22. Osciloscopio.....	38
Ilustración 23. Prueba de torque	38
Ilustración 24. Imagen de tabla realizada en Excel	39
Ilustración 25. Servomotor de 35 kg.....	39

CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO

5.- Introducción

Un exoesqueleto es una estructura conectada a una serie de actuadores, sensores, controladores y elementos visco elásticos acoplados a una persona. Durante años, se han ido diseñando dispositivos como robots, prótesis, ortesis y exoesqueletos, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas. En lo que respecta a las ortesis y exoesqueletos, éstos se concibieron con el fin de rehabilitar el esqueleto después de un accidente o bien para reforzarlo.

La inmovilización de las articulaciones por medio de una férula para la restauración de una fractura o la falta de movimiento en las articulaciones por causa de alguna enfermedad como la paraplejia derivan en complicaciones como rigidez articular, atrofia muscular, dolor y edema. Los músculos que no se utilizan se atrofian y pierden fuerza de un 5 % al día hasta un 8% por semana.

Con la inmovilización, se produce la atrofia tanto en las fibras musculares de contracción lenta, como en las de contracción rápida. La atrofia de las fibras de contracción rápidas la primera que se observa con la pérdida de fuerza, mientras que la atrofia de las fibras de contracción lenta se refleja en la perdida de resistencia. Para contrarrestar todos estos efectos negativos, es necesario no solo la movilización pasiva de la musculatura afectada y activa cuando sea posible, sino también la elongación controlada de esta musculatura. Si no se produce movimiento en los músculos y tendones se pierde la capacidad de resistir y generar fuerza.

6. Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del residente.

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es el más joven de los Tecnológicos en el Estado. Se localiza en el municipio de Pabellón de Arteaga, en la parte central de Aguascalientes, a treinta kilómetros de la capital. Cerca del ochenta por ciento de su territorio es plano, favoreciendo el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, de ahí su lema “Tierra Siempre Fértil”. Pero en los últimos años se ha iniciado el desarrollo industrial en la región, y Pabellón de Arteaga es punto estratégico. Una de las ventajas competitivas del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es el capital intelectual, el cual es altamente competitivo y comprometido con el sistema. La mayoría labora en la industria y comparte su experiencia con los alumnos. Es un reto para nosotros asegurar la calidad de todos los procesos académicos, que son propios del crecimiento natural de la institución, entre los que se encuentran: El diseño de especialidades, Asesoría de residencias profesionales, Desarrollo de proyectos de innovación, Servicios de educación continua, Investigación educativa, Educación dual y acreditaciones de planes de estudio.

Misión

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

Visión

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

El residente se encontró trabajando dentro del área de investigación con el M.C. Víctor Manuel Herrera Ambriz y el M.C. Edinguer Vázquez Ayala, quienes aprobaron el desarrollo, diseño, manufactura y control de un exoesqueleto para personas con paraplejia, todo desarrollado dentro del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga

7. Problemas a resolver, priorizándolos.

Las personas que experimentan problemas en las extremidades inferiores pueden presentar una variedad de síntomas y dificultades en su calidad de vida. Algunos de los problemas comunes incluyen:

- **Dolor y molestia:** Dolor crónico o agudo en las piernas, tobillos o pies, que puede impedir la realización de actividades diarias.
- **Falta de movilidad:** Problemas para caminar, subir escaleras o realizar actividades físicas debido a la debilidad o rigidez en las extremidades inferiores.
- **Cambios en la forma de caminar:** Alteraciones en la marcha, como caminar con una pierna más que la otra o tener una postura inclinada hacia adelante.
- **Problemas de equilibrio:** Dificultad para mantener el equilibrio o estabilidad, aumentando el riesgo de caídas.
- **Sensibilidad y calambres:** Sensaciones de hormigueo, entumecimiento o calambres en las piernas, especialmente al descansar o después de un período de inactividad.
- **Problemas de circulación:** Reducción en la circulación sanguínea en las piernas, lo que puede llevar a la formación de úlceras o problemas de salud crónicos.
- **Dificultad para realizar actividades diarias:** Problemas para realizar tareas básicas, como bañarse, vestirse o cocinar, debido a la limitación en la movilidad o la fuerza en las extremidades inferiores.

Se identificó que en los últimos años el aumento de casos de personas con nula movilidad en las extremidades es de alto impacto, por ello se pretende la realización de un exoesqueleto que permita la pronta rehabilitación, mejora y autonomía del paciente, que llegue a utilizar dicho sistema y poder asignar al paciente un segundo respiro.

8. Justificación

La extremidad inferior es un componente crítico del sistema musculo esquelético humano, y lesiones o enfermedades que afectan esta área pueden tener un impacto significativo en la calidad de vida de la persona. El desarrollo de un exoesqueleto para extremidades inferiores puede ofrecer una solución innovadora para mejorar la movilidad y la estabilidad de la extremidad inferior, aliviar el dolor y la fatiga, y mejorar la funcionalidad y la autonomía de la persona. La implementación de un exoesqueleto de extremidades inferiores puede generar varios beneficios, incluyendo:

- **Mejora de la eficiencia:** Un exoesqueleto puede ayudar a los usuarios a realizar tareas con mayor rapidez y precisión, lo que puede aumentar la productividad y reducir el tiempo de trabajo.
- **Ahorro de recursos:** Al reducir la necesidad de asistencia humana, se pueden ahorrar recursos y costos asociados con la atención y el cuidado de los usuarios.
- **Diseño y desarrollo de prototipos:** El residente aprenderá a diseñar y desarrollar prototipos de exoesqueletos, lo que requiere habilidades en materiales, mecánica y electrónica.
- **Programación y control:** El residente aprenderá a programar y controlar el exoesqueleto, lo que requiere habilidades en programación y control de sistemas.

9. Objetivos (General y Específicos)

Desarrollar un exoesqueleto de extremidades inferiores autónomo y adaptable que permita a personas con discapacidad motora realizar actividades diarias con mayor autonomía y confianza, mejorando significativamente su calidad de vida y reduciendo la dependencia de asistentes humanos.

- Diseñar y desarrollar un exoesqueleto que se adapte a diferentes tipos de discapacidad motora y permita realizar actividades diarias con precisión y eficiencia.
- Desarrollar un sistema de control y programación que permita a los usuarios controlar el exoesqueleto de manera autónoma y adaptable.
- Implementar un sistema de sensores y algoritmos que permitan al exoesqueleto detectar y adaptarse a diferentes situaciones y entornos.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

10. Marco Teórico (fundamentos teóricos).

Las limitaciones para caminar es una de las discapacidades físico-motora más frecuentes, una de las causas principales son las lesiones medulares producidas por origen congénito, traumático, etc. (HENAO LEMA, y otros, 2010); las terapias funcionales y de rehabilitación motriz son de gran relevancia para mejorar la calidad de vida de los pacientes, todo esto se lleva a cabo bajo la asistencia constante de un terapeuta con experiencia; los ejercicios terapéuticos están orientados a la aplicación sistemática planeada de movimientos físicos, posturas o actividades diseñadas para:

1) Prevenir deterioros, 2) mejorar el funcionamiento y 3) mejorar la condición física. (GLYNN, y otros, 2009)

Actualmente la tecnología ha desarrollado en gran medida muchos dispositivos mecatrónicas que mejoren la calidad de la rehabilitación de los pacientes, los cuales han mostrado una mejora significativa en relación con las terapias tradicionales (FIGUEROA AMADOR, y otros, 2014).

Uno de estos dispositivos son las prótesis activas controladas o exoesqueletos, los cuales están destinados a la asistencia de la rehabilitación de los pacientes. La mayoría de este tipo de equipos es para extremidades inferiores, ya que son las más vulnerables a lesiones y es donde se soporta el peso del cuerpo. (FONT LLAGUNES, y otros, 2010) El estudio para la realización de exoesqueletos, ha llevado la implementación de tecnología de punta logrando exoesqueletos para miembro inferior de entre los cuales tenemos:

- El Walking-Assist de Honda, es parecido a una silla ergonómica equipada con piernas robotizadas. Ayuda a soportar el peso del cuerpo para reducir la carga en las piernas del usuario mientras camina, subiendo y bajando escaleras y en posiciones en cuclillas. (FONT LLAGUNES, y otros, 2010) 2
- El ReWalk, desarrollado en Israel por la Universidad de Haifa y la empresa Argo Medical Technologies destinado para parapléjicos, es un exoesqueleto actuado

completamente eléctrico, funciona en base a trayectorias seleccionadas que están pregrabadas.

- El BLEEX (Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton), de la Universidad de California en Berkeley, el cual fue desarrollado para auxiliar a soldados a cargar grandes paquetes, pero otras de sus posibles aplicaciones incluyen ayudar a trabajadores, bomberos, y otros para evitar lesiones. (FONT LLAGUNES, y otros, 2010)
- HAL-5, desarrollado en la Universidad de Tsukuba por Sankai y la empresa Cyberdine, para personas con debilidad muscular o para amplificación de fuerzas en trabajo de carga. Tiene dos objetivos, aumentar la fuerza y para propósitos de rehabilitación. (FONT LLAGUNES, y otros, 2010)

En el siglo pasado el enfoque de investigación hacia la tecnología de desplazamiento humano fue muy reducida ya que, en la mayoría de casos para la movilidad de un humano, siempre se pensó en automóviles, es por eso que durante siglos la medicina se ha apoyado con los avances de tecnologías de exoesqueletos antropomorfos que permite el movimiento y reducen el esfuerzo metabólico.

