

# Implementación de un robot humanoide impreso en 3D con motricidad en las extremidades superiores semejantes a las del ser humano

## Implementing a humanoid robot printed in 3D with motor skills in the upper extremities similar to the human being

Melany Yarad<sup>1</sup>, Junior Figueroa Olmedo<sup>1</sup>, Edison Coral<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior Sucre, Quito, Ecuador

myarad@tecnologicosucre.edu.ec; jfigueroa@tecnologicosucre.edu.ec; ecoral@tecnologicosucre.edu.ec

### Resumen

En la actualidad, la tecnología está avanzando gracias a la creación de máquinas inteligentes que cumplen técnicas similares a las que realiza un operario humano. Esto permite que al paso de los días se busquen formas de maniobrar o realizar procesos mediante un robot operario que tenga las características físicas de un ser humano y pueda cumplir todo tipo de tareas que se pretende realizar. Este proyecto tiene como objetivo construir e implementar un robot humanoide, el cual dispone de motricidad en las extremidades superiores para que pueda realizar movimientos similares a los del ser humano. Para la elaboración del robot humanoide se usará la metodología deductiva, al ser un problema de investigación con perspectivas múltiples a nivel tecnológico-educativo. Se basa en este método por la facilidad de partir en un entorno de ideas generales hasta llegar a verificar cada resultado de forma específica. Se podrá generar movimientos precisos a la hora de la manipulación y pruebas del robot humanoide que tiene fines prácticos. Así se obtendrán conocimientos verídicos y respaldados a partir del empirismo que se lleva a cabo por el análisis en tiempo real del robot humanoide. En este proceso se ocupan diseños open source para la construcción de todo el modelo del robot humanoide y posteriormente la corrección de algunas piezas para la generación del código de impresión 3D. Como resultado se obtiene un robot humanoide impreso en 3D.

**Palabras Claves:** Humanoide, Impresión 3D, Open source, Robot

### Abstract

Technology is advancing due to the creation of intelligent machines that perform techniques similar to human operators. This allows in progressing manner, ways of maneuvering or conducting processes employing an operator robot. These have the physical characteristics of a human being and can fulfill all kinds of tasks that it is intended to realize. This project aims to build and implement a humanoid robot with motor skills in the upper extremities to perform movements similar to those of a human being. The deductive methodology will be used for the elaboration of the humanoid robot, as it is a research problem with multiple perspectives at a technological-educational level. It is based on this method because of the ease of starting from an environment of general ideas until each result is verified in a specific way. Precise movements can be generated when handling and testing the humanoid robot for practical purposes. Hereby, true and supported knowledge will be obtained from empiricism that is conducted by the real-time analysis of the humanoid robot. In this process, open-source designs are used to construct the entire humanoid robot model and later to correct some parts for the generation of the 3D printing code. The result is a 3D-printed humanoid robot.

**Keywords:** humanoid, 3d print, Open source, Robot



Fecha de Recepción: 07/10/2022 - Aceptado: 20/12/2022 – Publicado: 31/12/2022  
ISSN: 2477-9253 – DOI: <https://dx.doi.org/10.24133/RCSD.VOL07.N04.2022.04>

## I. Introducción

El inicio de los robots viene existiendo desde la antigua Grecia, donde crearon máquinas de vapor que generaban un movimiento automático. Estos inventos fueron ampliándose hasta llegar a crear máquinas más complejas, pasando a la invención de los robots primero en la literatura como ideas de un futuro a diseños reales funcionales.

Las empresas empezaron a reemplazar mano de obra humana por más tecnología, ya que esta al aplicarla en robótica, generaba una cadena de producción eficiente produciendo más ganancias, teniendo la capacidad de poder realizar producciones en masa. Actualmente, para equilibrar el uso de máquinas robóticas se comenzó con la enseñanza del manejo práctico de esta nueva tecnología y así, el hombre pueda tener un control sobre su manipulación

Según Marc Bonell Sánchez, de la Universidad Politécnica de Catalunya, en su tesis titulada “Diseño y Construcción de un Robot Humanoide” menciona que la peculiaridad de crear un circuito que controle la parte mecánica de un robot humanoide es que el control de los servomotores no se realiza mediante un módulo controlador comercial, sino que se crea uno basándose en un proceso de análisis para obtener los mejores resultados posibles (Sánchez, 2017).

