

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO**

**VIDA NUEVA**



**CARRERA:**

**TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA DEL PROYECTO DE APLICACIÓN PRÁCTICA**

**DISEÑO Y ENSAMBLAJE DE UNA CABEZA HUMANOIDE CONTROLADA POR  
SERVOMOTORES**

**AUTOR:**

**CHANGO QUINATO A CHRISTIAN ORLANDO**

**TUTOR:**

**ING. TOCA TRUJILLO LUIS EDISON**

**FECHA:**

**ENERO 2021**

**QUITO – ECUADOR**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, **CHRISTIAN ORLANDO CHANGO QUINATO**A portador/a de la cédula de ciudadanía **1718475252**, facultado/a de la carrera **TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**, autor/a de esta obra certifico y proveo al **Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva**, usar plenamente el contenido del informe con el tema “**DISEÑO Y ENSAMBLAJE DE UNA CABEZA HUMANOIDE CONTROLADA POR SERVOMOTORES**”, con el objeto de aportar y promover la lectura e investigación, autorizando la publicación de mi proyecto de titulación en la colección digital del repositorio institucional bajo la licencia de Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de enero de 2021.

---

**CHANGO QUINATO CHRISTIAN ORLANDO**

**C.I.: 171847525-2**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto: **“DISEÑO Y ENSAMBLAJE DE UNA CABEZA HUMANOIDE CONTROLADA POR SERVOMOTORES”** en la ciudad de Quito, presentado por el ciudadano **CHANGO QUINATOA CHRISTIAN ORLANDO**, para optar por el título de Tecnólogo **ELECTROMECAÁNICA**, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de enero de 2021.

---

**TUTOR: ING. TOCA TRUJILLO LUIS EDISON**

**C.I.: 171988925-3**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los miembros del tribunal aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“DISEÑO Y ENSAMBLAJE DE UNA CABEZA HUMANOIDE CONTROLADA POR SERVOMOTORES”** en la ciudad de Quito, del estudiante: **CHANGO QUINATOA CHRISTIAN ORLANDO** de la Carrera **TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**.

Para constancia firman:

\_\_\_\_\_

**C.I.:**

\_\_\_\_\_

**C.I.:**

\_\_\_\_\_

**C.I.:**

\_\_\_\_\_

**C.I.:**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, **CHANGO QUINATOA CHRISTIAN ORLANDO** con cédula de ciudadanía **171847525-2** estudiante del Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva, declaro que he realizado este proyecto de titulación tomando en consideración citas bibliográficas que se nombran en este texto.

El Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva puede utilizar este proyecto de titulación como una ayuda bibliográfica.

En la ciudad de Quito, del mes de enero de 2021.

---

**CHANGO QUINATOA CHRISTIAN ORLANDO**

**C.I.: 171847525-2**

## Índice

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	III
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	IV
Índice de figuras. ....	VII
Índice de tabla.....	IX
Resumen .....	XI
Abstract.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
ANTECEDENTES .....	XIV
OBJETIVOS .....	1
1.1 Objetivo General.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
DESARROLLO.....	2
2.1. Marco Teórico – Conceptual .....	2
2.1.1 La robótica.....	2
2.1.2 Robots.....	3
2.1.3 Elementos de diseño.....	6
Filamento PETG.....	13
Filamento TPU .....	13
Filamento Nylon.....	13
2.1.4 Elementos electrónicos.....	15
2.1.5 Elemento de ajuste.....	19
2.2 Procedimiento - Metodología .....	20
2.2.1 Diseño.....	22
2.2.2 Construcción.....	40
2.2.3 Implementación .....	42

CONCLUSIONES.....	45
REFERENCIAS .....	46
ANEXOS .....	50
Ensamblaje de piezas parte externa del cráneo .....	52
Ensamblaje de piezas parte internas del cráneo.....	56

## Índice de figuras.

Figura 1. Robot multiusos de muñeca en offset .....	4
Figura 2. Robot humanoide .....	5
Figura 3 Robots humanoides .....	5
Figura 4. Diseño de estructura metálica de una cabeza robótica.....	6
Figura 5. Proceso de diseño.....	7
Figura 6. Solidworks.....	8
Figura 7. Impresión.....	10
Figura 8. Impresión 3D.....	11
Figura 9. Impresión 3D ABS VS PLA. ....	14
Figura 10. Tarjeta Arduino Uno. ....	15
Figura 11. Página principal de IDE .....	17
Figura 12. Esquema eléctrico de un servomotor eléctrico.....	18
Figura 13. Servomotor MG996R.....	18
Figura 14. Tornillo Philips.....	20
Figura 15. Partes de la cabeza. ....	21
Figura 16. Apertura de solidworks. ....	23
Figura 17. Pantalla principal.....	23
Figura 18. Pantalla tipo de diseño. ....	24
Figura 19. Pantalla de trabajo. ....	24
Figura 20. Íconos de solidworks.....	25
Figura 21. Vista de plano frontal. ....	28
Figura 22. Tipos de figuras geométricas. ....	29
Figura 23. Vista de circulo. ....	29
Figura 24. Comando para acotación. ....	30

Figura 25. Cotas establecidas. ....	30
Figura 26. Cotas establecidas. ....	31
Figura 27. Extrucción de circunferencia.....	31
Figura 28. Visualización de diámetros. ....	32
Figura 29. Visualización de ángulo. ....	33
Figura 30. Relación de líneas constructivas. ....	33
Figura 31. Visualización de circunferencia. ....	34
Figura 32. Borrador de líneas constructivas. ....	34
Figura 33. Visualización ancha del diente.....	35
Figura 34. Opción Mirror entities.....	36
Figura 35. Partes del redondeo. ....	37
Figura 36. Aplicación Extruded Cut.....	38
Figura 37. Aplicación Linear Pattern. ....	38
Figura 38. Aplicación circular pattern.....	39
Figura 39. Engranaje.....	40
Figura 40. Página principal INMOOV. ....	40
Figura 41. Parte de la cabeza INMOOV.....	41
Figura 42. Pantalla Arduino.....	42

## Índice de tabla

Tabla 1. Tipos de materiales para impresiones 3D.....	12
Tabla 2. Características técnicas de Arduino UNO.....	16
Tabla 3. Características servomotor MG996R .....	19
Tabla 4. Robótica educativa. ....	22
Tabla 5. Herramientas de SolidWorks.....	25
Tabla 6. Características del engranaje .....	28

## Índice de Anexos

<i>Anexo 1.</i> Parte lateral y superior.....	50
<i>Anexo 2.</i> Parte trasera. Fuente: Propia.....	50
<i>Anexo 3.</i> Parte interna. Fuente: Propia .....	50
<i>Anexo 4.</i> Parte frontal. Fuente: Propia.....	50
<i>Anexo 5.</i> Parte interna lateral derecha. Fuente: Propia.....	51
<i>Anexo 6.</i> Parte interna, enfoque superior. Fuente: Propia .....	51
<i>Anexo 8.</i> Parte frontal.....	51
<i>Anexo 7.</i> Parte interna lateral izquierda. Fuente: Propia.....	51
<i>Anexo 9.</i> Armado de la parte baja, trasera del cráneo.....	52
<i>Anexo 10.</i> Armado parte superior trasera del cráneo.....	52
<i>Anexo 11.</i> Armado de la parte frontal derecha del cráneo.....	52
<i>Anexo 12.</i> Armado de la parte frontal izquierda del cráneo.....	53
<i>Anexo 13.</i> Armado parte lateral del cráneo. Fuente: Propia.....	53
<i>Anexo 14.</i> Armado de parte superior de la boca. Fuente: Propia.....	53
<i>Anexo 15.</i> Armado de la parte de los ojos.....	54
<i>Anexo 16.</i> Armado de la parte inferior de la boca.....	54
<i>Anexo 17.</i> Nombre de piezas externas del cráneo(frontal).....	54
<i>Anexo 18.</i> Nombre de piezas externas del cráneo(superior).....	55
<i>Anexo 19.</i> Nombre de piezas internas del cráneo.....	55
<i>Anexo 21.</i> Ensamblaje de engranaje principal y bisagra de cuello.....	56
<i>Anexo 22.</i> Sujeción de piezas por medio de un pasador.....	56
<i>Anexo 23.</i> Ensamblaje del plato giratorio.....	56
<i>Anexo 24.</i> Ensamblaje de la bisagra del cuello con el servo.....	57
<i>Anexo 25.</i> Ensamblaje de servomotor con engranajes.....	57
<i>Anexo 26.</i> Ensamblaje de la parte trasera baja del cráneo.....	57
<i>Anexo 27.</i> Ensamblaje del soporte de la cara.....	58
<i>Anexo 28.</i> Ensamblaje de soporte frontal.....	58
<i>Anexo 29.</i> Ensamblaje de pistón de mandíbula.....	58
<i>Anexo 30.</i> Ensamblaje de bisagra de mandíbula con servomotor.....	59
<i>Anexo 31.</i> Ensamblaje de soportes de mandíbula.....	59
<i>Anexo 32.</i> Ensamblaje de parte inferior de la boca.....	59

## Resumen

En este trabajo se presenta el diseño y ensamblaje de una cabeza humanoide controlada por servomotores. Las partes tanto electrónicas como físicas que forman el prototipo, son la suma de una ardua investigación en la plataforma de INMOOV y la aplicación de la experiencia propia. Se utilizó el software “SolidWorks” para diseñar y moldear las piezas en 3D, algunas de estas se adquirieron de INMOOV, la cual es una plataforma abierta al público. Para la impresión de la estructura mecánica, se usó un software de impresión 3D llamado Cura.

El control electrónico se ejecutó mediante una tarjeta Arduino (Nano, UNO) la cual nos permite controlar movimiento y velocidad de los servomotores. Su estructura mecánica fue realizada en filamento de ABS, por su resistencia y peso liviano. La prueba piloto fue ejecutada en el Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva, teniendo como críticos a varios compañeros de carrera. El proyecto fue una pequeña muestra de la carrera de electromecánica, la cual impactó al alumnado y ayudó a la apreciación de la tecnología, además de romper esos miedos de crear e innovar, pues pese a los fallos, el resultado final cumplió expectativas esperadas.

Palabras Claves:

Cabeza humanoide, INMOOV, filamento ABS, micro controlador.

## **Abstract**

In this work the design and assembly of a humanoid head controlled by servo motors is presented. The electronic and physical parts that make up the prototype are the sum of arduous research on the INMOOV platform and the application of our own experience. The “SolidWorks” software was used to design and mold the parts in 3D, some of these were acquired from INMOOV, which is a platform open to the public. For the printing of the mechanical structure, a 3D printing software called “Cura” was used.

The electronic control was executed by an Arduino board (Nano, UNO) which allows us to control the movement and speed of the servo motors. Its mechanical structure was made of ABS filament, due to its resistance and light weight. The pilot test was carried out at the Vida Nueva Higher Technological Institute, with several fellow students as critics. The project was a small sample of the electromechanics career, which impacted the students and helped the appreciation of technology, in addition to breaking those fears of creating and innovating, because despite the failures, the final result met expected expectations.

Keywords:

Humanoid head, INMOOV, SolidWorks, Arduino.

## INTRODUCCIÓN

Si bien el hombre ha buscado crear máquinas que puedan realizar las mismas tareas que él, ahora su meta va más allá, queriendo lograr que éstas no sólo reproduzcan conductas inteligentes, sino que lo hagan utilizando los mismos principios que se han descubierto en los seres vivos y particularmente en el hombre.

La robótica es uno de estos campos, muy importantes en la actualidad, ya que se encuentra formando parte de la vida humana, desde lo más sencillo hasta lo más complejo.

El desarrollo de máquinas sofisticadas y eficientes permite a los países industrializados ser mucho más competitivos mejorando su forma de desarrollo y brindando mejores condiciones de vida a sus habitantes, y es por esto que el Ecuador no se puede quedar atrás, gracias a la globalización tenemos mayor acceso a los avances tecnológicos de nivel mundial en un tiempo más corto.

En el presente trabajo de investigación practica se diseñará una cabeza robótica humanoide que permitirá interactuar al alumnado y visitantes del Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, ya que la cabeza robótica humanoide al presentar rasgos y movimientos humanos con una comunicación limitada tendremos etapas de aprendizaje que fomentaran en los estudiantes la elaboración de elementos mecánicos y autómatas basados en la robótica como una tecnología nueva.

## ANTECEDENTES

El ser humano ha demostrado siempre ser una especie en constante evolución, buscando satisfacer sus necesidades en todos los ámbitos posibles con la finalidad de hacer las cosas más fáciles y eficientes, mejorando cada día su calidad de vida, es así que ha logrado a través de la investigación el desarrollo de máquinas cada vez más autómatas e independientes que llevan a cabo tareas que generalmente resultarían complicadas.

La primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a.C. Fue encontrada en una momia egipcia. La prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un soporte adaptado al mismo. Existen registros entre los años 950 al 710 a.C. de una prótesis de un dedo del pie encontrada en Cairo, Egipto (como se cita en Navarro, 2018).

Según Norton (2007) el ánimo investigador del ser humano tuvo allí solo un punto de partida. Posteriormente, sobre todo en Europa, se consiguieron avances significativos en el campo de la robótica primitiva. Uno de estos avances se produjo en 1958 cuando se elaboraron un par de manos de hierro para el mercenario alemán Gotz Von Berlichingen, que poseían tecnología innovadora para la época, y que permitían el movimiento accionando una serie de mecanismos de liberación y resortes, al tiempo que se suspendían con correas de cuero.

El camino del vertiginoso avance continuó, y consiguió llamar la atención de la colectividad gracias a “Frankenstein”, que salió de la mente revolucionaria y predictiva de Mary Shelley para dar un vistazo de lo que vendría a futuro. Pese a ser ficticia, y que en su momento causó fascinación y a la vez incredulidad, hoy en día lo que se puede apreciar en dicha producción audiovisual, se encuentra mucho más cerca.

La robótica se aplica en cada aspecto de la vida cotidiana en las cosas más sencillas como escobas automáticas o incluso máquinas industriales. Y llega a campos como el militar a través

de drones, armamento auto dirigible y muchos artículos más. Pasa sin lugar a duda y de manera indispensable por el campo médico, donde encontramos robots con precisión imposible de alcanzar para un ser humano realizando cirugías de alta complejidad, e incluso se han logrado desarrollar órganos funcionales que reemplazan a los naturales, o aparatos que mejoran su rendimiento. Y si bien es cierto, aquellos son los campos más habituales; su expansión ha sido tan notable y necesaria que encontramos robótica en todas las áreas del intelecto humano. La minería, la astrofísica, incluso lo que tiene con áreas lúdicas o de diversión. La robótica está presente de manera más notoria cada vez.

La revolución industrial dejó ya indicios de lo que se puede lograr cuando se decide avanzar y desarrollar las técnicas y mecanismos tecnológicos. Por eso las investigaciones avanzan a pasos acelerados. Hoy en día la llamada “inteligencia artificial” empieza a asombrar al mundo con robots capaces cada vez más de empatizar de manera independiente con el ser humano y se habla ya de robot de acompañamiento para los seres humanos.

Es tal el desarrollo que se vive, que lo que antes se consideraba un sueño, un ideal, algo que existía solamente en la imaginación de unos cuantos visionarios, hoy en día lo podemos encontrar en los más pequeñitos de la casa desarrollando sus primeros robots por medio de legos, tomando herramientas, armando circuitos y partes mecánicas, por lo que podemos decir que la tecnología no está necesariamente solo en países con más crecimiento, sino en países en vías de desarrollo como el nuestro.

