



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**MANUFACTURA ADITIVA EN DESARROLLO DE MOLDES PARA FUNDICION DE
COMPONENTES DE UN ROBOT ZOOMORFICO EN HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO

INGENIERÍA EN MECATRONICA

PRESENTADO POR:

21641194 LUIS DIEGO FLORES TROCHEZ

ASESOR: ING. JOSE LUIS ORDOÑEZ ÁVILA

CAMPUS: SAN PEDRO SULA;

JULIO, 2020

Resumen Ejecutivo

El siguiente documento estudia la aplicación de la fabricación aditiva en moldes de fundición de metales para fabricar las partes fundamentales de un robot zoomórfico. El principal objetivo de este proyecto es fabricar con éxito los componentes para las extremidades de un robot hexápodo.

El diseño del robot se basó en un diseño experimental previo. Para completar el proyecto se aplicó una metodología en espiral, en la cual las variables dependientes consideradas fueron las siguientes: masa y densidad de los materiales, costos de fabricación y tiempo de fabricación.

Los resultados de este proyecto incluyen la optimización del diseño de fabricación del robot y un presupuesto estimado de \$ 410 para modelos 3D y fundición de aluminio, así como costos de fabricación reducidos y un aumento en las velocidades de fabricación. Finalmente, los autores concluyeron que el uso de estructuras impresas en 3D para moldes de arena en la industria de fundición de metales es un método eficaz para producir los componentes básicos de un robot hexápodo. Además, los autores reconocen que esta práctica es una técnica de fabricación inexplorada en la industria de fundición de metales de Honduras.

Palabras Clave: Fundición de Metales, Robot Zoomórfico, Manufactura Aditiva, Diseño CAD.

Abstract

The following document studies the application of additive manufacturing in metal casting molds to fabricate the fundamental parts of a zoomorphic robot. The main objective of this project is to successfully fabricate the components for the limbs of a hexapod robot.

The robot design was based upon a previous experimental design. A spiral methodology was applied to complete the project, in which the dependent variables considered were the following: mass and density of the materials, fabrication costs, and fabrication time.

The results of this project include the optimization of the robotic design and an estimated budget of \$410 for 3D models and aluminum casting, as well as reduced fabrication costs and an increase in manufacturing speeds. Finally, the authors concluded that the use of 3D printed structures for sand molds in the metal casting industry is an effective method to produce the basic components of a hexapod robot. In addition, the authors recognize this practice to be an unexplored manufacturing technique in the Honduran metal casting industry.

Key Words: Metal Casting, zoomorphic robot, additive manufacturing, CAD design.

Índice de Contenido

Índice de Ilustraciones	VIII
Índice de Tablas	X
Índice de Ecuaciones	XI
I. Introducción	2
II. Planteamiento del Problema	4
2.1 Precedentes	4
2.2 Definición del Problema	7
2.3 Justificación	7
2.4 Preguntas de Investigación	7
2.5 Objetivos	8
2.5.1 Objetivo General	8
2.5.2 Objetivos específicos	8
III. Marco Teórico	9
3.1 Robótica Zoomórfica y Antropomórfica	9
3.1.1 Precursores y Referentes	¡Error! Marcador no definido.
3.1.3 Morfología en la Interacción con Humanos	10
3.2 Mecánica de Materiales	11
3.2.1 Cargas	13
3.2.2 Esfuerzos	16
3.2.3 Esfuerzos Permisibles y Factor de Seguridad	18
3.2.4 Deformaciones	19
3.2.5 Propiedades Mecánicas en los Materiales.	20
3.2.6 Materiales Dúctiles	24
3.3 Manufactura	25
3.3.1 Historia y Conceptualización de la Manufactura	26
3.3.2 Materiales en la Manufactura	27
3.3.3 Procesos de Manufactura en Metales	31
3.3.4 Manufactura Aditiva en Metales	37
IV. Metodología	41
4.1 Enfoque	41
4.2 Variables de Investigación	41
4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados	43

4.4 Materiales	43
4.5 Metodología de Estudio	43
4.5.1 Primer Ciclo. Objetivo Especifico 1: Diseño del Modelo de Fabricación	44
4.5.2 Segundo Ciclo. Objetivo Especifico II: Manufactura y Materiales	45
4.5.3 Tercer Ciclo. Objetivo Especifico III: Fabricación de Piezas	47
4.6 Metodología de Validación	48
4.7 Cronograma de Actividades	48
V. Resultados y Análisis	50
5.1 Análisis del Marco Teórico	50
5.2 Resultados Primer Ciclo. Diseño de Fabricación	52
5.3 Resultados Segundo Ciclo. Manufactura y Materiales	62
5.3 Resultados Tercer Ciclo. Fabricación de Componentes	70
VI Conclusiones	77
VII Recomendaciones	78
VIII Bibliografía	79
IX. Anexos	84
MANUAL DE ENSAMBLAJE Y DISEÑO DE FABRICACION	84
ESPECIFICACIONES	86
ANTES DEL ENSAMBLAJE	86
PIEZAS	87
PIEZAS DEL DISEÑO DE FABRICACION	87
RODAMIENTOS	88
PERNOS	88
PASOS DE ENSAMBLAJE	89
SOPORTE DEL COXIS	89
COXIS	90
CHASIS	91
FEMUR	91
TIBIA	93
RESULTADO	94

Índice de Ilustraciones

Figura 1: Diseños de Mecanismos de Da Vinci.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2: Spot, el cuadrupedo de Boston Dynamics	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3: Representacion de los tipos de carga que pueden actuar en un cuerpo	15
Figura 4: Representacion de esfuerzos cortantes y normales en plano tridimensional.....	17
Figura 5: Diagrama de esfuerzo-deformacion convencional y verdadero para Acero	23
Figura 6: Ciclo de Vida de Produccion de Polvos; Manufactura Aditiva de Metales	39
Figura 7: Primer Ciclo	44
Figura 8: Segundo Ciclo.....	45
Figura 9: Tercer Ciclo.....	47
Figura 10: Cronología de Actividades.....	49
Figura 11: Cronología de Actividades (Continuacion).....	49
Figura 12: Proceso de Realizacion del Proyecto	51
Figura 13: Diseño Original del Coxis; secciones que necesitan cambios	52
Figura 14: Coxis Rediseñado, Operacion de Taladro en Seccion trasera para union con Soporte de Coxis	52
Figura 15: Coxis Rediseñado; Operacion de Taladro en Seccion Frontal para union con Femur.	53
Figura 16: Diseño Original Soporte de Coxis; Seccion que necesita cambios.....	54
Figura 17: Plano Superior Seguro de Rodamientos Coxis. Unidades: cm	54
Figura 18: Coxis Rediseñado	55
Figura 19: Vista Isometrica, Lateral y Frontal de Pin de Seguridad Coxis. Unidades: cm	55
Figura 20: Diseño Original del Femur; Secciones que necesitan cambios.....	56
Figura 21: Femur Rediseñado	56
Figura 22: Plano Superior Seguro para Rodamientos Femur. Unidades: cm.....	57
Figura 23: Diseño Sello de Femur	57
Figura 24: Plano Superior Sello de Femur. Unidades: cm	58
Figura 25: Ensamble de Femur, Sello de Femur, Rodamientos y Seguros de Rodamientos de Femur	58
Figura 26: Plano Lateral, Fronatl e Isometrico Pin de Seguridad Femur. Unidades: cm.....	59
Figura 27: Tibia Diseño Experimental; Seccion que necesita cambio.....	59
Figura 28: Tibia Rediseñada	60
Figura 29: Manual de Ensamblaje; Union entre Femur y Coxis.....	61
Figura 30: Vista Explosionada de Ensamblaje de Una Extremidad Completa	61
Figura 31: Modelo de Tibia Visto en UltimakerCura.....	66
Figura 32: Modelo de Femur Visto en UltimakerCura	66
Figura 33: Modelo de Femur.....	68
Figura 34: Impresion 3D de Modelo Tibia.....	68
Figura 35: Seguro de Rodamiento de Soporte de Coxis, Sello de Femur y Seguro de Rodamientos de Femur	69
Figura 36: Modelo Final Femur.....	70
Figura 37: Huecos en Extremos del Femur con Bloques de Bentonita y Arena.....	71
Figura 38: Moldes de Arena para Fundicion de Femur.....	71
Figura 39: Proceso de Creacion de Moldes de Coxis y Soporte de Coxis.....	72
Figura 40: Fundicion Final de Femur en Aluminio	73
Figura 41: Fundicion Final de Tibia en Aluminio	73

Figura 42: Fundicion Final de Coxis y Soporte de Coxis en Aluminio..... 74
Figura 43: Extremidad del Robot 76

Índice de Tablas

Tabla 1: Conexiones de apoyo y sus respectivas reacciones; problemas bidimensionales.....	14
Tabla 2: Composicion y Propiedades de Hierros Colados.....	29
Tabla 3: Nomenclatura de forjado y fundicion de aluminio y aleaciones	30
Tabla 4: Composicion y Propiedades de aluminio y aleaciones	31
Tabla 5: Empresas Metalurgicas Registradas en Honduras segun la Asociacion Nacial de Industriales	32
Tabla 6: Empresas Metalurgicas Registradas en Honduras segun Asociacion Hondureña de Maquiladores	32
Tabla 7: Variables de Investigación.....	42
Tabla 8: Pernos Metricos para Diseño de Fabricacion.....	60
Tabla 9: Comparacion de Materiales para Fundicion de Femur.....	63
Tabla 10: Comparacion de Materiales para Fundicion de Tibia	63
Tabla 11: Desglose de Partes del Proyecto	64
Tabla 12: Comparacion de Metodos: Modelos.....	67
Tabla 13: Costos y Tiempo de Fabricacion de Moldes.....	69
Tabla 14: Componentes Fabricados en Aluminio	74
Tabla 15: Masas de los Componentes	75

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Primera Ley de Newton; cuerpo en equilibrio.....	16
Ecuación 2: Esfuerzo Normal	17
Ecuación 3: FS en relacion a los esfuerzos de falla, normal y cortante	19
Ecuación 4: Ecuacion de esfuerzo y deformacion para diagrama de esfuerzo-deformacion convencional	21
Ecuación 5: Porcentaje de Elongacion	25
Ecuación 6: Porcentaje de Reduccion de Area	25
Ecuación 7: Carga de Viruta, operacion de fresado	36

I. Introducción

El presente proyecto mostrará el proceso del diseño de una metodología de fabricación de metales para componentes personalizados de un robot zoomórfico hexápodo. Para la realización de este proyecto se partirá de un diseño experimental realizado anteriormente por un alumno de Ingeniería en Mecatrónica de UNITEC SPS como Proyecto de Investigación. Se planteará el problema partiendo de una justificación y precedentes del mismo. Utilizando preguntas investigativas se formarán los objetivos de este proyecto.

Se realizará un marco teórico, el cual englobará todos los conceptos utilizados para generar o validar los resultados obtenidos en la investigación. Dentro del marco teórico se mencionarán generalidades de la robótica zoomórfica y se determinarán los parámetros de las técnicas de manufactura de metales que podrán ser útiles para la realización del proyecto. Así mismo, se hablará de la manufactura aditiva, su crecimiento en la industria y tecnología moderna y su utilidad en el presente proyecto.

Se planteará la metodología con la cual se llevará a cabo la totalidad del proyecto. Para el proyecto se implementó la metodología en espiral, por lo tanto, se definirán cada uno de los puntos a evaluar y desarrollar en cada ciclo de la espiral.

Todos los resultados obtenidos en el proyecto serán expuestos con evidencias. Previo a esto, se realizará un análisis de marco teórico en el cual se considera la información obtenida en el tercer capítulo y se evaluará su utilidad para este proyecto. Los resultados obtenidos en el proyecto corresponderán a cada uno de los objetivos estipulados en el segundo capítulo del informe de investigación. Los resultados expondrán todos los pasos desde el diseño de manufactura del robot hasta las extremidades robóticas terminadas.

Las conclusiones obtenidas a partir del análisis de la información expuesta en el capítulo de resultados serán el final del proyecto. Las conclusiones del proyecto reflejan las ideas principales, las cuales pueden ser validadas gracias a los capítulos anteriores del informe de investigación.

Se contará con una amplia lista de las fuentes utilizadas para obtener información valiosa para el proyecto de investigación. Estas fuentes se encontrarán en la última versión del formato APA. La gran mayoría de fuentes consultadas provendrán de revistas científicas y son documentos científicos publicados en los últimos 5 años. Cada una de las referencias mostradas en los siguientes capítulos podrá ser encontrada detalladamente en el capítulo de bibliografía

Los anexos útiles para la apreciación de este proyecto también estarán disponibles en el último capítulo del presente informe. Dichos anexos serán un recurso valioso para el lector

II. Planteamiento del Problema

En este capítulo se presentará el precedente del problema y la definición de este, con el propósito de posteriormente justificar de manera adecuada la razón por la cual se realizará la investigación de este proyecto. Seguidamente se definirán las preguntas a investigar y los objetivos generales y específicos.

2.1 Precedentes

El área de la robótica cada año realiza excelentes avances con el objetivo de facilitar un proceso o labor. Los robots han demostrado que pueden tener un impacto considerable en diversas áreas de interés, como la industria, la medicina y muchos campos más. Desde inicios del siglo actual, se ha notado un incremento en la notoriedad de las posibles aplicaciones que puede tener un robot, provocando más interés en el desarrollo de los mismos (Ruishu et al., 2018). Sin embargo, mucha de la maquinaria robótica autónoma que se emplea, es diseñada para trabajar en las condiciones de un ambiente industrial en el cual es necesario velar por los factores de seguridad (Robla-Gomez et al., 2017). El avance del campo de la robótica zoomórfica y/o antropomórfica nos brinda cada día más cerca a tener robots que puedan ser autónomos a una extensa variedad de situaciones altamente variables, específicamente, trabajos y actividades en los cuales el terreno sea un fuerte obstáculo y en ambientes no industriales. Alrededor del mundo, se están realizando distintas investigaciones que ayudaran a optimizar las posibles funciones de robots hexápodos (Murshiduzzaman et al., 2019) o robots de seis extremidades. Esto nos indica que en Honduras existe la capacidad investigativa para considerar la implementación de soluciones por medio de robótica zoomórfica a problemas que el país se ha enfrentado o se enfrentara.

Para la apreciación adecuada de la tecnología de robótica zoomórfica, es necesario hacer menciones de aquellos que han brindado las bases para esa rama tecnológica como la conocemos hoy. Es también de gran importancia mencionar aquellos que impulsan las barreras de este campo, con el propósito de innovar e incrementar las posibilidades de las aplicaciones de esta tecnología. En esta sección se hablará de Leonardo da Vinci, como uno de los primeros en

presentar diseños mecánicos zoomórficos. Se mencionará también dos de las compañías tecnológicas que han hecho aportes a la robótica zoomórfica en la actualidad.

A pesar de que se afirma que el zoomorfismo como tal es parte de la historia de la humanidad, se comprende que se habla meramente del zoomorfismo como parte de diversos diseños artesanales, arquitectónicos y decorativos. El zoomorfismo como parte de mecanismos (y posteriormente el campo de la robótica) se puede ver desde los tiempos de Leonardo da Vinci. El famoso renacentista que sobresalió en varios campos del arte y de la ciencia en el siglo XV, fue uno de los grandes precursores de la ingeniería, y su vez, de la robótica zoomórfica y antropomórfica, ya que se le otorga a él el primer diseño y posiblemente la primera construcción de un robot antropomórfico. Este incluso intentaba ser anatómicamente corriente, teniendo incluso una mandíbula funcional y extremidades operadas por cuerdas. Utilizaba la tecnología a su alcance, como sistemas de manivela y biela para poder simular los grados de libertad del mecanismo (Valencia Giraldo, s. f.). Fueron las aves su inspiración preferida para su diseño mecánico zoomórfico, el cual se simulaba el aleteo de alas. Se puede apreciar en la figura 1 su inspiración en la anatomía de las aves, al hacer una estructura que podría soportar a un humano y que le impulse a tomar vuelo. Desafortunadamente, al igual que varios de los inventos de Leonardo, fue solamente un diseño, puesto que no llegó a ser completamente funcional debido a la tecnología que le rodeaba en su momento. Sin embargo, es de admirar los avances y aportes que realizó Leonardo da Vinci en el campo de la mecánica y, a, por ende, a la robótica.

Siglos más tarde, en el siglo XX fue cuando empezó la innovación de la maquinaria que en la actualidad se conoce como robots. Desde los tiempos de Leonardo da Vinci, la humanidad ha presenciado grandes cambios en el campo de la robótica, siendo este un tema popular en la actualidad. Lo que en épocas pasadas se veía como un concepto lejano a la realidad, es posible en la actualidad gracias a los increíbles avances tecnológicos que se han dado en los siglos XX y XXI.

Uno de los más grandes referentes, no solo de la robótica, sino que de la robótica zoomórfica es la compañía tecnológica norteamericana Boston Dynamics. Boston Dynamics ha

adquirido una considerable colección de robots zoomórficos y antropomórficos, presentando a algunos de ellos como los más avanzados del mundo.

Algunos de los más conocidos robots que han salido de los laboratorios de Boston Dynamics son BigDog, el primer robot cuadrúpedo que la compañía presentó en el 2004 y WildCat, el cuadrúpedo más veloz del mundo, quien puede mantenerse a una velocidad de 32 km/h. (*Legacy Robots | Boston Dynamics*, s. f.) Sin embargo, son Atlas y Spot los robots más avanzados y conocidos que posee la compañía. Atlas es un increíble robot antropomórfico con una masa de 80kg y un total de 28 actuadores hidráulicos que le permiten realizar diversas maniobras en incluso saltos acrobáticos. Seguidamente, Spot es su robot cuadrúpedo más novedoso, el cual cuenta con una serie de módulos de sensores para percepción que le permiten tener excelentes reflejos. Spot puede maniobrar entre difíciles obstáculos con facilidad y con excelente balance. (Guizzo, 2019)

Otra compañía de gran importancia en el campo de la robótica zoomórfica es la compañía de automatización fundada en Alemania, FESTO, quienes han puesto su inspiración en la robótica zoomórfica al máximo al presentar diversos robots inspirados en animales como los pingüinos, mantarraya, libélulas, mariposas y más. "BionicFlyingFox" es su aporte más reciente, presentado en el 2017, es un robot ágil autónomo que vuela sobre un espacio definido de manera completamente independiente, realizando cálculos de trayectoria y decisiones a gran velocidad para realizar su trabajo de la mejor forma. Las alas de este robot tienen una envergadura de 228 cm y la longitud total de su cuerpo es de 87 cm y está diseñado con la misma naturaleza del modelo biológico del zorro volador. (Festo, s. f.).

A diferencia de los modelos presentados por Boston Dynamics, los modelos de FESTO tienden a ser mucho más anatómicamente exactos, puesto que sus robots genuinamente se asemejan a los animales por los cuales se inspiraron. Al igual que el BionicFlyingFox, los otros diseños de robots zoomórficos están hechos de acuerdo con la anatomía real del animal que les inspiró, utilizando sus ventajas naturales para realizar una actividad, ya sea vuelo, técnicas de nadado y más.

2.2 Definición del Problema

La implementación de robots zoomórficos tiene un alto potencial específicamente para problemas o circunstancias en las cuales el robot encuentre obstáculos terrenales. Actualmente en Honduras existe una carencia de equipo autónomo para la medición de la calidad del aire en zonas forestales. Las mediciones del aire en los sectores necesarios se realizan de manera manual. En caso de ser un sistema inteligente implementado, este es de carácter estático y no puede ser movilizadado en otra área necesaria. En pocas palabras, no se cuenta con un equipo móvil autónomo que pueda movilizarse con facilidad en el terreno de un bosque, por lo cual es necesario fabricar este robot de la manera más eficaz posible, utilizando el material y el proceso de manufactura que pruebe ser el mejor para la aplicación deseada.

2.3 Justificación

La fabricación correcta de un robot zoomórfico para esta aplicación tiene potencial de ser de gran utilidad, ya que su estructura y mecanismo le proporcionara facilidad de movimiento a través de la superficie impredecible que puede tener un área forestal. La investigación de procesos de fabricación y análisis de materiales va a asegurar que el robot tenga una estructura confiable para cualquier circunstancia imprevista que se le pueda presentar al momento de hacer mediciones. Según (Ávila et al., 2020), analistas pueden ver un potencial en el mercado de robótica, específicamente, en robótica autónoma de hasta \$3 billones en 2022 en países como Honduras, donde robots autómatas pueden reducir los requerimientos de labor humana.