Por otra parte, se pretende dar a conocer los distintos tipos de robots que existen en la actualidad y los avances que se han ido creando a lo largo de la historia en cuanto al movimiento de robots humanoides. El resultado final será un robot humanoide capaz de poder mover todos sus servomotores mediante el controlador creado y capaz de mantener el equilibrio. Su objetivo principal es obtener un robot humanoide usando un circuito controlador propio y no uno comercial. Con el progreso de la robótica y las técnicas de computación relacionadas al desarrollo de controladores, los robots sociales se están integrando con mayor frecuencia en la vida cotidiana de las personas

Con este prototipo se quiere fomentar el aprendizaje lúdico a niños entre 3 y 5 años por medio de la inteligencia artificial. De esta manera, se incrementa el pensamiento lógico desde edades tempranas. De forma lúdica y mediante la metodología learning-by-doing los niños son creativos y autónomos. Este robot educativo se encuentra equipado con videocámaras y está capacitado para percibir sonidos, puede observar, habla varios idiomas y se mueve de manera independiente

El diseño del robot social interactivo tiene una gran importancia en el desarrollo de mecanismos para el movimiento, así como la generación de algoritmos avanzados de control y toma de decisiones con el uso de inteligencia artificial y redes neuronales artificiales en el campo de la robótica social de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, en virtud que permita el estudio estructural del robot aplicando nuevos conocimientos para el aumento de la autonomía del mismo.

## II. Materiales y Métodos

El algoritmo de percepción espacial que se aplica a este prototipo humanoide es para otorgarle una funcionalidad tipo réplica del proyecto del robot humanoide de código abierto (open source) InMoov. Las piezas se fabricaron a través de impresión 3D por FDM (modelado por deposición fundida) a partir de los modelos 3D que se encuentran disponibles en la página oficial del proyecto InMoov.

En la investigación de “Control de movimiento de un robot humanoide por medio de visión de máquina y réplica de movimientos humanos” (Jiménez, Espinosa, & Amaya, 2018) se menciona que existe un interés de naturalizar los movimientos de los robots, los cuales se deben en gran parte a la necesidad que se tiene en diferentes campos para que estos puedan realizar movimientos complejos; pero además para que en campos como la robótica de servicio o la enseñanza estos sean aceptados más rápidamente por los usuarios

En el Ecuador existe limitada información en cuanto al diseño y construcción de robots sociales interactivos. Entre los que se puede mencionar: KLu-K, un rostro robótico que posee apariencia humana y ejecuta gestos y emociones controladas de manera inalámbrica (Rosero, 2015), HENSAR un robot con representación lo más cercana a las expresiones humanas desarrollado en la Escuela Politécnica Nacional (Astudillo, 2012), los cuales presentan algoritmos pre-programados para interactuar con los usuarios.

Del mismo modo, se tomó como referencia el siguiente artículo titulado: “Design of a Human-like Robot with Emotions”, que traducido al español significa: “Diseño de una Cabeza Humana Robot con Emociones”. Este estudio presenta una revisión bibliográfica sobre el diseño del mecanismo de movimiento de la cabeza del robot, además, incluye las características del mecanismo para el desplazamiento del ojo, mecanismo para el movimiento del cuello además de su apariencia humana (Lakmal, 2016).

La técnica de análisis de movimiento a utilizar para el proceso de marcha en el prototipo se basa en el análisis geométrico del mismo. Los movimientos son pre-programados en función a las diferentes poses caracterizadas y permiten equilibrar al robot delimitando el movimiento de cada servomotor en la transición entre pose y pose.