# **OBJETIVOS**

## **1.1 Objetivo General**

Diseñar y ensamblar una cabeza humanoide que simule los movimientos humanos controlado por servomotores para dar mayor interacción con los usuarios.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Investigar sobre la estructura de una cabeza humana.
- Diseñar las partes que conforman la cabeza humanoide, su movilidad y la apariencia que tendrá.
- Ensamblar las partes diseñadas de la cabeza humanoide acorde con la estructura física.
- Realizar pruebas de movimiento con los servomotores instalados para corregir errores.

## DESARROLLO

### 2.1. Marco Teórico – Conceptual

#### 2.1.1 La robótica.

Hoy en día el vocablo robótica ya no es extraño a nuestro vocabulario cotidiano; al contrario, se ha vuelto universal entre la comunidad estudiantil. Ha sido tan relevante esta ciencia en la sociedad.

Tal innovadora tecnología la podemos apreciar desde los niños de inicial al conocer que ellos ya están adentrándose en el mundo de la robótica, iniciando con la manipulación de robots. Sin embargo, cuando se indaga a las personas acerca de ¿Qué es la robótica?, hay una mezcla de criterios.

En la mayoría de las respuestas, la asimilan con ciencia ficción o industrias cinematográficas asemejando al ser humano como máquina, lejos están de pensar en una ciencia que podrá aportar más que espectáculo.

La robótica es una ciencia o rama de la tecnología, que estudia el análisis, diseño, construcción y aplicación de robots, los cuales, son capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano, principalmente laboriosas, repetitivas o peligrosas, ya que imita movimientos y comportamientos de seres humanos.

Las ciencias y tecnologías de las que se apoya la robótica principalmente son: Mecánica, Electrónica, Control Automático y los Sistemas Computacionales, que en conjunto integran sistemas robotizados. La palabra robot se usó por primera vez en 1921 en la obra de teatro Rossum's Universal Robots (RUR), escrita por el checo Karel Capek la cual trata de un fabricante de criaturas mecánicas que diseñaba robots para reemplazar a trabajadores humanos. Se pensaba que eran mejores que las personas porque hacían lo que se les ordenaba

sin preguntar. Al final, los robots se rebelaron contra sus creadores, acabando casi por completo con la raza humana. Posteriormente, el término robótica es acuñado por Isaac Asimov, definiendo a la ciencia que estudia a los robots (et al, 2014, párr. 5-6).

### **2.1.2 Robots.**

Es hasta 1921 que se introduce el término “robot”, etimología de la palabra “robota” que, en lengua checa, significa “trabajo forzado”; esta palabra tiene connotaciones de esclavitud. Hasta ese momento, los robots eran una copia aproximada de seres vivos, es decir, eran contruidos según los cánones antropomórficos. (Velasco, 2013, p.709).

Actualmente los robots cumplen papeles fundamentales en todas las ramas, realizando tareas con mayor eficiencia en comparación con los humanos.

“Los robots son máquinas en las que se integra componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de comunicaciones, y dotadas de un sistema informático para su control en tiempo real, percepción del entorno y programación” (Ollero, 2001, p.XVII).

#### **2.1.2.1 Robots industriales.**

La definición puede variar dependiendo de la perspectiva geográfica pues Gamboa (s.f) menciona “entre el mercado japonés y el euro-americano, un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación, el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control” (pág.1). Sin embargo, la evolución de la robótica ha obligado a cambiar sus actualizaciones desde su definición.

Estos tipos de robots se encuentran más asociados a la automatización de las industrias; existen tres configuraciones mecánicas para este tipo de robots como son: brazo articulado *figura 1*, esférico y cilíndrico, los cuales constan de diferentes actuadores para su accionamiento entre los más comunes están motor eléctrico, cilindros hidráulicos y cilindros neumáticos. El

número de movimientos independientes que puede realizar un robot se llama cantidad de grados de libertad.



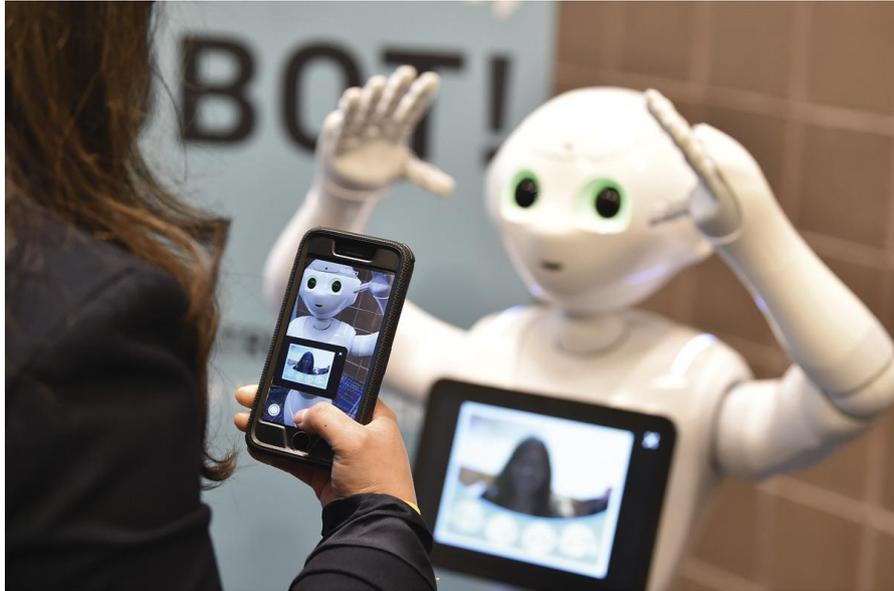
*Figura 1. Robot multiusos de muñeca en offset*

*Fuente: (FANUC, s.f)*

#### **2.1.2.2 Robots de servicio.**

Hace referencia a cualquier robot que pueda ser usado fuera del campo industrial, no obstante, tienen dos subdivisiones. La primera es el uso de robots usados para trabajos profesionales, mientras que la segunda son robots usados y capacitados para el uso personal. En este último grupo se encuentran los robots humanoides, quienes han dado impulso al uso militar, a la interacción con las personas, entre muchas cosas más.

García (como se citó en Aracil, Balaguer y Armada 2008) “En la última década ha aparecido una necesidad de extender estas realizaciones a otros ámbitos, tratando de que los robots realicen tareas distintas de las industriales de producción citadas anteriormente” (p.7).

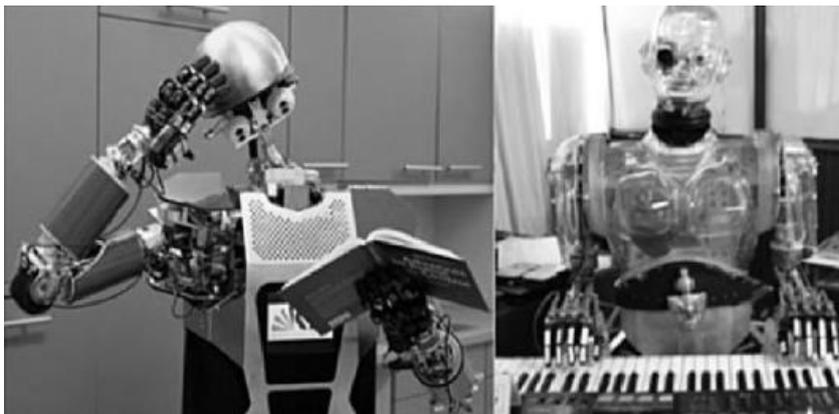


*Figura 2. Robot humanoide*

Fuente: (Yoshida, 2018)

### ***2.1.2.3 Robots Humanoides.***

“La palabra humanoide según la Real Academia Española se refiere a que tiene forma o características del ser humano” (Herrera, 2016, p.17). “También conocidos como androides, los cuales son máquinas antropomórficas capaces de imitar las funciones básicas del ser humano tales como caminar, hablar, ver, recolectar, limpiar y trasladar objetos” (Reyes, 2011, p.10).



*Figura 3 Robots humanoides*

Fuente: (Reyes, 2011)

Para poder diseñar un robot humanoide es necesario el estudio de los elementos mecánicos y elementos electrónicos, además de realizar un pre diseño mediante la ayuda de software de diseño.

A diferencia de otros robots, los robots humanoides poseen características particulares que los vuelven dispositivos con un enorme potencial para el desarrollo de nuestra sociedad. Gracias al avance en la tecnología y las investigaciones, en un futuro la idea de una “máquina compleja” puede cambiar a la de “asistente autónomo”. Así, se espera una integración útil de estas máquinas a la sociedad, como muchos otros inventos la han tenido (González, 2009, p.13).

### 2.1.3 Elementos de diseño.

Se refiere a la parte estructural del robot y de los materiales con los que se diseñara dicha estructura (Paz, Pérez , Lopez, & Sanz, 2004). Para este caso en particular se debe realizar un pre diseño de la estructura ósea de la cabeza robótica mediante el uso del software Solidworks tal como se puede observar en la *figura 4*.



*Figura 4.* Diseño de estructura metálica de una cabeza robótica

Fuente:(Paz, Pérez, López, & Sanz, 2004)

Diseñar un robot es plasmar en un bosquejo todas sus características. Kokone, como todo sistema mecatrónico, requiere de la interacción de elementos mecánicos, electrónicos y programas de control. Sin duda, las computadoras han facilitado el desarrollo de los robots, no solo en su control, sino también en su fabricación. Gracias al diseño asistido por

computadora, es posible realizar, visualizar y validar diseños en tiempo real ahorrando recursos importantes. (González, 2009, p.25)

### 2.1.3.1 SolidWorks.

SolidWorks es un Programa de Diseño Asistido por Computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp. Es una aplicación intuitiva con la que podrá desarrollar productos más perfectos, pues permite a su equipo de diseño trabajar de una manera más rápida y productiva (Urdaneta, 2017, párr.1-2)

Al diseñar se inicia con un croquis en formato 2D el mismo que dibujará un plano de trabajo por medio de líneas, círculos, rectángulos, entre otros. También son usadas las herramientas de acotación, de croquizado y relaciones geométricas.

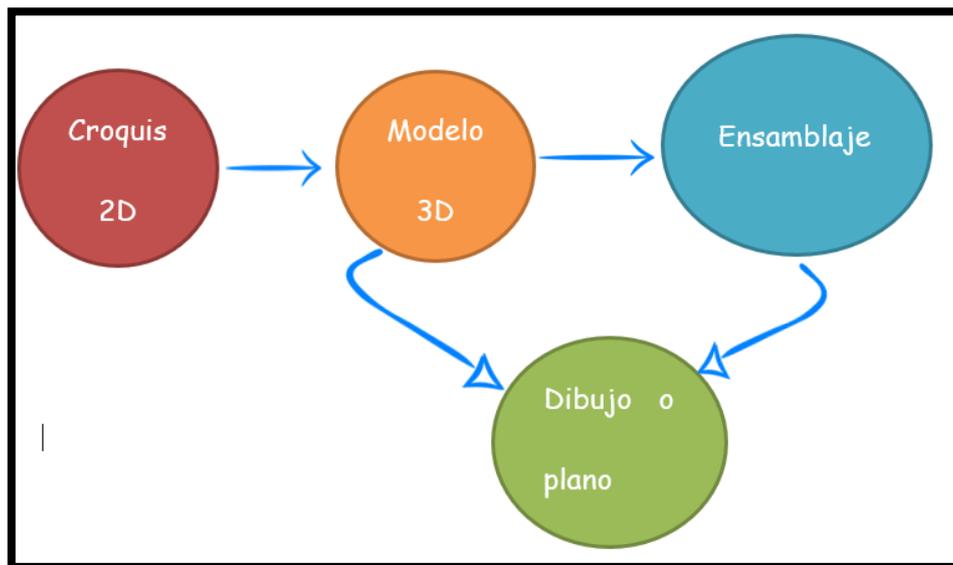
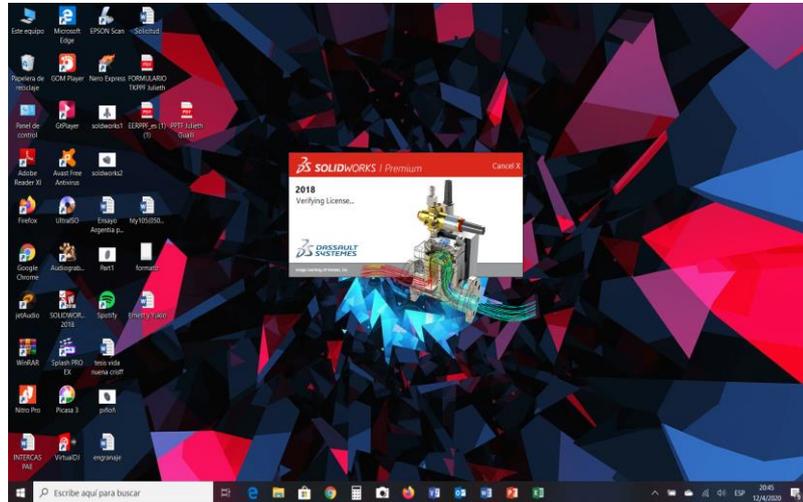


Figura 5. Proceso de diseño

Fuente: Autoría propia.

SolidWorks es un programa que nos permite diseñar objetos en 3 dimensiones, por medio de bocetos en 2D, para luego pasarlos a la forma sólida por medio de distintos métodos.

Cada día la tecnología avanza y el software hace los procesos más eficientes, ayudando con herramientas adecuadas y precisas para un diseño conceptual, un diseño del producto y dinámica, entre otros.



*Figura 6. SolidWorks*

Fuente: Autoría propia

La aplicación automáticamente puede desarrollar diseños más perfectos, puesto que ayuda al equipo a trabajar de manera rápida, sencilla y producida.

Unas de las principales características de SolidWorks según

- Producir diseños de manera rápida y limpia. Además, el Software tiene la capacidad de agregar módulos avanzados de diseño en diferentes ramas de la industria de manufactura: campwork, solidcamp, emold, etc.
- Transición e integración de datos 2D a 3D
- Crear fácilmente diseños con extrusiones, revoluciones, operaciones lámina, vaciados complejos, patrones de área rayada y Taladros aprovechando las prestaciones del modelado de piezas basado en operaciones. (Urdaneta, 2017, párr.6).

Otras características que Urdaneta (2017) menciona:

- SolidWorks es un sistema conducido por cotas. Se puede especificar las cotas y las relaciones geométricas entre elementos.
- Un modelo 3D de SolidWorks consta de piezas, ensamblajes y dibujos. Las piezas, los ensamblajes y los dibujos muestran el mismo modelo en documentos distintos. Los cambios que se efectúen en el modelo de un documento se propagan a los otros documentos que contienen dicho modelo.
- El usuario crea los croquis y los utiliza para construir la mayoría de las operaciones. Un croquis es un perfil o sección transversal 2D. Los croquis se pueden extruir, recubrir, se les puede aplicar una revolución o barrer a lo largo de un trayecto para crear operaciones.
- El software SolidWorks no exige la acotación de los croquis antes de utilizarlos para crear operaciones. Al agregar las cotas a un croquis, el estado del croquis se visualizará en la barra de estado. Un croquis de SolidWorks puede encontrarse en tres estados. Cada estado viene indicado por un color distinto.
- Es posible visualizar u ocultar todas las cotas de todas las operaciones de la pieza. Asimismo, se puede activar y desactivar la visualización de las cotas, ya sea individualmente o de operación en operación.

### ***2.1.3.2 Impresión 3D.***

La impresión 3D, es una nueva tecnología de modelado y creación de piezas, que es posible debido a la invención de una serie de “impresoras”. Estos artefactos trabajan con ciertos materiales, mayormente derivados del plástico, cuya misión es superponer capas y capas hasta lograr la forma previamente diseñada. Su uso ha ido en incremento desde la década del 2000 y el coste de producción, por otra parte, ha ido disminuyendo gradualmente. Gracias a esto, se han desarrollado productos innovadores, cuyo ensamblaje es mucho más fácil porque sus piezas son prefabricadas con un método simple y económico. (Concepto definicion.de, 2019, párr.1).