2.4 Preguntas de Investigación

- ¿Cuál es la diferencia entre un diseño experimental y un diseño de fabricación en un robot zoomórfico?
- ¿Cuáles son los materiales ideales para cada una de las partes de las extremidades del robot, como la Tibia, el Fémur y el Coxis?
- ¿Qué método de manufactura de metales es el más adecuado para la fabricación de los componentes de un robot zoomórfico?

2.5 Objetivos

A continuación, en esta sección se detallarán los objetivos generales y específicos que se desean alcanzar con este proyecto.

2.5.1 Objetivo General

- Diseñar el proceso de fabricación de metales que permite la mejor manufactura posible de las piezas de un robot zoomórfico hexápodo.

2.5.2 Objetivos específicos

- Optimizar diseño experimental con el propósito de preparar las piezas para la fabricación real del robot.
- Determinar el material más adecuado para cada una de las partes de la estructura del robot.
- Fabricar los componentes de cada extremidad con el proceso de manufactura más adecuado.

III. Marco Teórico

En el siguiente capítulo se definirán todos los conceptos, teorías y fundamentos necesarios para sustentar el trabajo que se realizará en toda la investigación, validando de esta manera cualquier resultado obtenido para los objetivos planteados en el capítulo anterior.

3.1 Robótica Zoomórfica y Antropomórfica

Por muchos siglos, el zoomorfismo ha estado presente en distintas partes de la historia. Un ejemplo cotidiano del zoomorfismo es un juguete para infantes cuya apariencia sea una versión más simpática de un animal. Por lo tanto, se conoce como una figura zoomórfica a un diseño hecho por el hombre, cuyas características son similares a los rasgos de un animal (Duncan et al., 2015). Este diseño, por ende, no es un diseño anatómicamente exacto de un animal en específico. Con este concepto en mente, es posible entonces definir la robótica zoomórfica como la rama de la robótica en la cual el diseño de sus robots se ven inspirados en las características biológicas de un animal, como puede ser su número de extremidades, manera de interactuar con lo que le rodea y su apariencia en general.

El antropomorfismo, por otro lado, se refiere a la adición de características humanas a objetos o cuerpos que no se clasifican como tal (Schmitz, 2011). Por lo tanto, la robótica antropomórfica, es aquella en la que los robots fabricados y diseñados tienen características de un humano y es a causa de esto que es común referirse a robots antropomórficos como robots humanoides: por sus rasgos parecidos a los de un humano.

Con estos conceptos, se puede hacer referencia a una categorización bastante común para los tipos de robot. Es habitual categorizar tipos de robot basados en su morfología, es decir, su forma o apariencia. Los tres grupos principales de robots según

su morfología son los robots zoomórficos, antropomórficos y funcionales. Según los párrafos anteriores se definen entonces los robots zoomórficos y antropomórficos como los que se asemejan a animales y los que se equiparan con los humanos, respectivamente. Son entonces los robots funcionales aquellos que su apariencia se basa solamente en la función para lo que fueron fabricados (Trovato et al., 2018). La utilidad que pueden llegar a tener los robots diseñados zoomórficamente es muy alta, pues pueden ser diseñados con el propósito de movilizarse o realizar labores que un robot diseñado por funcionalidad no podría realizar con facilidad. Por la naturaleza de su diseño, pueden asimilar movimientos reales de especímenes de la fauna y realizar labores como moverse en terrenos difíciles. (Ariawan et al., 2020) A su vez, los robots bípedos o antropomórficos de dos piernas, efectivamente pueden asimilar los movimientos de humanos y realizar labores como levantamiento de objetos y movilidad continua en un espacio determinado. (Yong-Tao et al., 2018)

3.1.2 Morfología en la Interacción con Humanos

Con el incremento de robots y de sus aplicaciones en la sociedad, se han realizado varios estudios cuyo enfoque se basa en la naturaleza de la relación entre humanos y robots. Los robots cada vez están más presentes en la vida cotidiana de la sociedad, no solo en la industria o en laboratorios sofisticados, los robots son parte incluso de la vida hogareña de las personas, teniendo acceso a robots de limpieza y ayuda en casa.

La noción que se tenía de un robot hace dos décadas ha cambiado drásticamente con el tiempo. Hoy en día los robots tienen la habilidad de incluso responder con comandos de voz en vivo, responder a situaciones sociales. Por lo tanto, es un área de interés el estudio psicológico de la relación entre robot y humano, mejor conocido como Human Robot Interaction (HRI). (Dautenhahn, 2018).

Con el propósito de próximamente utilizar la ayuda de la robótica para apoyar en áreas tales como atención, cuidado a mayores e infantes, enseñanza y servicio en general, se realizan muchos estudios con el enfoque del impacto psicológico que puede tener la morfología de estas máquinas en las personas con las van a convivir. El estudio de (de Graaf & Allouch, 2017) muestra que el zoomorfismo y las expectativas previas a interactuar con un robot crean una reacción generalmente positiva con respecto a visualizar un robot como un acompañante o un elemento social confiable.

La naturaleza de la creación de los robots es para el servicio de los humanos, es decir, son creados con el propósito de realizar una labor que un humano no podría hacer por diferentes razones. Las razones pueden ser por falta de precisión en una labor o carencia de fuerza u otra propiedad relacionada con potencia.

Con el propósito de brindar un servicio adecuado para las personas, los usos o aplicaciones de los robots se deben de investigar contiguo a su apariencia; distintas labores proveen distinta percepción de los robots. Los estudios en general definen que los humanos sienten una presencia social más agradable con robots morfológicamente orientados al humano en comparación a robots morfológicamente orientados a producto. (Choi & Kwak, 2015)

3.2 Mecánica de Materiales

Es necesario conocer todos los términos que pueden ser de utilidad para el estudio de la resistencia de materiales, debido a que estas herramientas pueden ser de utilidad al momento de hacer un análisis adecuado de los materiales que se considerarán para la fabricación completa de los elementos de un proyecto. Es de gran interés para el proyecto lograr obtener los datos precisos con respecto a las diferentes cargas, esfuerzos, deformaciones o propiedades mecánicas, entre otros, que puedan tener las diferentes piezas del proyecto terminado. De esta manera, las personas de interés en un proyecto

específico pueden tener en consideración las posibles ventajas o restricciones que pueden arriesgar la integridad física de un proyecto. Cuando se habla del concepto “mecánica de los materiales”, se entiende que es una de rama de la mecánica como tal. Es el campo de la mecánica que se especializa en el estudio de las propiedades o, mejor dicho, el cambio de estas, en un material. En otras palabras, el enfoque de esta rama es el efecto que pueden tener fuerzas externas en un objeto de un material específico. (Hibbeler et al., 2017)

Dentro de la mecánica de materiales se manejan los conceptos de carga, esfuerzo y deformación. Naturalmente, una carga es una fuerza exterior que actúa sobre el cuerpo que se está considerando en el análisis. Esta carga tiene como resultado el concepto de un esfuerzo, el cual es la fuerza interna aplicada por el material como reacción a la carga con el propósito de evitar que este se deforme.

En castellano, se comprende que la resistencia es meramente la oposición a una acción y en la mecánica de los materiales ese concepto se traslada de la misma forma. Entonces, la resistencia de un material es definida por la oposición de este a ser deformado, el cual se puede ver reflejado como una medida de elongación en el material al cual se le aplique una carga y por lo tanto puede ser evaluado y cuantificado.

Es importante mencionar que la resistencia es una propiedad única del material en consideración, la cual es encontrada por medio de experimentación y pruebas que les permiten a los científicos encontrar el valor de este. La elongación puede verse como el cambio en la forma o el tamaño del objeto considerado, es decir, solamente cambios físicos que experimente el material que se está analizando. El análisis de todos estos conceptos y el desarrollo de fórmulas para estudios más desarrollados son el fundamento para la utilización de materiales en distintos campos de la ingeniería como tal. (Mott & Navarro Salas, 2009)

3.2.1 Cargas

Gracias al resumen de conceptos que se realizó anteriormente, se comprende entonces que la carga es una fuerza puesta sobre el objeto que está en estudio. Existen dos tipos de cargas o fuerzas que pueden afectar un material, las cuales son: fuerzas superficiales y fuerzas de cuerpo. Al ser fuerzas, estas se miden en Newtons (N). Las fuerzas superficiales son conocidas como aquellas en las que el punto de contacto de la fuerza es la superficie del objeto contra la superficie de otro cuerpo. A su vez, las fuerzas o cargas superficiales pueden ser de diversos tipos. Si la fuerza superficial se aplica sobre un área lo suficientemente pequeña, esta puede ser estudiado como una fuerza concentrada y, por propósitos de un análisis más sencillo, se puede considerar el área de contacto de la fuerza como solamente un punto de concentración. Por otro lado, a pesar de que la fuerza superficial se dice que siempre está distribuida por el área de contacto, si la fuerza se aplica en un área que se considere lineal, esta fuerza se puede clasificar como una carga linealmente distribuida. De la misma manera en la que se puede analizar la fuerza concentrada, la fuerza linealmente distribuida también puede ser simplificada a una línea de contacto por el propósito de un análisis más sencillo y generalizado de la carga que se está aplicando. En una carga distribuida de manera general en un área, ésta se puede representar por medio de la carga resultante, la cual es el resultado del área bajo la curva de la fuerza que se está distribuyendo en el área. Esta fuerza resultante actúa sobre el centro geométrico del área que se está considerando.

Cuando una fuerza superficial se aplica sobre un punto de apoyo que se encuentra entre los dos cuerpos, se dice que esta fuerza se denomina una reacción. La regla general que implementa (Hibbeler et al., 2017) para las reacciones en un punto de apoyo es la siguiente:

“si el soporte impide la traslación en una dirección dada, entonces debe desarrollarse una fuerza sobre el elemento en esa dirección. Del mismo modo, si se impide la rotación, debe ejercerse un momento sobre el elemento.”

En la siguiente tabla se demuestran los tipos de soporte más comunes utilizados en problemas de dos dimensiones, por lo tanto, aplican solamente para situaciones en las cuales los objetos o cuerpos analizados comparten los mismos planos.

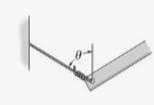
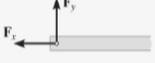
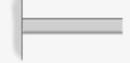
Tipo de conexión	Reacción	Tipo de conexión	Reacción
 <p>Cable</p>	 <p>Una incógnita: F</p>	 <p>Pasador externo</p>	 <p>Dos incógnitas: F_x, F_y</p>
 <p>Rodillo</p>	 <p>Una incógnita: F</p>	 <p>Pasador interno</p>	 <p>Dos incógnitas: F_x, F_y</p>
 <p>Soporte liso</p>	 <p>Una incógnita: F</p>	 <p>Soporte fijo</p>	 <p>Tres incógnitas: F_x, F_y, M</p>

Tabla 1: Conexiones de apoyo y sus respectivas reacciones; problemas bidimensionales

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

Las fuerzas de cuerpo son aquellas fuerzas en las cuales un objeto aplica una carga sobre otro objeto sin la necesidad de hacer un contacto físicamente directo entre ellos. Los dos ejemplos de la física más sencillos para este tipo de carga son las fuerzas gravitacionales y magnéticas, ya que en ese tipo de fuerzas se puede apreciar la manera en la que un cuerpo puede afectar a otro sin necesidad de hacer un contacto directo. Continuando con el ejemplo, el planeta Tierra ejerce una carga o fuerza de cuerpo, la cual conocemos como el peso.

Para el ejemplo de la fuerza gravitacional, el peso está actuando sobre el centro gravitacional del cuerpo en observación. En la Figura 3 se puede observar las distintas

formas de representar una carga sobre un cuerpo considerando los conceptos se acaban de describir.

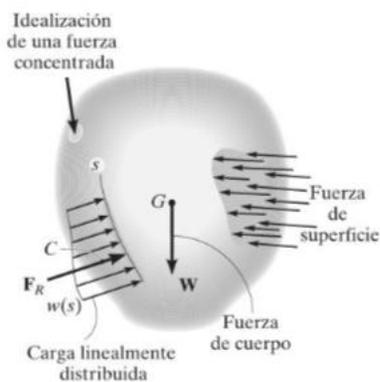


Figura 1: Representación de los tipos de carga que pueden actuar en un cuerpo

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

Tal como se observa en la figura 3, los distintos tipos de carga se pueden representar en un cuerpo. Se puede apreciar que la fuerza de superficie aplicada esta siendo distribuida y representada por vectores a lo largo de un área geométrica. En el caso de la carga linealmente distribuida, es posible ver que la fuerza se puede representar también como una fuerza resultante que actúa sobre el centroide. El punto G es el centro gravitacional del cuerpo en la figura, por lo cual es en este punto donde puede actuar la fuerza gravitacional del cuerpo, representada naturalmente como un vector hacia abajo.

También existen las denominadas cargas internas o resultantes, las cuales, como lo dice su nombre, son las que actúan desde el interior del objeto considerado. Es necesario hacer mención que la manera de conocer estas cargas es por medio del análisis de sección transversal, en la cual se aplican las ecuaciones de equilibrio sobre el centroide. Las ecuaciones de equilibrio tienen la característica de representar el balance de fuerzas,

es decir, la sumatoria de cargas y de momentos es igual a 0, en otras palabras, el objeto considerado no gira ni se mueve de su lugar. Esta es la famosa Primera Ley del Movimiento de Newton (Young et al., 2013) mostrada en la ecuación 1, la cual establece que un objeto en el cual no actúa ninguna fuerza tiene una aceleración y velocidad equivalente a 0. A su vez, esto indica que para que el objeto se considere en equilibrio, este debe tener una sumatoria de fuerzas externas equivalentes a 0.

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_1 + (-\vec{F}_1) = \mathbf{0}$$

Ecuación 1: Primera Ley de Newton; cuerpo en equilibrio

Fuente: (Young et al., 2013)

3.2.2 Esfuerzos

Se le llama esfuerzo al cociente que represente la cantidad de fuerza interna sobre un área que pasa por un punto. Es el cociente de la fuerza cuando el área de interés se reduce de modo que ésta tienda a 0 y, en pocas palabras, es un valor de presión, representado por un valor de fuerza entre área. Como tal, el valor del esfuerzo es calculado en la unidad del Sistema Internacional (SI) denominada Pascal (Pa), cuyas unidades equivalen a 1 Newton por metro cuadrado.

Para consideración del esfuerzo, se debe asumir que el área de interés en continua y unificada, es decir, que el objeto tiene una distribución equitativa del material y que este no está agrietado. Dentro de la categoría de análisis de esfuerzos se encuentra el esfuerzo normal, el cual es representado por el símbolo griego sigma en minúscula, o "σ". El esfuerzo normal es el valor que representa la cantidad de fuerza que reacciona, como lo dice su nombre, en forma normal al área y se puede representar con la Ecuación 2. El esfuerzo normal también se puede subdividir en esfuerzo normal de tensión y de compresión. Si el esfuerzo se encuentra en dirección contraria al área, es considerado un

esfuerzo de tensión y si está orientado en dirección al área, es considerado esfuerzo de compresión.

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A}$$

Ecuación 2: Esfuerzo Normal

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

Otro tipo de esfuerzo que es necesario evaluar es el esfuerzo cortante, representado por el símbolo griego tau "τ" y se caracteriza por estar orientado de manera tangencial al área considerada. Al ser un esfuerzo, es también calculado como una medida de presión, lo que le diferencia es la dirección de los vectores evaluados. En un plano tridimensional con ejes x, y, z, el esfuerzo cortante se puede representar gráficamente como vectores componentes x, y. Esto es suponiendo que el área a la cual se aplican cargas es un área definida en los planos de la misma forma. La representación gráfica de los vectores de esfuerzo cortante y esfuerzo normal se pueden visualizar en la figura 4.

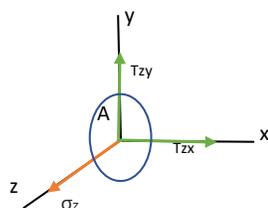


Figura 2: Representación de esfuerzos cortantes y normales en plano tridimensional

Fuente: Propia

3.2.3 Esfuerzos Permisibles y Factor de Seguridad

Al momento de elaborar la fabricación de una pieza o una estructura, es de gran importancia lograr colocar los parámetros en los que esta pieza puede trabajar correctamente. Esto se hace con el propósito de que se pueda velar por la seguridad de todos los involucrados en esa estructura, así como el proyecto en sí. Estableciendo un esfuerzo permisible que se encuentre por debajo de la carga máxima para el material en cuestión, se puede garantizar la integridad física de la estructura. Un ejemplo común de la especificación de cargas máximas es un elevador convencional, el cual casi siempre incluye una instrucción que indica el número máximo de personas o de kg aceptables para que el movimiento sea seguro. Claramente, el valor establecido en el ejemplo no es la carga real que el elevador va a soportar, pero es el valor que permite un margen de cargas externas imprevistas como vibraciones u otras cargas imprevistas que provoquen un deterioro en los materiales utilizados.

El factor de seguridad (FS) es la razón entre la fuerza de falla y la fuerza o carga permisible, es el cociente que se utiliza como método para especificar la carga permisible. La carga de falla es una característica única de cada material, pues esta propiedad es encontrada a través de experimentos con muestras del material. Por otro lado, el valor del factor de seguridad es determinado dependiendo de la aplicación, pero siempre es mayor a la unidad para evitar la falla del elemento. Existen circunstancias en las que el factor de seguridad se lleva cerca de la unidad por propósitos de que el producto final sea ligero, sin embargo, también existen aplicaciones en las que el factor de seguridad puede ser un valor mayor a 2 o incluso 3, como en las plantas de energía nuclear, debido al historial de lo catastrófica que puede ser una falla en esas circunstancias. Proyectos similares al mencionado en (Rosa et al., 2019), suelen descartarse por razones de tener el factor de seguridad por debajo de la unidad, lo que quiere decir que la estructura considerada no permite las cargas esperadas.

La relación lineal con los esfuerzos permite representar el valor del FS por medio de la ecuación 3, la cual muestra FS en equivalencia al esfuerzo normal de fallo entre el esfuerzo normal permisible, o bien, entre la misma relación con los esfuerzos cortantes.

$$\text{F.S.} = \frac{\sigma_{\text{falla}}}{\sigma_{\text{perm}}} \quad \text{F.S.} = \frac{\tau_{\text{falla}}}{\tau_{\text{perm}}}$$

Ecuación 3: FS en relación a los esfuerzos de falla, normal y cortante

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

3.2.4 Deformaciones

En esencia, una deformación en el campo de la ingeniería mecánica es el termino relacionado con el cambio generado en un cuerpo cuando se le aplica una fuerza superior a la resistencia de ese material. Por lo tanto, una deformación es solamente el cambio físico que un cuerpo va a presentar. En la vida cotidiana podemos ver deformaciones bastante obvias y visibles, por ejemplo, al ver un accidente automovilístico, es muy probable que uno de los vehículos haya sufrido alguna deformación a su estructura externa. Sin embargo, en la mecánica de materiales, es necesario tomar en consideración las deformaciones que puede tomar más esfuerzo notar, por ejemplo, la pequeña elongación que puede llegar a tener el metal en ciertas condiciones térmicas, o la deformación ligera que puede tener una sección de pavimento a causa de lluvias.

Un concepto útil para el análisis de mecánica de materiales es la definición de la deformación unitaria, la cual es la medida geométrica que es determinada a través de procesos experimentales. Su utilidad yace en la posibilidad de determinar el esfuerzo en un cuerpo determinado utilizando las relaciones de las propiedades del material que se está evaluando.

Al igual que con los esfuerzos, las deformaciones se pueden clasificar de tipo normal y tipo cortante, específicamente, deformaciones unitarias normales y deformaciones unitarias cortantes. Estos tipos de deformaciones difieren de la siguiente forma: el tipo de deformación unitaria normal es la medida longitudinal del cambio físico en un segmento de un cuerpo, por otro lado, la deformación de tipo unitaria cortante es el cambio del ángulo entre dos segmentos de línea que solían relacionarse entre sí de manera perpendicular.

3.2.5 Propiedades Mecánicas en los Materiales.

Como se habló al inicio de la conceptualización de términos de mecánica de materiales, la resistencia de un material es una propiedad de este y es encontrado a través de experimentación con el material que se está evaluando. Una de las pruebas más conocidas es el ensayo de tensión o de compresión, el cual puede proveer el resultado de distintas propiedades mecánicas de un material. Este ensayo se realiza sobre la probeta de un material y puede brindar también la relación entre la deformación normal promedio y el esfuerzo normal promedio, por lo tanto, sabiendo las propiedades de un material o su deformación normal promedio podemos encontrar el esfuerzo normal promedio ejercido por el material y así sucesivamente podemos encontrar la incógnita que deseemos en esas relaciones.