Durante el siglo XXI los nuevos avances han permitido introducir nuevas innovaciones en el área de la rehabilitación, estos desarrollos han sido de empresas como Honda que han empezado con investigaciones de estos dispositivos además de otros países donde sus universidades han mostrados el interés en desarrollar tecnologías para ayudar la movilidad, y al futuro desplazar a los vehículos de ruedas (CORTÉS RAMÍREZ, y otros, 2013).

Además, en comparación con los automóviles estos dispositivos tienden a acoplarse a terrenos irregulares si estos fuesen utilizados como por ejemplo por bomberos cuando estos se desplazan con botellas de oxígeno, o también por soldados que transportan cargas pesadas durante una guerra. La fisioterapia es una técnica que ha sido utilizada desde el siglo XXVIII aproximadamente por las civilizaciones más antiguas, utilizando métodos de masajes y ejercicios para aliviar enfermedades.

Ahora en el siglo XXI estas técnicas se las realiza por medio de un fisioterapeuta utilizando los mismos métodos, es así que con la ayuda de los exoesqueletos estas terapias son de gran ayuda en su mejor desenvolvimiento y a la vez mejorar su estilo de

vida. Se considera exoesqueleto por definición a un esqueleto que se encuentra afuera del cuerpo humano, por su naturaleza estos se encuentran de diferentes tipos.

Los exoesqueletos están diseñados para proteger o ayudar a una persona la cual puede estar sana o no. La función principal de los exoesqueletos es la amplificación de potencia y soporte del cuerpo, con este principio se aprovechan sus respectivas ventajas. El exoesqueleto es un armazón que permite realizar actividades cotidianas y que utiliza parte de su energía para generarlas; el estar conectadas a sus extremidades, esta fuerza se potencializa, y nos permite a la vez a mejorar el desempeño humano el cual está controlado por dispositivos y máquinas que podrán incrementar velocidad y resistencia de la persona que lo esté utilizando (ROMERO, 2016).

Durante el desarrollo tecnológico de estos sistemas y por el alto grado de complejidad de análisis, construcción y financiamiento los investigadores han desarrollado diferentes tipos de exoesqueleto según a la función que estos vayan a realizar.

Los exoesqueletos se pueden clasificar en exoesqueletos de extremidades superiores y de extremidades inferiores.

- El de extremidades superiores simula el comportamiento de las mismas o estos deben asistir al usuario en el tronco, hombro, codo y muñeca.
- El de extremidades inferiores simula el comportamiento de las mismas o estos deben asistir al usuario desde la cadera hasta el pie, Los exoesqueletos que están diseñados para extremidades inferiores están hechos para transportar objetos pesados a largas distancias y por superficies irregulares donde no se puede recorrer en vehículos con ruedas, es ahí donde se ve el equilibrio de los exoesqueletos al producirse la caminata. En este caso se identifica que la característica más importante en estos sistemas es el equilibrio durante la fase de la caminata, por lo cual se hace necesario un sistema bípedo para su correspondiente análisis.

Dentro de las consideraciones que se debe tomar en cuenta tenemos, por ejemplo: determinar que el exoesqueleto y el usuario tengan una debida trayectoria durante la oscilación del mismo la cual debe ser igual o la misma con la del usuario, ya que este sistema por ende es una armazón acoplada al cuerpo. Las características más importantes de este tipo de sistema serán.

- Estructura

- Actuadores
- Sensores y sistema de control
- Potencia

Estos dispositivos pueden estar basados en modelos matemáticos, pero existe en la actualidad software que trabajan bajo los principios de modelos matemáticos que simplifican y encuentran más rápido la solución, estos se describirán más adelante.

Las prótesis son aparatos ortopédicos de apoyo u otro dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético que se ha perdido de manera definitiva o provisional. (FONT LLAGUNES, y otros, 2010) (VILADOT PERICÉ, y otros, 2001).

El estudio para la realización de exoesqueletos, ha llevado a la implementación de tecnología para desarrollar estos dispositivos.

En la actualidad esta aplicación es muy importante para el usuario que utiliza este tipo de exoesqueleto ya que tienden a mejorar la rehabilitación, estos dispositivos también ayudan al paciente en medir el avance ya que se puede obtener por medio de sensores la información del exoesqueleto. “Además, en áreas de discapacidad física y rehabilitación de personas paralizadas ha habido mucha investigación y algunas de ellas se han desarrollado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) con el Golden Arm que era un exoesqueleto de rehabilitación para brazo en 1970, y el MIT-MAUS en 1990 que a partir de ellos se han realizado muchas investigaciones en exoesqueleto para rehabilitación”. (CLEMOTTE, 2009)

Estos dispositivos no requieren soportar mucho peso, tan solo el del usuario, en este tipo de aplicación, por lo tanto, se espera que este sistema ayude al movimiento natural de la persona, esto también dependerá de las sesiones de terapias.

Este tipo de aplicación es de mucha ayuda en el campo militar, ya que el ser humano puede trasladarse por largos recorridos, en éste como se limita a soportar peso como al levantarlos y trasladarlos, utilizándolo a estos como amplificadores de potencia ya que la persona envía señales de control al exoesqueleto, mientras que éste proporciona la fuerza necesaria para poder llevar a cabo la tarea. Estas diferencias han hecho que los investigadores se vean en la necesidad de aumentar la capacidad de llevar más carga al

campo de batalla por medio de estos dispositivos. 9 Por ejemplo, EEUU ha invertido en su sistema de investigación llamado DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) millones de dólares para el desarrollo de exoesqueleto para que estos se adapten a las tropas de tierras, con el objetivo que este dispositivo móvil aumente la capacidad de correr más rápido, llevar cargas más pesadas y esquivar grandes obstáculos por medio del salto. (CLEMOTTE, 2009) En general, los soldados que utilicen estos dispositivos se beneficiarán de la mayor resistencia al caminar largas distancias por terrenos irregulares, además de reparar equipo pesado, ya que aumentará su fuerza. Los investigadores con este dispositivo pretenden obtener menos bajas.

La aplicación en este caso se da para personas que han sufrido alguna lesión y lo utilizan para caminar sin estar realizando rehabilitación por obvias razones, o por ocio, por ejemplo, personas que desean realizar caminatas cortas por la ciudad o por unas cuantas horas. Además, también estos dispositivos pueden ser usados por las personas de la tercera edad que van perdiendo fuerza o movilidad en sus extremidades inferiores conforme pasan los años (CLEMOTTE, 2009).

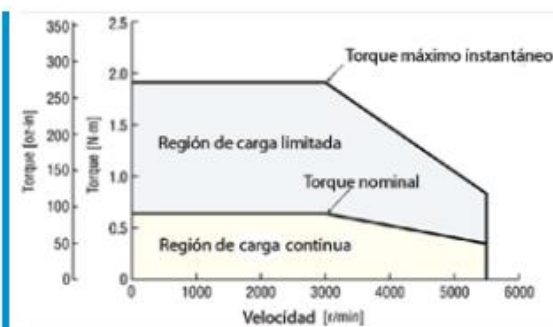


Ilustración 1. <https://www.maxongroup.com/es-es/conocimientos-y-asistencia-tecnica/blog>

Servomotores: control, precisión y velocidad

Se podría decir que un servomotor es un motor, pero con varias características especiales. La principal propiedad es que cuenta con un sistema de realimentación (encoder), el cual le indica al servo drive (controlador del servomotor) la posición en la que se encuentra el eje del servomotor y le corrija la posición, en caso que no fuese la correcta. De este modo, puede enmendar (en tiempo real) los errores de posición, y obtener una muy alta precisión. Para tener una referencia del nivel de precisión que se puede conseguir, los servomotores de Micro pueden alcanzar una resolución de un millón doscientos ochenta mil (1.280.000) pulsos por vuelta.

, un servomotor aplicaría todo su torque disponible para conservar la posición de la carga, independiente de la velocidad de funcionamiento del servomotor, es decir, que se puede conservar la posición de la carga a cero revoluciones por minuto (0 rpm) sin la necesidad de dispositivos agregados. Esta facultad también es aplicable para mover cargas a velocidades bajas. Conjuntamente, se suma otra condición particular referida a los niveles de aceleración y desaceleración que se pueden adquirir, teniendo en cuenta que el torque es una relación entre el momento de inercia de la carga y la aceleración angular. $T = I \cdot a$ » T: torque (newton metro —Nm—) » I: momento de inercia (kilo-metro cuadrado —kg-m² —) » a: aceleración angular (radián por segundo al cuadrado —rad/seg² —) En esta relación, se logra ver que para una aceleración mayor con el mismo nivel de carga, precisaríamos más torque para poder mover la misma carga.