*Figura 7. Impresión.*

Fuente: (Conceptodefinicion.de, 2019)

El diseño se lo realiza a través de un software, el ordenador debe estar conectado a una máquina que no imprime en papel, ya que estas son diferentes por que imprimen y modelan en plástico, acero, harina, hasta incluso células humanas.

El dibujo es analizado y segmentado por capas, para luego ser ensambladas formando el objeto con el material deseado, esto se puede definir como una impresión 3D ya que a partir de un bosquejo se crean figuras solidas que revolucionan distintas áreas como la salud, alimentación o el sector automotor. Tal y como Gordón en Diario EL COMERCIO menciona:

A finales del 2013, un equipo de la universidad británica de Cambridge lo utilizó para fabricar células oculares, que podrían utilizarse en terapias para reparar daños en la retina. Por el momento, los científicos han logrado que las células impresas mantengan intacta su capacidad para sobrevivir y que crezcan cuando son cultivadas. También se pueden crear tejidos nerviosos y cartílagos. Por ello, científicos del Centro de Ciencias Electromagnéticas de la U. de Wollongong y del Hospital St. Vincent, de la ciudad de Melbourne, indicaron que utilizarán una especie de 'biotinta' para construir partes humanas. La técnica australiana de impresión 3D y biofabricación aditiva incorpora células vivas y presenta una tasa de supervivencia de estas del 95%, según la cadena de noticias ABC. La fabricación de prótesis también ha evolucionado. Un grupo de ingenieros de Feathered Angels Waterfowl Sanctuary, una organización especializada en la protección de animales, creó una prótesis

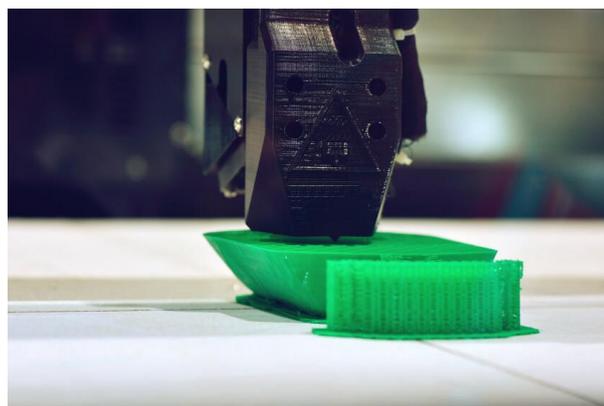
3D para que un pato vuelva a caminar. Para ello, los desarrolladores fabricaron un molde a partir de una de las extremidades de su hermana. Luego rellenaron esta figura con silicona y así crearon el accesorio final (párr.3-6).

La impresión 3D es un proceso que utiliza un alambre de un material regularmente plástico o derivado, se moldea en zig zag aumentando sucesivamente la capa hasta dar con la forma específica que se ha planteado en los planos anteriormente diseñados por la computadora.

El plástico o cualquier material que se ocupe para la impresión hay que calentarlo previamente a una temperatura determinada hasta que este líquida para poder verter hasta que tome una forma determinada, solidificándose al enfriarse.

Hay variedad de métodos para derretir los materiales con los que se imprime, como fundir el material, o utilizar un láser o distintos tipos de rayos (haz de electrones, ultravioletas).

Se pueden utilizar varios materiales como yeso, cemento o metales, pero no son tan fuertes ni flexibles como lo es el plástico.



*Figura 8. Impresión 3D.*

Fuente: (González, 2016)

El adquirir una impresora 3D involucra varios aspectos que deben ser considerados previamente a la compra. Una de las características más importantes de estos equipos es el material que utilizan para la impresión de los sólidos. Dependiendo de la industria o negocio

en el cual vaya a ser utilizada la impresora variará el material, ya que cada uno tiene propiedades distintas que determinarán la apariencia final del sólido (Admin, 2019, párr.1)

Tabla 1

*Tipos de materiales para impresiones 3D.*

Material	Características
PLA termoplástico biodegradable	Se deriva de recursos renovables, como la maicena, la caña de azúcar, las raíces de tapioca o incluso la fécula de patata se utiliza, por ejemplo, en suturas médicas e implantes quirúrgicos, ya que posee la capacidad de degradarse en ácido láctico inofensivo en el cuerpo. Los tornillos, clavos, varillas o mallas implantados quirúrgicamente simplemente se descomponen en el cuerpo en un plazo de 6 meses a 2 años
Filamento 3d ABS	Se utiliza en la industria. como la fabricación de tubos (como tubos de desagüe, de desagüe o de ventilación), componentes de automoción, ensamblajes electrónicos, cascos protectores (ABS tiene buenas propiedades de amortiguación), electrodomésticos de cocina, instrumentos de música, estuches protectores y juguetes, entre los que destacan los famosos ladrillos Lego. Una de las desventajas es que es plástico no biodegradable a base de petróleo

Filamento PETG	El poli tereftalato de etileno (PETG) es el plástico más utilizado en el mundo. De hecho, si mira a su alrededor, encontrará que el polímero se utiliza en muchas aplicaciones diferentes, como la creación de botellas de agua, hasta las fibras de su ropa. PETG es conocido por ser un material excepcionalmente fuerte y esto lo hace ideal para aquellos objetos que serán sometidos a esfuerzos mecánicos. Es duro, flexible y resistente, gran parte de lo cual se puede atribuir a la forma en que se adhiere a cada capa. Este material es brillante, es propenso a rayarse, mientras que la luz UV puede hacer que el material se debilite.
Filamento TPU	Los filamentos flexibles de impresión 3D son materiales muy útiles para tener a mano. Estos filamentos son básicamente caucho imprimible, lo que le permite crear diseños elásticos complejos que de otra manera serían imposibles. Los filamentos flexibles vienen en una variedad de colores, maquillajes químicos y dureza, lo que le da la flexibilidad para aplicar sus diversas propiedades. En general, la mayoría de los cauchos son termoestables, se calientan, se les da forma, se dejan enfriar y esa forma es definitiva. Lo opuesto a termoestables es termoplástico, usted puede fundir y remodelar su material casi indefinidamente, estos materiales se utilizan en muchas industrias, desde paneles de instrumentos automotrices, ruedas giratorias, herramientas eléctricas, artículos deportivos, dispositivos médicos, correas de transmisión, calzado, balsas inflables, entre otros.
Filamento Nylon	El nylon es un filamento que apreciamos. La capacidad de teñirlo a partir de tintes para prendas de vestir, así como sus propiedades específicas, lo convierten en nuestro material preferido en comparación con los filamentos más convencionales. El nylon 618 tiene una tendencia a absorber fácilmente la humedad del aire, lo que puede causar vapor de agua cuando se usa. A pesar de que no es tóxico, es recomendable que lo almacene en un lugar seco para reducir el riesgo de que esto ocurra. El nylon 645 se parece mucho al nylon 618, excepto que es más transparente que y es un poco más fuerte también. La temperatura de estampación es la misma, también puede ser coloreada con tinte para ropa.

Fuente: Autoría propia.

“La mayoría de las impresoras 3D utilizan un filamento de material termoplástico, el cual durante la impresión sale derretido del extrusor y luego se endurece a medida que se enfría. Los más comunes son los ABS y los PLA” (Admin, 2019, párr.3).



El **ABS** y el **PLA** son los materiales plásticos más utilizados para la impresión 3D

ABS	PLA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
El ABS es un material que presenta alta resistencia mecánica, al impacto y un amplio rango de temperaturas de uso, generalmente desde -20°C hasta 80°C	El PLA es el biopolímero más utilizado debido a sus propiedades mecánicas y relativo bajo precio. Los grados estándar presentan una limitación en temperatura de uso, debido a la baja transición térmica del material
<b>TEMPERATURAS DE EXTRUSIÓN Y DE IMPRESIÓN</b>	
Debido a las características en fundido, los filamentos de ambos materiales son fácilmente imprimibles en impresoras 3D convencionales. Sin embargo estos materiales se procesan utilizando condiciones diferentes durante el proceso de extrusión del filamento y se imprimen a distintas temperaturas.	
Temperaturas de fundido filamento: 180-210° Temperaturas de impresión: 210-260°C	Temperaturas de fundido filamento: 180-240° Temperaturas de impresión: 180-230°C
<b>TEMPERATURA BASE IMPRESORA</b>	
La cama caliente en la cual se deposita el filamento ABS debe ser al menos 80°C, para evitar deformaciones de la pieza y optimizar la adherencia entre capas.	El filamento de PLA no requiere de una temperatura de la base tan elevada. Se puede imprimir con la base a 50°C.
<b>RECICLAJE y SOSTENIBILIDAD</b>	
El filamento ABS se puede reciclar, lo cual nos permite recoger el filamento sobrante y confeccionar una bobina nueva.	El PLA es de origen vegetal, se posiciona como un filamento biodegradable y compostable, y respetuoso con su entorno. Además es biocompatible con el cuerpo humano.
<b>APLICACIONES</b>	
Ambos materiales son adecuados para su uso tanto en entorno doméstico como industrial. Reproducen fielmente las geometrías fabricadas.	
<b>NUEVOS DESARROLLOS</b>	
Actualmente existen en el mercado filamentos de ABS y PLA con propiedades básicas para su uso doméstico y que se diferencian básicamente en sus colores. A nivel de uso industrial las tendencias en nuevos desarrollos son:	

Figura 9. Impresión 3D ABS VS PLA.

Fuente: (Aimplast, 2016)

### 2.1.4 Elementos electrónicos.

Los dispositivos electrónicos son los responsables de dar movimiento a objetos inanimados, en este caso, una cabeza robótica. Dichos movimientos se los realiza gracias a los denominados actuadores, los mismos que son controlados mediante una tarjeta programable. Para la realización de pruebas con un solo servo motor, se utilizará un Arduino uno, el cuál ayudará a controlar independientemente cada movimiento.



Figura 10. Tarjeta Arduino Uno.

Fuente: (Jadiaz, 2016)

#### 2.1.4.1 Arduino Uno.

Es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador (Jadiaz, 2016, párr.1).

Tabla 2

*Características técnicas de Arduino UNO.*

<b>Microcontrolador</b>	<b>Atmega328</b>
Voltaje	5V
Voltaje Entrada	7 - 12V
Voltaje Salida	6 - 20V
Digital I/O Pins	14 (de los cuales 6 son salidas PWM)
PWM Digital I/O Pins	6
Entradas Analógicas	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current For 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (Atmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque.
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Frecuencia del reloj	16 MHZ
Longitud	68.6 mm
Ancho	53.4 mm
Peso	25 g

Fuente: (Jadiaz, 2016)

#### **2.1.4.2 Software Arduino.**

Sus siglas significan “Entorno de desarrollo integrado”, puesto a que esta plataforma permite realizar la codificación conocida como “sketch”, que posteriormente se descargará en la placa Arduino, conectada al ordenador como un periférico común, Dicho software es de tipo open-Source, el cual reconoce lenguaje de programación como el C entre otros, además incorpora una serie de “librerías”, que son subprogramas que simplifican la codificación del

sketch principal; así como herramientas de verificación y compilación del sketch antes de ser cargado en placa (Cortés y David, 2015, p. 28).

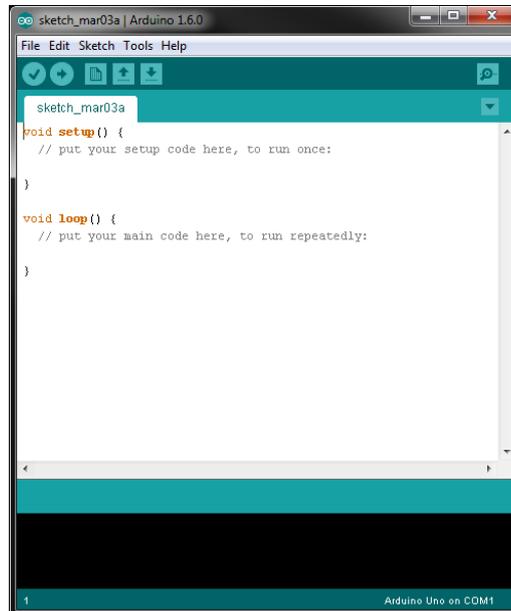


Figura 11. Página principal de IDE

Fuente: (Juan, 2018)

#### 2.1.4.3 Servomotores.

Son elementos que reciben un pulso o una señal a través de un regulador se lo puede posicionar, se los usa generalmente cuando se requiere grandes esfuerzos, los más comunes son del tipo eléctricos de pequeña potencia, son de tipo monofásico con dos sentidos de marcha, pueden ejercer un par que puede ir desde 1 Nm hasta 100Nm y su Angulo de giro pueden ser de hasta 340 grados, su desplazamiento puede depender de su fabricante (Díaz, 2011, p.109).

En la figura 6 se puede apreciar el esquema eléctrico de estos servomotores.

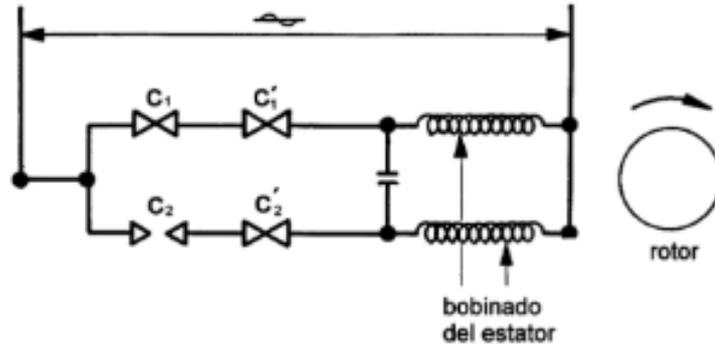


Figura 12. Esquema eléctrico de un servomotor eléctrico.

Fuente: (Diaz, 2011)

#### 2.1.4.3.1 Servomotor MG996R.

El servo de rotación continua MG996R puede girar 360 grados continuos a diferencia de la mayoría de servos, ideal para uso en robots móviles se destaca por su buen torque (11 Kg), engranajes metálicos y gran robustez. (...) Tiene la facilidad de poder trabajar con diversidad de plataformas de desarrollo como Arduino (Naylamp.mechatronics)



Figura 13. Servomotor MG996R

Fuente: (Lanfranco, 2016)

Los cables de conexión están distribuidos por colores los cuales son:

- **Café:** tierra (GND)

- **Rojo:** VCC (5 V)
- **Naranja:** Señal de control (PWM)

Tabla 3.

*Características servomotor MG996R*

Modelo	MG996R
Torque	9.4 Kg/cm (4.8 V), 11 Kg/cm (6 V)
Voltaje de operación	4.8 – 7.2 V
Peso	55 g
Angulo de rotación	180° Máximo
Material de engranajes	Metal
Pulso ciclo	20 mS
Ancho del pulso	Entre 600 uS y 2400uS
Rango de temperatura	-30 a +60 °C

Fuente: (Lafranco, 2019)

## **2.1.5 Elemento de ajuste**

### **2.1.5.1 Tornillo**

Pieza o herramienta que se la utiliza para sujetar piezas, con un movimiento giratorio hacia el lado derecho o izquierdo podemos apretar o desmontar fácilmente la pieza. “Pieza cilíndrica o cónica, por lo general de metal, con cuerpo en espiral y cabeza con una ranura para roscarlo de acuerdo a sus distintos usos” (Gran diccionario de la Lengua Española, 2016).

### 2.1.5.1.1 Tornillo Phillips

Cadena 88 (2020) nos menciona:

Para poder distinguir las diferencias entre tornillos, lo primero que debes saber es cómo llamamos a cada una de sus partes:

- Cabeza: es la parte superior y sobre ella apoyamos el destornillador o la llave que utilizaremos para apretar.
- Vástago: es la parte alargada del tornillo. La parte lisa se llama caña o cuello; y la otra es la rosca.
- Punta: la encontramos al final del vástago.
- Paso: es la distancia que hay entre los diferentes hilos de la rosca.