La forma de realizar este ensayo inicia con la medición de todas las dimensiones de la probeta, la cual debería de tener una sección transversal constante. Se mide la denominada sección transversal A_0 y a lo largo de la probeta se mide la longitud L_0 . Seguidamente se introduce la probeta en la máquina de ensayos, la cual aplicara una fuerza constante sobre la probeta hasta el punto de deformación y ruptura en el caso de ensayo de compresión, de ser el ensayo de tensión se ejerce una fuerza de estiramiento en los extremos de la probeta también hasta el punto de fallo. Periódicamente se registran los valores de las cargas aplicadas sobre la probeta y se realiza la medición de la

elongación de la longitud L_0 para evaluar su cambio, es decir, su deformación normal promedio.

Evidentemente no es convencional realizar una prueba de esfuerzo para cada una de las posibles mediciones de un material, por lo tanto, a través de los datos obtenidos en algunas pruebas, se realizan cálculos para brindar aplicabilidad de los conceptos a cualquier área o longitud deseada para un material. Los resultados de esos cálculos se conocen como la curva de esfuerzo-deformación o el diagrama de esfuerzo-deformación. Este diagrama se puede describir de dos maneras distintas, la primera siendo el diagrama convencional. En el diagrama de esfuerzo-deformación convencional, el esfuerzo nominal puede ser determinado simplemente dividiendo la carga P sobre un área determinada A . La deformación nominal puede ser obtenida directamente de las mediciones que se realice en una prueba y se pueden adquirir tomando el valor delta de diferencia entre los puntos marcados en la probeta y el valor de longitud inicial L_0 y dividiéndolos. Para ambos valores, deformación y esfuerzo, se asume un cambio constante entre los puntos marcados, por lo que se pueden visualizar matemáticamente con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad \epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

Ecuación 4: Ecuación de esfuerzo y deformación para diagrama de esfuerzo-deformación convencional

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

Al trazar los resultados de estas dos igualdades y planteando el valor de esfuerzo sobre el eje vertical se obtiene el diagrama convencional de esfuerzo-deformación. Es necesario mencionar que a pesar de que dos materiales tengan diagramas similares, estos no pueden ser absolutamente iguales debido a diversas propiedades singulares de cada material. El diagrama siguiente muestra los diferentes comportamientos que puede tener

el acero en función de la deformación debido a los resultados de un ensayo de tensión en una probeta de este material.

Se puede apreciar en el diagrama las cuatro regiones principales del comportamiento del acero evaluado. Estos comportamientos son: el elástico, cedencia, endurecimiento por deformación y la estricción. A su vez, el comportamiento se puede separar como comportamiento elástico en la primera región y el resto de ellas como comportamiento plástico.

En el comportamiento elástico, la primera sección, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales en la mayor parte de la región. El esfuerzo continúa siendo directamente proporcional hasta que este llega al límite de proporcionalidad, el cual define el último punto de linealidad. Si el esfuerzo incrementa un poco más, se puede observar que llegara al límite elástico. Se le conoce como el límite elástico ya que, si la fuerza ejercida en la probeta se detiene, el material dúctil aún puede recuperar su forma original. En el caso de acero es muy improbable ya que se encuentra contiguo al límite de proporcionalidad y, por lo tanto, es difícil de identificar.

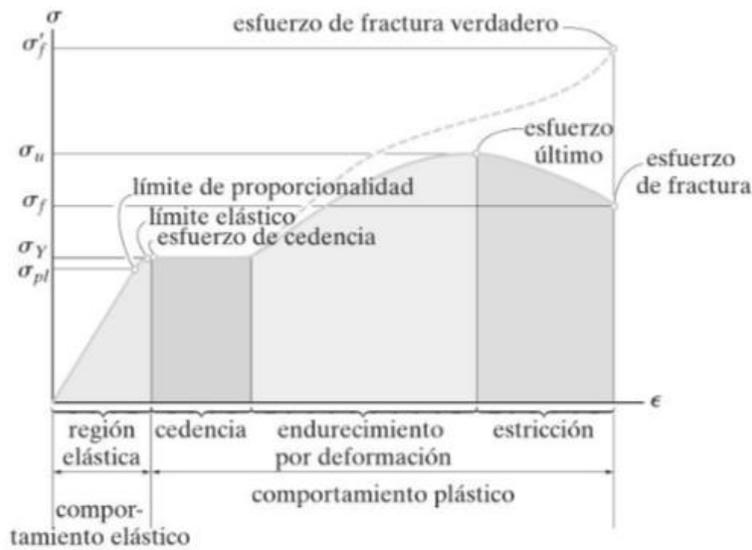


Figura 3: Diagrama de esfuerzo-deformación convencional y verdadero para Acero

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

En la región de cedencia, conocida como la región en la que el material se encuentra perfectamente plástico, se ocasiona una deformidad permanente a la probeta. El punto de cedencia es el que define que el esfuerzo ha llegado a la región de causar deformación permanente o deformación plástica. Evaluando la gráfica, es notorio que, al llegar a este punto, sin necesidad de incrementar el esfuerzo, el material continuara deformándose.

Seguidamente, en la figura 5 se puede visualizar el incremento en resistencia al esfuerzo en la denominada zona de endurecimiento por deformación. Al terminar la cedencia, el material incrementa su resistencia a deformarse por el esfuerzo hasta que llega al punto de esfuerzo ultimo. Al cruzar este punto, el material pasa a la región de

estricción, donde la probeta se sigue alargando, causando que su área transversal disminuya, causando menor resistencia y llevando el material a requerir menor esfuerzo para llegar al esfuerzo de fractura.

En la misma figura 5, se puede visualizar la manera en la que estaría construido el siguiente diagrama, llamado el diagrama de esfuerzo-deformación verdadero, en el cual los valores planteados no son los encontrados utilizando el área transversal y longitud originales, sino que se utilizan los valores en tiempo real cuando se mide la carga. Si se evalúa la figura, es notorio que los dos diagramas son idénticos mientras la deformación sea menor, hasta que se llega a la zona de endurecimiento por deformación, donde en el diagrama real se muestra que el esfuerzo simplemente debe incrementar hasta llegar al punto de fallo.

También existen otras pruebas o ensayos para identificar las propiedades mecánicas de materiales como los metales, como la prueba de indentación. Esta prueba de dureza consiste en utilizar un indentador para realizar una marca o grieta en la superficie del material en consideración y utilizar las medidas de la marca realizada como guía para descifrar las relaciones entre las propiedades mecánicas del material. Comúnmente, este indentador tiene la forma de una pirámide, sin embargo, en la actualidad existen ensayos que utilizan indentadores de bola, cuya ventaja se basa en la habilidad de realizar pruebas de propiedades mecánicas sin tener que destruir la muestra del material que se está evaluando. Esta es una técnica con mucho potencial, pero hasta el momento no se cuenta con una estandarización para este ensayo de indentación de bola. (Li et al., 2020)

3.2.6 Materiales Dúctiles

Un material dúctil es clasificado como aquel que pueda soportar cierto grado de deformación sin llegar al punto de fractura, algunos ejemplos de este tipo de material es el cobre, aluminio y el acero. Estos materiales cuentan con diversas características que los

hacen valiosos para los diseños de ingeniería. Una de las más importantes es el hecho de que antes de llegar al punto de fallo por sobrecarga, pasan por severos cambios físicos que indican que la ruptura será pronta, a diferencia de materiales frágiles que llegan al punto de fallo de manera más repentina. La ductilidad de un material se puede cuantificar por medio de su porcentaje de elongación. Se calcula dividiendo el cambio de elongación de la probeta entre su longitud original y multiplicándole por el valor 100 para obtener la unidad porcentual. También es posible cuantificar la ductilidad por medio del porcentaje de reducción de área, en donde A_0 es el área transversal inicial de la probeta y A_f es el área transversal en el momento de la ruptura.

$$\text{Porcentaje de Elongación} = \frac{L_f - L_0}{L_0} (100\%)$$

Ecuación 5: Porcentaje de Elongación

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

$$\text{Porcentaje de Reducción de Área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} (100\%)$$

Ecuación 6: Porcentaje de Reducción de Área

Fuente: (Hibbeler et al., 2017)

Los materiales dúctiles tienen un diagrama de esfuerzo-deformación similar, en el cual presentan una característica elástica proporcional al esfuerzo y seguidamente ceden en un valor de esfuerzo constante (como el acero en el ejemplo de la Figura 5), luego proceden a presentar un endurecimiento por deformación y finalmente pasan a estricción hasta llegar al punto de ruptura.

3.3 Manufactura

La manufactura es uno de los conceptos detrás de todos los increíbles avances que le han permitido al humano acomodarse en la sociedad de la manera que lo hace en la actualidad. Si, la tecnología y las hazañas de investigación y desarrollo han logrado

Comentado [JLOA1]: Cambiar ecuaciones

innovar y crear cosas de gran importancia e impacto para la humanidad, pero ha sido la manufactura la que ha logrado que las vidas cotidianas estén envueltas en tecnología. Casi todo lo que rodea a la persona común y corriente es manufacturado: vehículos, dispositivos móviles, vestimenta, electrodomésticos, materiales para construcción y mucho más. La humanidad no podría estar en el punto en el que se encuentra sin la ayuda de la manufactura y el incremento de desarrollo de tecnologías para volverla más rápida y eficaz.

3.3.1 Historia y Conceptualización de la Manufactura

Etimológicamente, el término “manufactura” proviene de los conceptos en latín de “manus” y “factus” que se refiere a la acción de hacer, por lo que la palabra manufactura lleva la connotación de “hacer a mano”, lo cual correctamente describe la manera en la que la expresión inicio, a través de procesos manuales. En la actualidad la industria de la manufactura está mucho más desarrollada y automatizada, pues en los últimos 50 años la robótica industrial ha formado gran parte de la manufactura y han reemplazado la labor que solía cumplirse por humanos (Robla-Gomez et al., 2017).

No podemos hablar de la historia de la manufactura sin reconocer sus dos grandes áreas, las cuales son el hallazgo de materiales nuevos y su utilidad y la invención de procesos para producción, como el forjado y fundición, lo cual se remonta miles de años atrás en la historia de la humanidad. La manufactura en esencia de fabricar cosas a mano se puede argumentar que inicia desde que el hombre creaba herramientas que le ayudaban en sus actividades diarias y se extiende a lo largo de la historia presentándose en las civilizaciones más eminentes como símbolo de una cultura avanzada. Sin embargo, el concepto actual de la manufactura va directamente de la mano con momentos históricos como la Revolución Industrial que se dio entre el siglo XVIII y XIX, donde se presentaron grandes efectos sobre los medios de producción en Inglaterra gracias a la invención de máquinas impulsadas por vapor. Esto causo impactos socioeconómicos que dieron lugar a los grandes avances tecnológicos que se pueden apreciar en los siguientes

siglos XIX, XX y XXI, en donde los modos de producción han alcanzado niveles de logística e inteligencia muy altos.

La manufactura entonces, basado en sus precedentes y su origen etimológico, es un campo que altamente impacta y se ve impactado por tanto la ingeniería y tecnología como la economía. Tecnológicamente hablando, la manufactura incluye la manera de aplicar conceptos de ingeniería e innovación con el propósito de manipular materiales para la conveniencia de su uso, asimismo utilizándolos para la producción masiva de otros bienes. Para lograr este resultado, se hace uso de lo que se conoce como procesos de manufactura, los cuales abarcan extensos campos de investigación ya que en la actualidad casi todo lo que rodea a los humanos es manufacturado, por lo que la manufactura debe tratar con un sin número de materiales y maneras de tratar estos materiales.

Económicamente hablando, el concepto de manufactura es uno de los principios detrás del concepto del "valor agregado" (Groover, 2007). En esencia, se le agrega valor a un material al manipularlo para cambiar ya sea sus propiedades físicas o químicas para incrementar su utilidad. Un ejemplo de este concepto sería incrementar el valor de la arena al utilizar procesos de manufactura para fabricar piezas de vidrio y posteriormente venderlos, lo mismo aplica para los procesos de refinar y redirigir el uso del petróleo crudo, el cual está presente en muchas utilidades del mundo moderno.

3.3.2 Materiales en la Manufactura

En la ingeniería se trabaja principalmente con cuatro tipos de materiales, por lo tanto, casi todos los materiales que se utilizan en procesos de manufactura se pueden categorizar dentro de uno de los siguientes: metales, cerámicos, polímeros y compuestos. Los primeros tres tipos de material poseen características físicas y químicas muy diferentes entre sí, por lo que se emplean diferentes tipos de procesos de manufactura para poder obtener diferentes de materiales de cada uno. Por otro lado, la cuarta categoría, los compuestos, son la combinación de dos de los primeros 3 tipos de material.

Por lo tanto, los materiales compuestos se pueden llamar compuestos metálico-cerámico, metálico-polímero o polímero-cerámico. Para el propósito de esta investigación se hablará principalmente de los materiales metálicos.

3.3.2.1 Metales

Los materiales metálicos son productos con muchas características de importancia para el mundo de la ingeniería, manufactura y comercio. Se caracterizan por poseer cualidades tales como la maleabilidad, ductilidad y alta conductividad térmica y eléctrica. Los materiales metálicos utilizados en la manufactura en raras ocasiones son materiales puros, usualmente en la manufactura se trata solamente con aleaciones, los cuales son materiales metálicos compuesto de dos o más elementos. A través de una aleación se les puede incrementar su rigidez, tenacidad y dureza. Una aleación es un material metálico formado por la combinación de dos o más elementos, de los cuales por lo menos uno es un material metálico. En los metales, el termino tenacidad menciona la capacidad de poder absorber la energía, es decir, absorbe impactos mucho mejor que otros materiales como los polímeros o cerámicos. Son característicos por tener una excelente conductividad eléctrica, lo cual los hace la base de todo el campo de la eléctrica y electrónica, un campo de la ingeniería que, sin él, la humanidad no tendría los avances que tiene hoy en día.

Los metales en la manufactura se pueden clasificar como ferrosos y no ferrosos. Los metales ferrosos son el tipo de metales que son hechos a base de una aleación con el hierro (Fe) y son unos de los materiales más importantes de la industrial. A pesar de que el hierro por sí solo no tiene un uso comercial muy extenso, este se vuelve muy valioso una vez que se mezcla para crear materiales como el acero y el hierro colado. El acero es la aleación entre hierro y carbono (C) y es el más importante de los materiales ferrosos, pues este tiene una gran cantidad de usos comerciales, como su uso en la industria de construcción y producción de unidades de transporte y vehículos. No es inusual que a este material se le agregue pequeñas cantidades de otros elementos como cromo, níquel

o manganeso con el propósito de cambiar las propiedades del metal para distintos usos. El hierro colado es otro tipo de material metálico ferroso, el cual contiene carbono al igual que el acero, pero este material lo contiene en un 2% más que el acero. Además, esta aleación tiene también pequeñas cantidades de silicio. Uno de los usos más reconocidos del hierro colado es su uso para el moldeo. Dentro de los hierros colados se encuentran diferentes tipos, tales como el hierro colado gris, hierro colado blanco, hierro dúctil y los hierros maleables. La Tabla 2 muestra las diferentes composiciones que pueden tener esta clasificación. Como fue mencionado, dentro de los hierros colados encontramos un material de gran utilidad para el proyecto: el hierro dúctil. El hierro dúctil es un hierro con la misma composición que el hierro gris, es decir, tiene una composición entre 2.5 a 4% de carbono como parte de su aleación. Al hierro dúctil, antes de vaciarlo, se le da un tratamiento químico que causa la formación de esferoides de grafito, esto tiene como resultado un material muy fuerte y dúctil, cuyas aplicaciones usualmente van dirigidas a maquinaria o equipo que necesita tener alta resistencia y capacidad de soportar desgaste.

Tabla 2: Composición y Propiedades de Hierros Colados

Fuente: (Groover, 2007)

Tipo	Composición normal, %					Resistencia a la tensión		Elongación, %
	Fe	C	Si	Mn	Otro ^a	MPa	lb/in ²	
Hierros colados grises								
ASTM Clase 20	93.0	3.5	2.5	0.65		138	20 000	0.6
ASTM Clase 30	93.6	3.2	2.1	0.75		207	30 000	0.6
ASTM Clase 40	93.8	3.1	1.9	0.85		276	40 000	0.6
ASTM Clase 50	93.5	3.0	1.6	1.0	0.67 Mo	345	50 000	0.6
Hierros dúctiles								
ASTM A395	94.4	3.0	2.5			414	60 000	18
ASTM A476	93.8	3.0	3.0			552	80 000	3
Hierro colado blanco								
Bajo C	92.5	2.5	1.3	0.4	1.5Ni, 1Cr, 0.5Mo	276	40 000	0
Hierros maleables								
Ferrítico	95.3	2.6	1.4	0.4		345	50 000	10
Perlítico	95.1	2.4	1.4	0.8		414	60 000	10

Los metales no ferrosos son entonces el resto de los elementos metálicos de la tabla periódica y cada una de sus aleaciones: aluminio, cobre, oro, magnesio, estaño y otros. Los materiales como el cobre, oro y estaño tienen interesantes usos en el área de eléctrica y electrónica. De la misma manera que materiales ferrosos, los no ferrosos usualmente se encuentran con más valor comercial en su forma de aleación entre dos o más elementos no ferrosos.

De los metales ferrosos, el aluminio es el que se considera que podría ser útil para este proyecto, el cual es un material con excelente capacidad de recibir una forma con facilidad. Es un material altamente dúctil y posee excelente conductividad térmica y eléctrica. Antes de evaluar las propiedades físicas y composición de diversas aleaciones de aluminio, es necesario comprender la nomenclatura que reciben estos materiales, la cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3: Nomenclatura de forjado y fundición de aluminio y aleaciones

Fuente: (Groover, 2007)

Grupo de aleación	Código para forjado	Código para fundido
Aluminio, pureza de 99.0% o mayor	1XXX	1XX.X
Aleaciones de aluminio, por elemento(s) principal(es)		
Cobre	2XXX	2XX.X
Manganeso	3XXX	
Silicio + cobre o magnesio		3XX.X
Silicio	4XXX	4XX.X
Magnesio	5XXX	5XX.X
Magnesio y silicio	6XXX	
Zinc	7XXX	7XX.X
Estaño		8XX.X
Otros	8XXX	9XX.X

Con la nomenclatura en mente, podemos observar la siguiente tabla, la cual muestra las propiedades del aluminio y sus aleaciones. Los datos sobre la composición química en porcentajes y valores de resistencia de materiales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Composición y Propiedades de aluminio y aleaciones

Fuente:(Groover, 2007)

Código	Composición normal, % ^a						Templado	Resistencia a la tensión		Elongación
	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si		MPa	lb/in ²	
1050	99.5		0.4			0.3	O	76	11 000	39
1100	99.0		0.6			0.3	H18	159	23 000	7
							O	90	13 000	40
2024	93.5	4.4	0.5	1.5	0.6	0.5	H18	165	24 000	10
							O	185	27 000	20
3004	96.5	0.3	0.7	1.0	1.2	0.3	T3	485	70 000	18
							O	180	26 000	22
4043	93.5	0.3	0.8			5.2	H36	260	38 000	7
							O	130	19 000	25
5050	96.9	0.2	0.7	1.4	0.1	0.4	H18	285	41 000	1
							O	125	18 000	18
6063	98.5		0.3	0.7		0.4	H38	200	29 000	3
							O	90	13 000	25
							T4	172	25 000	20

3.3.3 Procesos de Manufactura en Metales

Como se explica en la sección de metales, los metales utilizados para la manufactura deben recibir un tratamiento antes de ser útiles. Después de ser unidos para

crear aleaciones, pasan por diferentes procesos que los llevan más cerca del producto final. Se hablará a continuación de los diferentes métodos para la manufactura de metales.

Según ALACERO, la asociación latinoamericana de acero, en el 2017 Honduras es el segundo país con más importaciones de acero en América Latina, siendo superado solamente por Perú, quien registra 80 mil toneladas adicionales. Solamente 16% de las empresas hondureñas están dedicadas al trabajo de metales. En Honduras, según la asociación nacional de industriales, se encuentran 9 empresas metalúrgicas. Según la Asociación hondureña de maquiladores, existen 3 empresas metalúrgicas operando en el país (Kattan & Cerna, 2019). Las empresas serán enlistadas en las tablas 5 y 6.