Curva torque característica de un servomotor



Ilustración 2. Servomotores

Cuando se envía un comando a un servo para que éste se mueva a una posición determinada, el servo debe calcular a la distancia que debe moverse para tomar dicha posición. Este cálculo lo realiza restando la diferencia entre su posición actual y la posición del comando. Esta diferencia recibe el nombre de error. El trabajo principal del servo a lo largo de su vida es mantener este error lo más próximo a cero que sea posible. Esto lo consigue aplicando la potencia a su motor interno, para que el eje de salida se mueva en la dirección que sirva para minimizar el error. En un caso ideal en el que un servo dispone de un engranaje sin fricción, el par motor hará que el eje de salida se mueva ligeramente, y el valor absoluto del error aumentará a un valor diferente de cero. Al intentar que el valor del error sea cero, el servo aplicará potencia al motor en contra del par motor. El CPU en la placa analiza esta condición. La presencia de fricción puede en algunos casos suponer una ventaja, dado que puede provocar histéresis (retardo magnético) cuando el movimiento del servo cambia de dirección.

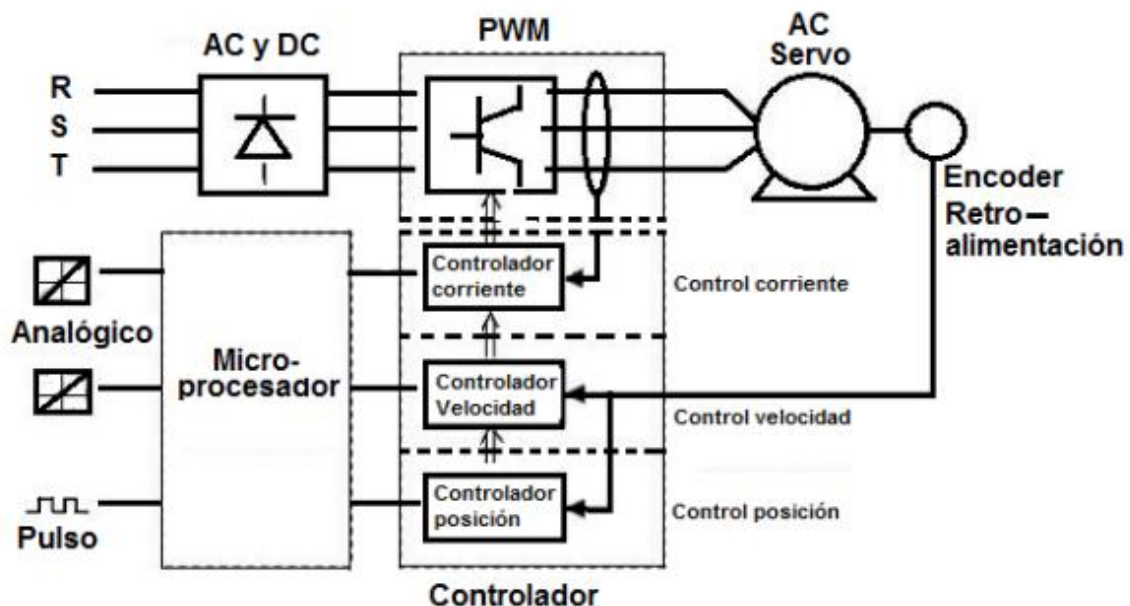


Ilustración 3. PARTES DE CONTROL DE SERVOMOTOR

La placa del servo realmente registra el valor absoluto del par motor, no del par motor por sí mismo, lo que implica que es posible inferir el signo del par motor comparando las lecturas del par motor cuando el servo se acerca a una determinada posición desde dos direcciones diferentes. Normalmente, los servos deben ser calibrados si desea poder relacionar cuantitativamente el par motor real con los valores numéricos del par motor

que 50 registra la placa. Para una calibración típica, se aplicaría un par motor conocido al servo, expresado en unidades de Newton-metros o en onzas-pulgadas, a continuación se leería el valor que devuelva la placa de servo. Las curvas de calibración generalmente varían, dependiendo del diseño y tamaño de cada servo. En un caso real, lo habitual es que el engranaje del servo tenga una cierta fricción. Esta fricción debe tomarse en consideración, dado que el par motor en proceso de medición se encuentra en realidad en el eje del motor y no en el eje de salida. El proceso implica conocer en todo instante la posición del rotor para lo cual se equipan los servomotores con dispositivos tales como resolver, encoders u otros. Los mismos rotan solidariamente con el eje del servomotor e informan al servodrive la posición del rotor. Dichos dispositivos de realimentación de posición se diferencian en la robustez, resolución, capacidad de retener la información de posición ante cortes de alimentación y número de conexiones necesarias entre otras. Por ejemplo en un servo máquina de tracción directa que rota normalmente a una velocidad nominal de algunas centenas de rpm deberemos seleccionar dispositivos con un alto número de pulsos por revolución a fin de tener control de torque durante la partida y parada del motor.



Ilustración 4.SERVOMOTOR

Acelerómetro y giroscopio

Para realizar las mediciones de posición inicial de la cabeza. Este sensor de tipo capacitivo consiste en un arreglo mecánico, donde la capacitancia del elemento sensor interno varía en función de la aceleración aplicada, de tal forma que al exponerse a una fuerza en una dirección se produce un cambio en la capacitancia interna y a la salida entrega un nivel de voltaje referenciado a la alimentación del circuito y su respuesta es lineal.

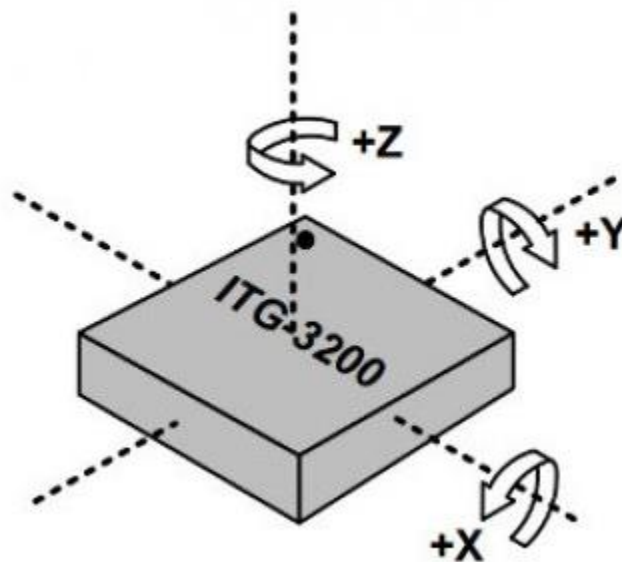


Ilustración 5 GIROSCOPIO

El sensor MEMS dentro de un giroscopio es muy pequeño (entre 1 a 100 micrómetros, el tamaño de un cabello humano). Cuando se hace girar el giroscopio, una pequeña masa de resonancia se desplaza con los cambios de velocidad angular. Este movimiento se convierte en señales eléctricas de muy bajas corrientes que se pueden amplificar para ser leídas por un microcontrolador.

Giroscopios pueden tener ya sea una interfaz de comunicación digital o analógica. Giroscopio con una interfaz digital por lo general usan el SPI o protocolos de comunicación I2C. El uso de estas interfaces permite una conexión fácil a un microcontrolador. Una de las limitaciones de una interfaz digital es la velocidad de muestreo máxima. El I2C tiene una frecuencia de muestreo máximo de 400 Hz. El SPI,

por otro lado, puede tener una frecuencia de muestreo mucho más alta.

Giroscopios con una interfaz analógica representan la velocidad de rotación con un voltaje variable, por lo general entre tierra y la tensión de alimentación. Un ADC en un microcontrolador puede ser utilizado para leer la señal. Giroscopios analógicos pueden ser menos costoso y, a veces más preciso, dependiendo de cómo se está leyendo la señal analógica.

Potencia.

Giroscopios MEMS son generalmente dispositivos de baja potencia. La corriente que consumen está en mA y, a veces en el rango de μA . La tensión de alimentación para giroscopios es generalmente 5V o menos. Giroscopios digitales pueden tener voltajes lógicos seleccionables o funcionar a la tensión de alimentación. Para cualquier interfaz digital, recuerde conectar 5V a líneas de 5V y 3.3V a líneas de 3.3V. También, giroscopios con interfaces digitales pueden tener modos de alimentación y de sueño tan bajos que les permiten ser utilizados en aplicaciones que funcionan con batería. A veces esto es una ventaja sobre un giroscopio analógico.

Alcance.

El rango de medición, o rango de escala completa, es la velocidad angular máxima que el giroscopio puede leer.

Sensibilidad.

La sensibilidad se mide en mV por grado por segundo ($\text{mV} / ^\circ / \text{s}$). Se determina la cantidad de los cambios de voltaje para una velocidad angular dada. Por ejemplo, si se especifica un giroscopio con una sensibilidad de $30 \text{ mV} / ^\circ / \text{s}$ y se ve un cambio de 300 mV en la salida, esto quiere decir que el giroscopio rota a $10 ^\circ / \text{s}$.