## 2.1. Fundamentación

Este proyecto se desarrolla con base en el concepto de robot humanoide, también conocido como androide. Los propios términos aluden a un producto con forma humana, que cuenta con una parte física y una parte lógica; lo que le dota de cierta independencia en la ejecución de tareas, pero con base en una programación previa. A inicios del siglo XXI, la compañía japonesa Honda presentó ASIMO, que se constituyó en un referente en robótica, y cuyo objetivo fue influir positivamente en las nuevas generaciones, animándolas a estudiar matemática y robótica.

Para una mejor comprensión del robot humanoide propuesto en este estudio, se comienza con la descripción del diseño del mismo, así como de su construcción. Se optó por la implementación del robot humanoide InMoov (ver Figura 1). Se seleccionó este modelo porque al realizar una investigación previa, se tuvo como resultado que el diseño de sus piezas se puede encontrar en código abierto (open source) siendo una buena opción para el cumplimiento del objetivo de este proyecto. El robot InMoov es el primer robot humanoide a tamaño real que puede ser realizado con una impresora 3D. El robot InMoov es un proyecto de Gael Langevin, un diseñador y escultor francés que generó el robot completamente con código abierto (Engineerstoy, 2019).

**Figura 1:** *Tipos de Robot InMoov*



Una de las ramas con mayor influencia en la inteligencia artificial se la denomina como sistemas expertos, que tienen por objetivo desarrollar sistemas capaces de analizar un conjunto de datos y realizar tareas asociadas a un perfil profesional como el diagnóstico, detección de fallos, planificación y toma de decisiones (Benítez, Escudero, & Kannan, 2014).

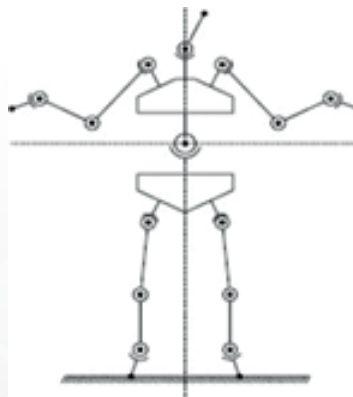
### **2.1.1. Sistemas de locomoción de robots humanoides**

El sistema de locomoción es el movimiento o cambio de posición en el espacio, este permite que la persona o máquina, además de adquirir otra posición, cambie de lugar. La locomoción es propia de la mayoría de los seres vivos y desde hace algún tiempo de aparatos creados por el ser humano, como robots de todo tipo. Sin embargo, los humanoides tienen un tipo de locomoción distinta, ya que tratan de generar todos los movimientos que puede realizar un ser humano.

La réplica de mecanismos de los sistemas biológicos del ser humano no es nada sencillo de crear, es demasiado complejo. A nivel microscópico las células se unen en bloques estructurales que en conjunto forman mecanismos de locomoción complejos que solo han tenido un nivel de similitud bajo, ya que no se han podido crear mecanismos microscópicos.

En su mayoría, los robots humanoides han reducido la estructura cinemática y la han simplificado mediante la generación de eslabones y articulaciones con grados de libertad controladas por actuadores que solo se acercan en un porcentaje bajo a la funcionalidad de algún sistema biológico. La Figura 2 muestra un ejemplo de cómo se pueden definir los huesos, articulaciones y músculos (IONOS, 2018).

**Figura 2:** *Diagrama estructural cinemático*



### 2.1.2. Sensores y actuadores utilizados en robots humanoides

Los sensores más utilizados en los robots humanoides son del tipo sensitivos, puesto que estos permiten al robot darse cuenta que hay cambios en su entorno, por lo que debe reaccionar a ellos. Si un robot humanoide quisiera ser capaz de detectar algún movimiento se usaría un sensor PIR, se podría usar un sensor ultrasónico o a su vez una cámara de reconocimiento facial. Si un robot humanoide trabajara en un ambiente donde debería detectar el calor, usaría un sensor térmico, y de esta forma habría diferentes tipos de sensores dependiendo de su finalidad.