Tabla 5: Empresas Metalúrgicas Registradas en Honduras según la Asociación Nacional de Industriales

Fuente: (Kattan & Cerna, 2019)

Empresa	
Aceros Centro Caribe (ACCSA)	Industria de Trefilado de Centroamérica, S.A. de C.V.
Aceros Alfa, S.A.	Industrias y Servicios de Metal (INDUSMET)
Aluminios Comerciales S.A. de C.V.	Multiequipos Honduras, S. de R.L.
ALUTECH S.A de C.V.	Metal Convertidora (METALCO)
Hermacasa	

Tabla 6: Empresas Metalúrgicas Registradas en Honduras según Asociación Hondureña de Maquiladores

Fuente: (Kattan & Cerna, 2019)

Empresa	Productos	País de Origen
EXTRUM, S.A de C.V.	Diversos productos de aluminio	Honduras
Metales y Aleaciones, S.A de C.V.	Lingotes de plomo	Honduras
Aluminios Comerciales, S.A. de C.V.	Productos metálicos y líneas relacionadas con la industria de construcción	Honduras

3.3.3.1 Fundición de Metales

La fundición es el proceso en el cual el metal se encuentra en estado líquido y se lleva hacia un molde donde se cumplirá su proceso de solidificación. Este es uno de los procesos más antiguos de la formación y manufactura de metales. Se puede remontar hasta 4000 años AC con el descubrimiento del cobre. Antes del cobre, las civilizaciones solían utilizar oro, el cual, por su característica de ser un metal suave, podía ser martillado a temperatura ambiente hasta obtener la forma deseada. Sin embargo, el cobre necesitaba de la fundición para poder darle forma. Es muy probable que el primer proceso de fundición de cobre correcto se dio lugar en Mesopotamia, el cual fue un descubrimiento de importancia para la historia de la humanidad. A partir de esto fue posible la fabricación de herramientas cada vez más sofisticadas. Posteriormente el proceso de fundición mejoro cuando se dio lugar la aleación entre cobre y estaño: el bronce, el material por el cual se le dio el nombre a la famosa Era del Bronce, en la que las naciones que mejor realizaban el proceso de su fundición indirectamente tenían más dominio sobre el mundo civilizado.

Comentado [JLOA2]: Importante mencionar el proceso de moldes

Dentro del campo de la fundición, es necesario hacer mención del término lingote, el cual hace referencia a un fundido de dimensiones grandes, de 1 a 300 toneladas, que está en espera de ser utilizado para darle forma por medio de diferentes tipos de procesos. Para hacer inicialmente un lingote, se debe primero producir acero en un horno de oxígeno básico (BOF por sus siglas en inglés) o en un horno de arco eléctrico. Alrededor del 70% del acero producido en Estados Unidos proviene de un BOF.(Hibbeler et al., 2017). La mayoría de la fundición está hecha con metales en aleación, las cuales se mencionaron anteriormente que pueden ser ferrosas y no ferrosas.

3.3.3.2 Fundición en Arena

La fundición en arena o en molde de arena es el proceso de fundición más ampliamente utilizado, ya que casi todas las aleaciones pueden ser fundidos con arena. En otras palabras, la fundición de arena es un proceso interesante debido a su versatilidad. Este proceso consiste en dejar solidificar metal en estado líquido dentro de un molde de arena, seguidamente, una vez endurecido, se rompe el molde para remover el resultado. Para realizar el molde de arena es necesario tener una pieza modelo. Esta pieza puede ser de materiales como polímeros, madera y metales. El modelo es presionado en una mezcla de arena con sílice y otros materiales como bentonita cálcica dentro de una caja de moldeo para recrear las dimensiones exactas de la pieza. Suele ser una mezcla de 90% arena, 3% agua y 7% arcilla. La forma más común de realizar moldes de madera es de manera manual, pero estos moldes también pueden ser realizados a través de la aplicación de presión neumática. (Kalpakjian et al., 2014)

Es también útil para el perfil económico la utilización de fundición con moldes permanentes, en la cual el molde utilizado es de metal construido en secciones con la ventaja de tener una opción de apertura y cierre. La utilización de moldes permanentes, hechos de metal, permiten su reutilización y, por lo tanto, la producción en masa de modelos de fundición. En otras palabras, a diferencia de los moldes desechables de arena,

Comentado [JLOA3]: Cuáles son los perfiles económicos

los moldes permanentes permiten la creación de piezas fundidas en secuencia sin necesidad de realizar otro molde. Dentro de las fundiciones con molde permanentes existen varios tipos de fundición como la fundición en hueco, a baja presión, al vacío, fundición con troquel y la fundición centrífuga.

Existen algunos defectos que se pueden relacionar con el uso de moldes de arena. Algunos defectos como la sopladura y agujeros son causados por la liberación de gases durante el vertido de material fundido. Uno de los defectos más comunes es el lavado de arena, en el cual la pieza final tiene una superficie irregular causada por la erosión del molde de arena durante el vertido de material.

3.3.3.3 Maquinado de Metales, Manufactura Sustractiva.

El maquinado de metales es el proceso de manufactura en el cual se aplica manufactura sustractiva, es decir, manufactura en la que el material se remueve de una pieza existente con el propósito de formar la pieza deseada. Esto se hace a través del uso de máquinas para realizar procesos de torneado, taladrado, fresado o cortes (Kalpakjian et al., 2008) Hay muchos parámetros que pueden influir en las operaciones de maquinado sobre una pieza, como la velocidad, profundidad y fluidez de los cortes, desgaste de la herramienta utilizada. Los desarrollos en manufactura sustractiva hasta la actualidad permiten la obtención de una mayor tasa de remoción de material, así como mejores acabados e incluso la mejora en la maquinabilidad de ciertos materiales (Liang et al., 2020). La maquinabilidad del material a utilizar también tiene un impacto sobre el acabado final de la pieza. Cada tipo de proceso de mecanizado de metales tiene muchos subprocesos que pueden ayudar a la creación de una pieza deseada.

En el proceso de torneado, por ejemplo, se utiliza la herramienta denominada torno, la cual pone en rotación la pieza cilíndrica que se va a mecanizar, mientras una herramienta realiza un avance lineal sobre la pieza. Se pueden realizar diversas operaciones solo dentro del área de torneado. Careado, roscado, y tronzado solo son

unos de los posibles mecanizados que se pueden realizar. De manera similar, en el proceso de taladrado existen las operaciones de roscado interior, escariado, avellanado y más.

Cada uno de los distintos procesos de mecanizado de materiales metálicos tiene distintos parámetros que pueden ser definidos a especificación de la pieza a través de fórmulas. Por ejemplo, en la operación de fresado, se puede determinar la carga de viruta, también conocida como el avance por diente cortante, a través de la fórmula siguiente, donde N es la velocidad del husillo o la herramienta, en valores rpm, n es el número total de dientes en la fresa y f es la carga de viruta en valores mm/diente. Estos son valores que se pueden determinar a través de la selección adecuada de herramientas.

$$f_r = Nn_f$$

Ecuación 7: Carga de Viruta, operación de fresado

Fuente: (Groover, 2007)

3.3.3.4 Control numérico Computarizado

El control numérico (NC) es el primer paso con relación a la automatización de procesos de manufactura, ya que este método se basa en entregar instrucciones en formato codificado a la máquina deseada, seguidamente son procesados de manera automática y como resultado los componentes de salida de la máquina son controlados (movimientos de herramienta y pieza).

El siguiente desarrollo del NC es el método CNC, control numérico computarizado, el cual involucra la utilización de software con el que interactúa con un microcontrolador integrado en la máquina. Se trata de una herramienta moderna y eficiente. (Yinsheng, 2019) Este sistema es ampliamente usado por sus grandes ventajas en la industria. La

influencia de los procesos y las herramientas relacionadas con CNC ha creado un gran impacto en la industria de manufactura y mecanizado de materiales. (Yinsheng, 2019)

3.3.3.5 Ensamblaje y Unión de Metales

En manufactura, es ensamblaje el término utilizado para referirse a los respectivos métodos para juntar dos partes con el propósito de, generalmente, crear una unión permanente. Un ejemplo de unión permanente es la soldadura. La soldadura es un proceso muy común para unión de metales y es relativamente económico para aplicaciones convencionales. Dentro de la soldadura convencional, existen las técnicas de soldadura por fusión y de estado sólido. En las soldaduras por fusión se encuentran las soldaduras por arco y de resistencia. Para aplicaciones de mayor categoría y para reducir error humano, en la actualidad es posible emplear diferentes formas de soldadura automatizadas. Algunas de esas técnicas son la aplicación de un haz de luz IR, calentamiento por inducción sin contacto, calentamiento sin contacto con láser, uso de micro llama de calentamiento y máquina de soldadura robótica (Chia et al., 2018)

El resto de ensamblaje mecánico se basa en el diseño y la utilización de diversas piezas roscadoras y sujetadoras, cuyas aplicaciones y características varían en la aplicación que se le dará y el tipo de materiales con el que se está tratando.

3.3.4 Manufactura Aditiva en Metales

La manufactura aditiva, también conocida como impresión en 3D, lleva su nombre por ser un tipo de manufactura que se basa en la construcción de objetos una capa a la vez. Este método es popularmente usado con materiales plásticos, pero es posible usarlo para metales y hormigón también. La tendencia de fabricación por método de manufactura aditiva continua creciendo en un 40% de ingresos anuales desde el 2013 (Oros Daraban et al., 2019). Por su naturaleza, la manufactura aditiva tiene posibilidades ilimitadas, ya que brindan la opción de crear prototipaje rápido y en la actualidad, la manufactura aditiva va de la mano con el software de modelado en 3D de control

numérico computarizado CNC (Thang Tran et al., 2019), por lo que los diseños se ven limitados solamente por las capacidades de los ingenieros en consideración. La manufactura aditiva fue creada en el Massachusetts Institute of Technology, MIT, donde se asegura que la manufactura aditiva brinda la oportunidad de crear, personalizar y reparar productos, de manera que la tecnología de producción actual será redefinida. (*Fabricación aditiva: qué es, proceso y usos | VIU, s. f.*)

La manufactura aditiva en metales (MAM) ha tenido grandes avances gracias a sus numerosas aplicaciones industriales, como sus usos para la tecnología aeroespacial, para automóviles, electrónicos de consumidor, robótica e incluso para equipo médico. A pesar de que la manufactura aditiva en la actualidad se encuentra de calidad adecuada en cuestión a polímeros, aún tiene lugar para crecer en cuanto a metales (Koga et al., 2020). La manufactura aditiva con metales requiere de procesos complejos con distintos parámetros en los que se debe determinar distintos parámetros para su correcto funcionamiento. En el caso de MAM basada en láser y metalurgia de polvo, se debe de considerar los parámetros de la composición de aleaciones, de la potencia del láser y distribución de la potencia del láser y más (Fletcher et al., 2017)

Existen varias técnicas para MAM, como el sinterizado láser de metal directo (DMLS), sinterizado láser selectivo (SLS), Fusión selectiva con láser (SLM), fusión de haz de electrones (EBM) y estereolitografía (SLA). En el caso de SLA, se trata de material no metálico que se fabrica de manera aditiva con una impresora en 3D y que seguidamente el material es recubierto con metal (Huang & Yuan, 2017). En el documento de (Le Sage, 2016) se realizó una fabricación comparativa entre las técnicas de sinterizado láser de metal directo y la técnica SLA, concluyendo que la técnica DMLS llevaba menor cantidad de pasos para la fabricación completa a comparación con SLA y mostraron ninguna diferencia significativa en las mediciones finales. Esto ilustra la razón por la cual DMLS suele ser más popular en MAM.

Según (Oros Daraban et al., 2019), las tecnologías de MAM siguen el ciclo de vida demostrado en la figura 6 con el propósito de enriquecer la sostenibilidad de este tipo de tecnología. Se sugiere en este documento la posibilidad de la sostenibilidad de MAM a través del reciclaje y reutilización de materiales metálicos en forma de polvo. Los pasos para la producción de manufactura aditiva a base de polvos metálicos son los siguientes: atomización del agua, atomización del gas, atomización del plasma, el proceso de rotación de electrodos de plasma, y la atomización centrífuga. Es también considerable mencionar que el control y entendimiento de la calidad de polvos metálicos es de gran importancia para el resultado deseado de MAM.

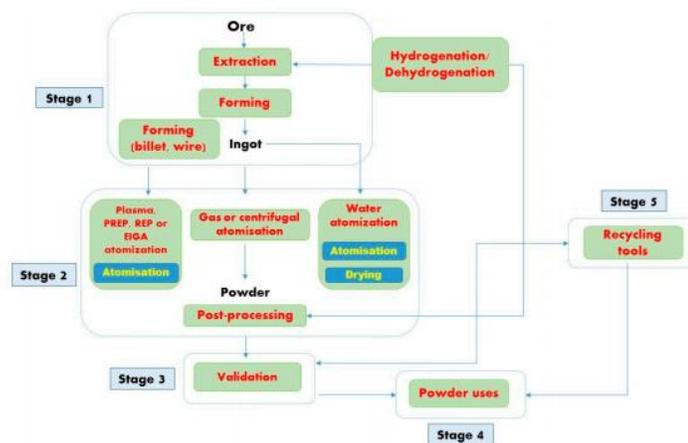


Figura 4: Ciclo de Vida de Producción de Polvos; Manufactura Aditiva de Metales

Fuente: (Oros Daraban et al., 2019)

En campos como la producción de aeronaves, se ha determinado que la manufactura aditiva de metales es considerada una nueva solución con respecto al objetivo de reducción de pesos y optimización del tiempo y costos. En el documento de

(Zhang & Liang, 2019) se menciona que varias compañías de aviación han realizado progresos y planeación para la integración de más procesos de MAM en la industria de aviación. Se finaliza este documento asegurando que “la manufactura aditiva es brillante, sin embargo, sus posibilidades están más allá de nuestra imaginación.”

IV. Metodología

En este capítulo se describirá la metodología empleada para llevar a cabo la investigación del proyecto. Para ello, se detallarán todas las etapas y pasos que la investigación necesitara, con el propósito de realizarlo de la mejor manera posible. Así mismo, se planteará el enfoque de la investigación, se enlistarán los materiales y técnicas que se utilizaran y se describirá el cronograma de actividades para la fabricación completa del robot zoomórfico.

4.1 Enfoque

Para la investigación, el enfoque será del tipo experimental y será cuantitativo. Según (Hernández Sampieri et al., 2014) el enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos secuenciales, los cuales tienen un orden riguroso. Se hace una recolección de datos numéricos que serán utilizados para la afirmación de una hipótesis establecida, con el propósito de establecer pautas de comportamientos y teorías. Se establecen una serie de variables que permitirán la recolección de los resultados y datos estadísticos necesarios.

En este proyecto de investigación se adquirirán valores cuantitativos con respecto al resistencia de materiales analizados para la estructura del robot, así como el tiempo y valor monetario del proceso de manufactura que se analice en cada caso. Con el estudio de los resultados obtenidos, se podrá tomar la decisión del proceso con el cual el robot podrá ser fabricado.

4.2 Variables de Investigación

Las variables de la investigación, dependientes e independientes son los factores que podrán determinar los resultados del proyecto. Las variables dependientes son las que se podrán manipular en el proyecto con el propósito de obtener el resultado deseado. Las independientes, por otro lado, son aquellas cuyas magnitudes pueden ser medidas y tienen impacto sobre las dependientes. Las variables que se presentaran en el proyecto se pueden denotar en la siguiente figura:

Tabla 7: Variables de Investigación

Fuente: Propia

Problema	Objetivo General	Preguntas de Investigacion	Objetivos Especificos	Variables Dependientes	Variables Independientes
La fabricacion completa de un robot zoomorfico hexapodo.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el proceso de fabricacion de metales que permite la mejor manufactura posible de las piezas de un robot zoomórfico hexápodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la diferencia entre un diseño experimental y un diseño de fabricacion en un robot zoomórfico? • ¿Cuáles son los materiales ideales para cada una de las partes de las extremidades del robot, como la Tibia, el Fémur y el Coxis? • ¿Qué método de manufactura de metales es el más adecuado para la fabricacion de los componentes de un robot zoomórfico? 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar diseño experimental con el propósito de preparar las piezas para la fabricacion real del robot. • Determinar el material más adecuado para cada una de las partes de la estructura del robot. • Fabricar los componentes de cada extremidad con el proceso de manufactura más adecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> B) Material para cada parte del robot. C) -Tipo de Fabricacion 	<ul style="list-style-type: none"> B) -Densidad de los materiales (g/cm³) - Peso de Piezas en distintos materiales. (kg) C) -Costos de Fabricacion (\$) Tiempo de fabricacion (min)

De las categorías mostradas en la figura 7, se establecen como variables independientes el peso de la estructura, el costo y tiempo de fabricación, ya que son aspectos del proyecto que se pueden manipular con el propósito de tomar la decisión correcta para la fabricación del robot.

4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados

En este proyecto de investigación se utiliza información proveniente de revistas científicas, material didáctico universitario para clases relacionadas con el proyecto, tesis universitarias, entre otros. Con el propósito de la fabricación más eficaz del robot zoomórfico, en este proyecto se emplea análisis de resistencias de materiales, técnicas de diseño robótico por medio de software CAD SolidWorks y análisis de costos de producción.

4.4 Materiales.

Los materiales que se consideran para la fabricación completa del robot zoomórfico serán los empleados en la estructura del robot, los cuales son decididos a través del análisis de materiales del proyecto. Los materiales por considerar son: Hierro dúctil, aluminio y acero. También se utilizan elementos generales de ensamblaje de un robot, tales como tuercas, pernos, arandelas, entre otros.

Para las partes estructurales del robot que no soportaran cargas, es decir, que son contenedores o exosqueleto de futuros componentes electrónicos y de control se utiliza una mezcla de material polímero de manufactura aditiva, es decir, impresión en 3D de plásticos y también se utiliza acabados en acrílico.

4.5 Metodología de Estudio

Para el proyecto planteado, se utiliza la metodología en espiral, la cual ayudara a evaluar cada etapa del proyecto de manera individual por cada ciclo del modelo. El espiral de este proyecto consiste en tres ciclos. Cada ciclo, a su vez, tiene etapas que se evaluarán para realizar el trabajo de la mejor forma posible.

4.5.1 Primer Ciclo. Objetivo Especifico 1: Diseño del Modelo de Fabricación.

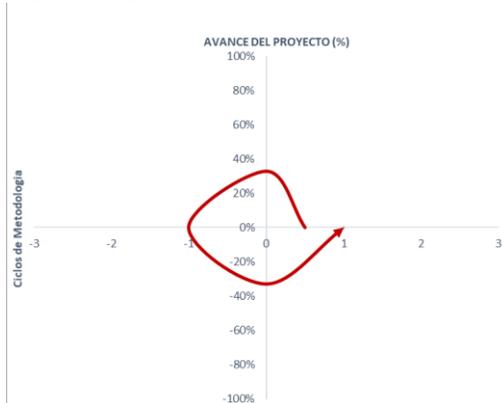


Figura 5: Primer Ciclo

Fuente: Propia

I Etapa. Expectativas del Ciclo y Planificación

En este ciclo, el objetivo es realizar el diseño de la fabricación real de la estructura del robot, realizando los cambios necesarios para permitir un ensamblaje sostenible y libre de riesgos.

II Etapa. Análisis de Riesgos

En esta etapa es necesario evaluar las piezas para lograr determinar los puntos clave en los que se necesita realizar cambios en el diseño experimental que permitan una fabricación de mayor calidad. Es de importancia evaluar que las dimensiones del diseño de fabricación cumplan con los estándares principales del diseño experimental. A su vez, es de gran importancia verificar que el diseño sea completamente apto para fabricación y mecanizado de todas las partes.

III Etapa. Ingeniería

Para el desarrollo de esta etapa, se hará uso del software SolidWorks. A través de este software se realizarán los cambios necesarios que permitirán el uso de elementos de ensamblaje real, tales como pernos, tornillos, pernos y pines de seguridad. También se realizará el diseño de

IV Etapa. Evaluación y Validación

Se confirman los cambios realizados y procesos seleccionados para cada una de las piezas, quienes próximamente serán fabricadas. Se realiza la evaluación de los resultados para realizar los cambios necesarios para el óptimo funcionamiento del robot.

V Etapa. Desarrollo del Siguiete Ciclo; Entregables.

Con la finalización y éxito de esta etapa, se inicia el proceso de adquisición de información de localidades que tratan con la manufactura de metales para la fabricación de cada pieza del robot. Se entrega el primer avance de resultados del proyecto.

4.5.2 Segundo Ciclo. Objetivo Especifico II: Manufactura y Materiales

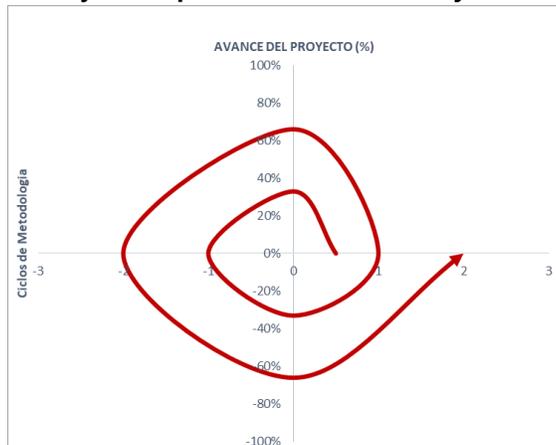


Figura 6: Segundo Ciclo

Fuente: Propia

I Etapa. Expectativas del Ciclo y Planificación

En este ciclo, el objetivo es realizar el análisis de los beneficios, ventajas y desventajas de los diferentes tipos de manufactura de metales disponibles en la zona de San Pedro Sula, evaluando la disponibilidad de los materiales, costos, tiempo de operación, entre otros factores. Se adquirirá también las partes no metálicas de la estructura del exosqueleto.