Table 3. Mechanical characteristics @ Vdd = 3 V, T = 25 °C unless otherwise noted⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Unit
FSA	Measurement range	4x OUT (amplified)		±30		°/s
FS		OUT (not amplified)		±120		°/s
SoA	Sensitivity ⁽³⁾	4x OUT (amplified)		33.3		mV/ °/s
So		OUT (not amplified)		8.3		mV/ °/s

Ilustración 6. Características mecánicas

Al igual que con cualquier sensor, los valores que son medidos contendrán cierta cantidad de error o corrimiento. Usted puede ver el corrimiento midiendo la salida cuando el giroscopio se encuentre estático. Aunque se podría pensar que se vería 0°/s, siempre se verá un ligero error distinto de cero en la salida. Estos errores son a veces llamados desplazamiento de la polarización. La temperatura del sensor afecta en gran medida el error. Para ayudar a minimizar el origen de este error, la mayoría de los giroscopios han incorporado un sensor de temperatura. Por lo tanto, usted es capaz de leer la temperatura del sensor y corregir cualquier temperatura o cambios dependientes. Con el fin de corregir estos errores, el giróscopo debe ser calibrado.

*Ilustración 7. Giroscopio*

Estructura musculo esquelético.

El músculo representa aproximadamente el 75% de la masa corporal, si es saludable se asocia a un buen funcionamiento del sistema cardiovascular, pulmonar y endocrino, o a la inversa. Y es que el sistema neuromuscular tiene gran repercusión en las actividades de la vida diaria, en la independencia, y también en el deporte. (Vargas A. 2008)

El aparato locomotor está formado por el conjunto de huesos y músculos estriados que tienen que ver con los movimientos del cuerpo. El armazón de los huesos que protege los órganos y permite el movimiento se llama sistema esquelético. Además de los huesos, el sistema esquelético consta de cartílago, que se encuentra en la nariz, la laringe, el oído externo y los sitios de unión de los huesos. Estos sitios de unión se llaman articulaciones. Las funciones del sistema esquelético son:

- Soporte de los tejidos blandos del cuerpo, de modo que se mantengan la forma y la postura.
- Protección de las estructuras delicadas como el cerebro, la médula espinal, los pulmones, el corazón y los grandes vasos de la cavidad torácica.
- Palancas en las cuales se insertan los músculos para permitir los movimientos.
- Depósito de sales minerales, principalmente calcio y fósforo.
- Producción de células sanguíneas (hematopoyesis), que tiene lugar en la médula ósea roja.

La otra parte del aparato locomotor está formada por el sistema muscular esquelético, que está constituido por el tejido muscular. Éste está formado por células especializadas que tienen las siguientes propiedades:

- Irritabilidad o habilidad para responder a los estímulos.
- Contractilidad o habilidad para contraerse cuando se recibe un estímulo adecuado y suficiente.
- Extensibilidad o capacidad para estirarse cuando se distiende.
- Elasticidad o capacidad del músculo para recuperar su forma original después de una contracción o una distensión.

Por medio de la contracción, el músculo realiza sus funciones fundamentales: producir el movimiento corporal, mantener la postura y generar calor. El movimiento se basa en el funcionamiento integral y armónico de los huesos, las articulaciones y los músculos. La contracción de los músculos esqueléticos mantiene la postura corporal adecuada a las situaciones en cada momento.

Finalmente, las contracciones de los músculos esqueléticos producen el calor necesario para el mantenimiento de la temperatura corporal. La estructura de los músculos estriados esqueléticos, así como su clasificación funcional y el mecanismo de contracción se describen en el capítulo sobre el sistema nervioso. Allí también podrá encontrar el lector la descripción de los huesos que forman la columna vertebral. La estructura y función del músculo liso y del músculo estriado cardíaco se estudian, asimismo, en otra parte de este volumen. En este capítulo, el lector podrá encontrar una descripción somera de los huesos, músculos y articulaciones del cuerpo humano en relación con su función motora.

Esqueleto

Está formado por el conjunto de los 206 huesos del cuerpo, que constituyen un soporte rígido que da forma al mismo.

El tejido óseo tiene una gran cantidad de sustancia intercelular que rodea las células óseas (osteocitos), que se encuentran muy separadas unas de otras. Los osteocitos son el resultado de la maduración y desarrollo de las células productoras de hueso, que son los osteoblastos. La sustancia intercelular contiene sales minerales de fosfato y carbonato de calcio, que son responsables de la dureza del hueso. Embebidas entre la sustancia intercelular, se encuentran fibras colágenas, que dan un refuerzo adicional al hueso. A pesar de su apariencia sólida y homogénea, los huesos son porosos. Los poros contienen células vivas y vasos sanguíneos, y la cantidad de éstos en cada hueso determina su clasificación en compactos (pocos poros) y esponjosos (muchos poros). El hueso tiene la propiedad de reemplazarse a sí mismo a lo largo de la vida. Esto significa que el hueso está destruyéndose y regenerándose permanentemente. Esta propiedad permite al tejido óseo, por un lado, servir como almacén para el calcio y el fósforo que necesitan otros tejidos, como el nervioso o el muscular, para realizar sus funciones adecuadamente y, por otro, regenerar el hueso gastado o lesionado, sustituyéndolo por hueso nuevo. Las células responsables de la destrucción del tejido óseo son los osteoclastos. La disponibilidad de huesos normales y adecuados depende de la actividad armónica de los osteoblastos y los osteoclastos para la destrucción y formación

permanente del hueso. Esta actividad está regulada por los efectos de la vitamina D y las hormonas paratiroidea y tirocalcitonina, que se estudiarán adecuadamente en el capítulo dedicado al sistema endocrino. La vitamina D es necesaria para la adecuada absorción intestinal de calcio y fósforo, y su carencia determina la enfermedad denominada raquitismo en los niños y osteomalacia en los adultos.

Los huesos están articulados entre sí para permitir los movimientos y, en general, pueden ser de tres tipos:

- Planos, que protegen órganos delicados (huesos del cráneo que envuelven el cerebro, costillas y esternón que forman el tórax, pelvis ósea que contiene órganos de la cavidad abdominal).
- Largos, que actúan como palancas y constan de una parte larga central que se llama diáfisis, y dos extremidades articulares que se denominan epífisis.
- Cortos, que proporcionan fortaleza. Todos los huesos poseen sitios de unión para los músculos que, al contraerse o relajarse, mueven a los huesos por sus articulaciones. No obstante, hay ciertas articulaciones que no permiten movilidad alguna.

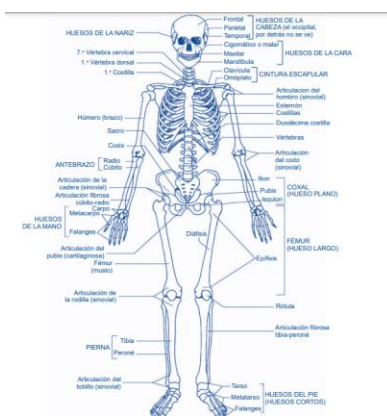


Ilustración 8. ESQUELETO HUMANO

Articulaciones

Las articulaciones se definen como la relación entre dos o más huesos en su punto de contacto. La estructura de la articulación determina su función. Algunas no permiten movimientos, otras permiten tipos limitados de movimientos, mientras que otras, en fin, no ponen límites a los movimientos. En general, cuanto más cerca estén los extremos articulares de los huesos, más fuerte es la articulación y los movimientos son más restringidos. En otras palabras, un mayor grado de movimiento implica un menor grado. De fijación, por lo que las articulaciones más laxas (menos fijas, como, por ejemplo, las del hombro o la cadera) son más propensas a la luxación (pérdida de contacto de las superficies articulares de los huesos). La capacidad de movimiento de las articulaciones también está determinada por la flexibilidad del tejido conjuntivo que une los huesos y por la posición de ligamentos, músculos y tendones.

Las articulaciones fibrosas unen entre sí a los huesos por bordes dentados que se engranan (suturas: por ejemplo las de los huesos del cráneo) o por una membrana o un ligamento fibrosos (sindesmosis: por ejemplo, las articulaciones cúbito-radio y tibia-peroné). Las articulaciones cartilaginosas unen, por medio de cartílago, dos partes de un mismo hueso (sincondrosis: zonas de crecimiento de los huesos largos) o de dos huesos distintos (sífnisis: discos intervertebrales y las de los huesos del pubis). Las articulaciones sinoviales son las más móviles del cuerpo: entre los dos huesos hay una cavidad articular cerrada por la cápsula articular y llena del líquido sinovial.