Mientras que con los actuadores generalmente se usan motores, servomotores, motores paso a paso o actuadores hidráulicos. El robot humanoide que se diseña tiene la capacidad de poder mejorar tanto sus funciones de movimiento como sus funciones de interactuar con su entorno, mediante sensores y actuadores.

### 2.1.3. Servomotores

Es un conjunto de elementos mecánicos y electrónicos que puede permanecer sin movimiento durante el tiempo que se encuentra en funcionamiento. Al interior de un servomotor se encuentra un motor eléctrico (DC), engranajes y una tarjeta que controla el movimiento del motor. Este tipo de motores se utilizan comúnmente en el campo de la robótica o en algún sistema donde el movimiento debe ser preciso (ver Figura 3).

Figura 3: Servomotor



### 2.1.4. Programación

La programación de Arduino se basa en un microcontrolador que ha permitido que todo el público pueda manejar su tecnología. Programar Arduino consiste en traducir a líneas de código los sistemas automatizados que se desea programar leyendo los sensores como entradas y realizando las funciones programadas mediante unos actuadores como salida. Arduino proporciona un entorno de programación sencillo y potente para programar, incluyendo herramientas necesarias para compilar el programa y “quemar” el programa ya compilado en la memoria flash del microcontrolador.

### 2.1.5. Piezas 3D

Para la realización de un robot humanoide se debe tener en cuenta el nivel del diseño en relación a su tamaño y aspecto, ya que eso influye en su funcionamiento. Mientras más se parezca el robot a un ser humano, el

diseño de sus piezas será más complejo y tendrá un mayor tamaño, pues se pretende alcanzar una relación aspecto y función al tamaño real.

Los diseños de piezas 3D que se usan son del tipo open source; es decir, que son diseños de código abierto donde se encuentran diseños complejos basados en la motricidad superior del ser humano. Los archivos de las piezas son proporcionados por su creador Gael Langevin para posteriormente pasar a la impresión 3D.

### 2.1.6. Impresión 3D

La impresión 3D es el proceso siguiente a realizar una vez acabada la parte del diseño y modelo 3D. Para el robot humanoide se ocupa el material PLA, el cual tiene unas características que ayudan a una buena impresión, tales como inodoro, claro, brillante, resistente a la humedad y su proceso de temperatura de fusión es de 160°C. Para que una pieza 3D se imprima correctamente se deben tomar en cuenta las características del material a utilizar y pasar posteriormente a configurar sus parámetros técnicos de temperatura, velocidad, relleno, densidad, soportes, etc.

### 2.1.7. Partes del robot

En la Figura 4 se puede observar las partes con las cuales se va a construir la cabeza del robot humanoide.

Figura 4: Partes de la cabeza

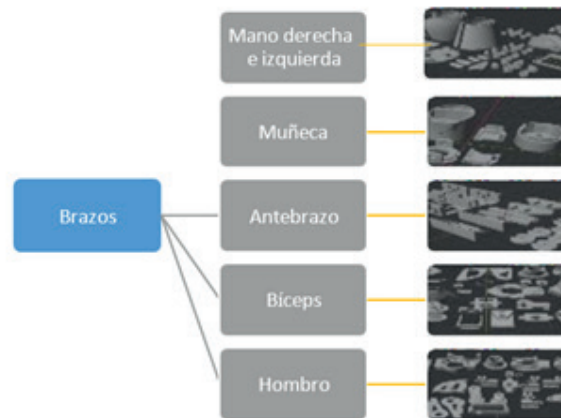


En la Figura 5 se tienen las partes que conforman el torso del robot humanoide.