*Figura 14.* Tornillo Phillips

Fuente: (Cadena 88, 2020)

Los tipos de tornillos que utilizamos de manera más habitual son los de cabeza ranurada y, especialmente, los de cabeza cruciforme, también llamados Phillips o Pozidriv(e). Nos interesará usar este tipo de tornillos cuando haya que aplicar una fuerza de torsión media (Cadena 88, 2020, párr.5).

## 2.2 Procedimiento - Metodología

EL diseño de la cabeza humanoide se basó en INMOOV, definido por Romero (s.f) como: software de código abierto u open source, por lo que está a disposición de quien lo quiera



Tabla 4.

*Robótica educativa.*

Variable	Dimensiones	Indicador	Índice
Robótica educativa	Diseño	Idea	Reflexión
		Creatividad	Solución
		Planeación	Organización
	Construcción	Materiales	Uso
		Manipulación	Aplicación
		Ensamble	Funcionamiento
		Programación	Lógica
	Evaluación	Servicio	Implementación
		Innovación	Cambio

Fuente: Autoría propia

### 2.2.1 Diseño

Se utilizará un software de diseño gráfico que permita modelar y diseñar piezas en 3D, como lo hace SolidWorks. Con la ayuda de una impresora 3D daremos forma a las partes diseñadas.

Como método de aprendizaje e investigación del software se realizó el “GearMain” o engranaje principal de la parte interna de la cabeza.

Al iniciar la pantalla se seleccionará el icono de SolidWorks el cual debe estar correctamente descargado para un mejor trabajo.

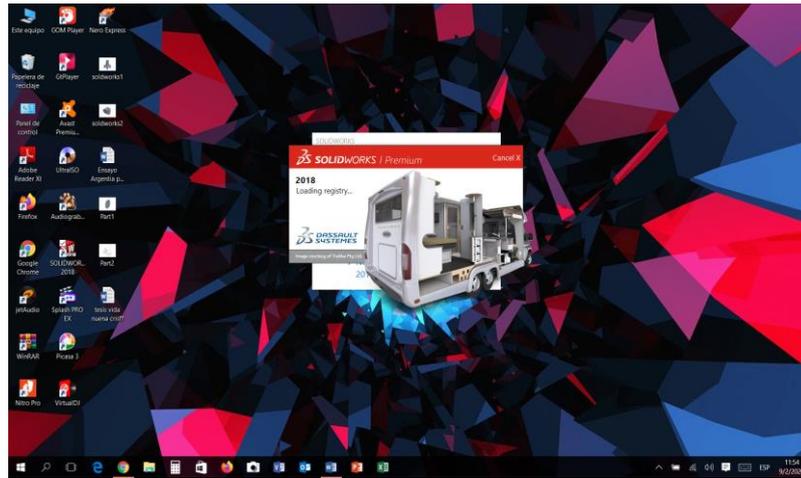


Figura 16. Apertura de SolidWorks.

Fuente: Autoría propia

Al aparecer la pantalla principal del software se visualiza en la parte superior unos iconos en el cual se dará un clic en la opción archivo posteriormente se desplegará una lista en la misma, se seleccionará la opción “Nuevo”.

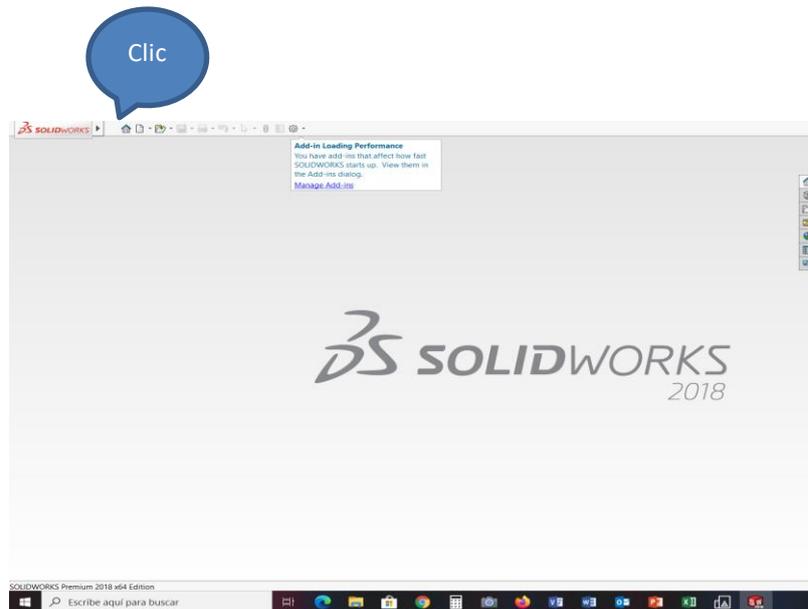


Figura 17. Pantalla principal.

Fuente: Autoría propia.

Una vez dado clic en la opción, aparecerá una nueva ventana con tres opciones como se muestra en la figura.

Part o Pieza: se utiliza para realizar diseños de figuras o piezas en 3D.

Assembly o Ensamblaje: se utiliza en la elaboración de diseños que necesitan ser armados basándose en ensamblajes.

Drawing o Dibujo: se usa para obtener las vistas ortogonales de una pieza o ensamble en 2D.

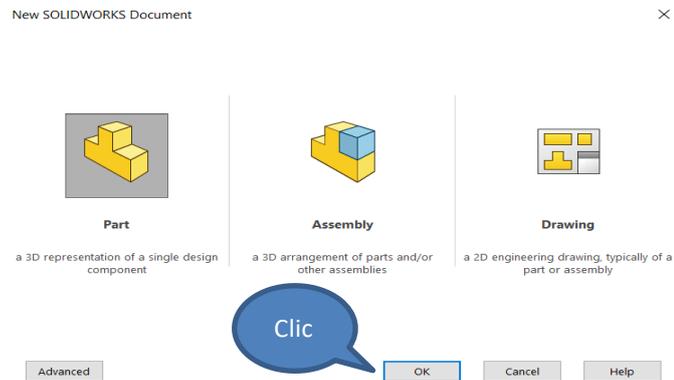


Figura 18. Pantalla tipo de diseño.

Fuente: Autoría propia.

Al dar clic en Pieza se abrirá la pantalla de trabajo en la cual se realizará el desarrollo de los diseños.

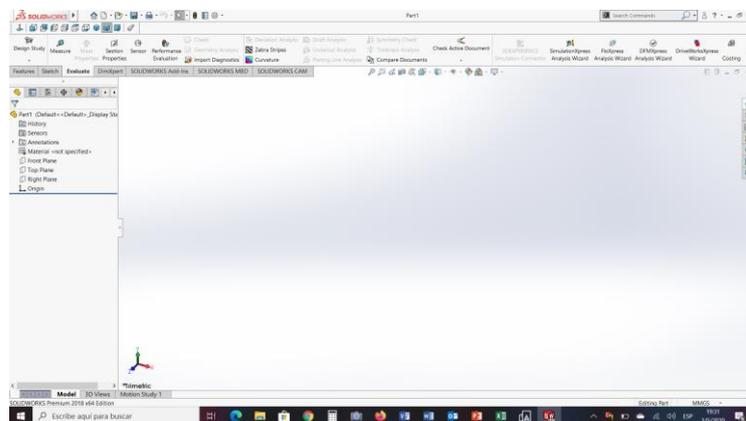


Figura 19. Pantalla de trabajo

Fuente: Autoría propia.

En la parte superior se visualizará barra de herramienta con varias opciones para diseñar las piezas.

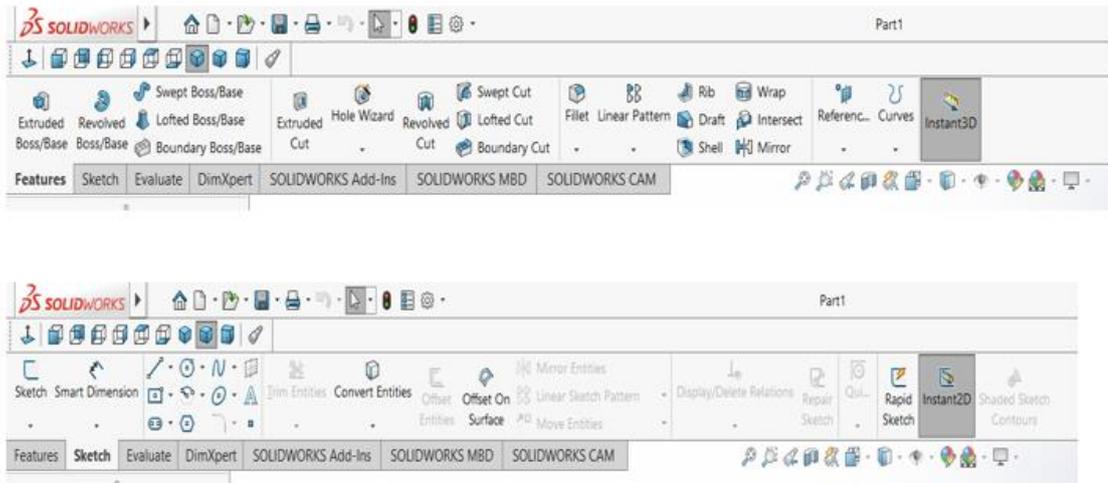


Figura 20. Íconos de SolidWorks

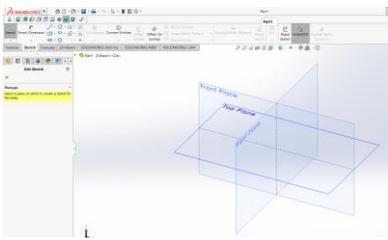
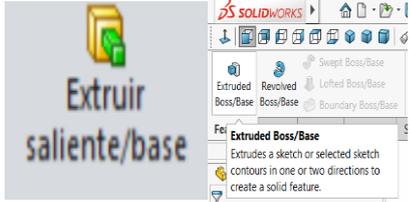
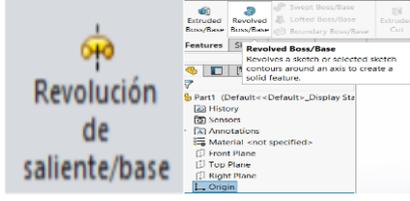
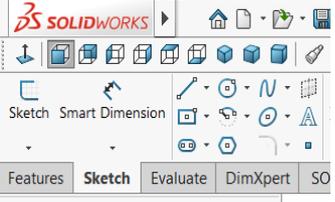
Fuente: Autoría propia

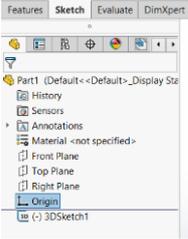
Para utilizar SolidWorks es necesario saber algunos aspectos y elementos con los que cuenta el programa. Estos elementos que se utilizan al realizar figuras, piezas mecánicas o algún otro diseño, mediante una tabla se dará a conocer las funciones de varios iconos que se utilizará en el diseño de piezas.

Tabla 5.

*Herramientas de SolidWorks*

Herramientas de SolidWorks		
Barra de herramientas		La barra de herramientas se encuentra en la parte superior izquierda. En ella se encuentran varias opciones que se pueden ir utilizando al trabajar en el programa. Del lado izquierdo podremos encontrar la opción de <b>GUARDAR ARCHIVO</b> , <b>IMPRIMIR</b> , entre otros.
Menú de opciones		Menú para realizar diferentes actividades como extruir la figura, acotar, calcular propiedades físicas, etc. Se hará mayor énfasis de estas más adelante.
		Se encuentra en la parte inferior derecha y es uno de los elementos importantes

Unidades		debido a que aquí elegimos con qué sistema de unidades se va a trabajar.
Croquis o sketch		Al dar clic en la opción CROQUIS del menú de opciones. Al hacer uso de él nos indicará el plano de trabajo que vamos a usar para hacer la figura.
Cota inteligente o Smart dimensión		Define medidas de la pieza o figura a realizar, tanto medidas de longitud como de grados. Se encuentra en la opción CROQUIS.
Operaciones o Features		Al dar clic en esta operación se desplazará dos funciones las cuales ayudará a dar forma al diseño
Extruir base/saliente		Al dar clic en la opción de OPERACIONES, del menú uno de los principales elementos a utilice. Se encuentra en la parte superior izquierda y es importante debido a que nos da la forma tridimensional dar la pieza.
Revolución de base/saliente		Se encuentra en la opción de OPERACIONES. Aparece en la parte superior derecha y es otro de los elementos principales a utilice. A diferencia de “EXTRUIR SALIENTE/BASE”, este icono ayuda a la proyección circular en forma tridimensional del dibujo.
Figuras geométricas		Iconos que sirven para trazar líneas, rectángulos, o cualquier otra figura. Son muy utilizados a la hora de extruir cortes en una pieza.

<p>Planos</p>		<p>Al momento de decidir cuál será el plano del croquis que se va a utilizar, es el modo en el cual usted desea que aparezca el dibujo cuando lo documento debe construirlo el modelo de manera tal que la vista frontal. Hay tres planos de referencia denominados Alzado, Planta, Vista Lateral cada plano es infinito</p>
<p>Indicador de croquis</p>		<p>Si se encuentra un croquis activo o abierto, aparece un símbolo en la esquina. El mismo brinda un recordatorio visual del estado de actividad del croquis. Si hace clic en este símbolo, saldrá del croquis guardando sus cambios</p>
<p>Indicador de croquis</p>		<p>Cuando otros comandos se encuentran activos, la esquina de confirmación muestra dos símbolos: una marca de verificación y una X. La marca de verificación ejecuta el comando actual. La X cancela el comando.</p>
<p>Normal A</p>		<p>Utilice el comando Normal a para orientar la normal de un modelo a las coordenadas XYZ más cercanas. El modelo se alinea con el sistema de coordenadas girado</p>

Fuente: Autoría propia.

Las unidades con las que se va a trabajar son (milímetro, gramo, segundo) MMGS estas unidades son las establecidas y no es necesario hacer algún cambio, para comenzar a diseñar se debe tener en cuenta las medidas, se realizara un engranaje similar al de la cabeza INMOOV que va situado en la parte interior.

Tabla 6.

*Características del engranaje*

<b>Datos de engranaje</b>	
Numero de dientes	30mm
Diámetro externo	160mm
Diámetro primitivo	150mm
Diámetro interno	137.5mm
Modulo	5mm
Espesor de diente	7.4mm
Ancho de hueco	8.2mm
Paso circular	15.7mm
Angulo de presión	20mm

Fuente: Autoría propia

Los “Planos” son superficies planas e infinitas y que están representados por aristas visibles en la pantalla, se puede trabajar desde cualquier punto, pero es recomendable hacerlo desde un punto medio con esto se evitará tener complicaciones a la hora de diseñar para realizar esta pieza se escogerá el plano frontal, en el centro del plano se encuentran unas flechas rojas. Estas flechas corresponden a los ejes de referencia del plano de trabajo elegido.

Tipos de planos

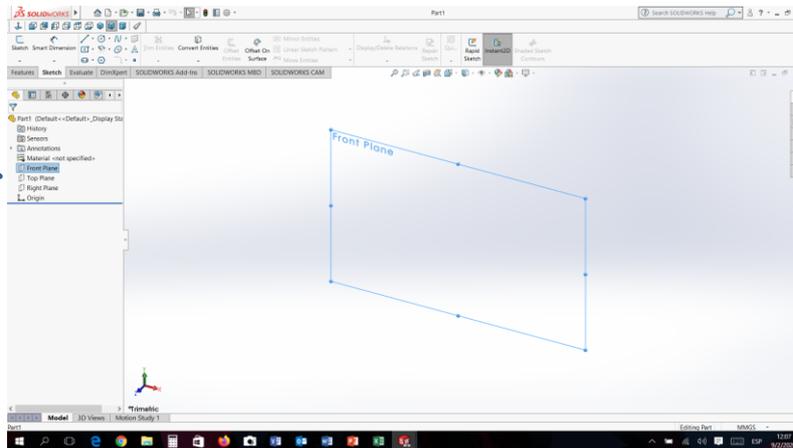


Figura 21. Vista de plano frontal.