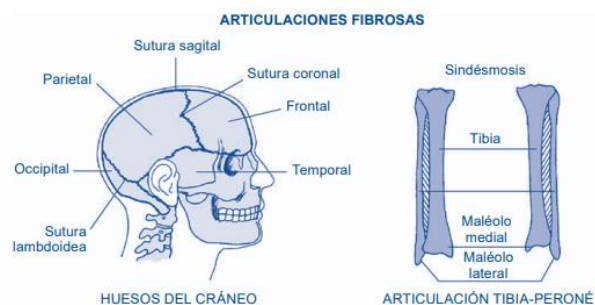


Ilustración 9. Articulaciones fibrosas

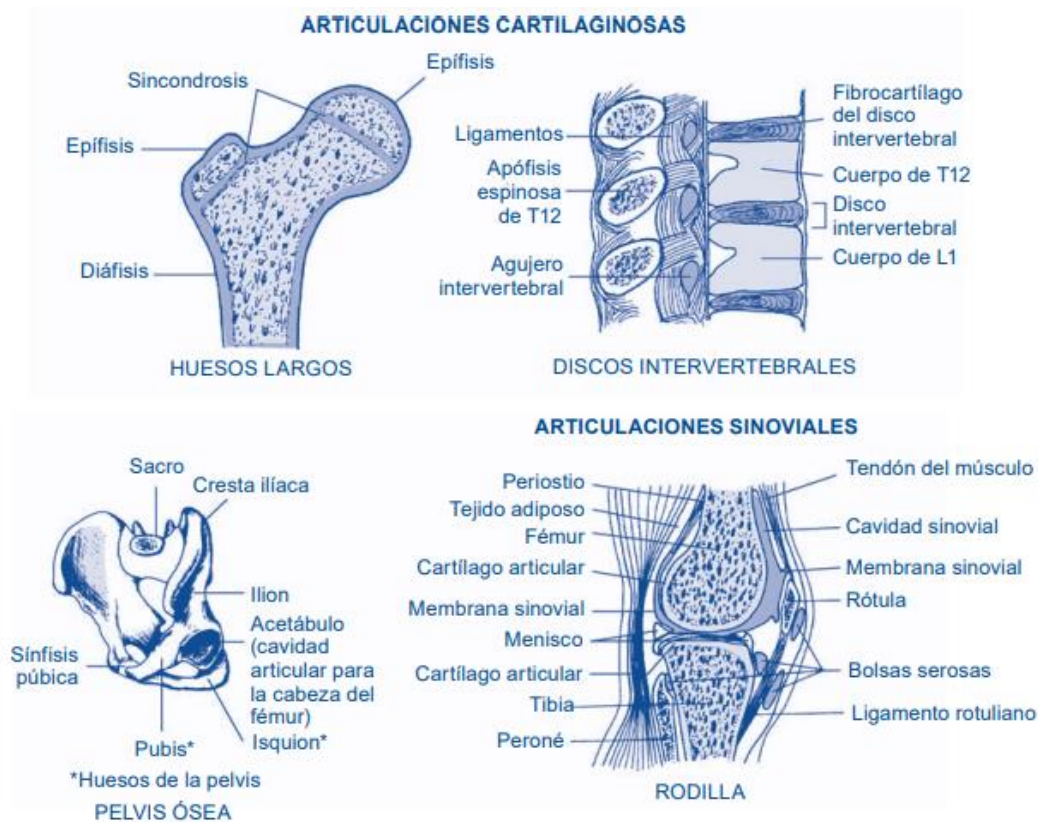


Ilustración 10. Articulaciones Cartilaginosas y sinoviales

Permiten movimientos de:

- Deslizamiento: hacia delante, atrás y los lados, sin movimientos angulares ni rotatorios (las del carpo y el tarso, las de las apófisis articulares vertebrales, etc.).
- Angulares: aumentan y disminuyen el ángulo entre los dos huesos. Están presentes en las articulaciones del codo, los dedos, la rodilla, la cadera, el tobillo, etc. — Flexión: disminución del ángulo. — Extensión: aumento del ángulo. — Abducción: aleja el hueso de la línea media. — Aducción: acerca el hueso a la línea media.
- Rotación o movimiento del hueso alrededor de su propio eje (articulación del atlas con el axis: movimiento de decir «no» con la cabeza).
- Circunducción: el extremo distal de un hueso se mueve en un círculo, mientras que el extremo proximal permanece estable (el hueso traza un cono en el aire y se producen movimientos simultáneos y sucesivos de flexión, extensión, abducción, aducción y rotación, p. ej., movimiento en círculo con el brazo estirado; intervienen las articulaciones del hombro, muñeca, cadera y tobillo).

- Movimientos especiales, referidos a ciertas articulaciones: — Inversión y eversión (movimiento de la planta del pie hacia adentro y afuera, respectivamente, por la articulación del tobillo). — Protracción y retracción (movimiento de la mandíbula o de los hombros hacia adelante o hacia atrás, respectivamente). — Supinación y pronación (rotación hacia arriba o hacia abajo, respectivamente, de la palma de la mano por la articulación radio-cubital). — Diducción (movimiento de oposición del pulgar a los demás dedos de la mano, que permite formar una pinza con el pulgar y los otros dedos).

Músculos

Los músculos del cuerpo humano son más de 400, y su descripción detallada está fuera de los objetivos de este libro. Cubren los huesos y se unen a ellos por los tendones, que son de un material fibroso de gran resistencia a la tensión. Proporcionan el movimiento voluntario del cuerpo.

Los de la parte anterior de las extremidades y los de la espalda son, fundamentalmente, músculos extensores (enderezan los miembros y el tronco, actuando sobre las articulaciones correspondientes), se relacionan con la postura corporal y se oponen a la gravedad. Los de la parte posterior de las extremidades son músculos flexores (doblan los miembros por las articulaciones) y tienen que ver, principalmente, con la marcha. Otros músculos llevan los miembros hacia el lado opuesto a la línea media y se llaman abductores, mientras que los que los llevan hacia la línea media son los aductores. Los músculos rotadores mueven un hueso alrededor de su eje longitudinal. Si la acción es de rotar la palma de la mano hacia arriba, se dice que son supinadores, mientras que se llaman pronadores los que la rotan hacia abajo. Algunos músculos trabajan juntos para producir movimientos complejos, en los que están implicados dos o más de los desplazamientos citados (p. ej. movimientos de circunducción, que implican simultáneamente flexión, extensión, abducción, aducción y rotación). En muchos casos, hay músculos que colaboran para la realización de un movimiento; se llaman entonces músculos agonistas o sinérgicos. Si lo que ocurre es que algún músculo se opone a la acción de otro, estos dos músculos son antagonistas.