II Etapa. Análisis de Riesgos

Es de interés para el proyecto evaluar los puntos a favor y en contra de cada proceso de manufactura de metales, con el propósito de seleccionar el más adecuado. El riesgo en este caso es la disponibilidad de métodos modernos para la mecanización específica de cada una de las piezas, así como sus posibles costos elevados al tratarse de muestras personalizadas.

III Etapa. Ingeniería

Para el desarrollo de esta etapa, es necesario contactar los diferentes lugares disponibles para la manufactura de los componentes. En caso de ser a través de fundición, se hará uso de manufactura aditiva para la creación de moldes exactos de cada una de las piezas principales.

IV Etapa. Evaluación y Validación.

En esta etapa del segundo ciclo, se evalúan las decisiones tomadas con respecto a la fabricación de las piezas en sus respectivos materiales. Se confirma con métodos analíticos y prácticos las propiedades mecánicas de los materiales con respecto a su aplicación en la estructura final del robot.

IV Etapa. Desarrollo del Siguiete Ciclo; Entregables.

Finalizando esta etapa, es posible realizar los preparativos para la fabricación completa de piezas esenciales del robot. Para la siguiente parte será necesaria la adquisición del material necesario para la fabricación de las piezas, así como los planos finales y posiblemente moldes ejemplares de cada parte del robot.

4.5.3 Tercer Ciclo. Objetivo Especifico III: Fabricación de Piezas

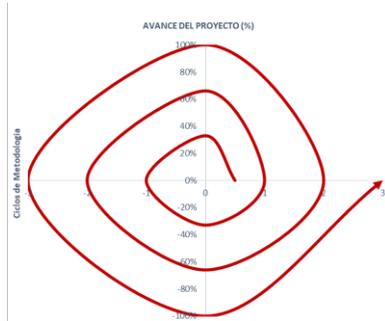


Figura 7: Tercer Ciclo

Fuente: Propia

I Etapa. Expectativas del Ciclo y Planificación

En el presente ciclo se realiza la fabricación estructural del robot utilizando el proceso de manufactura más adecuado. Se culminan las piezas y se brinda una conclusión al respecto de las decisiones monetarias y temporales que afecten el proyecto.

II Etapa. Análisis de Riesgos

Para esta etapa es necesario analizar el costo y tiempo de fabricación de las piezas, de modo que estos valores estén dentro de un rango razonable para el proyecto. Se debe evaluar todos los factores que se involucren con la fabricación del proyecto, tal como procesos de acabado de las piezas y posibles moldes de la fabricación.

III Etapa. Ingeniería

Para el desarrollo de esta etapa, se hace uso de técnicas de fabricación de metales, tal como puede ser la fundición o mecanizado de una pieza. Se aplican habilidades prácticas de fabricación de metales a través de las herramientas necesarias para la culminación de estas.

IV Etapa. Evaluación y Validación.

En la presente etapa del tercer ciclo, se valida nuevamente la fabricación de las piezas a través del análisis de costos y tiempo para la culminación del proyecto. Se evalúa la calidad de la fabricación de las piezas con el propósito de concluir si el proceso utilizado fue la mejor decisión para el proyecto.

V Etapa. Desarrollo del Siguiete Ciclo

Culminando este ciclo, se procede a la entrega formal de los moldes de manufactura y piezas terminadas del robot junto a su informe de especificaciones mecánicas que permitirá a cualquier ingeniero o personal que trabaje con él, saber cuáles son los pasos de ensamblaje para el desarrollo del robot. Junto a este entregable final, se adjuntará también el desglose de todos los materiales y costos utilizados en el proyecto.

4.6 Metodología de Validación

Con el propósito de afirmar la precisión de cada uno de los pasos del proyecto, se realizará el proceso de validación a cada una de las partes. Para la validación se hará uso de pruebas de resultados matemáticos utilizando herramientas de análisis adquiridas de los cursos relacionados con mecánica de materiales. También se hará uso de resultados de simulaciones a través de software CAD que corroboren el análisis aplicado en el proyecto. A su vez, se realizará la entrega de todas las cotizaciones e información adquirida de los centros de producción y mecanizado de metales por los cuales se realiza cada una de las piezas del proyecto.

4.7 Cronograma de Actividades

En esta sección se detalla la manera en la que se distribuyó el trabajo del proyecto en la duración de las 10 semanas del trimestre Q3 2020. En esta cronología se consideran entregables de documentos, así como entregables físicos del proyecto. La distribución temporal del trabajo

se detalla en la figura 11, donde se puede apreciar que se incluyen todas las actividades desde el planteamiento del problema del proyecto hasta su culminación.

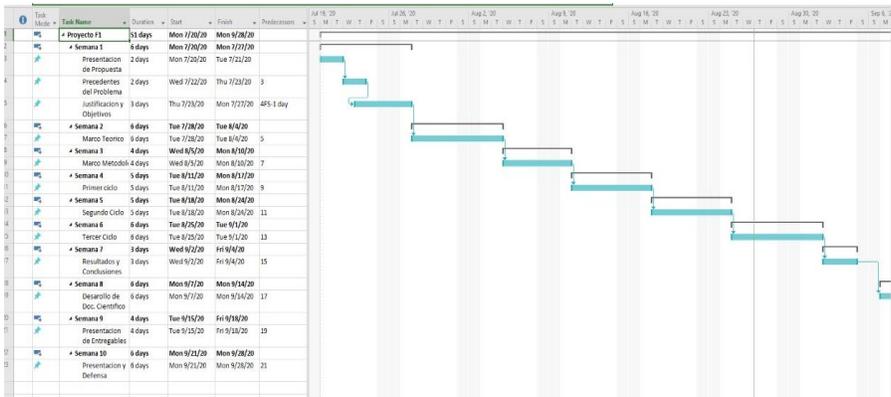


Figura 8: Cronología de Actividades

Fuente: Propia

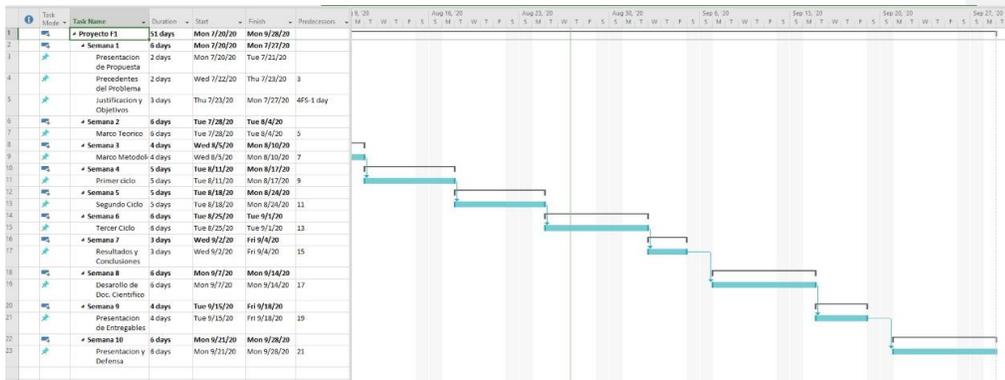


Figura 9: Cronología de Actividades (Continuación)

Fuente: Propia

V. Resultados y Análisis

En este capítulo se mostrarán los resultados encontrados a través de la metodología aplicada para el proyecto y se realizara el análisis de estos. De esta forma se podrán formar las bases para la formulación de conclusiones y recomendaciones del proyecto. Para este presente capitulo, se hará uso de la información recopilada anteriormente y se aplicarán las técnicas necesarias para interpretación correcta de los datos.

5.1 Análisis del Marco Teórico

En el marco teórico de este proyecto se presentaron los parámetros y características físicas que se busca analizar en la estructura final del robot hexápodo. Dichas características se verán desglosadas a través de análisis por medio de simulación y de análisis matemático de resistencia de materiales. Las características son: esfuerzos y cargas permisibles y el factor de seguridad. Para el desarrollo de estos dos conceptos se toma en cuenta también los temas introducidos en el marco teórico que hablan acerca de las propiedades mecánicas de los materiales, así como sus deformaciones.

Se identificaron dos tipos de materiales a utilizar en el proyecto, los cuales son: metales y polímeros. De los metales, hierro dúctil, acero y aluminio se han identificado como los principales a estudiar para la estructura principal de las partes Tibia, Coxis y Fémur del robot zoomórfico. Como polímero se distinguió el acrílico y PLA como un posible material para la estructura que contendrá el cerebro del robot y también los detalles estéticos de algunas de las uniones del robot.

Los procesos de manufactura para la fabricación del robot son manufactura aditiva, substractiva y el método de fundición. Se detallará en las siguientes secciones de este capítulo todas las formas en las que se llevó a cabo la fabricación del robot.

A partir de la investigación, se puede notar que a pesar de que la manufactura aditiva para metales ya tiene aplicaciones en diversos campos, este tipo de manufactura no se encuentra disponible en el contexto geográfico de este proyecto. En San Pedro Sula, municipio del departamento de Cortés, Honduras, no se encuentra comercialmente disponible la posibilidad de

realizar piezas metálicas a través de manufactura aditiva. Sin embargo, la manufactura aditiva de polímeros es una práctica muy útil que, si se encuentra disponible, por lo que se considera un proceso de manufactura posible para el exosqueleto del robot, así como su posible uso para la creación de moldes en fundición.

En la siguiente figura se muestra los pasos a seguir para la realización de este proyecto. En cada uno de los pasos se resuelve lo expuesto en los ciclos de la metodología del capítulo 4. Esta figura ayudará a visualizar de mejor manera los resultados que se mostraran a continuación en el capítulo.



Figura 10: Proceso de Realización del Proyecto

Fuente: Propia

5.2 Resultados Primer Ciclo. Diseño de Fabricación.

Para el robot zoomórfico, durante el diseño experimental se diseñaron las distintas partes que le conforman. Algunas de estas partes, tales como el Coxis, Fémur, Tibia, entre otros, fueron rediseñados con el propósito de fabricarlas con características reales de ensamblaje. Los cambios realizados a las piezas fueron mínimos, como la agregación de secciones para rodamientos, huecos para tuercas y pernos que brindaran más seguridad a las uniones de los mecanismos utilizados y detalles estéticos para ocultar ciertas uniones del robot. Algunos de los cambios pueden ser apreciados en las figuras a continuación.

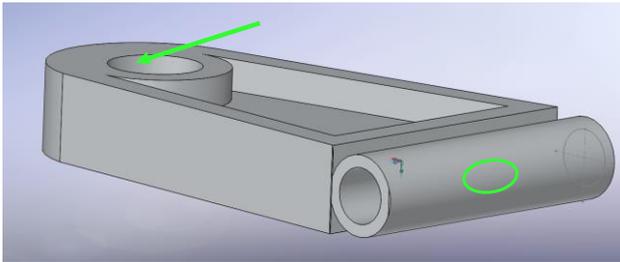


Figura 11: Diseño Original del Coxis; secciones que necesitan cambios

Fuente: (Matamoros, 2020)

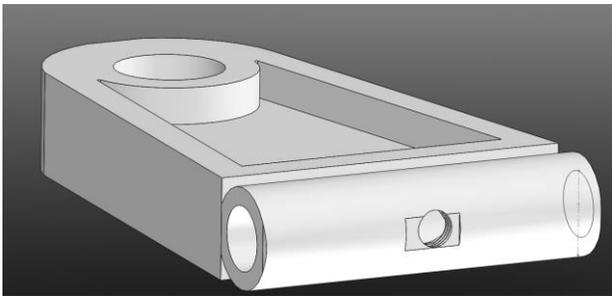


Figura 12: Coxis Rediseñado, Operación de Taladro en Sección trasera para unión con Soporte de Coxis

Fuente: Propia

Es necesario mencionar que las propiedades principales de las piezas no fueron alteradas, solamente se realizó una adaptación para sostener una unión más sólida entre las diferentes piezas que componen el robot. En el caso particular del coxis, se realizaron dos cambios: 1 operación de taladro en la unión con el soporte del coxis y 1 operación de taladro en la unión con el fémur. La sección frontal del coxis estará unida con el fémur a través del Pin de Seguridad del Fémur y un tornillo de las dimensiones necesarias.

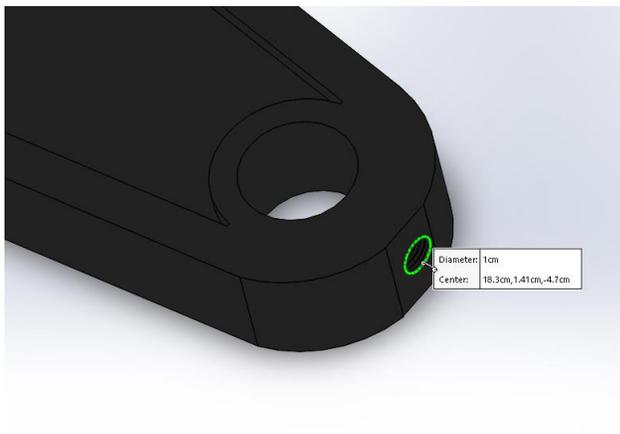


Figura 13: Coxis Rediseñado; Operación de Taladro en Sección Frontal para unión con Fémur.

Fuente: Propia

Así mismo, se realizaron cambios a los soportes del Coxis, quienes requieren también de rodamientos. En este caso en particular, se seleccionaron rodamientos con las dimensiones de 17mm de diámetro interno, 23mm de diámetro externo y 5mm de altura. Se realizó el cambio en ambas superficies del soporte y se realizó un sello en los extremos de la pieza. Para este caso también se realizó el diseño de un seguro para los rodamientos del soporte del coxis, similar al diseñado para el rodamiento en el fémur, pero con dimensiones de menor proporción.

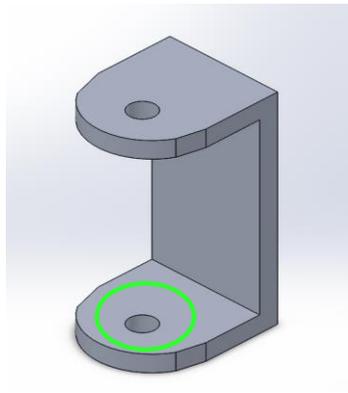


Figura 14: Diseño Original Soporte de Coxis; Sección que necesita cambios

Fuente: (Matamoros, 2020)

En la siguiente figura se muestran las dimensiones de la pieza arandela personalizada que fue diseñada para sostener los rodamientos elegidos para el soporte del coxis. Se determino que estas piezas serán fabricadas con material PLA. Se determino las 3 operaciones de taladro en la pieza para asegurar que en el caso de que uno de los pernos o las secciones de la arandela fallen, aun estará sostenido por dos pernos más.

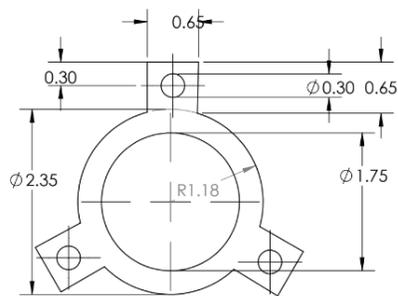


Figura 15: Plano Superior Seguro de Rodamientos Coxis. Unidades: cm

Fuente: Propia

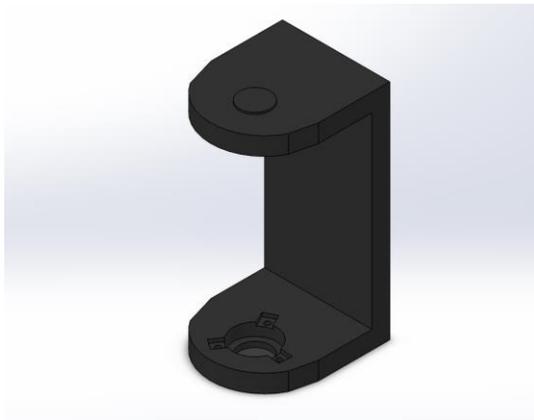


Figura 16: Coxis Rediseñado

Fuente: Propia

Para la unión entre el coxis y el soporte del coxis, se diseñó un Pin de Seguridad de Coxis, el cual tiene las medidas mostradas en el plano de la Figura 19. Esta pieza unirá la parte trasera de del coxis y los puntos principales del soporte del coxis. Con la ayuda de los rodamientos seleccionados para el proyecto, esta unión permitirá la rotación estrictamente horizontal entre el coxis y el soporte del coxis.

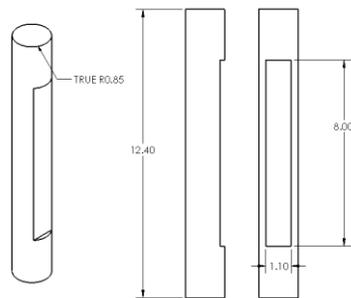


Figura 17: Vista Isométrica, Lateral y Frontal de Pin de Seguridad Coxis. Unidades: cm

Fuente: Propia

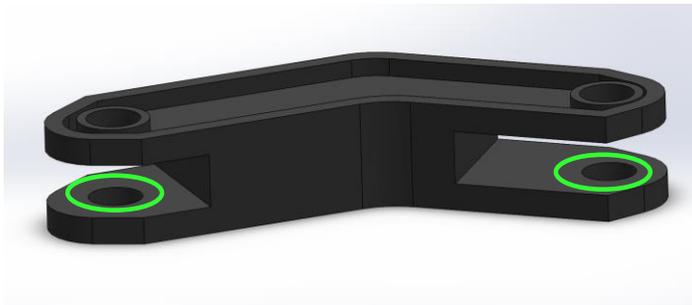


Figura 18: Diseño Original del Fémur; Secciones que necesitan cambios

Fuente: (Matamoros, 2020)

En el caso del fémur, con las figuras 21 y 22 se puede apreciar que se agregaron espacios para los rodamientos, así como arandelas personalizadas para asegurar dichos rodamientos. Los rodamientos considerados para las uniones de ambas de las extremidades del fémur tienen las dimensiones de 25mm de diámetro interno, 37mm de diámetro externo y 7mm de altura.

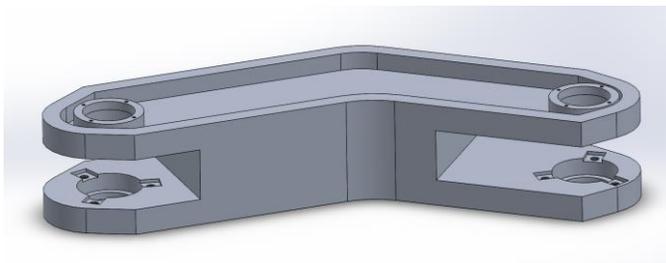


Figura 19: Fémur Rediseñado

Fuente: Propia

La siguiente figura muestra el plano superior de la arandela diseñada para asegurar los rodamientos en los extremos del fémur. Se puede notar que es muy similar al seguro diseñado para los rodamientos del coxis. La diferencia entre estas dos piezas del proyecto son sus dimensiones, ya que son consideradas para asegurar rodamientos de dimensiones distintas.