Figura 5: Partes del torso

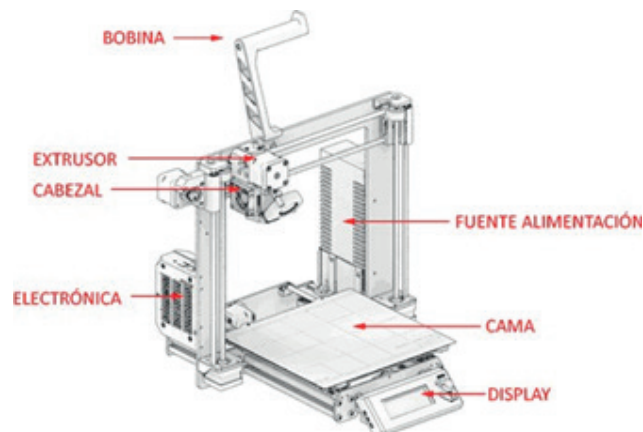


La Figura 6 muestra las secciones del conjunto que componen los brazos del robot humanoide:

**Figura 6:** *Partes de las extremidades superiores*

### 2.1.8. Proceso de impresión

Cuando las configuraciones del software de impresión están listas se pasa a la parte técnica de calibración de cama (nivelado), activación de aumento de temperatura y colocación del filamento PLA al extrusor de la impresora 3D. En la figura 7 se pueden identificar las partes de una impresora 3D.

**Figura 7:** *Partes de una impresora 3D*

Cada parte impresa del robot humanoide tiene parámetros de configuración, los cuales son relleno del 50%, adherencia tipo balsa de 5mm y temperatura de 205°C, permitiendo un avance de impresión más rápido; se debe tener en cuenta que, mientras más relleno tiene una pieza, aumenta el tiempo de impresión de la misma.

## 2.2. Implementación estructural

La implementación de este robot se divide en tres partes. La primera es el desarrollo de la cabeza para posteriormente pasar a la parte del torso y terminar con la unión de los dos brazos al cuerpo. Lo importante a tratar es la forma de unión de las piezas porque deben pasar por un proceso de postproducción para poder llegar a una pieza ideal y funcional.

Lo primero a tratar es el lijado, limado o acabado de cada pieza, ya que estas deben de encajar perfectamente con las demás y no tener ningún problema de rotación en los engranajes, piñones y tornillos sin fin que tiene

el robot humanoide. Como segundo punto se tiene el tipo de pegamento que se va a utilizar para la unión de piezas. Este puede ser un pegamento de dos tiempos UHU, el más comúnmente utilizado es el súper pegamento (Super glue). El tercer punto es la ubicación de los motores y piezas antes del sellado o unión definitiva de algunos complementos, como, por ejemplo, ubicar dentro de la cabeza los servomotores que se usarán y luego pasar a cerrar la cabeza definitivamente.

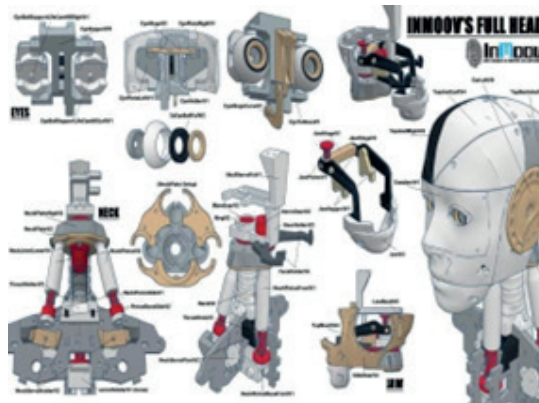
Como última actividad y sumamente importante es el tipo de tornillos que se usan, no se puede instalar cualquier tornillo porque podría tener una estética no deseada o la pieza podría romperse. Los tornillos recomendados son los que tienen una terminación de cabeza plana.