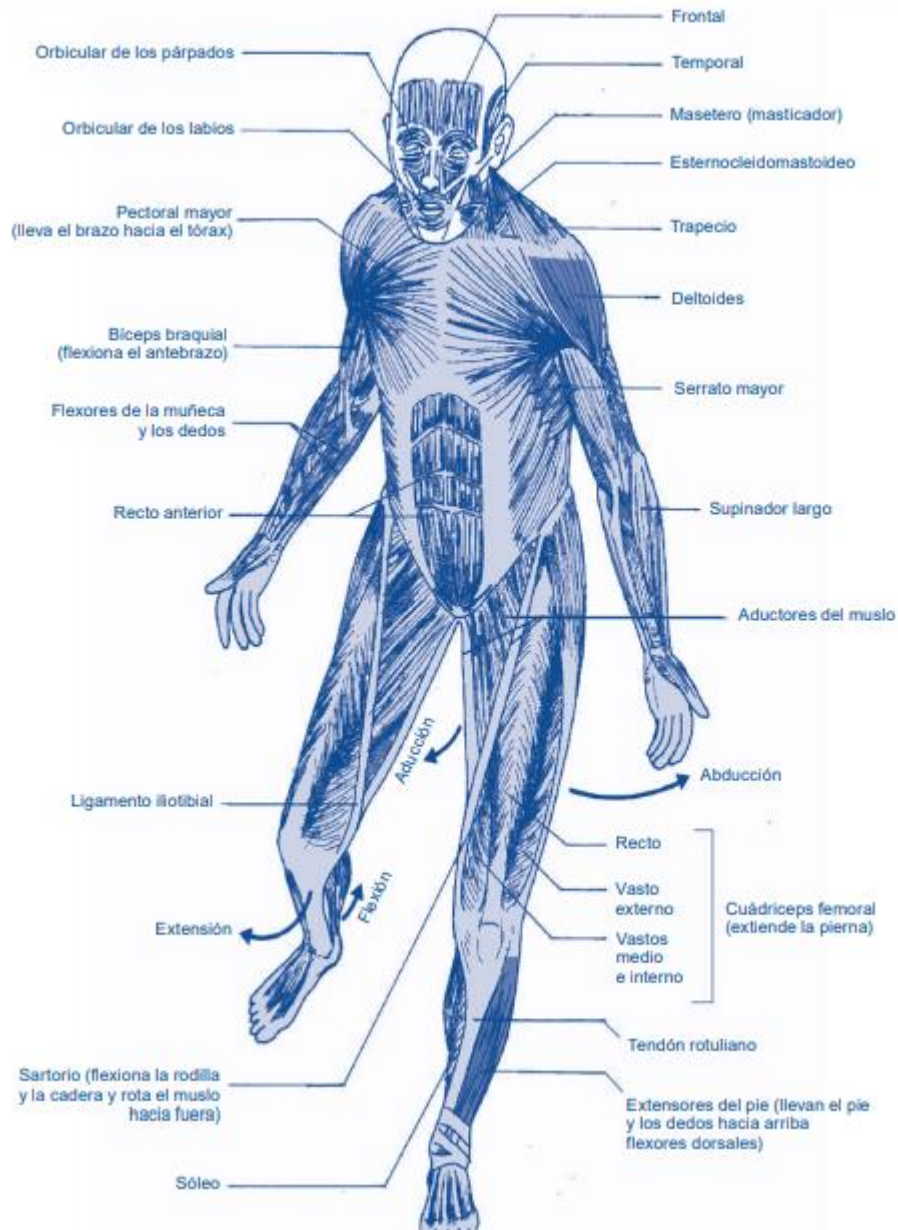


Ilustración 11 sistema muscular toro parte anterior

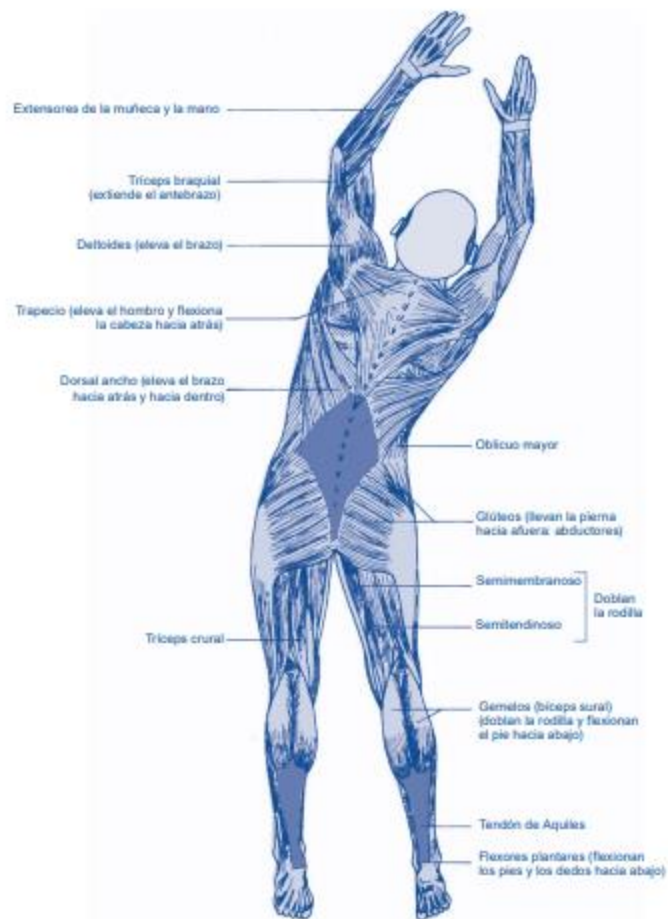


Ilustración 12. Vista posterior

Anatomía de las extremidades inferiores y lesiones

La inflamación de los tendones, que puede ser traumática (por golpes) o infecciosa (por bacterias o virus), se llama tendinitis. La transformación de tejido muscular en tejido fibroso se denomina fibrosis y se produce después de la muerte del tejido muscular por traumas (cicatrices) u otras causas. La inflamación de los músculos por diversas causas se llama miositis. La falta de uso de un músculo por reposo, porque no le llegan los impulsos nerviosos o por una miopatía (enfermedad muscular en general) determina una marcada reducción del tamaño del músculo, que se llama atrofia. Por otra parte, los músculos son capaces de contraerse espontáneamente debido a múltiples causas, dando lugar a fasciculaciones (contracciones involuntarias, repetidas y asincrónicas de fibras de algún músculo esquelético), fibrilaciones (lo mismo, pero de fibras musculares cardíacas), espasmos (calambres) y convulsiones.

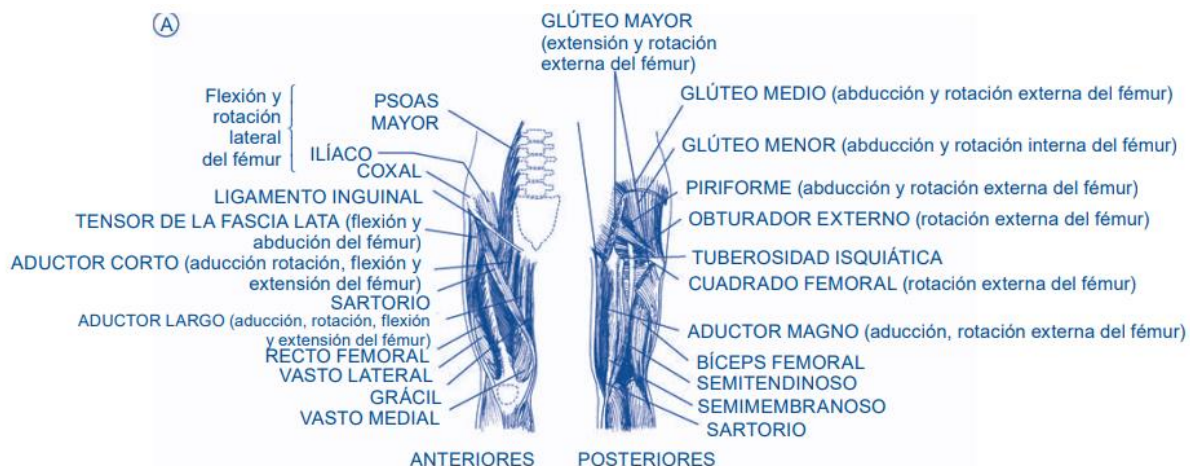


Ilustración 13. Anatomía de las extremidades inferiores

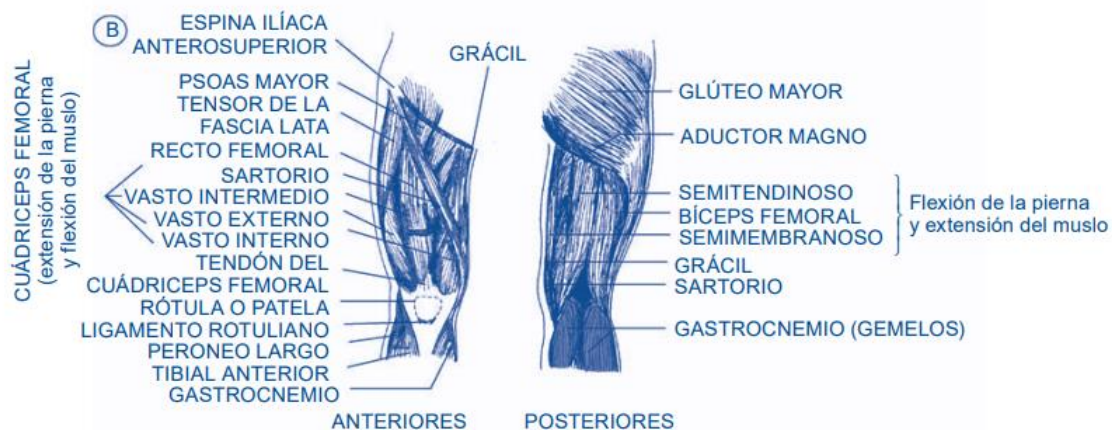


Ilustración 14. Anatomía de extremidades inferiores

CAPÍTULO 4: DESARROLLO

11. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

Fase 1: Investigación y Análisis

1. **Investigación de la literatura:** Revisar artículos científicos y estudios sobre exoesqueletos y tecnologías relacionadas.
2. **Análisis de la anatomía:** Estudiar la anatomía de la extremidad inferior y las articulaciones involucradas.
3. **Identificación de las necesidades del usuario:** Realizar encuestas y entrevistas con personas que podrían beneficiarse de un exoesqueleto para extremidades inferiores.
4. **Diseño de un prototipo inicial:** Crear un prototipo básico del exoesqueleto para extremidades inferiores.

Fase 2: Diseño y Desarrollo del Exoesqueleto

1. **Diseño del exoesqueleto:** Crear un diseño detallado del exoesqueleto, incluyendo la estructura, materiales y características.
2. **Selección de materiales:** Seleccionar materiales adecuados para el exoesqueleto, considerando factores como resistencia, ligereza y comodidad.
3. **Desarrollo del sistema de control:** Crear un sistema de control para el exoesqueleto, incluyendo sensores y actuadores.
4. **Integración de componentes:** Integrar los componentes del exoesqueleto, incluyendo la estructura, el sistema de control y los sensores.

Fase 3: Pruebas y Validación

1. **Pruebas de la seguridad:** Realizar pruebas de seguridad para asegurarse de que el exoesqueleto no cause daño a la persona que lo usa.
2. **Pruebas de la funcionalidad:** Realizar pruebas para asegurarse de que el exoesqueleto funcione correctamente y sea fácil de usar.
3. **Validación del exoesqueleto:** Validar el exoesqueleto con personas que podrían beneficiarse de él.

4. **Recolección de datos:** Recopilar datos sobre el uso y la eficacia del exoesqueleto.

Fase 4: Mejora y Optimización

1. **Análisis de los resultados:** Analizar los resultados de las pruebas y la validación.
2. **Identificación de áreas de mejora:** Identificar áreas de mejora para el exoesqueleto.

Implementación de mejoras: Implementar mejoras en el exoesqueleto, incluyendo cambios en la estructura, el sistema de control o los materiales.