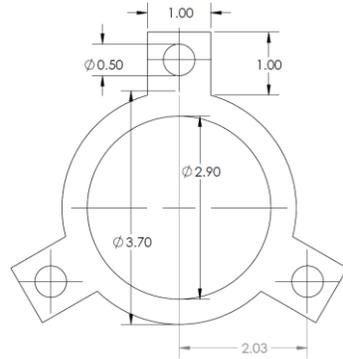


Figura 20: Plano Superior Seguro para Rodamientos Fémur. Unidades: cm

Fuente: Propia

Se realizó la operación de taladrado proporcional al espacio elaborado en el diseño original, creando huecos de 0.2 cm. A partir de esto, se diseñó también un sello con cuatro puntos de unión, para crear una unión más discreta en ambos extremos del fémur. En la siguiente figura se muestra la pieza "Sello de Fémur" diseñada en SolidWorks. Se determino que esta pieza será una pieza

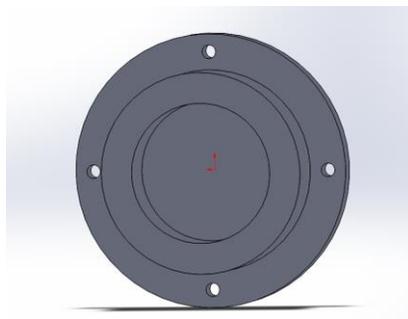


Figura 21: Diseño Sello de Fémur

Fuente: Propia

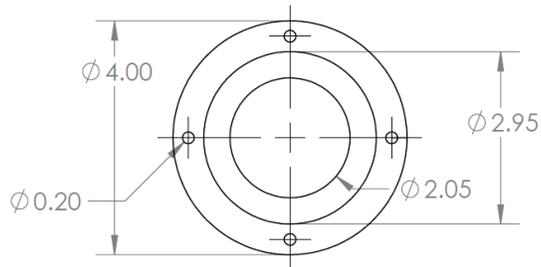


Figura 22: Plano Superior Sello de Fémur. Unidades: cm

Fuente: Propia

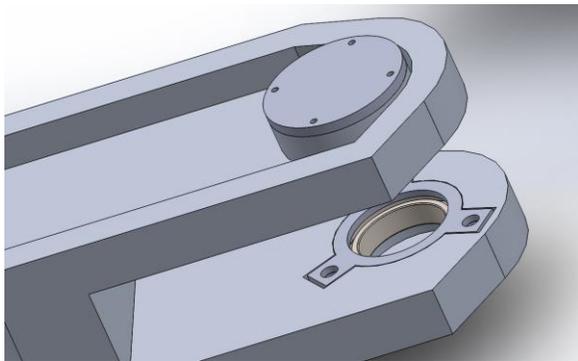


Figura 23: Ensamble de Fémur, Sello de Fémur, Rodamientos y Seguros de Rodamientos de Fémur

Fuente: Propia

Para las uniones fémur-tibia y fémur-coxis, se diseñó un Pin de Seguridad de Fémur, similar al Pin de Seguridad de Coxis. Las dimensiones de esta pieza se detallan en la figura siguiente. Esta pieza, al igual que el Pin de Seguridad del Coxis, estará en contacto directo con los rodamientos y serán las uniones que permitirán la rotación de las articulaciones de las extremidades.

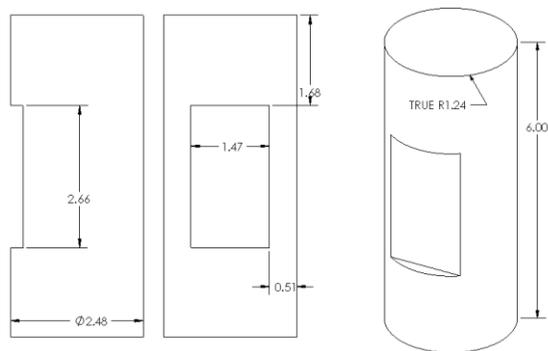


Figura 24: Plano Lateral, Frontal e Isométrico Pin de Seguridad Fémur. Unidades: cm

Fuente: Propia

Finalmente, el último cambio que se realizó fue solamente la adición de una operación de taladro en el punto en el que la tibia y el fémur se unen. El tornillo colocado en este punto hará contacto directo con el Pin de Seguridad de Fémur, permitiendo un ensamble más seguro entre el fémur y la tibia. En la siguiente figura se muestra el diseño original de la tibia en el proyecto experimental.



Figura 25: Tibia Diseño Experimental; Sección que necesita cambio

Fuente: (Matamoros, 2020)

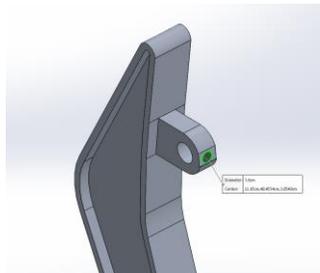


Figura 26: Tibia Rediseñada

Fuente: Propia

En total, los pernos métricos considerados para el ensamblaje de este proyecto están enlistados en la siguiente tabla. A pesar de la cantidad extensa de estas piezas, esto se considera un aspecto positivo para el proyecto. La cantidad de pernos utilizados representa un diseño con un proceso de ensamble y desensamble más discreto. Considerando los pesos finales de los componentes del robot, los cuales se muestran en resultados próximos, la calidad de ensamblaje de este proyecto es muy importante para movilizar el robot fácilmente.

Tabla 8: Pernos Métricos para Diseño de Fabricación

Fuente: Elaboración Propia

Union	Cantidad	Tipo
Tibia	6	M10x2
Sello Fémur	48	M2x0.4
Rod. Fémur	72	M5x0.8
Coxis	12	M10x1.25
Rod. Soporte Coxis	36	M1.2x0.25

Con la finalización de los diseños de fabricación, se elaboró un manual detallado de los pasos necesarios para ensamblar una de las extremidades del robot. La siguiente figura muestra uno de los pasos del manual que determina la manera correcta de ensamblar la unión entre el

fémur y el coxis utilizando el Pin de Seguridad del Fémur. El resto del manual de ensamblaje se puede encontrar en el capítulo de Anexos.

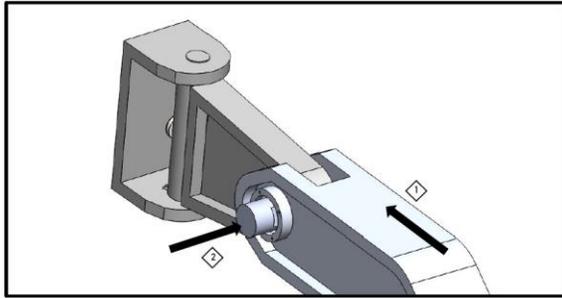


Figura 27: Manual de Ensamblaje; Unión entre Fémur y Coxis

Fuente: Elaboración Propia.

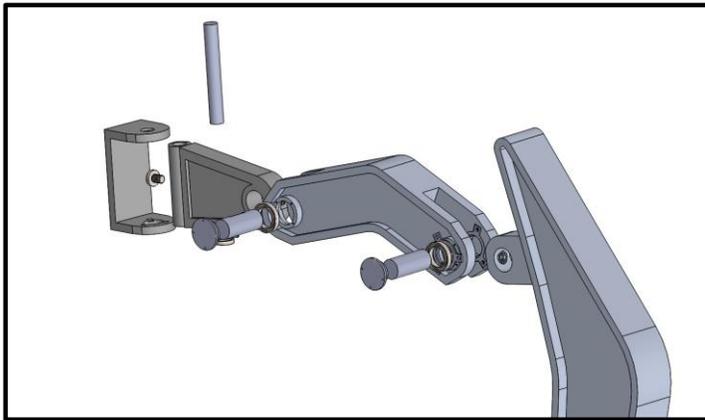


Figura 28: Vista Explosionada de Ensamblaje de Una Extremidad Completa

Fuente: Elaboración Propia

La figura 31 muestra la vista explosionada del orden de ensamblaje de los componentes para una de las extremidades del robot. La cantidad de piezas que involucra el robot hace notar la importancia de realizar un diseño con mayor facilidad de ensamble.

5.3 Resultados Segundo Ciclo. Manufactura y Materiales

Así como se mencionó anteriormente en este capítulo, los materiales principales del proyecto son polímeros y metales ferrosos. De los metales ferrosos, se consideraron aluminio, hierro dúctil y acero en el diseño experimental del proyecto. Se concluyó en el mismo que el mejor tipo de material para el diseño, debido a su diseño y factores de seguridad sería el hierro dúctil (Matamoros, 2020).

Para el diseño experimental del proyecto se consideraron piezas huecas con distintos espesores internos que varían de pieza en pieza, lo cual se hizo con el propósito de compensar el peso total de la estructura. El espesor interno de las piezas fue muy bajo para la fabricación real y se determinó que la manufactura de piezas huecas a través de soldadura de láminas metálicas no tendría la misma capacidad de cargas que el diseño experimental. Para el análisis de materiales y procesos se consideró la fabricación de piezas sólidas a excepción del chasis.

Las siguientes tablas muestran la disponibilidad de los materiales considerados para las estructuras metálicas del proyecto. En estas tablas se muestra que, a pesar de que el hierro dúctil fue el material considerado para el proyecto experimental, la mejor opción para este actual proyecto es la fabricación en aluminio. Considerando que las piezas se determinaron que serán sólidas, la baja densidad del aluminio permite que el producto finalizado del robot no se exceda en peso. La diferencia entre la disponibilidad del tiempo también es un factor importante para la elección del aluminio en este proyecto. Como se muestra en la tabla, el hierro dúctil tiene un proceso de producción de mercado mucho mayor al del aluminio. Esta diferencia de tiempo se debe a la drástica diferencia entre los puntos de fundición de los materiales. El hierro dúctil requiere de temperaturas mucho mayores para fundición, mientras que el aluminio puede ser fundido con temperaturas de por lo menos 660 C (Kalpakjian et al., 2014). Esto permite que la fundición de aluminio sea más accesible, ya que no se requiere de hornos de fundición especializados para alcanzar la temperatura deseada.

Tabla 9: Comparación de Materiales para Fundición de Fémur

Fuente: Elaboración Propia

Material	Densidad(g/cm3)	Tiempo de Manufactura ^a	Costo (USD)
Hierro Dúctil	7.16	15 días	\$80
Aluminio	2.70	2 días	\$24.30
Acero ^b	7.82	-	-

a: Tiempo de Entrega de Pieza Finalizada; Este no es el tiempo real de fundición y modelado de material.

b: Material no disponible para fundición comercial por detalle

Tabla 10: Comparación de Materiales para Fundición de Tibia

Fuente: Elaboración Propia

Material	Densidad(g/cm3)	Tiempo de Manufactura	Costo (USD)
Hierro Dúctil	7.16	15 days	\$89
Aluminio	2.70	3 days	\$38.47
Acero ^b	7.82	-	-

b: Material no disponible para fundición comercial por detalle

El proyecto presentado por (Sun et al., 2019) presenta un robot el diseño de un robot hexápodo en el cual se seleccionó aluminio como material final de producción en lugar de

componentes de acero. Esto se hizo considerando el peso de cada uno de los componentes, lo cual es una razón válida también en este proyecto para seleccionar aluminio para las partes más importantes de la estructura.

Con la elección del aluminio como el material principal para el proyecto, se elaboró la siguiente tabla donde se muestra el material utilizado para cada uno de los componentes del proyecto. Esta tabla provee un desglose de todos los componentes finales para la elaboración del robot. Cabe mencionar que la tabla no incluye todos los actuadores considerados para el proyecto, los cuales son 3 por cada extremidad. Esta tabla no incluye los pernos mencionados en la tabla mencionada del capítulo 5.2 ni el número total de rodamientos. El número total de rodamientos es equivalente al número total de seguros de rodamientos.

Tabla 11: Desglose de Partes del Proyecto

Fuente: Propia

Nombre	Cantidad	Material	Método de Fabricación
Fémur	6	Aluminio	Fundición y Mecanizado
Tibia	6	Aluminio	Fundición y Mecanizado
Coxis	6	Aluminio	Fundición y Mecanizado
Chasis	1	Aluminio	Mecanizado y Soldadura
Sujetador de Actuador	18	Aluminio	Fundición y Mecanizado
Sujetador de Cilindros de Actuador	18	Aluminio	Fundición y Mecanizado
Soporte del Coxis	6	Aluminio	Fundición y Mecanizado
Pin de Seguridad Coxis	6	Acero 1045	Mecanizado

Pin de Seguridad Fémur	12	Acero 1045	Mecanizado
Sello de Fémur	12	Filamento PLA	Manufactura Aditiva
Seguro Rodamientos de Fémur	24	Filamento PLA	Manufactura Aditiva
Seguros de Rodamientos de Coxis	24	Filamento PLA	Manufactura Aditiva

La tabla anterior menciona los procesos de manufactura que se utilizaran para cada pieza en específico. En el caso de las piezas que se harán a través de fundición, estas necesitarán acabados y detalles realizados con mecanizado o manufactura substractiva. Con acabados y mecanizados se hace referencia a que las piezas fundidas necesitaran procesos de torno o taladros para poder tener las uniones de pernos consideradas en el diseño de fabricación del robot hexápodo.

Para la realización de fundición de aluminio en arena, es necesaria la creación de moldes y modelos. En Honduras, tradicionalmente, los modelos para fundición son piezas estandarizadas que se pueden encontrar en el comercio y realizar moldes a partir de estos. En el caso de modelos de piezas personalizadas, la técnica aplicada para realizar modelos no estandarizados es el uso de trabajos de carpintería o ebanistería. Al utilizar manufactura aditiva para realizar los modelos de fundición, se ahorra en costos de fabricación de los moldes y en su tiempo de acabado.

La utilización de manufactura aditiva para este proceso también reduce el error humano encontrado en el trabajo de fundición de metales. El error humano en la fundición de metales es de mucha importancia, ya que a través de este proyecto los autores notaron la cantidad de destreza manual que debe aplicar un obrero para la realización de un molde de fundición

adecuado (Hu & Du, 2018). La creación de moldes para piezas complejas a través de manufactura aditiva ha demostrado que puede reemplazar trabajos considerados previamente como trabajos alcanzables solamente por artesanos habilidosos (Alderighi et al., 2019).

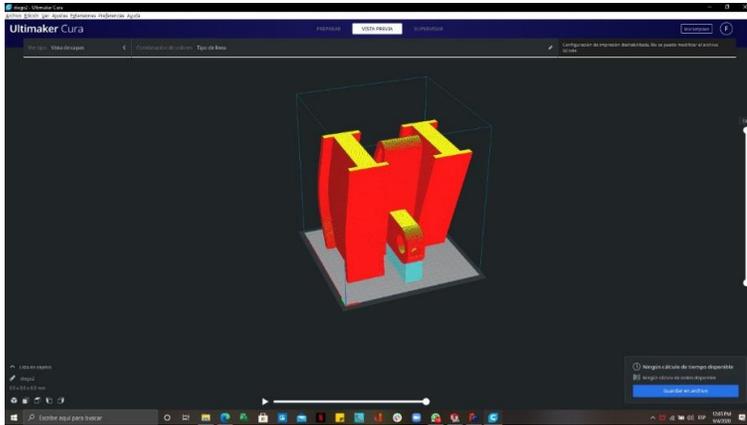


Figura 29: Modelo de Tibia Visto en UltimakerCura

Fuente: Propia

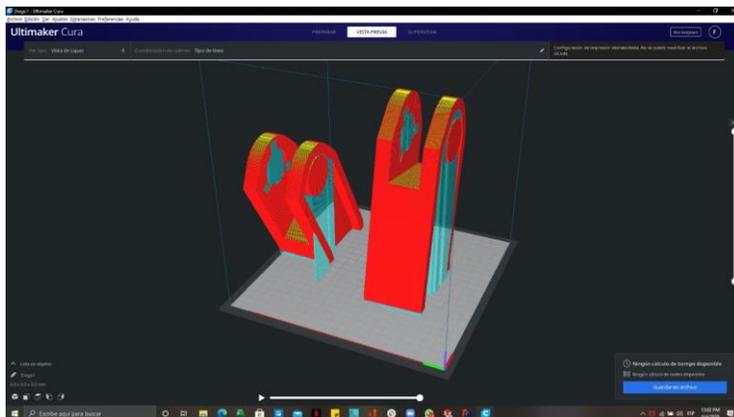


Figura 30: Modelo de Fémur Visto en UltimakerCura

Fuente: Propia

Las figuras 32 y 33 muestran los modelos en el proceso de impresión 3D. Una ventaja que presenta la manufactura aditiva en este proyecto es la capacidad de poder reducir el contenido del interior de las piezas. Debido a que la finalidad de estas piezas no es la aplicación de fuerzas reales, sino su utilización para crear moldes de fundición, es posible reducir su material interno a un 25% de su totalidad, lo cual reduce el tiempo de fabricación y material utilizado en el producto final. Según (Molnár & Morovič, 2018), otros proyectos de diseño y manufactura aditiva tienen la ventaja de tener bajo consumo de material y producción automatizada.

Tabla 12: Comparación de Métodos: Modelos

Fuente: Propia

Método	Tiempo de Fabricación	Costo (USD)^a
Tradicional (Carpintería/Ebanistería)	5d	\$101.22
Manufactura Aditiva	2d16h	\$66.79

a: 1 USD \$ = L.24,71 al 7 de agosto de 2020

La tabla 11 compara los tiempos y costos de fabricación para la pieza Fémur, la cual tiene las dimensiones más complejas del proyecto. A diferencia de la manufactura aditiva, el método tradicional de obtención de moldes requiere de destreza manual para la culminación del modelo. Utilizando manufactura aditiva, además de garantizar que la pieza se hará con las dimensiones exactas consideradas en el diseño CAD, el tiempo de producción y el costo es menor. El costo se ve afectado por lo mencionado anteriormente acerca de la opción de reducir el material interno del modelo final.



Figura 31: Modelo de Fémur

Fuente: Propia

Al elegir manufactura aditiva para la fabricación de moldes de fundición, el costo de modelaje se redujo por 34.02% y el tiempo de modelaje fue 2.31 veces más rápido que el proceso tradicional de manufactura. Las figuras siguientes muestra el producto final de la pieza Fémur considerada para la tabla 11 y la pieza tibia, el componente de mayor tamaño en la extremidad del robot.



Figura 32: Impresión 3D de Modelo Tibia

Fuente: Propia

La siguiente tabla muestra los costos y tiempos de fabricación finales en manufactura aditiva de los modelos utilizados para fundición. Como se muestra en la tabla, solo se fabricaron moldes de fundición para las piezas más importantes de las extremidades del robot.

Tabla 13: Costos y Tiempo de Fabricación de Moldes

Fuente: Propia

Componente	Tiempo	Costo (USD) ^a por Unidad
Tibia	76h	\$71.67
Fémur	64h	\$66.79
Coxis	16h	\$12.14
Soporte de Coxis	8h	\$8.50
Total	167h	\$159.10

a: 1 USD \$ = L.24,71 al 7 de agosto de 2020

Según la tabla 11, los componentes de sellos de fémur, rodamientos de fémur y rodamientos de soportes de coxis fueron determinados para fabricar a través de manufactura aditiva. En la siguiente figura se muestra el resultado de cada una de las impresiones realizadas de estas 3 piezas con el propósito de evaluar el resultado final del diseño.



Figura 33: Seguro de Rodamiento de Soporte de Coxis, Sello de Fémur y Seguro de Rodamientos de Fémur

Fuente: Propia

A diferencia de las piezas utilizadas en los modelos, las piezas de la figura 36 fueron fabricadas con un material interno configurado a un 100%, ya que estas piezas si estarán presentes en el ensamblaje final del robot.

5.3 Resultados Tercer Ciclo. Fabricación de Componentes

Con la ayuda de los moldes 3D, la fundición de los componentes en aluminio fue posible. A partir de los modelos se realizaron los moldes de fundición de cada una de las 4 partes de una extremidad del robot. Esta técnica de manufactura nos brinda la capacidad de recrear las piezas necesarias para el proyecto en cualquier cantidad.

Para crear moldes de arena adecuados, las piezas modelo recibieron detalles en sus acabados angulares. En otras palabras, en todas las secciones de la pieza donde se encontraba un ángulo de 90 grados, se aplicó una pequeña capa de arcilla y arena que permite la remoción de la pieza modelo al momento de realizar los moldes de fundición. En las siguientes figuras se muestra algunos de los cambios que recibieron las piezas del robot.



Figura 34: Modelo Final Fémur

Fuente: Propia

En la figura 37 se muestra la diferencia entre el modelo impreso en 3D y la pieza final utilizada para crear moldes de fundición. Se puede notar la diferencia principalmente en los espacios que se encuentran a los extremos de la pieza. En estas secciones, se aplicaron piezas de madera que luego fueron reemplazados por bloques de arena y bentonita cálcica en el molde de fundición, esto hizo posible la fundición de la pieza Fémur incluyendo los huecos que posee en

los extremos. La aplicación de estos bloques de arena y bentonita se muestran en la siguiente figura.



Figura 35: Huecos en Extremos del Fémur con Bloques de Bentonita y Arena

Fuente: Propia.

A partir de los modelos, se realizaron entonces los moldes de fundición. El proceso de creación moldes del Fémur, Coxis y Soporte de Coxis se ven en las siguientes figuras.



Figura 36: Moldes de Arena para Fundición de Fémur

Fuente: Propia



Figura 37: Proceso de Creación de Moldes de Coxis y Soporte de Coxis

Fuente: Propia

Como se muestra en la figura 40, un aspecto importante en la técnica de moldeado para fundición es la carencia de capacidad para automatizar el proceso. Este método requiere de destreza manual para poder tanto remover el modelo exitosamente como para realizar los ductos de alimentación del material fundido. En resumen, tradicionalmente en Honduras el proceso de fundición de una pieza no estandarizada requiere de dos procesos manuales: La creación del modelo y la creación del molde de fundición. Al utilizar manufactura aditiva en este proceso de modelaje, se acerca un paso más a la automatización del proceso de fundición.