### 2.2.1. Cabeza

Esta parte del robot se destaca por que en aquí se determina el parecido a un ser humano y debe de tener todas las facultades motrices que esta parte del cuerpo conlleva. Los movimientos principales son el del cuello, el giro derecha e izquierda de la cabeza, movimiento de la mandíbula y movimiento de los ojos. Las piezas de la cabeza se unen de una forma distinta donde el uso de súper pegamento es alternativo, ya que tiene uniones mediante pernos y tornillos. Los mecanismos de los ojos son las partes que deben ser unidas al final, una vez se ubiquen los motores en sus sitios respectivamente

En el cuello se ubican los tornillos sin fin, que se colocan en el mecanismo de giro de la cabeza, estos pueden ser armados antes de la ubicación de los motores. Cuando se colocan los tornillos para el cierre de los ejes del cuello con la cabeza, no deben interponerse con el giro de la cabeza. En la parte de los mecanismos de la cabeza también se ubica el mecanismo de la mandíbula. Para cerrar la cabeza debe de estar perfectamente ubicado el mecanismo de la mandíbula y de los ojos. En la Figura 8 se indica la posición de cada una de las partes que conforman la cabeza del robot humanoide.

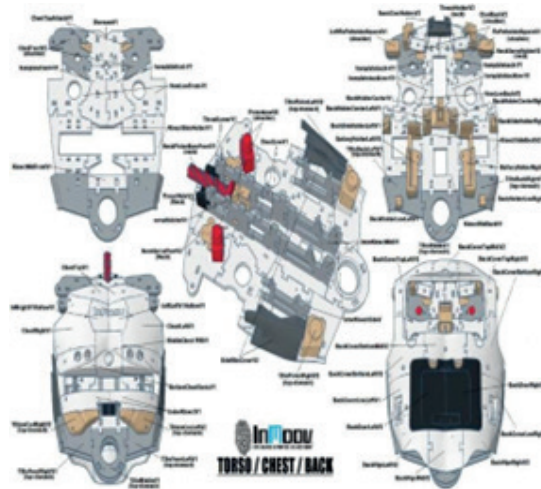
**Figura 8:** Esquema armado de piezas cabeza y cuello



### 2.2.2. Torso, pecho y espalda

El torso es el eje central del robot, aquí se apoyan todas las demás partes y se debe tomar en cuenta un buen soporte para todo el peso que con lleva la cabeza y los brazos. Por esta razón, su unión debería ser muy estable. También se procede a colocar las piezas del pecho y espalda que realizan las funciones de generar una mejor estética. Esto permite ubicar posteriormente dispositivos para un mejor funcionamiento del robot como (Kinect y pantalla visualizadora). En la Figura 9 se indica el armado de torso, pecho y espalda.



**Figura 9:** Esquema armado de piezas torso, pecho y espalda

Las piezas se colocan según el esquema general del torso. Una vez lijadas y pulidas se las puede unir colocando el súper pegamento, de tal manera que queden uniformemente alineadas. Cuando las piezas del torso están armadas se crean dos partes independientes, las cuales deben ser unidas con estas piezas creando una cama entre las mismas. Para colocar la cabeza al torso se debe primero ubicar el punto centro, que es una pieza similar a una vértebra cervical que sirve de apoyo al mecanismo de la cabeza. Cuando se acaba de unir la estructura interna del torso se procede a colocar la armadura del pecho y de la espalda. En la parte frontal la armadura del pecho tiene la función de ubicar algunos sensores como el sensor de proximidad y el Kinect.

En la parte de la espalda se colocan las piezas que van a recubrir el área del robot donde va ubicado el micro-controlador que se usa para el control del robot humanoide. Además, es la base donde va ubicada la pantalla visualizadora. Cuando el torso está completo se comienza a colocar el mecanismo del cuello y de la cabeza juntos, para luego poder ubicar los servomotores mano, brazo, bíceps y hombro.

El montaje de las manos tiene como función recrear cada movimiento de sus dedos con una velocidad y fuerza equilibrada sumándole la rotación de la muñeca. La parte del brazo contiene cuatro partes fundamentales, las cuales son: la mano, brazo, bíceps y hombro. Para unir las piezas de la mano se debe primero unir las falanges una con otra, como está representado en el esquema, y sumarle la parte del mecanismo interno de la palma de la mano. Las piezas de la palma se las une con un tornillo M8 que sirven como eje de rotación. Se procede a pasar los hilos de nylon trenzado por los conductos de los dedos, para que posteriormente funcionen con los servomotores.