Cronograma de actividades

Actividades por Quincena	Ago -1a	Ago- 2a	Sept – 1a	Sept – 2a	Oct – 1a	Oct- 2a	Nov – 1a	Nov – 2a	Dic- 1a
Planificación y diseño									
Preparación del equipo									
Producción									
Recolección de fallas									
Ajuste de fallas									
Ajustes finales									
Entrega y documentación									

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

12. Resultados

En general, los resultados obtenidos durante el desarrollo del exoesqueleto para extremidades inferiores muestran una mejora significativa en términos de movilidad, estabilidad, fuerza y control. Sin embargo, aún quedan áreas de mejora para lograr una versión más segura y eficiente.

- **Diseño y prototipo:** Se diseñó y prototipo un exoesqueleto para extremidades inferiores que cumple con los requisitos de seguridad, estabilidad y movilidad. El prototipo consta de una estructura de PLA, un sistema de actuadores eléctricos y un controlador de movimiento.
- **Pruebas de movilidad:** Se realizaron pruebas de movilidad con el prototipo, logrando una amplia gama de movimientos, incluyendo caminar, correr y subir escaleras.
- **Análisis de datos:** Se recopilaron datos sobre la eficiencia y la estabilidad del exoesqueleto durante las pruebas de movilidad.



Ilustración 15. exoesqueleto impreso en PLA

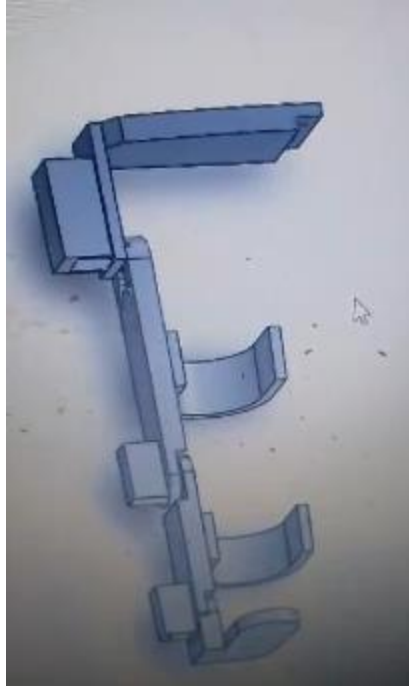


Ilustración 16. Diseño creado en solid.

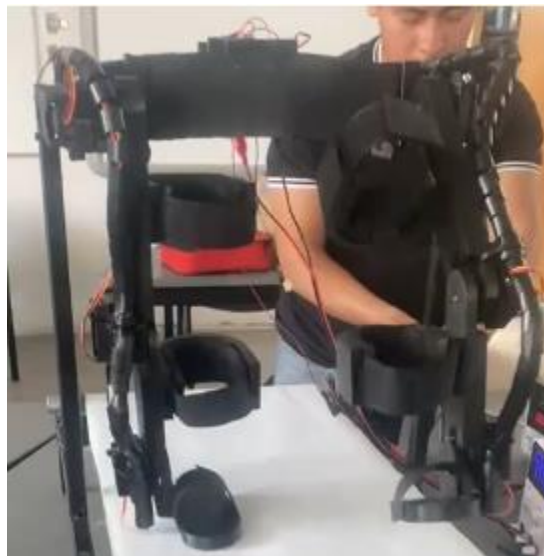


Ilustración 17. Pruebas de prototipo



Ilustración 18. Servomotores de 15 kg, 35 kg y 80 kg.

Los Servomotores elegidos, fueron con el fin de poder crear el movimiento que se genera al caminar, puesto que el ser humano realiza ciertas caminatas relacionadas a un cierto grado de libertad dependiendo la articulación que se esté estudiando.

Las siguientes imágenes presentan la caracterización que se empleó en los actuadores seleccionados con el fin de identificar su funcionamiento y posibles mejoras a emplear en estos.

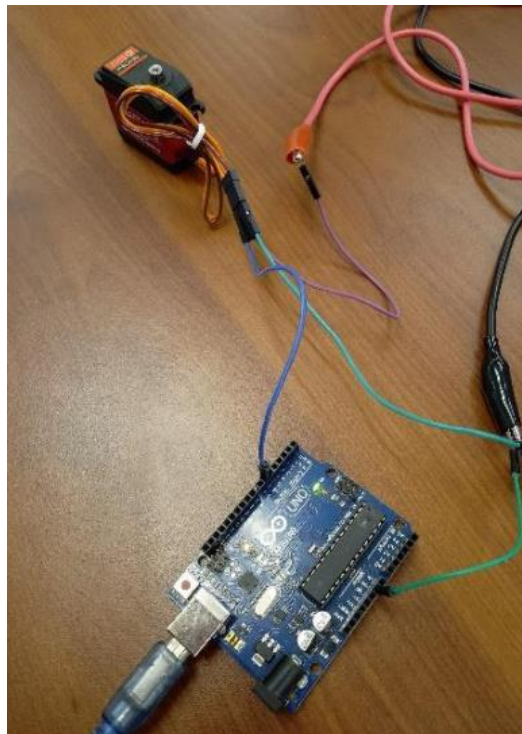


Ilustración 19. Arduino uno

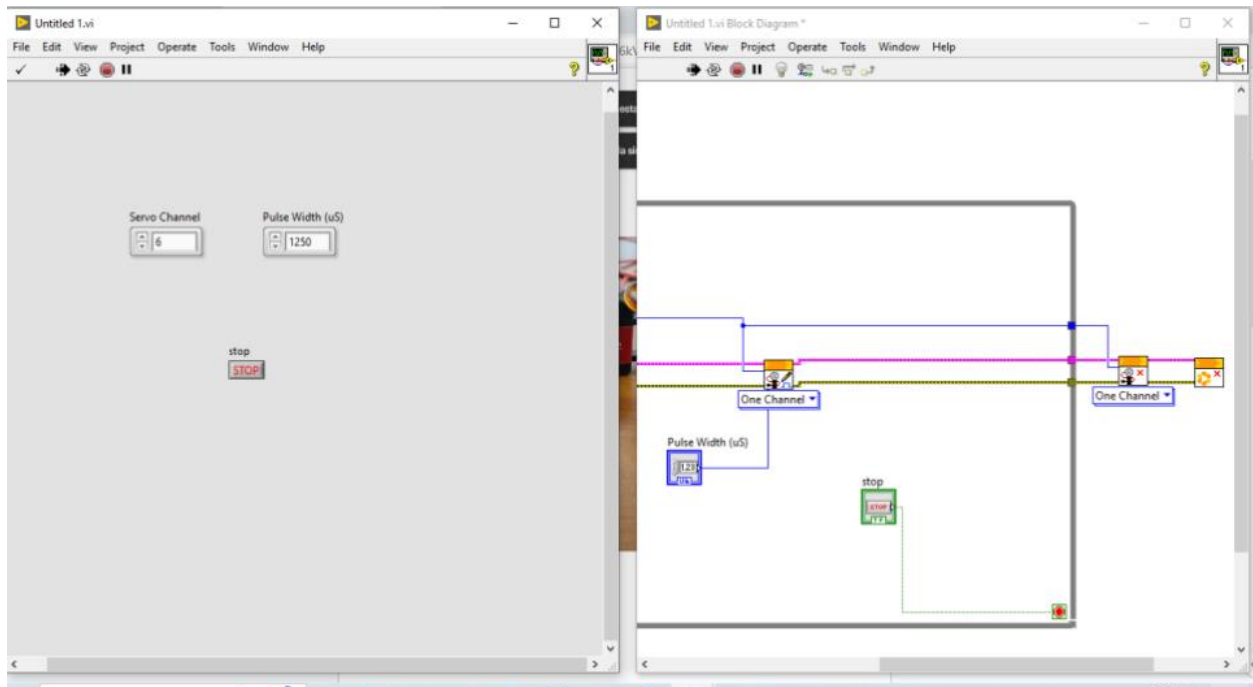


Ilustración 20. Interfaz programa LabView

Se realizó la caracterización de los servomotores para su uso del prototipo de un exoesqueleto de extremidades inferiores, en donde el control se ejecutó con un Arduino UNO y el programa de LabVIEW, como se puede identificar la conexión del Arduino UNO y el programa fue por medio de una conexión bus serial , así como uso de las salidas PWM que dicho arduino tiene en su tarjeta, permitiendo así el movimiento de estos motores por el ancho de pulso que dicho programa genera para el movimiento del servomotor.



Ilustración 21. Fuente de poder

Se conectó el servomotor a un voltaje de 5.5 pero a una corriente de 0.09 amperes, lo que permitió identificar, es que el servo no realiza ningún movimiento, es decir, por no obtener la suficiente corriente dentro del sistema de nuestro servo este no genera ningún movimiento, sin embargo en el osciloscopio se mostró la señal del ancho de pulso pero, no genera el movimiento el servomotor.