El resultado de la fundición brinda las siguientes piezas mostradas en este documento. Estas piezas todas requieren de procesos de mecanizado para obtener adecuadamente los huecos de taladrado que permitirán el ensamblaje del robot. Todas las piezas se encuentran con las dimensiones exactas diseñadas en el primer ciclo de trabajos de este proyecto.



Figura 38: Fundición Final de Fémur en Aluminio

Fuente: Propia.

En la figura 41 se muestra el resultado de la pieza Fémur en aluminio. En ambas vistas se puede notar que el acabado superficial del robot puede recibir mejoras de ser necesario, pero esto no afecta el ensamblaje del robot. El fémur fue la pieza más complicada para la fundición del proyecto y sin duda alguna sus dimensiones y su forma provocaron un mecanizado complicado al momento de agregar realizar los detalles que necesitan todas las partes de las extremidades.



Figura 39: Fundición Final de Tibia en Aluminio

Fuente: Propia

La tibia fue el componente más grande, pesado y costoso del proyecto. El costo de la pieza es relativamente proporcional al volumen de material utilizado en la pieza. Sin embargo,

por su diseño, esta será la pieza más fácil de mecanizar ya que no cuenta con secciones para rodamientos, solamente se debe realizar una operación de torno para adjuntar un perno al momento de ensamblar el robot.



Figura 40: Fundición Final de Coxis y Soporte de Coxis en Aluminio

Fuente: Propia

La figura 43 muestra el resultado del Coxis y el Soporte de Coxis, los dos componentes de menores dimensiones en las extremidades del robot. La siguiente tabla muestra la cantidad de piezas fundidas y los costos de fabricación de los 4 componentes mostrados anteriormente.

Tabla 14: Componentes Fabricados en Aluminio

Fuente: Propia

Componente	Cantidad	Costo (USD) ^a por unidad	Total (USD)
Tibia	2	\$38.47	\$76.94
Fémur	2	\$24.30	\$48.60
Coxis	6	\$13.16	\$78.96
Soporte de Coxis	6	\$7.30	\$43.80
Total			\$248.3

a: 1 USD \$ = L.24,71 al 7 de agosto de 2020

La tabla anterior muestra que en este proyecto se invirtieron \$248.3 para la fabricación completa de 2 extremidades y también la fabricación de 4 uniones coxis-soporte de coxis para el futuro ensamblaje del robot. Al igual que otros proyectos, piezas pequeñas de poco peso como el Soporte de Coxis suelen tener costos muy bajos en fundición de aluminio por moldes de arena (Alfarisi et al., 2020)

La siguiente tabla muestra la comparación entre los pesos de los componentes en SolidWorks para el diseño experimental hueco en hierro dúctil y los pesos reales de las piezas solidas en aluminio.

Tabla 15: Masas de los Componentes

Fuente: Propia

Componente	Masa en Aluminio(kg)	Masa en Hierro Dúctil SolidWorks(kg)
Tibia	6.7	6.65
Fémur	2.58	2.81
Coxis ^a	0.82	1.83
Soporte de Coxis ^a	0.36	0.93

a: Estos componentes fueron considerados sólidos para el diseño experimental en hierro.

En la tabla 15 se muestra que a pesar que los componentes finales se fabricaron en un material distinto al considerado en el diseño experimental, el robot no se excederá de los pesos considerados en el proyecto. Esto indica que los actuadores lineales de 2 pulgadas aun podrán ser utilizados para la movilidad del robot.

La figura 44 muestra la unión no permanente de la extremidad del robot. En esta figura se puede apreciar el tamaño real del robot, el cual tendrá la altura de más de 60cm. De manera anticipada, todas las partes del robot encajan de manera adecuada. Con la espera de la mecanización de los detalles de los componentes, el robot está listo para la fabricación de las extremidades restantes, su ensamblaje final y la adjunción de los actuadores que le permitan su movilidad.

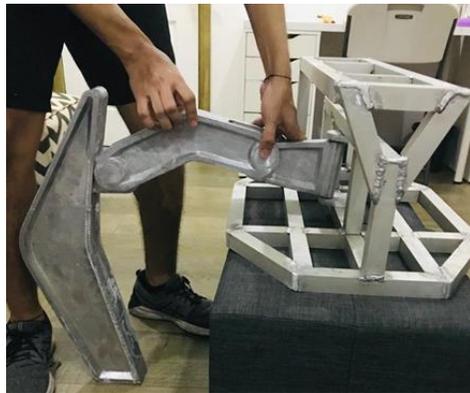


Figura 41: Extremidad del Robot

Fuente: Propia

VI Conclusiones

En el presente capítulo se muestran las conclusiones obtenidas a partir de los resultados mostrados en el capítulo anterior.

Conclusión 1:

El diseño de fabricación del robot zoomórfico hexápodo presentado en este proyecto está listo para su manufactura completa y futuro ensamblaje. Los cambios realizados a los componentes principales del robot permiten uniones más seguras y discretas al momento de ensamblar las extremidades del robot.

Conclusión 2:

Utilizando aluminio como metal principal de la estructura, las masas y características de las extremidades se encuentran en el rango aceptado para ser manipulados por los actuadores considerados en el diseño experimental.

Conclusión 3:

La fundición de aluminio junto con el uso de manufactura aditiva para crear moldes de arena es una técnica viable para la fabricación de los componentes del robot presentado en este proyecto. El uso de modelos fabricados con manufactura aditiva redujo el costo de modelaje del fémur en un 34.02% y la cantidad de material utilizado. Simultáneamente, el tiempo de fabricación fue 2.31 veces más rápido.

VII Recomendaciones

Para la continuación de este proyecto se recomienda:

- La utilización de los actuadores eléctricos lineales que fueron considerados en el diseño final del proyecto.
- La adaptación del robot a un diseño cuadrúpedo en lugar de hexápodo para la reducción del peso final del robot.

VIII Bibliografía

Alderighi, T., Malomo, L., Giorgi, D., Bickel, B., Cignoni, P., & Pietroni, N. (2019). Volume-aware design of composite molds. *ACM Transactions on Graphics*, 38(4), 1-12. <https://doi.org/10.1145/3306346.3322981>

Alfarisi, S., Sokhibi, Akh., & Alifiana, M. A. (2020). Cost of Quality Optimization in Sand Casting Operations. *Journal of Physics: Conference Series*, 1430, 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1430/1/012044>

Ariawan, K. U., Nurhayata, I. G., & Sutaya, I. W. (2020). Development of wall follower hexapod robot. *Journal of Physics: Conference Series*, 1516, 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1516/1/012006>

Avila, J. L. O., Jimenez, H., Marquez, T., Munoz, C., Carrazco, A. M., Perdomo, M. E., Miselem, D., & Nolasco, D. (2020). Study Case: Teleoperated Voice Picking Robots prototype as a logistic solution in Honduras. *2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 19-24. <https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096483>

Chia, K. L., Choo, B. L., Lee, S. J., Luang, C. T. S., Tan, M. S., & Truman, T. (2018). Robotic soldering of lead free alloys. *2018 Pan Pacific Microelectronics Symposium (Pan Pacific)*, 1-10. <https://doi.org/10.23919/PanPacific.2018.8319012>

Choi, J. J., & Kwak, S. S. (2015). The Effect of Robot Appearance Types and Task Types on Service Evaluation of a Robot. *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts - HRI'15 Extended Abstracts*, 223-224. <https://doi.org/10.1145/2701973.2702735>

Dautenhahn, K. (2018). Some Brief Thoughts on the Past and Future of Human-Robot Interaction. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 7(1), 1-3. <https://doi.org/10.1145/3209769>

de Graaf, M. M. A., & Allouch, S. B. (2017). The Influence of Prior Expectations of a Robot's Lifelikeness on Users' Intentions to Treat a Zoomorphic Robot as a Companion. *International Journal of Social Robotics*, 9(1), 17-32. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0340-4>

Duncan, N., Yu, L.-F., Yeung, S.-K., & Terzopoulos, D. (2015). Zoomorphic design. *ACM Transactions on Graphics*, 34(4), 1-13. <https://doi.org/10.1145/2766902>

Fabricación aditiva: Qué es, proceso y usos | VIU. (s. f.). <https://www.universidadviu.com/fabricacion-aditiva-que-es-proceso-y-usos/>

Festo. (s. f.). *Taking a close look at wings in nature* | Festo USA. Recuperado 30 de julio de 2020, de https://www.festo.com/us/en/e/journal/taking-a-close-look-at-wings-in-nature-id_44627/

Fletcher, K. K., Sparks, T. E., Flood, A., & Liou, F. (2017). A SOA Approach to Improve Performance of Metal Additive Manufacturing Simulation. *2017 IEEE International Conference on Cognitive Computing (ICCC)*, 140-143. <https://doi.org/10.1109/IEEE.ICCC.2017.26>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. Prentice-Hall Hispanoamericana.

Guizzo, E. (2019). By leaps and bounds: An exclusive look at how Boston dynamics is redefining robot agility. *IEEE Spectrum*, 56(12), 34-39. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2019.8913831>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Interamericana.

Hibbeler, R. C., Murrieta Murrieta, J. E., Molina Solís, J. Ó., & Saldaña Sánchez, S. (2017). *Mecánica de materiales*. Pearson Educación de México.

Hu, C., & Du, W. (2018). Research on the method for improving mechanical properties of sand mold based on 3D printing process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 394, 032063. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/394/3/032063>

Huang, G.-L., & Yuan, T. (2017). Application of 3-D metal printing to microwave components and antennas. *2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*, 1-3. <https://doi.org/10.1109/APCAP.2017.8420473>

Kalpakjian, S., Schmid, S. R., & Espinoza Limón Jaime. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación.

Kalpakjian, S., Schmid, S. R., & Murrieta Murrieta, J. E. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología*.

Kattan, J. E., & Cerna, R. (2019). Manufactura en Honduras, breve panorama de las industrias locales. *17 th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. http://laccei.org/LACCEI2019-MontegoBay/student_papers/SP529.pdf

Koga, S., Krstic, M., & Beaman, J. (2020). Laser Sintering Control for Metal Additive Manufacturing by PDE Backstepping. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1-12. <https://doi.org/10.1109/TCST.2020.2996580>

La máquina voladora de Leonardo Da Vinci. (2016, abril 30). *Revista de Historia*. <https://revistadehistoria.es/la-maquina-voladora-leonardo-da-vinci/>

Le Sage, G. P. (2016). 3D Printed Waveguide Slot Array Antennas. *IEEE Access*, 4, 1258-1265. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2544278>

Legacy Robots | Boston Dynamics. (s. f.). <https://www.bostondynamics.com/legacy>

Li, C., Liu, K., Wang, H., Li, L., & Xue, T. (2020). Study on Determination of Mechanical Properties of Metal by Indentation Test. *2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 1961-1965. <https://doi.org/10.1109/ITNEC48623.2020.9084851>

Liang, S. Y., Feng, Y., & Ning, J. (2020). Predictive Manufacturing: Subtractive and Additive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 842, 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/842/1/012024>

Matamoros, W. (2020). *Spiral method for a experimental design of mechanisms for zoomorphic Robot in CAD software*.

Molnár, I., & Morovič, L. (2018). Design and manufacture of orthopedic corset using 3D digitization and additive manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 448, 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012058>

Mott, R. L., & Navarro Salas, R. (2009). *Resistencia de materiales*. <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/39532>

Murshiduzzaman, Saleh, T., & Raisuddin Khan, Md. (2019). Hexapod robot for autonomous machining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 488, 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/488/1/012003>

Oros Daraban, Negrea, Artimon, Angelescu, Popan, Gheorghe, & Gheorghe. (2019). A Deep Look at Metal Additive Manufacturing Recycling and Use Tools for Sustainability Performance. *Sustainability*, 11(19), 5494. <https://doi.org/10.3390/su11195494>

Robla-Gomez, S., Becerra, V. M., Llata, J. R., Gonzalez-Sarabia, E., Torre-Ferrero, C., & Perez-Oria, J. (2017). Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments. *IEEE Access*, 5, 26754-26773. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2773127>

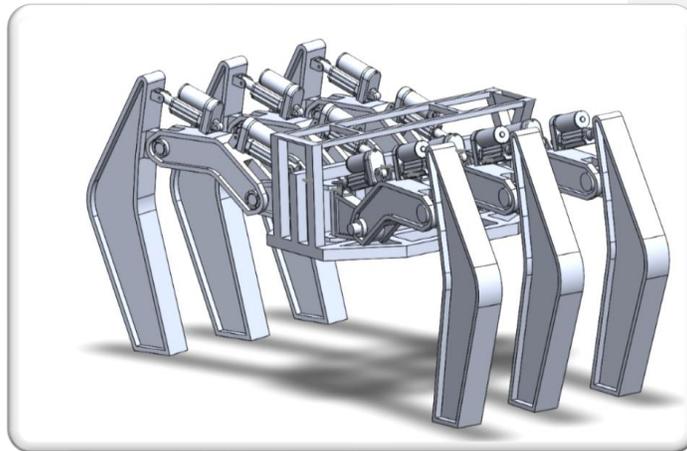
- Rosa, F., Rodiawan, & Prayitnoadi, R. P. (2019). Stress Analysis and Safety Factor of Shaft on Pepper Peeler Machine to Reduce Environmental Pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 353, 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/353/1/012031>
- Ruishu, Z., Chang, Z., & Weigang, Z. (2018). The status and development of industrial robots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 423, 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/423/1/012051>
- Schmitz, M. (2011). Concepts for life-like interactive objects. *Proceedings of the Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '11*, 157. <https://doi.org/10.1145/1935701.1935732>
- Sun, C., Yuan, M., Li, F., Yang, Z., & Ding, X. (2019). Design and Simulation Analysis of Hexapod Bionic Spider Robot. *Journal of Physics: Conference Series*, 1168, 022094. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1168/2/022094>
- Thang Tran, N., Van Mai, D., & Tai Le, M. (2019). A Decision Support Model in Additive Manufacturing and CNC Machining. *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, 672-676. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2019.8823471>
- Trovato, G., Lucho, C., Huerta-Mercado, A., & Cuellar, F. (2018). Design Strategies for Representing the Divine in Robots. *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 29-35. <https://doi.org/10.1145/3173386.3173388>
- Valencia Giraldo, A. (s. f.). El Ingeniero Leonardo da Vinci. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 32(114-134). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=430/43003211>
- Yinsheng, W. (2019). Influence of CNC Tools on CNC Machining Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 569, 032043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/569/3/032043>
- Yong-Tao, Z., Xing-Hua, L., & Tao, C. (2018). Deviation Correction Control of Biped Robot Walking Path Planning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392(6), 062200. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/392/6/062200>
- Young, H. D., Freedman, R. A., Ford, A. L., Sears, F. W., & Zemansky, M. W. (2013). *Física universitaria con física moderna* (13.ª ed., Vol. 2).

Zhang, X., & Liang, E. (2019). Metal additive manufacturing in aircraft: Current application, opportunities and challenges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 493, 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/493/1/012032>

IX. Anexos



CACIQUE



MANUAL DE ENSAMBLAJE Y DISEÑO
DE FABRICACION

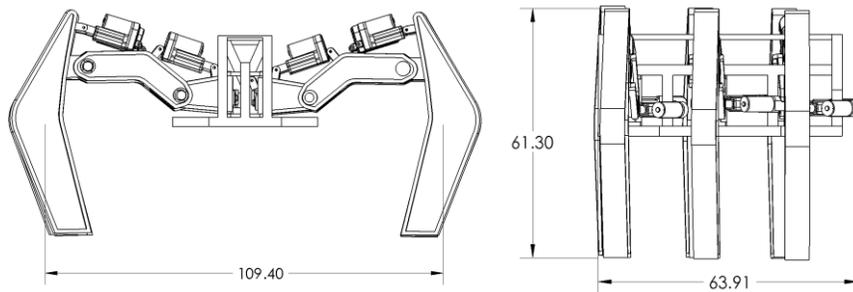
INDICE

ESPECIFICACIONES	86
ANTES DEL ENSAMBLAJE	86
PIEZAS	87
PIEZAS DEL DISEÑO DE FABRICACION	87
RODAMIENTOS	88
PERNOS	88
PASOS DE ENSAMBLAJE	89
SOPORTE DEL COXIS	89
COXIS	90
CHASIS	91
FEMUR	91
TIBIA	93

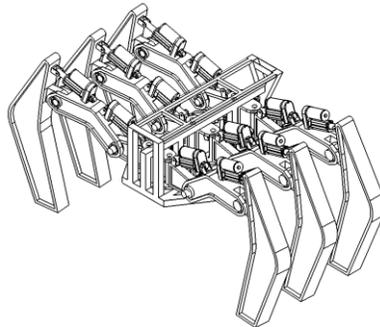
ESPECIFICACIONES

PESO:

MATERIALES UTILIZADOS: ALUMINIO, PLA, ACERO



DIMENSIONES EN CENTIMETROS (cm)



VISTA ISOMETRICA

ANTES DEL ENSAMBLAJE

SELECCIONE UNA ÁREA DE TRABAJO ADECUADA, TOMANDO EN CUENTA EL PESO Y DUREZA DE LAS PARTES INDIVIDUALES Y DEL ENSAMBLAJE COMPLETO.

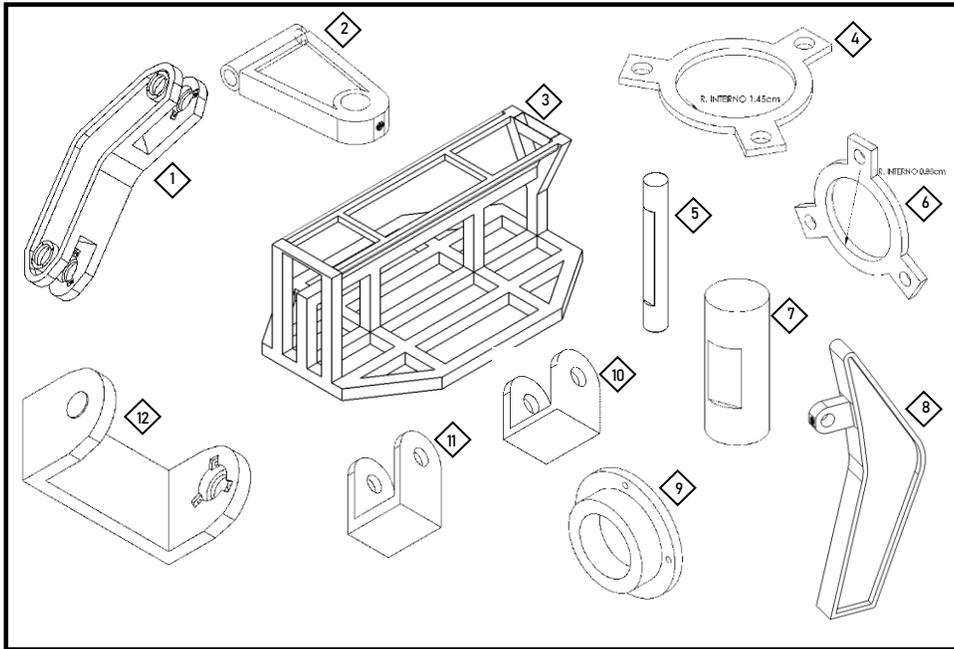
REÚNA LAS TODAS LAS PIEZAS NECESARIAS PARA EL ENSAMBLAJE, INCLUYENDO HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA LA UNION DE LOS MECANISMOS.

SE RECOMIENDA LA PRESENCIA DE MAS DE UNA PERSONA PARA EL ENSAMBLAJE, DEBIDO AL PESO DE ALGUNAS DE LAS PARTES.



PIEZAS

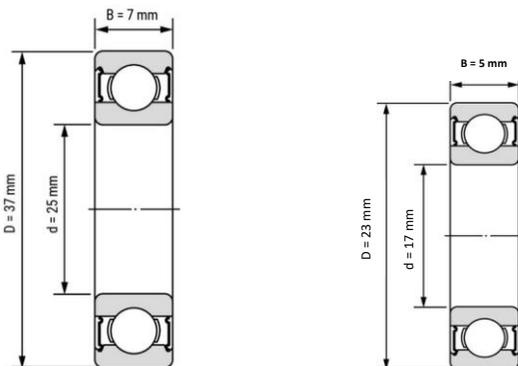
LAS SIGUIENTES ILUSTRACIONES NO SE ENCUENTRAN EN ESCALA REAL Y SU UTILIDAD ES UNICAMENTE PARA EL DESGLOSE DE ELEMENTOS PARA EL ENSAMBLAJE.