Fuente: Autoría propia.

Al dar un clic en el icono “Croquis o Sketch” aparece un cuadro de figuras geométricas y a lado derecho de ellas una flecha en la cual indica una lista de diferentes opciones de círculos.

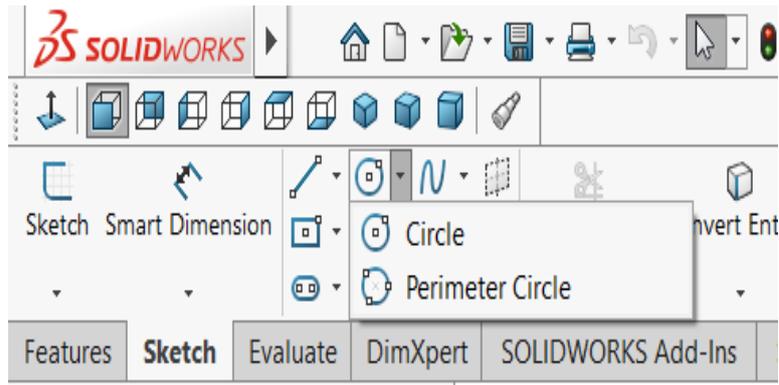


Figura 22. Tipos de figuras geométricas.

Fuente: Autoría propia

Se sitúa el puntero sobre los ejes y se da un clic. Al mover el puntero a cualquier lado, se observa cómo se comienza a formar un círculo. Para dejarlo estático, se da un clic en cualquier dirección.

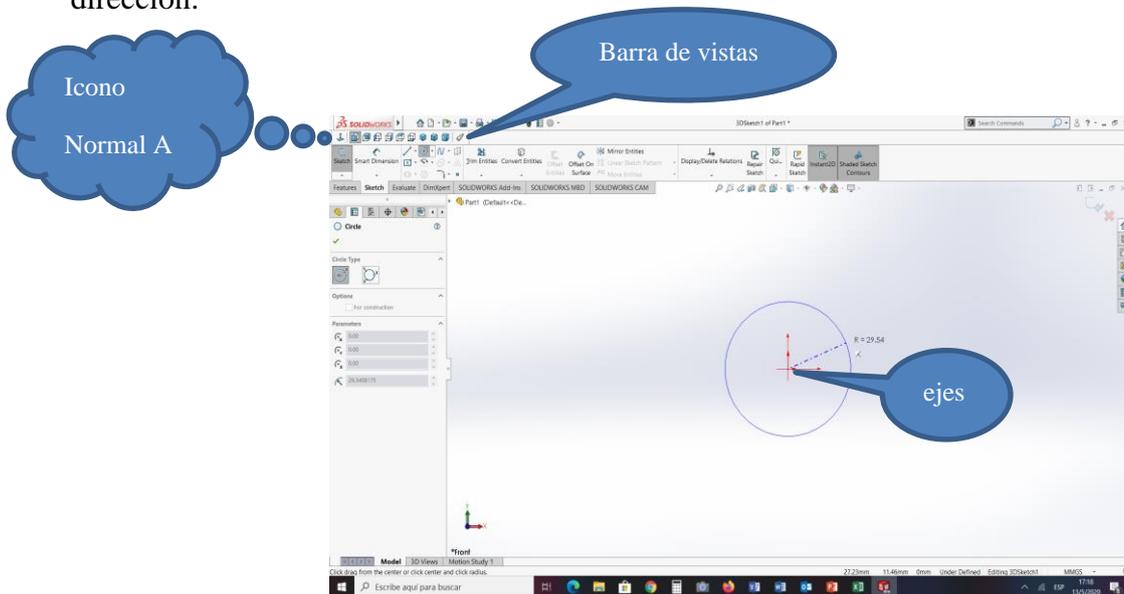


Figura 23. Vista de círculo.

Fuente: Autoría propia

Para acotar, se da clic en la opción “Sketch o Croquis”, se visualiza el icono “Cota inteligente o Smart dimensión”. Dar clic para activar la función.

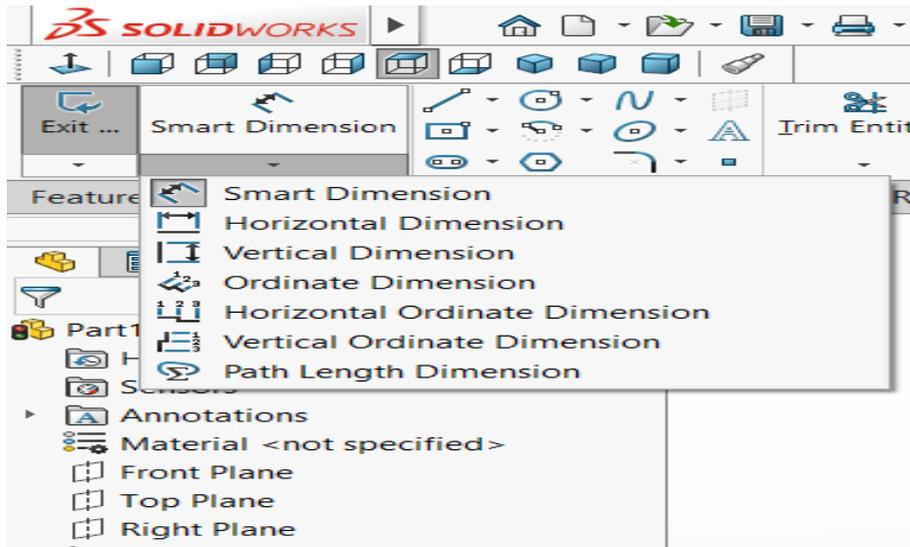


Figura 24. Comando para acotación.

Fuente: Autoría propia

Al colocar el puntero al extremo del círculo, el contorno del mismo se tornará de color naranja al dar clic en el contorno del círculo aparece la cota, llevamos el puntero al otro extremo o al sitio que desee dar una medida, se da un clic y aparece una ventana en la cual se escribe la medida deseada, en este caso se necesita una circunferencia con un diámetro de 160mm.

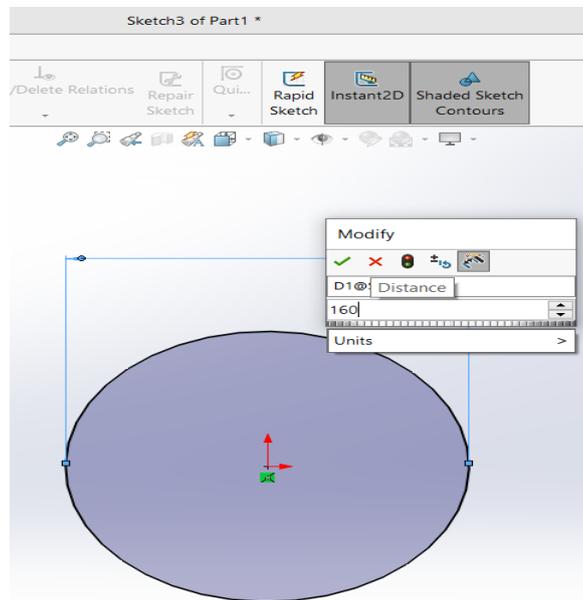


Figura 25. Cotas establecidas.

Fuente: Autoría propia

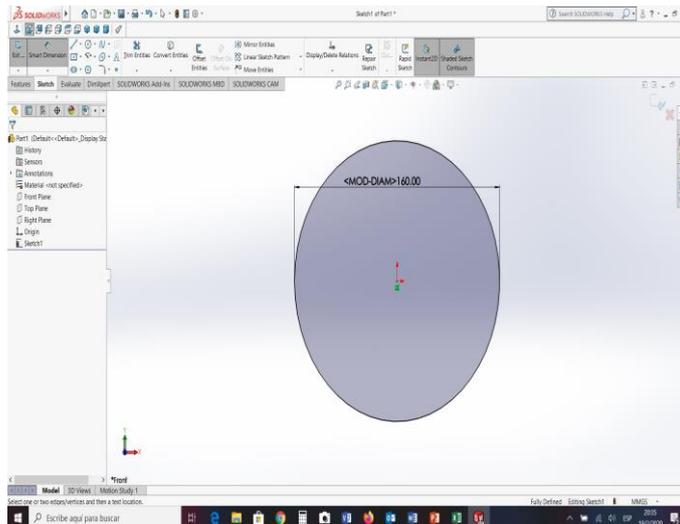


Figura 26. Cotas establecidas.

Fuente: Autoría propia

Colocar el puntero en la opción “Operaciones o Features”, cuando el círculo este definido, se procede hacer uso de la función “Extruir saliente/base o Extrucción boss/base”, en la parte izquierda aparecerá una tabla en la cual indica la profundidad a la cual va a ser extruido la pieza se colocará la medida de 15mm.

Una vez con la medida en el cuadro daremos un clic en la flecha para dar aceptación a la medida y poder visualizar la extrucción.

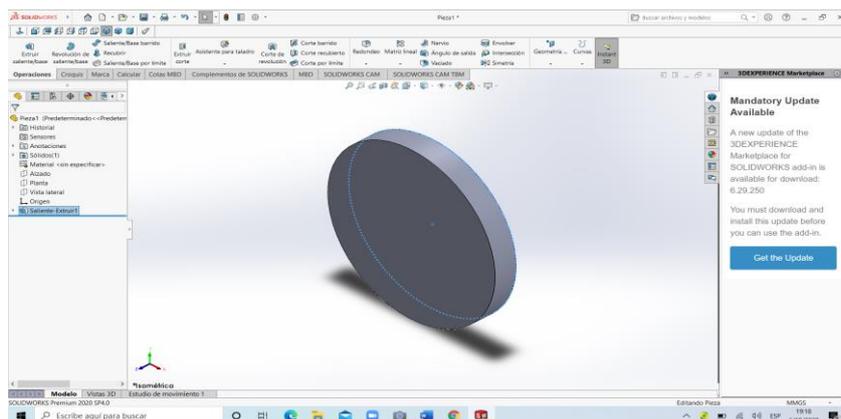


Figura 27. Extrucción de circunferencia.

Fuente: Autoría propia

Se elegirá nuevamente el “Plano Frontal” en “Normal A” para realizar tres círculos en el interior los cuales nos servirán como guía para los dientes del piñón que posteriormente se

suprimirá, con la ayuda de la cota inteligente se dará medidas a las circunferencias las mismas que están establecidas en el cuadro anterior, el diámetro externo de 160mm, el diámetro primitivo de 150mm y el diámetro interno 137.5mm.

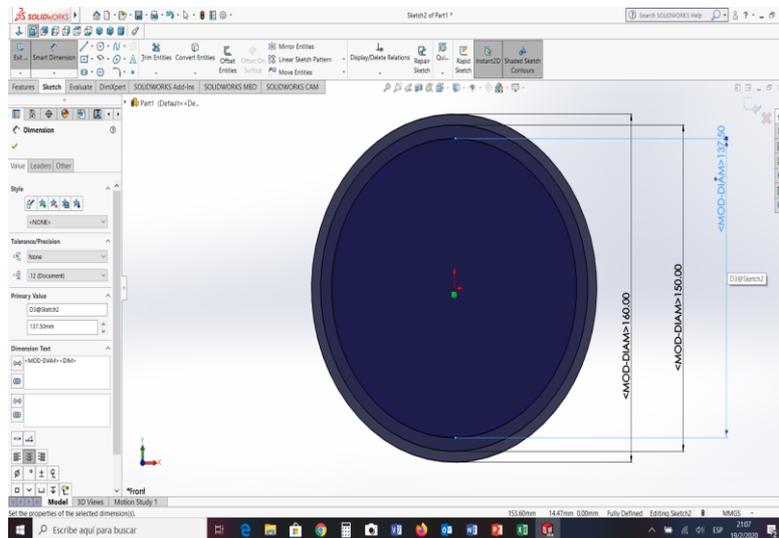


Figura 28. Visualización de diámetros.

Fuente: Autoría propia

Una vez con los diámetros realizados se realizara dos líneas constructivas las cuales se las encuentra en las figuras geométricas en el icono línea, al dar un clic en la flecha del lado derecho se desplegara varias opciones en la cual se escogerá “Centerline o Línea Central” ya que estas líneas no son para crear geometría de operaciones, las líneas partirán del centro de la circunferencia la primera línea se la dejara vertical la segunda con la ayuda de cota inteligente se le dará un ángulo de 20°.

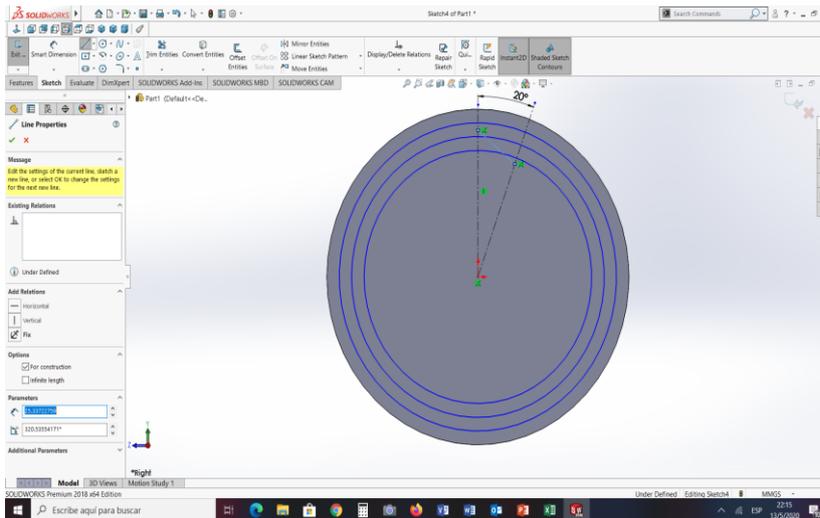


Figura 29. Visualización de ángulo.

Fuente: Autoría propia

Se realiza una nueva línea constructiva tomando como referencia la línea del centro de la circunferencia como punto inicial, trazándola de forma diagonal hacia la línea inclinada para darle una relación de posición se dará clic en la última línea q la hicimos y a la línea que se desea relacionar en este caso en la línea inclinada, aparecerá un cuadro al lado izquierdo en el cual se visualiza varias opciones ponemos el cursor en perpendicular así las dos líneas quedarán relacionadas.

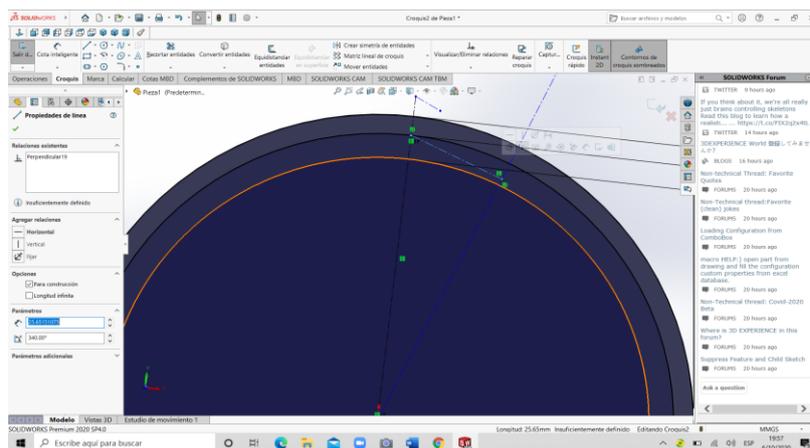


Figura 30. Relación de líneas constructivas.