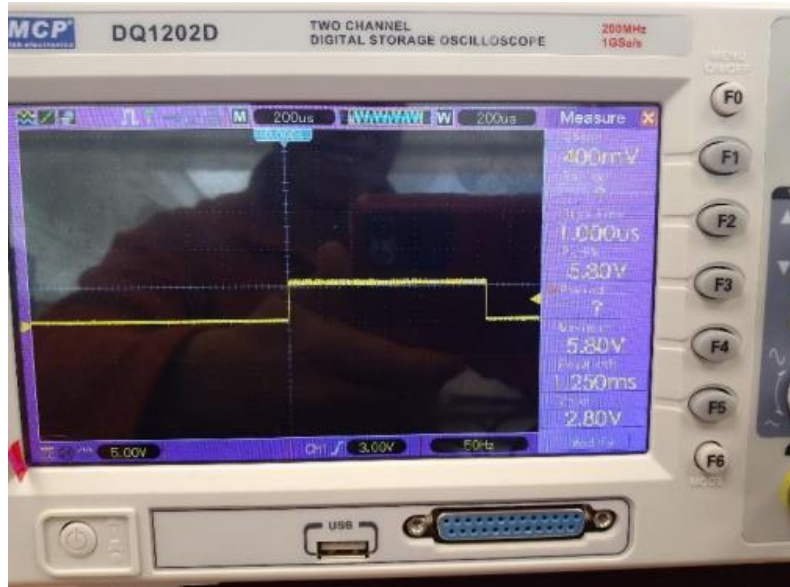


Ilustración 22. Osciloscopio

Después de identificar que las entradas de PWM estaban siendo de manera correcta y se visualizaba el ancho de la gráfica en el osciloscopio de manera casi limpia, se puede identificar que los datos que proporcionaba el proveedor en cuestión de voltaje estaban bien sin embargo, era necesaria una corriente de mínimo 2 amperes para que este funcionara de una manera estable. Si bien, este se realiza en una entrada de corriente menor a los 2 amperes, este solo comenzaría a vibrar y querer como realizar los movimientos determinados por el ancho de pulso indicado pero este no lo realizara de manera correcta.



Ilustración 23. Prueba de torque

Se realizó una prueba en cuestión de torque del servomotor de 35 kg., en donde la regla en color negro está marcada cada 2 cm, se colocó un frasco de agua que pesaba aproximadamente 1 kg, mostrando una alteración en la corriente que este consumía dependiendo la posición en que dicho frasco se colocó, llegando a tener hasta un consumo de casi 3 amperes a una distancia de 12 cm.

Peso	Distancia	Torque
1 Kg = 9.81N	12cm = .12m	1.1772 Nm
2 Kg = 19.62N	12cm = .14m	2.7468

Ilustración 24. Imagen de tabla realizada en Excel

La tabla que se muestra nos permite identificar el torque que este tiene, el torque se logra calcular con la formula fuerza*distancia, en donde la distancia es la regla que colocamos y la fuerza es el peso que aplicamos sobre esa regla.



Ilustración 25. Servomotor de 35 kg

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

13. Conclusiones del Proyecto

El exoesqueleto desarrollado tuvo la finalidad de rehabilitar al paciente con falta de movilidad en extremidades inferiores a través de movimientos controlados, en un dispositivo seguro y cómodo. Al ser el primer prototipo que se crea y con visión a modificar aún más dicho diseño se identificó que se mantuvo eficiencia, ergonomía, fácil uso, resistencia en el diseño y seguridad de la persona. Cabe mencionar que dicho exoesqueleto aún está en mejora de prototipo.

CAPÍTULO 7: COMPETENCIAS DESARROLLADAS

14. Competencias desarrolladas y/o aplicadas.

1. Aplique lo aprendido en la carrera de ingeniería mecatrónica, como: habilidades directivas y de ingeniería en el diseño, gestión, fortalecimiento e innovación de las organizaciones para la toma de decisiones en forma efectiva, con una orientación sistémica y sustentable.
2. Diseñe estructuras administrativas y procesos, con base en las necesidades de las organizaciones para competir eficientemente en mercados globales.
4. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos y modelado de sistemas en los procesos organizacionales, para la mejora continua atendiendo estándares de calidad mundial.
8. Gestione sistemas integrales de calidad para la mejora de los procesos, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
9. Aplique las normas legales para la creación y desarrollo de las organizaciones.
12. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación en la organización, para optimizar los procesos y la eficaz toma de decisiones.
14. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar modelos, sistemas, procesos y productos en las diferentes dimensiones de la organización.

CAPÍTULO 8: FUENTES DE INFORMACIÓN

15. Fuentes de información

BLICKHAN, R.; et al. *Robust behaviour of the human leg* [en línea]. Montreal, Canada: Springer, 2000. [Consulta: 20 octubre 2016]. Disponible en: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F4-431-31381-8_2

CLEMOTTE, Alejandro. "Exoesqueletos". TAI 2 [en línea], 2009, pp. 2-18. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Exoesqueletos.pdf>

CORTÉS RAMÍREZ, S.; & DUARTE MONDRAGÓN, A. *Órtesis activa para la rehabilitación de lesión medular de miembro inferior* [en línea] (tesis). (Ingeniería) Instituto Politecnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F., México. 2013. pp. 2-39. [Consulta: 14 octubre 2016]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13218/1/ORTESIS%20ACTIVA%20PARA%20LA%20REHABILITACION%20DE%20LESION%20MEDULAR%20DE%20MIEMBRO%20INFERIOR.pdf>

FALLER, A.; et al. *The human Body; An Introduction to Structure* [en línea]. 4ta ed. Stuttgart, Alemania: Thieme, 2004. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: http://lib.hcmup.edu.vn:8080/eFileMgr/eFile_folder/eFile_local_folder/2014/2/2014-0226/tvefile.2014-02-26.0404395097.pdf

FONT LLAGUNES, Josep M; et al. "Diseño de una órtesis activa para ayuda a la marcha". XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica; Asociación Española de Ingeniería Mecánica [En línea], 2010, (España), pp. 1-2. [Consulta: 14 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.uclm.es/actividades/2010/CongresoIM/pdf/cdarticulos/019.pdf>

David Octavio Roa Rico, J. J. (2013). *DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS ESPECÍFICOS DE LA CABEZA CON EL*. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Esqueda-Elizondo-2/publication/304581510_DETECCION_DE_MOVIMIENTOS_ESPECIFICOS_DE_LA_CABEZA_CON_EL_ACCELEROMETRO_Y_GIROSCOPIO_MEDIANTE_CORRELACION_CRUZADA/links/577434b808aead7ba06e6174/DETECCION-DE-MOVIMIENTOS-ESPECIFICOS-DE-LA-CABEZA-CON-EL-ACCELEROMETRO-Y-GIROSCOPIO-MEDIANTE-CORRELACION-CRUZADA.pdf

(S/f). Edu.co. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de

https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/184/1/Rep_IUPB_Ing_EI_e_Servomotor4.pdf

De alta producción y precisión. Sin embargo, E. I. P. en S. C. se N. M., de equipamiento. En este informe técnico, S. M. D. A. de E. T., Concepto, I. S. su, Son, C. y. F., Especiales, ¿qué Los Hace, De control se puede tener sobre ellos?, ¿qué Tipo, & Tecnología?, ¿cómo Debemos Aplicar. (s/f). Servomotores: control, precisión y velocidad? Com.ar. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de https://editores.com.ar/sites/default/files/aa4_micro_servomotores.pdf

López, R., Torres, J., Salazar, S., & Lozano, R. (2014). Desarrollo de un exoesqueleto para rehabilitación de tobillo y rodilla. 35, 13–28. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmib/v35n1/v35n1a4.pdf>

(S/f-b). Edu.pe. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de

https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1677/1/TL_SanchezTapiaCarlos.pdf

(S/f). Edu.pe. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de

<https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/bb22092f-e97c-4b5c-a602-df8c7f05d192/content>

Bascón, A. M. Á. (s/f). “HABILIDADES MOTRICES BÁSICAS”. Csif.es. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de

https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_37/MIGUEL_ANGEL_PRIETO_BASCON_01.pdf

(S/f). Edu.co. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de

https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/184/1/Rep_IUPB_Ing_EI_e_Servomotor4.pdf

Introducción al giroscopio. (s/f). 5hertz.com. Recuperado el 17 de diciembre de 2024, de

https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=13

Vargas, A., Amescua-Guerra, L. M., Bernal, M., & Pineda, C. (2008). Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos. 22, 361–373. <https://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2008/or086e.pdf>

Humano, C. (s/f). Anatomía y fisiología del. Cloudfront.net. Recuperado el 18 de diciembre de

2024, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62766730/AnatoFisio_-_Tresguerres20200402-87421-8yp7bh.pdf?1585875101=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAnatomia_y_fisiologia_del_CUERPO_HUMANO.pdf&Expires=1734539125&Signature=Oy9xeElxWrMkHD5zcxad2WxP9grts9RWq8Kyik-uj2c7wKcZUD8CZ4z5DdgP5VRoEngwFWILTp5l5S5QShQtmFYLtr7q4wPSlvYkADT~aGyJx-X3lRRdxLaNEMPd1ts1BsRHN~2bcO-q3x75y0cEOW3nJXTUoCfooCS6JDy2B2AtgD71~ji2KHafJOUMg4xzwP8rwVO5TTLwF2oFE28lbUcC3E7nPFYlpGp38fm9B9LflFrqFjk249FBI2J1CEcmdSKQoBJwQoShQ2iQ5N1fbauv8gGhVN1DFDKK4x7lvk6crKnB5m2miAwI7GBTG6PF1gxWYFdl4On7jvc5Ax6ZOg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

CAPÍTULO 9: ANEXOS

17. Anexos