Se procede a colocar unos ejes en la parte de las falanges, estos pueden ser el propio PLA o a su vez algún tipo de material resistente, al terminar de colocar todos los dedos se procede a colocar la armadura de la mano; finalmente, cuando la parte de la mano está terminada se debe comenzar a hacer el ensamble del brazo con la muñeca. La Figura 10 muestra el armado de mano, brazo, bíceps y hombro.

**Figura 10:** Esquema armado de piezas mano, brazo, bíceps y hombro



La parte de la muñeca no se la debe de cerrar ni unir con el brazo hasta que se ubiquen los servomotores. Cuando el brazo del robot esté listo, se comienza a unir las piezas de los bíceps, juntando la estructura principal que es el esqueleto, siendo este el que soportará el servo y en donde se ubicará el tornillo sin fin del bíceps. Estos forman una cavidad y una estructura ideal para que el brazo pueda subir y bajar sin ningún problema. También en estas partes se ubicará posteriormente el potenciómetro del servomotor. En la Figura 11 se puede evidenciar el armado del bíceps.

**Figura 11:** Esquema armado de piezas bíceps



El hombro es la articulación que soporta el peso de todo el brazo, por eso tiene un engrane muy sólido al 100% de relleno.

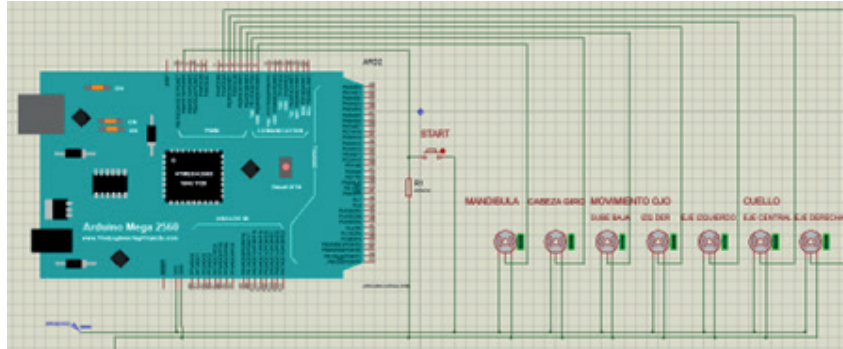
### 2.3. Implementación electrónica

La parte de conexión electrónica es fundamental, puesto que tiene como resultado dar el movimiento final al robot humanoide por medio de los servomotores, estos a su vez actúan como articulaciones en todo el robot. Para implementar los servomotores se debe calcular el valor de consumo de corriente de cada servomotor y así adecuar una fuente de alimentación para abastecer dicho consumo.

Cada parte del robot es manejada por tramos de conexiones de servomotores. Estos se conectan y manejan de forma individual, pero con un solo consumo de corriente. Para la cabeza se utilizará el diagrama que

se visualiza en la Figura 12. Este fue creado con el software Proteus, donde se ubica la conexión entre los servomotores y el microcontrolador Arduino. Los pines definidos aquí son los pines de conexión físicos del robot.

**Figura 12:** Diagrama de conexión Proteus Servomotores y Arduino de Cabeza



Siguiendo el diagrama de conexiones se empieza a realizar los cálculos de consumo de energía de los servomotores. Estos se verán reflejados en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} & \text{MG 90S} \\ & IT1 = I1 + I2 = 800mA \times 2 = 1600mA = 1.6 A \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\begin{aligned} & \text{MG 996R} \\ & IT2 = I1 + I2 + I3 = 900mA \times 3 = 2700mA = 2.7A \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\begin{aligned} & \text{HS 805BB} \\ & IT3 = I1 + I2 = 1200mA \times 2 = 2400mA = 2.4A \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Para calcular la corriente total de consumo por toda la rama de conexión se deben de sumar las corrientes y para el voltaje se utiliza el promedio de los tres voltajes.