Fuente: Autoría propia

Una vez relacionada las dos líneas se realiza una circunferencia teniendo como punto medio la línea constructiva de la derecha hasta llegar a la línea constructiva en posición vertical.

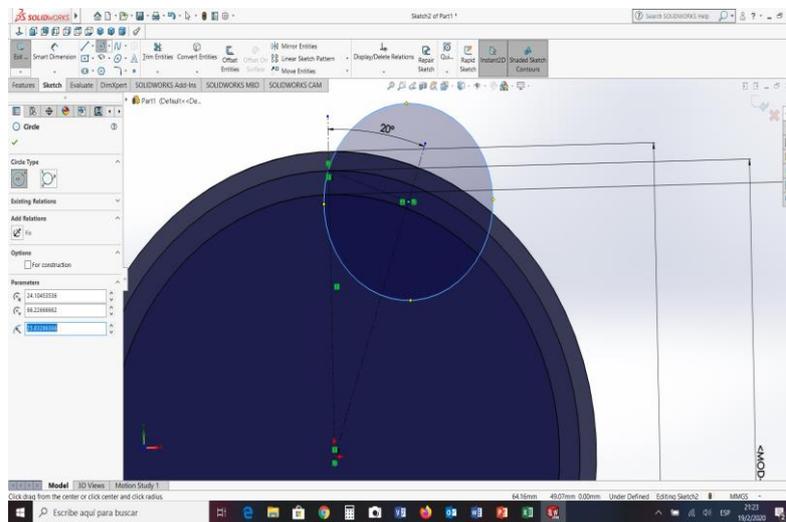


Figura 31. Visualización de circunferencia.

Fuente: Autoría propia

Se procede a borrar las líneas, con el mouse sostenido y con un movimiento leve se suprimirán hasta donde cruce una línea constructiva, las líneas constructivas se borran con la opción “Trim Entities o Recortar Entidades” dar un clic en el icono antes mencionada llevar el puntero a la línea, dar doble clic posteriormente se borrarán.

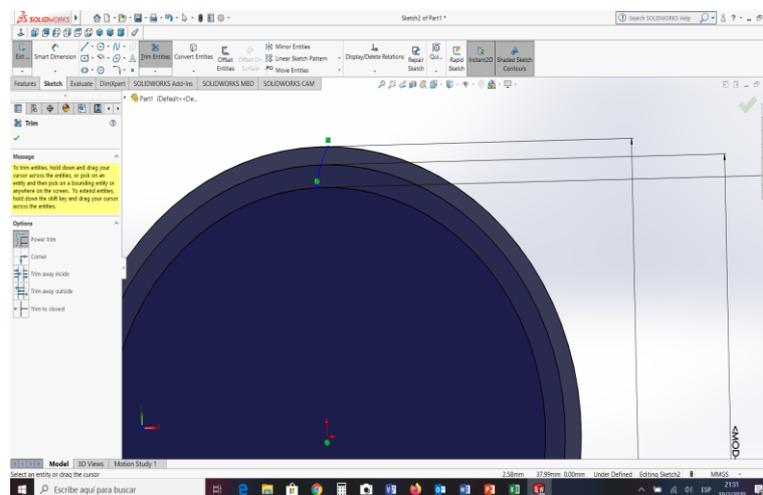


Figura 32. Borrador de líneas constructivas.

Fuente: Autoría propia.

Antes de realizar cualquier trabajo se debe posicionarnos en “Normal A”, una vez con la vista frontal se realiza dos nuevas líneas constructivas las cuales saldrán del centro de la circunferencia la primera pasará por la mitad de la línea antes realizada y la otra a un lado de la misma con ayuda de la cota inteligente se dará la medida del ancho (8.2mm) del diente dividido entre dos (4.1mm) ya que nos servirá como eje de simetría para posteriormente completar la medida. La línea constructiva 1 servirá como el centro del diente a la cual se utilizará más adelante.

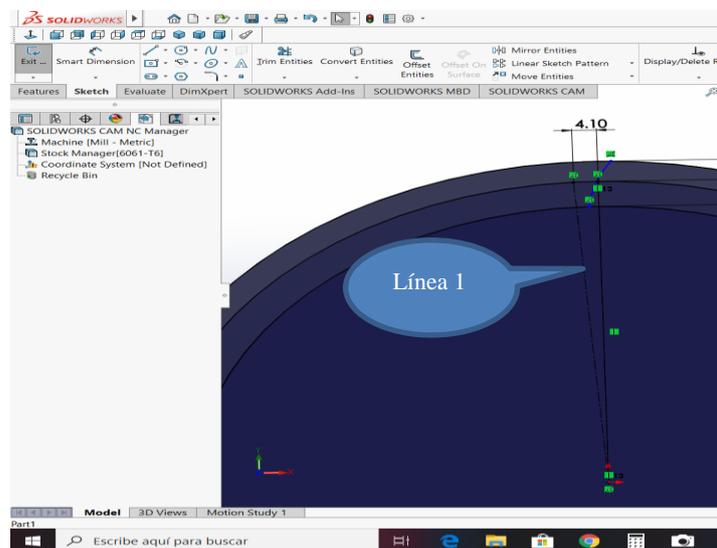


Figura 33. Visualización ancha del diente.

Fuente: Autoría propia

Una vez realizado el ancho del diente con las líneas constructivas escogemos la opción “Mirror entities o Simetría de entidades”, se dará un clic a la línea que se desea copiar, luego se verificara en el cuadro de la izquierda si esta seleccionado la opción “Copy” se procede a dar clic en el cuadro “Mirror about o Espejo Respecto a” se dará un clic en la línea 1 constructiva y se dará aceptación se visualizará línea creada igual a la que teníamos ahora procedemos a borrar las líneas constructivas y los diámetros antes realizados.

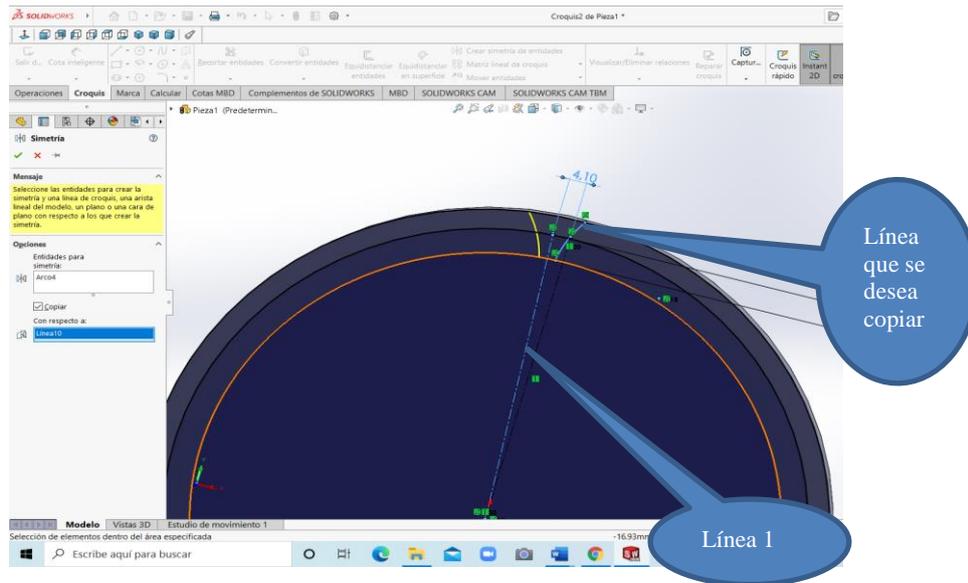


Figura 34. Opción Mirror entities.

Fuente: Autoría propia.

Se borrarán las líneas de la circunferencia y las líneas constructivas dejando solo las líneas del interior del diente, ya que con estas se realizará el radio de entalle, se lo realizará dando clic en “Croquis o Sketch” escogiendo la opción redondeo de croquis de las figuras geométricas, luego de esto aparece un cuadro al lado izquierdo de parámetros el cual se llenará con la medida de la parte inferior (1.3mm) después en el cuadro de “Fillet” se seleccionarán las partes que desean ser redondeadas dando clic en aceptar para visualizar el redondeo.

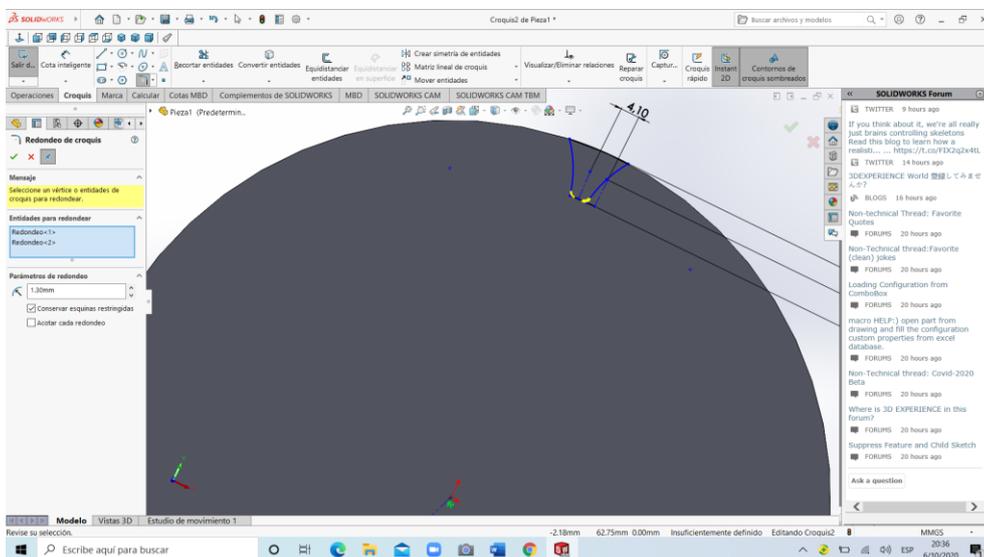
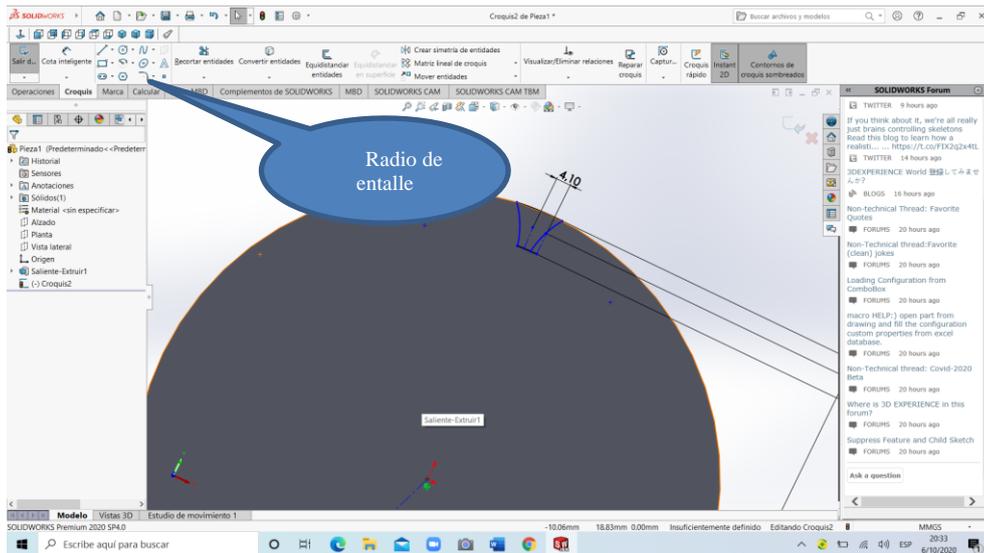


Figura 35. Partes del redondeo.

Fuente: Autoría propia

Realizado una parte del diente, se realizara la extrusión del mismo, se da clic al icono de “Operaciones o Features” se escoge la opción “Extruir Corte/Extruded Cut” para poder visualizar mejor, se seleccionara la vista superior, en el cuadro de la parte izquierda se verificara en opción “Direction 1” que este seleccionado la opción “Por Todo o Through All” esto servirá para que el corte pase a todo el ancho una vez verificado dar clic en aceptar.

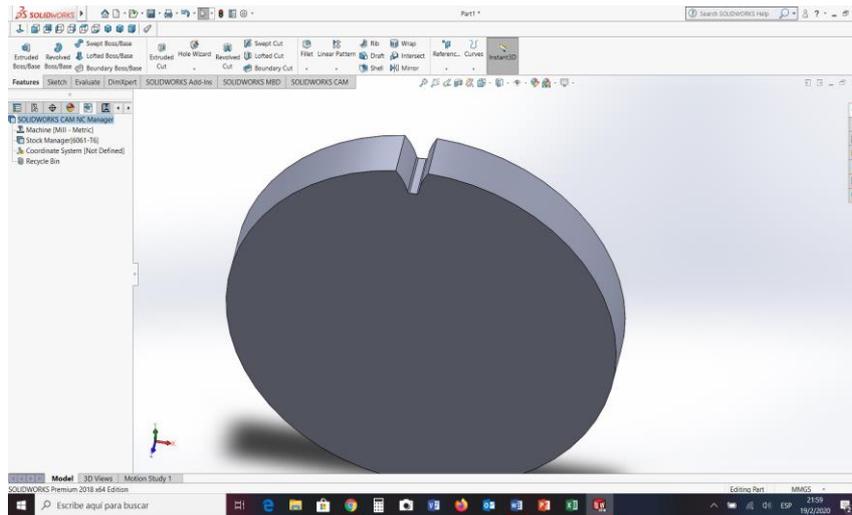


Figura 36. Aplicación Extruded Cut.

Fuente: Autoría propia.

Para el siguiente paso se seleccionara el icono de “Matriz Circular o Linear Pattern” al dar clic se desplegara opciones, en la cual se escogera “Circular Patter” luego se selecciona la circunferencia frontal para que aparezca un cuadro en la parte izquierda.

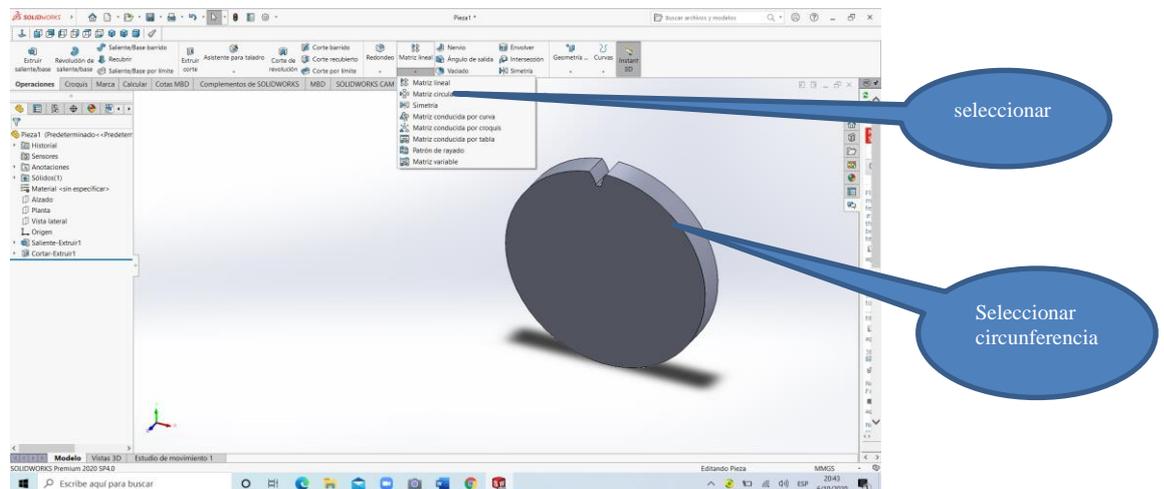


Figura 37. Aplicación Linear Pattern.