PIEZAS DEL DISEÑO DE FABRICACION

ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCION	ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCION
1	6	Fémur	7	12	Pin de Seguridad Fémur
2	6	Coxis	8	6	Tibia
3	1	Chasis	9	12	Sello de Fémur
4	24	Seguro de Rodamientos Fémur	10	18	Sujetador de Actuador
5	6	Pin de Seguridad Coxis	11	18	Sujetador de Cilindros
6	12	Seguro de Rodamientos Coxis	12	6	Soporte del Coxis

RODAMIENTOS



ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCION	DIMENSIONES
13	24	Rodamientos Fémur	25x37x7 mm
14	12	Rodamientos Soporte de Coxis	17x23x5 mm

PERNOS

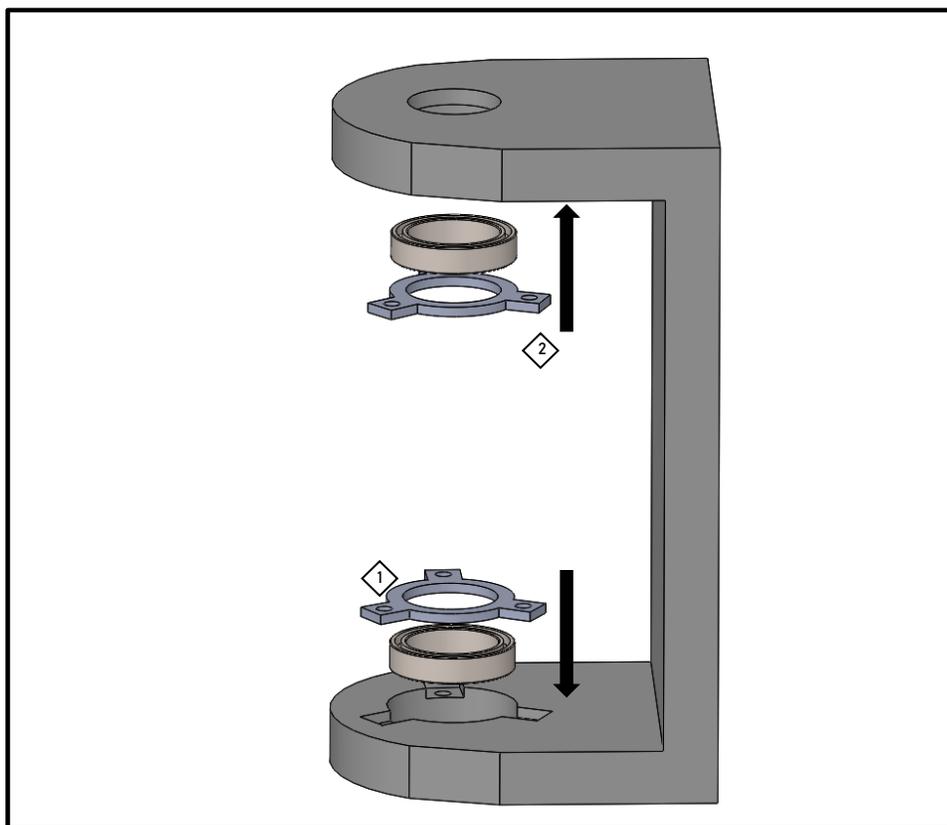
ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCION	DIMENSIONES
15	6	Perno Tibia	M10x2 mm
16	48	Perno Sello de Fémur	M2x0.4 mm
17	72	Perno Rodamientos Fémur	M5x0.8 mm
18	12	Perno Coxis	M10x1.25 mm
19	36	Perno Rodamientos Soporte Coxis	M1.2x0.25 mm

PASOS DE ENSAMBLAJE

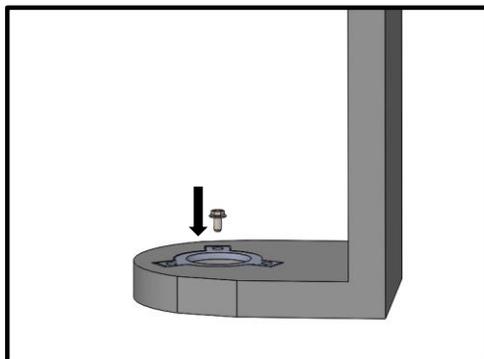
LA SIGUIENTE SECUENCIA MUESTRA EL ENSAMBLE DE UNA EXTREMIDAD COMPLETA DE CACIQUE-6. REPITA LOS PASOS PARA CADA UNA DE LAS EXTREMIDADES.

LAS PIEZAS MOSTRADAS EN LAS FIGURAS NO SE ENCUENTRAN EN ESCALA REAL, SIN EMBARGO, LA RELACION DE DIMENSIONES ENTRE ELLAS ES EXACTA.

SOPORTE DEL COXIS

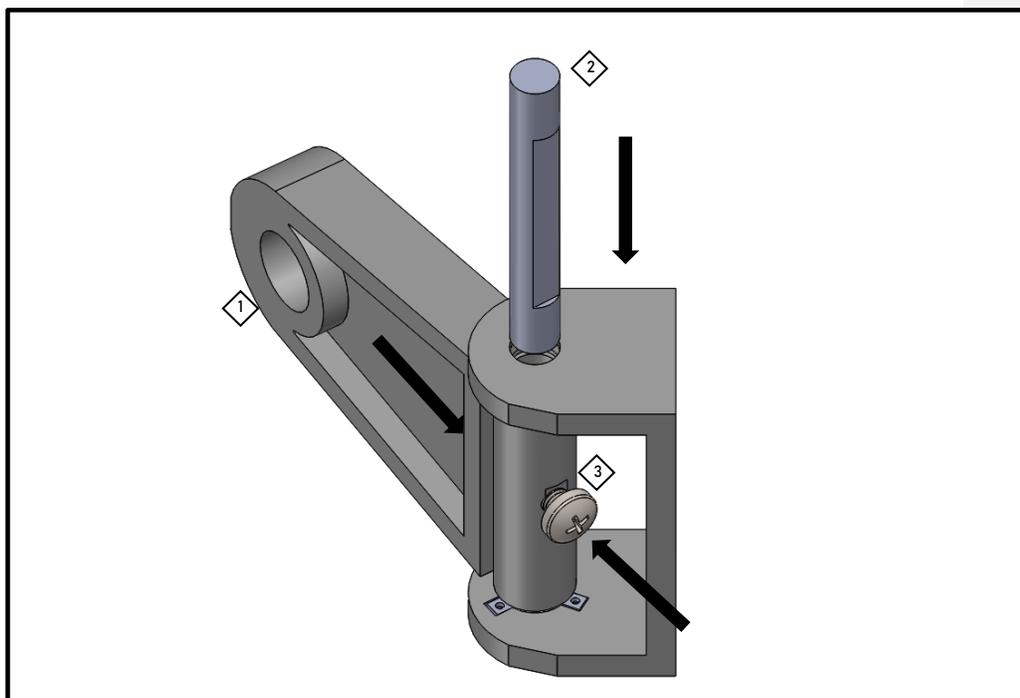


1. POSICIONE LOS RODAMIENTOS DEL SOPORTE DE COXIS, SEGUIDOS DE LOS SEGUROS DISEÑADOS PARA LOS MISMOS.
2. HAGA ESTO EN AMBOS EXTREMOS DEL SOPORTE DE COXIS



*REPETIR EL ATORNILLADO DE LOS SEGUROS DE RODAMIENTOS DEL SOPORTE DE COXIS CON EL ELEMENTO #19 EN TODOS LOS PUNTOS DE UNION. REPETIR ESTE PASO EN LA PARTE SUPERIOR DE LA PIEZA.

COXIS

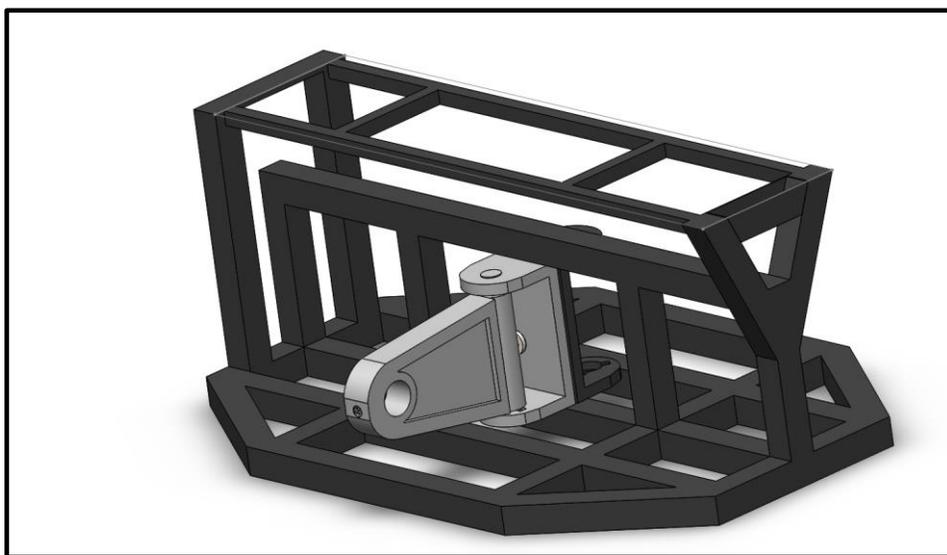


1. INTRODUZCA EL COXIS HACIA EL INTERIOR DEL SOPORTE DE COXIS.
2. INTRODUZCA EL PIN DE SEGURIDAD DEL COXIS.

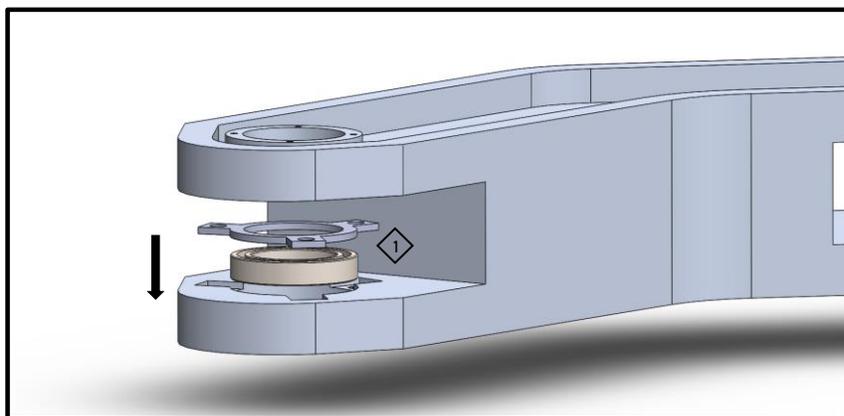
3. ASEGURE EL ENSAMBLE CON EL ELEMENTO #18.

CHASIS

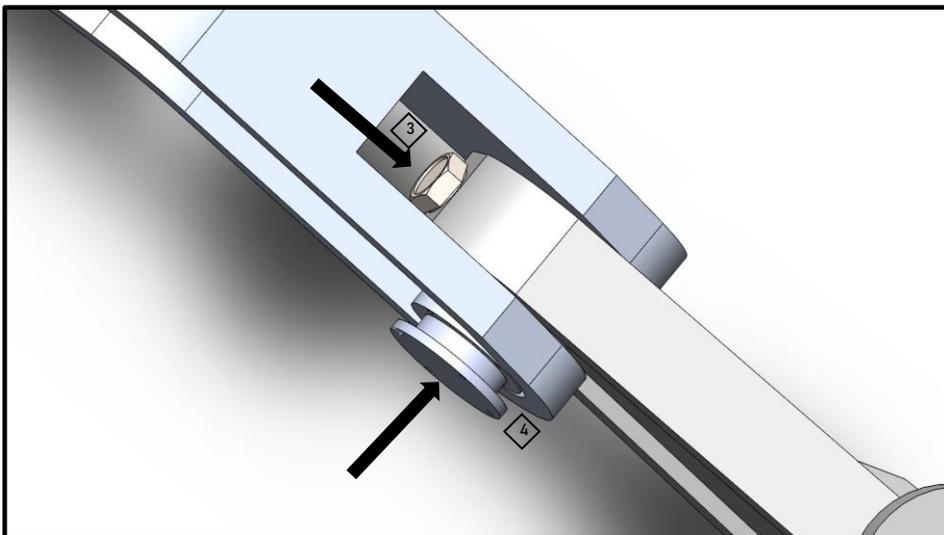
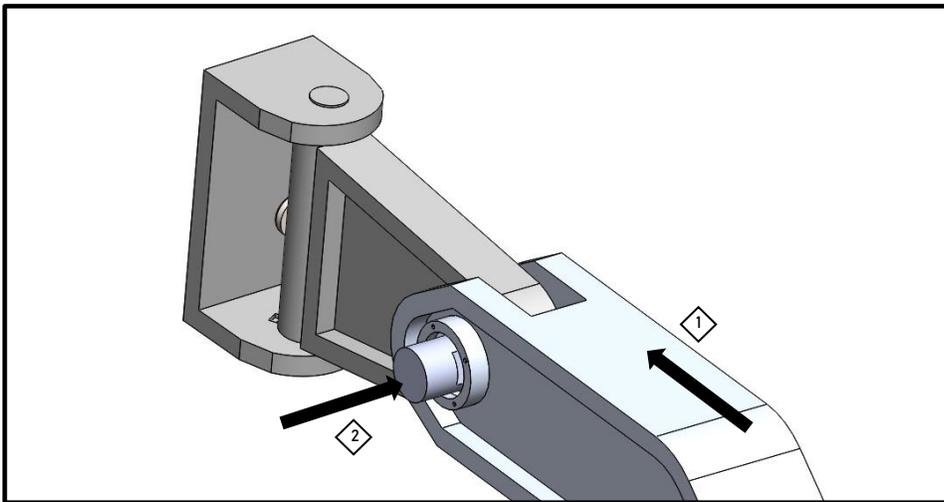
ESTE PASO REQUIERE DE LA SOLDADURA DE CADA MECANISMO DE COXIS AL CHASIS. SE DEBEN UNIR CADA PAR DE SOPORTES DE COXIS Y SE DEBEN SOLDAR AL PUNTO MEDIO DE CADA SECCION CENTRAL DEL CHASIS



FEMUR

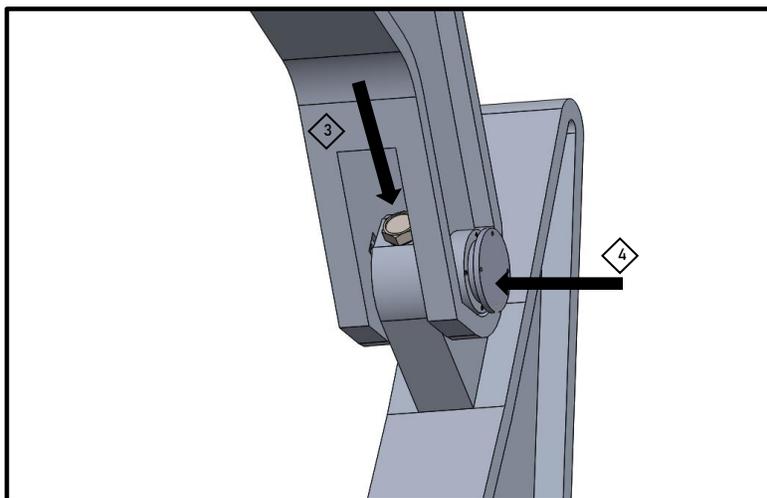
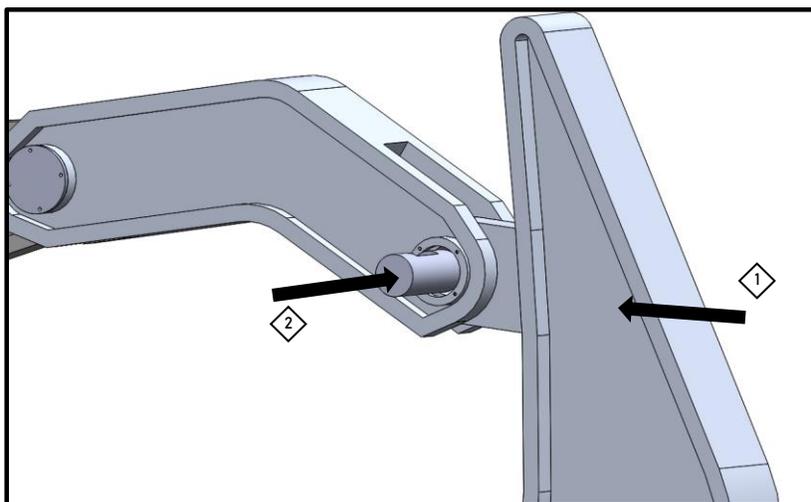


1. POSICIONE LOS RODAMIENTOS DEL FEMUR Y SEGUIDAMENTE COLOQUE LOS SEGUROS DE RODAMIENTO CON LOS ELEMENTOS #17.
2. REPITA ESTE PASO EN LAS 4 SECCIONES QUE EL FEMUR TIENE DISPONIBLE (2 EN CADA EXTREMO).



1. POSICIONE EL FEMUR DE MANERA CONCENTRICA CON EL ESPACIO DEL COXIS. ASEGURESE DE UTILIZAR LA SECCION CORTA DEL FEMUR.
2. INTRODUZCA EL PIN DE SEGURIDAD DEL FEMUR
3. ASEGURE LA UNION CON EL ELEMENTO #18
4. UTILICE EL SELLO DE FEMUR PARA TAPAR LA UNION, ASEGURE CON LOS ELEMENTOS #16.

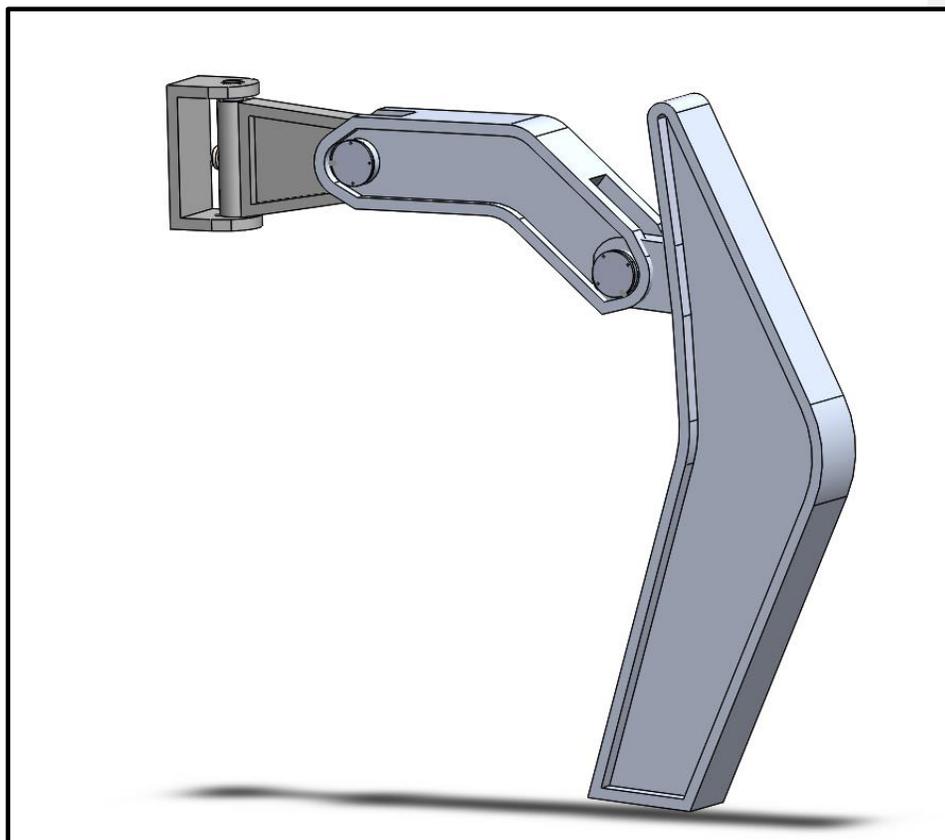
TIBIA



1. ADJUNTE LA TIBIA DE MANERA CONCENTRICA AL ESPACIO QUE PROVEE EL FEMUR.

2. INTRODUZCA EL PIN DE SEGURIDAD DEL FEMUR
3. ASEGURE LA UNION CON EL ELEMENTO #15
4. UTILICE EL SELLO DE FEMUR PARA TAPAR LA UNION, ASEGURE CON LOS ELEMENTOS #16.

RESULTADO



EL RESULTADO ES EL ENSAMBLE DE UNA EXTREMIDAD DE CACIQUE. REALICE ESTA SECUENCIA NUEVAMENTE PARA CADA UNA DE LAS EXTREMIDADES Y REALICE LA UNION DE CADA EXTREMIDAD AL CHASIS POR MEDIO DE SOLDADURA.