Fuente: Autoría propia.

En el cuadro que se encuentra en la parte izquierda se desplegara varios opciones se escogera “Parameters o Parametros” en la que se tendra las opciones de:

Angulo entre dientes  (12grados)

Numero de dientes  (30 dientes)

llenos los espacios se habilita el icono “Feature and Faces o Características y Cara”

se selecciona la cara interna del diente , aceptar  y se podrá visualizar los dientes.

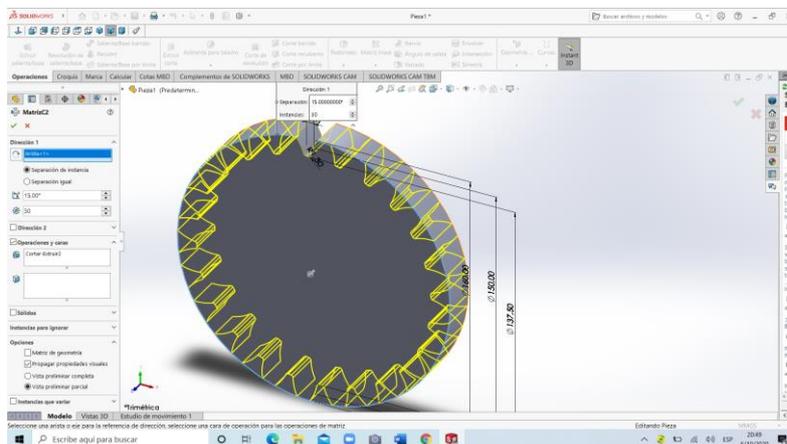
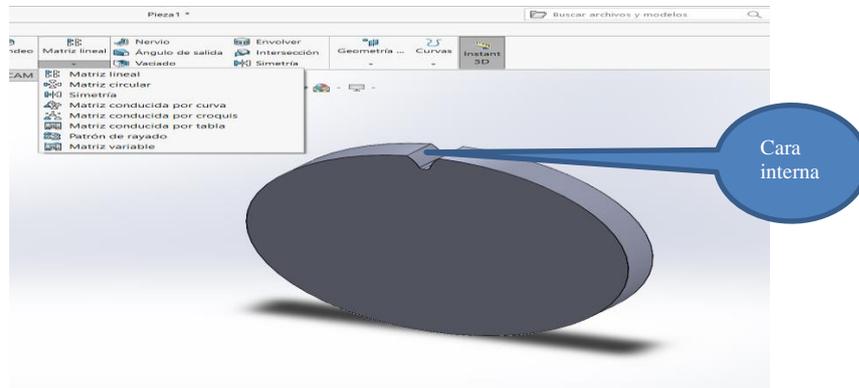


Figura 38. Aplicación circular Pattern.

Fuente: Autoría propia.

Para completar el engranaje se trabaja en normal A, realizando circunferencias en el centro y utilizando las opciones de “Extruded Base y Extruded Cut” como ya se explicó anteriormente.

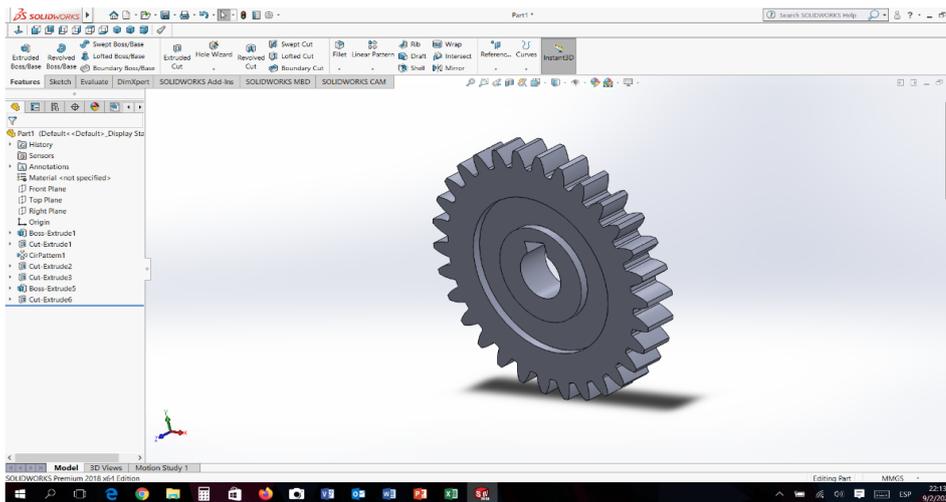


Figura 39. Engranaje.

Fuente: Autoría propia.

## 2.2.2 Construcción

### 2.2.2.1 Ensamblaje de la cabeza robótica

Una vez impresas las piezas, las cuales se la realizo ingresando a la página de INMOOV opción “Galería” se desplazará una serie de opciones, se elegirá la opción “Biblioteca de piezas INMOOV”.



Figura 40. Página principal INMOOV.

Fuente: Autoría propia.

En el icono de búsqueda se escribe el nombre de la parte que desea realizar en este caso buscamos la parte interna y externa de cabeza.

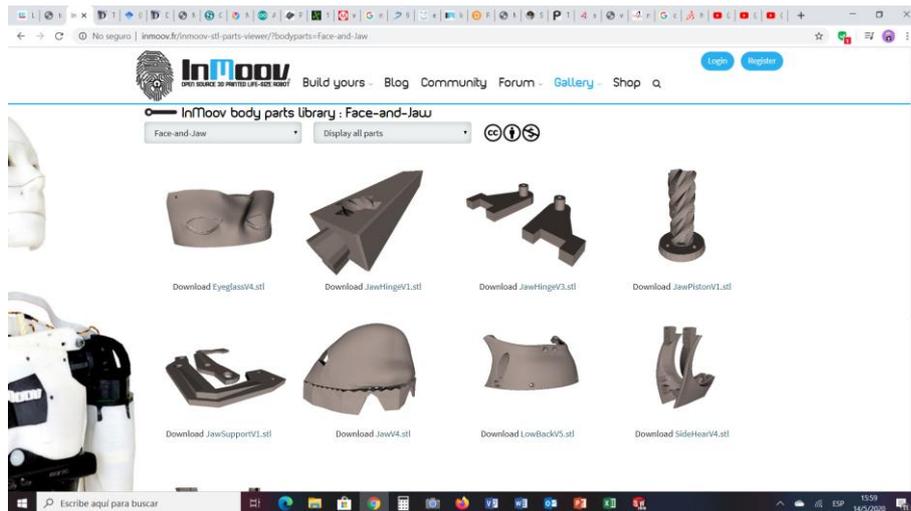


Figura 41. Parte de la cabeza INMOOV.

Fuente: Autoría propia.

Al encontrar la pieza y seleccionarla, aparece la opción para poder descargarla y con la aplicación MakerBot puedes imprimirla.

Para el proceso de montaje se verifica el acabado de las piezas y sus orificios, para ensamblar las partes, se debe tener en cuenta que el acople y el orificio sean exactos evitando futuras vibraciones, obteniendo un buen movimiento de articulaciones. Al ajustar los tornillos no se debe usar mucha fuerza ya que se pueden aislar el orificio, por ello es recomendable usar desarmadores con punta imantada para obtener mayor agarre de los mismos.

Una vez verificada que las piezas estén limpias, sin escoria, se procederá a armar la parte interna de la misma. Se empezará armando la parte del cuello verificando que los engranajes encajen entre sí. Una vez ajustado los tornillos se revisa que el movimiento de los engranajes sea el deseado, es decir, ni tan flojo ni tan apretado. Esto es verificado con una leve fuerza manual.

Se inicia colocando la parte trasera baja(occipital) de la cabeza y se procede a verificar los movimientos de viraje, balanceo y cabeceo, después se coloca el soporte de la mandíbula junto con un tornillo corrido que asegurara el movimiento de la misma. Posteriormente se coloca el

soporte de la frente, para luego armar las partes superiores de la cabeza y finalmente se trabaja en la parte facial.

### 2.2.3 Implementación

Con el ensamblaje completo de la cabeza, se realizará las pruebas de movimiento con servomotores independientes, los mismo que nos servirá para los virajes de la cabeza y la mandíbula. Este trabajo se complementará con ayuda del software ARDUINO IDE.

Antes de la programación, se debe hacer uso de la librería externa que se encuentra en la barra de menú que el programa Arduino brinda, con la finalidad de poder controlar y lograr el funcionamiento de los servomotores. Para poder ingresar a esta se debe ir a *“Programa/Incluir Librería/Servo”*

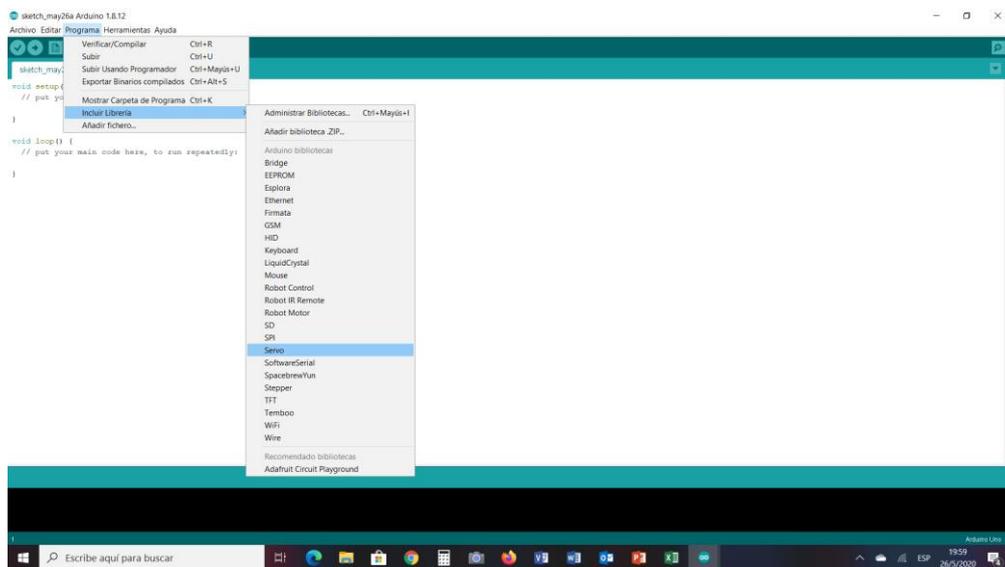


Figura 42. Pantalla Arduino.

Fuente: Autoría propia.

Una vez seleccionada la librería se procede a programar

#### 2.2.3.1 Programación de servomotor con un potenciómetro.

La cabeza funcionará con un potenciómetro, el mismo que ayudará con el movimiento de la cabeza y mandíbula, todos estos controlados por ligeros movimientos que se dará a su eje. A continuación, se encuentra su programación:

```
#include <Servo.h>

Servo servomotor;

int angulo;

int valor;

int potenciometro = A1; //Pin analogo a donde va el potenciometro

void setup() {

    servomotor.attach(6); //Pin PWM 6 del Arduino

    pinMode(potenciometro, INPUT);

}

void loop() {

    valor = analogRead(A0); //Lee los valores del potenciometro

    //Convierte el valor del potenciometro en angulos entre 0 y 180 grados

    angulo = map(valor, 0, 1023, 0, 180);

    servomotor.write(angulo);
```

```
delay(10);
```

```
}
```

Hay que tomar en cuenta, que antes de ejecutar el programa deberá verificarse la fricción adecuada de los engranajes en los cuales colocaremos lubricante para una mejor rotación, se asegurará bien los servomotores para evitar vibraciones, también hay que tener una buena ubicación del cableado para evitar cortes.

Una vez que los movimientos estén sincronizados y sin vibraciones, se trabaja en su parte física, usando una careta de látex, dándole realismo a su rostro.

## CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo de este prototipo en diseño y ensamblaje de una cabeza humanoide controlada por servomotores, se obtuvieron importantes y variados conocimientos en múltiples áreas, el resultado del trabajo conjunto entre la Electrónica, Sistemas Informáticos, Mecánica dando como resultado un prototipo de calidad que deja la puerta abierta para seguir la investigación en este campo.
- Con ayuda de Arduino IDE y Arduino Uno logramos reducir circuitos, facilitando su programación y versatilidad en pruebas.
- Nuestro país por las condiciones económicas y por el limitado desarrollo tecnológico, no cuenta con organizaciones que apoyen el progreso de la investigación científica, por lo tanto, poco o nada se ha incursionado en el área de la Robótica.

## REFERENCIAS

### 1.1 BIBLIOGRAFÍA

Aimplas. (2016) ABS vs PLA: Comparativa de materiales plásticos para impresión 3D.

Recuperado de <https://www.aimplas.es/blog/abs-vs-pla-comparativa-de-materiales-plasticos-para-impresion-3d/>

Admin. (2019) ¿Qué material utiliza las impresoras 3d? Recuperado de

<https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/>

Aracil, Balaguer y Armada. (2008, abril). Robots de servicio. *Revista Iberoamérica de*

*Automática a Informática Industrial*. Recuperado de

[file:///C:/Users/USER/Downloads/robots\\_balaguer\\_riai\\_2008.pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/robots_balaguer_riai_2008.pdf)

Cadena 88 (2020) Tipos de tornillos: características y usos de cada uno de ellos. Recuperado

de <https://www.cadena88.com/es/consejos-y-trucos/tipos-de-tornillos>.

Conceptodefinicion.de, Redacción. (Última edición:25 de julio del 2019). Definición de

Impresión 3D. Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/impresion-3d/>. Consultado el 28 de abril del 2020

Cortés, R. y David, C. (2015) *Diseño y construcción de un rostro robótico de apariencia*

*humana, con capacidad de ejecutar gestos y emociones, para la ESPE extensión*

*Latacunga* (Tesis pregrado). Universidad de las fuerzas armadas, Latacunga. Recuperado

de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10018/1/T-ESPEL-MEC-0039.pdf>

Diaz, A. (2011). *Sistemas de regulacion y control*. Barcelona: Marcombo. Recuperado de

[https://books.google.com.ec/books?id=nIzEf4wAESoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=nIzEf4wAESoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

- et, al. (2014) ¿Qué es la robótica? Milenio 2020. Recuperado de <https://www.milenio.com/opinion/varios-autores/universidad-politecnica-de-tulancingo/que-es-la-robotica>.
- FANUC. (2004) M-710iC/50E Robot multiusos de muñeca en offset. Recuperado de <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-710/m-710ic-50e>
- Flores, M. (2008). Robots Humanoides. *Revistas Bolivianas*, 147-149.
- Gamboa, R. (s.f) *Robots industriales*. SCRIBD. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/295069829/Robots-Industriales>
- González, G. (2016) Definición de Impresión 3D. Recuperado de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/impresion-3d.php>
- González, V. (2009) Diseño y control de Kokone, un pequeño robot humanoide. (Tesis de maestría). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Recuperado de <https://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2009/tesisVictorGlez.pdf>.
- Gordon, A. (s.f) La impresión 3D conquista rápidamente nuevas áreas. Diario EL COMERCIO. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/impresion-3d-conquista-rapidamente-nuevas.html>. ElComercio.com
- Guan, H., Dong, X., & Lan, J. (2011). Mechanism Design of a Facial Robot. *Procedia Engineering*, 416-420.
- Herrera, J. (2016). *Diseño de una cara emocional para un robot humanoide* (Tesis de grado). Instituto tecnológico de costa rica: Cartago. Recuperado de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6939/disen%C3%B3\\_cara\\_emocional\\_robot\\_humoide.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6939/disen%C3%B3_cara_emocional_robot_humoide.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

INMOOV (2012) Head. Recuperado de <http://inmoov.fr/head-3/>

Jadiaz. (2016) Placa Arduino Uno. Recuperado de  
<http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>

Juan. (2018) Qué es Arduino. Recuperado de  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/09/25/que-es-arduino/>

Lanfranco, L. (2016). *Blog*. Recuperado el 10 de enero de 2020, de MG996R:  
<http://lisandrolanfranco.com/2016/02/datasheet-mg996r-tower-pro-servo/>

Maloney, T. (2006). *Electronica industrial moderna*. Mexico D.F: Pearson.

Ollero, A. (2001) Robótica. *Manipuladores y robots móviles*. Barcelona, España: Marcombo.  
Recuperado de  
<http://el.uy/doc/robotica/Ollero%20Baturone,%20An%C3%ADbal.%202001.%20Rob%C3%B3tica,%20manipuladores%20y%20robots%20m%C3%B3viles.pdf>

Park, W., Yup, J., Kyu, B., & Ho, J. (2008). Control hardware integration of a biped humanoid robot with an android head. *Robotics and Autonomous Systems*, 95-103.

Paz, Pérez, Lopez y Sanz. (2004). Diseño de una cabeza robótica para el estudio de procesos de interacción con personas. (Archivo PDF). Recuperado de  
<https://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/100-afguezozanz.pdf>

Reyes, F. (2011). *Robotica control de robots manipuladores*. México D.F: Alfaomega.

Romero, S. (s.f) Inmoov, un robot de código abierto impreso en 3D. Recuperado de  
<https://www.muyinteresante.es/tecnologia/articulo/inmoov-un-robot-de-codigo-abierto-impreso-en-3d-301448376039>

Ruales, C., Arteaga, O., & Rivas, D. (2015). Diseño y construcción de un rostro robótico de apariencia humana, con capacidad de ejecutar gestos y emociones, para la extensión Latacunga. Universidad de las Fuerzas Armadas, 2-10.

Tornillo. (s.f.) *Gran Diccionario de la Lengua Española*. (2016). Recuperado el 3 de mayo del 2020 de <https://es.thefreedictionary.com/tornillo>

Urdaneta, M. (2017) Definiciones: Solidworks. Recuperado de <https://netcurso.net/blog/solidworks/>

Velasco, E. (2013) *Educatrónica: innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología*. España, Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Recuperados de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cOuODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=Educatronica+innovacion+en+el+aprendizaje+de+las+ciencias+y+la+tecnologia&ots=qIN9W7FyCZ&sig=fuakiMvrciDrrNQq56AHO7W-65Y#v=onepage&q=Educatronica%20innovacion%20en%20el%20aprendizaje%20de%20las%20ciencias%20y%20la%20tecnologia&f=false>

Yoshida, E. (2018) Robots que parecen humanos. *Métode*.9.11405. Doi: 10.7203

Ortiz, N. y Vargas, L. (2016) SISTEMA PARA EL SEGUIMIENTO DE UN OBJETO IMPLEMENTADO EN LA CABEZA DEL ROBOT INMOOV (Tesis de grado) Universidad Piloto de Colombia: Bogotá. Recuperado: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003813.pdf>

## ANEXOS



*Anexo 1.* Parte lateral y superior.  
Fuente: Propia.



*Anexo 2.* Parte trasera.  
Fuente: Propia.



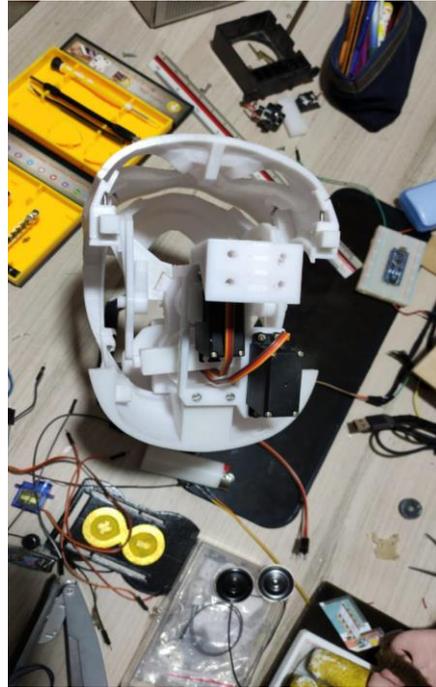
*Anexo 3.* Parte interna.  
Fuente: Propia



*Anexo 4.* Parte frontal.  
Fuente: Propia.



Anexo 5. Parte interna lateral derecha.  
Fuente: Propia.



Anexo 6. Parte interna, enfoque superior.  
Fuente: Propia



Anexo 7. Parte frontal.  
Fuente: Propia.



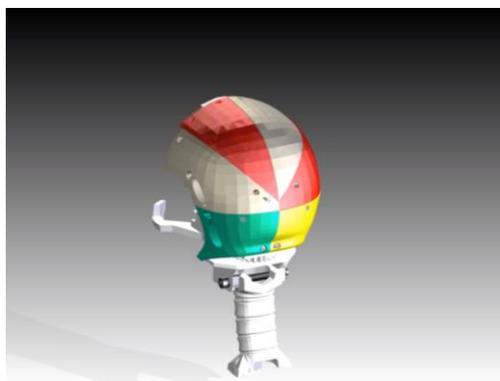
Anexo 8. Parte interna lateral izquierda.  
Fuente: Propia.

## Ensamblaje de piezas parte externa del cráneo



Anexo 9. Armado de la parte baja, trasera del cráneo.

Fuente: INMOOV



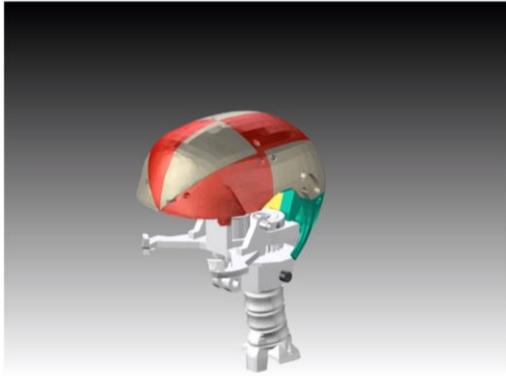
Anexo 10. Armado parte superior trasera del cráneo.

Fuente: INMOOV



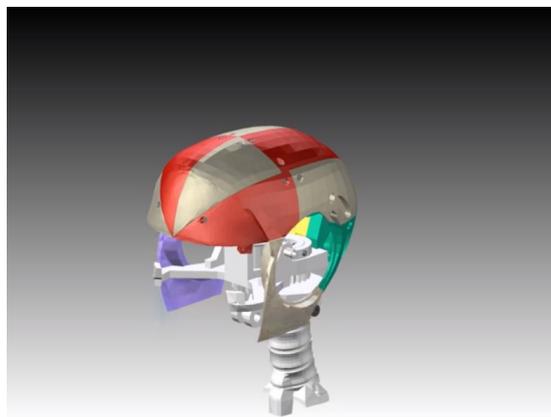
Anexo 11. Armado de la parte frontal derecha del cráneo.

Fuente: Propia.



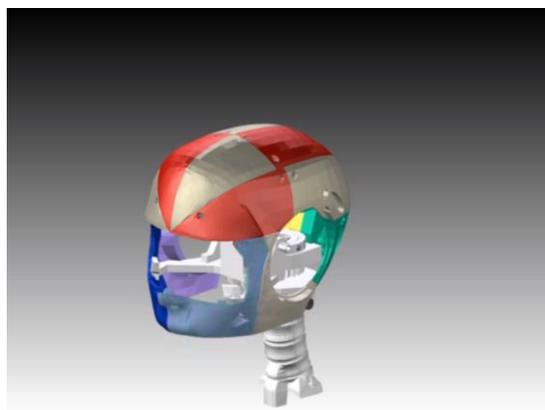
*Anexo 12.* Armado de la parte frontal izquierda del cráneo.

Fuente: Propia.



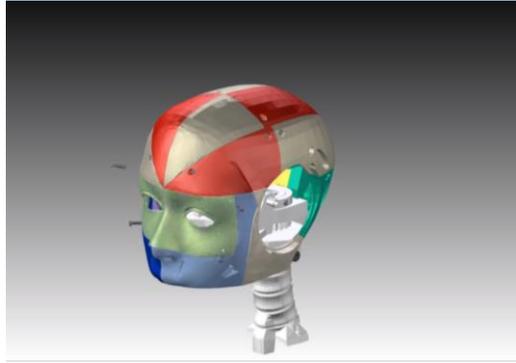
*Anexo 13.* Armado parte lateral del cráneo.

Fuente: Propia.



*Anexo 14.* Armado de parte superior de la boca.

Fuente: Propia.



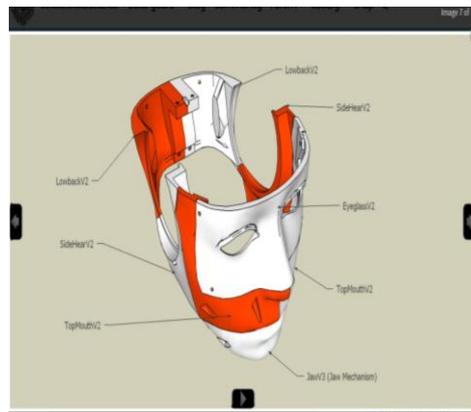
Anexo 15. Armado de la parte de los ojos.

Fuente: Propia.



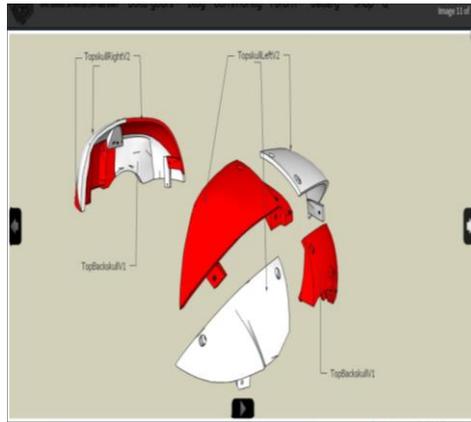
Anexo 16. Armado de la parte inferior de la boca.

Fuente: Propia.



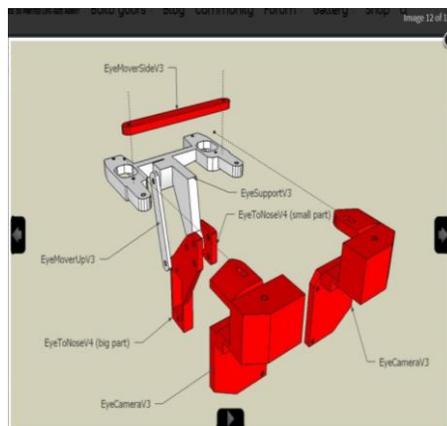
Anexo 17. Nombre de piezas externas del cráneo(frontal).

Fuente: Propia.



Anexo 18. Nombre de piezas externas del cráneo(superior).

Fuente: INMOOV



Anexo 19. Nombre de piezas internas del cráneo.

Fuente: INMOOV

## Ensamblaje de piezas parte internas del cráneo



Anexo 20. Ensamblaje de engranaje principal y bisagra de cuello.

Fuente: INMOOV



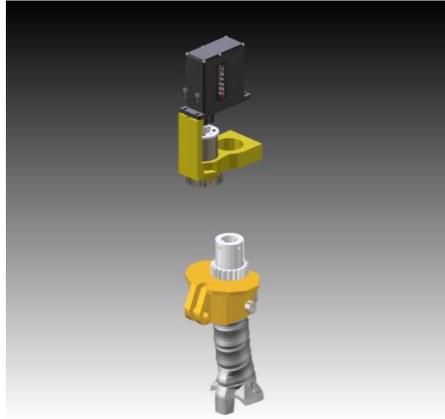
Anexo 21. Sujeción de piezas por medio de un pasador.

Fuente: INMOOV



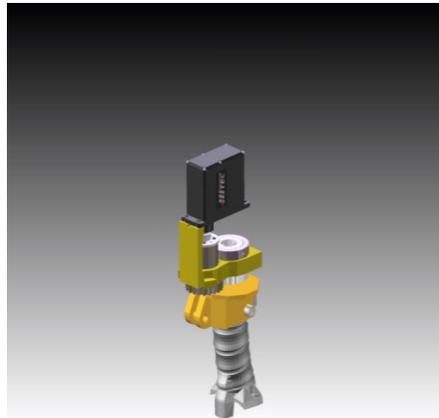
Anexo 22. Ensamblaje del plato giratorio.

Fuente: INMOOV



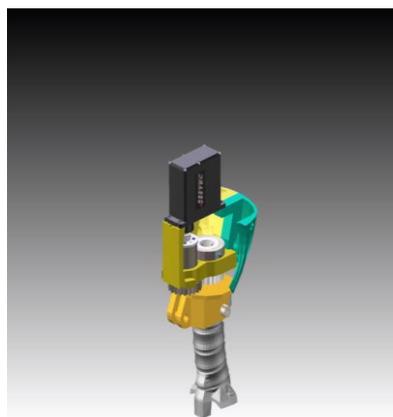
Anexo 23. Ensamblaje de la bisagra del cuello con el servo.

Fuente: INMOOV



Anexo 24. Ensamblaje de servomotor con engranajes.

Fuente: INMOOV



Anexo 25. Ensamblaje de la parte trasera baja del cráneo.

Fuente: INMOOV



Anexo 26. Ensamblaje del soporte de la cara.

Fuente: INMOOV



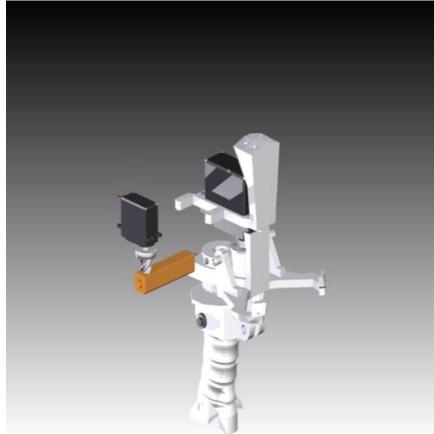
Anexo 27. Ensamblaje de soporte frontal.

Fuente: INMOOV



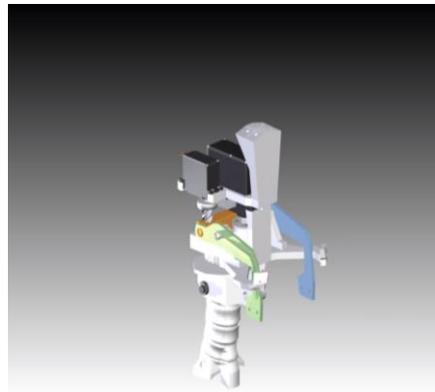
Anexo 28. Ensamblaje de pistón de mandíbula.

Fuente: INMOOV



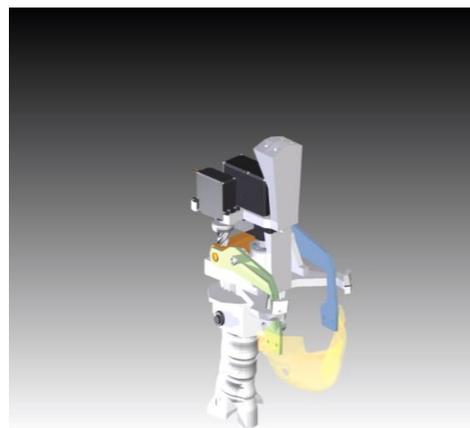
Anexo 29. Ensamblaje de bisagra de mandíbula con servomotor.

Fuente: INMOOV



Anexo 30. Ensamblaje de soportes de mandíbula.

Fuente: INMOOV



Anexo 31. Ensamblaje de parte inferior de la boca.

Fuente: INMOOV