$$IT = IT1 + IT2 + IT3 = 1.6A + 2.7A + 2.4A = 6.7A$$

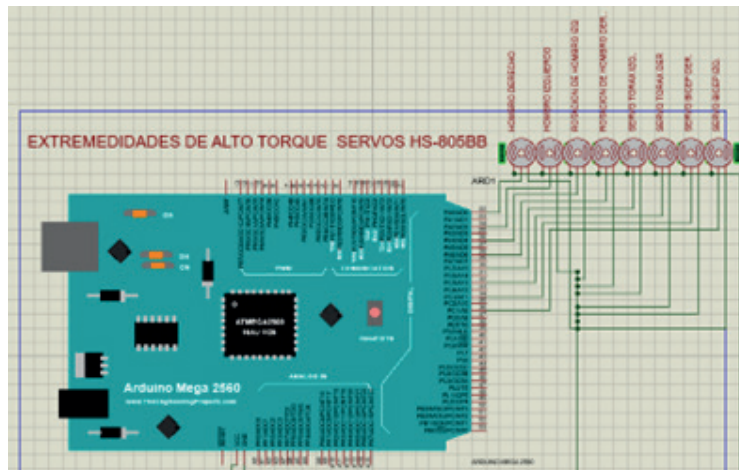
$$VT = V1 + V2 + V3 = 6V + 7.2V + 6V = 19.2v/3v = 6.4V \sim 6V$$

Se necesitará una fuente de poder de 6v a 7Amp para el funcionamiento de esta rama del robot humanoide.

Lo siguiente a realizar es el diagrama de conexión de los brazos del robot humanoide para permitir una mejor referencia a la conexión física se presenta la Figura 13.

Para la parte de los dos hombros y los dos bíceps se maneja una fuente de poder de 6v que es la que utiliza el servo motor a 7Amp (10Amp a máxima capacidad). Para la parte de la mano se tiene una fuente de poder de 6v a 7Amp (11Amp a máxima capacidad). Para el control del robot humanoide se usó un teclado matricial donde al pulsar cada botón realiza una secuencia de movimientos.

**Figura 13:** Diagrama de conexión Proteus Servomotores y Arduino de Hombro, Bíceps



#### 2.4. Movimiento del robot

Para comenzar a programar y dar movimiento al robot humanoide se debe calcular el valor máximo de los ángulos de libertad de cada servomotor mediante la siguiente ecuación.

$$y = 180 + \frac{180}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Donde:

y = salida en grados entre 0° a 180°

x0= valor mínimo en microsegundos para movimientos del motor

x1= valor máximo en microsegundos para movimientos del motor y

x2= valor máximo en microsegundos para movimientos del motor x x = rango comprendido entre x0 y x1.

En la Tabla 1 se evidencian los ángulos de movimientos máximos y mínimos de los dedos.

**Tabla 1:** *Ángulos de movimientos máximos y mínimos de los dedos*

MANO	GRADO MÍNIMO	GRADO INICIAL	GRADO MÁXIMO
Pulgar	0	0	180
Índice	0	0	180
Medio	0	0	180
Anular	0	0	180
Menique	40	45	180
Muñeca	50	50	140

## 2.5. Metodología de investigación

La trascendencia de esta investigación radica en implementar un robot humanoide impreso en 3D con motricidad en las extremidades superiores semejantes a las del ser humano para que pueda estar al frente de procesos industriales y tomar decisiones. Para su construcción se utilizarán piezas de código abierto del humanoide InMoov. El movimiento del robot humanoide se lo realizará con la placa controladora Arduino, misma que controlará el ángulo de giro de los servomotores.

También se podrán añadir señales de inicio en los movimientos para los actuadores y de esta manera dar paso a una secuencia compleja de movimientos. Toda esta forma de interacción con el robot traerá beneficios en el ámbito industrial. El desarrollo de este proyecto es de tipo experimental y documental, en donde se obtiene información de la actividad que realiza el robot con base en sus movimientos y se registra la información. Si es posible, se realizan comparaciones de movimientos con simulaciones y movimientos en la vida real.

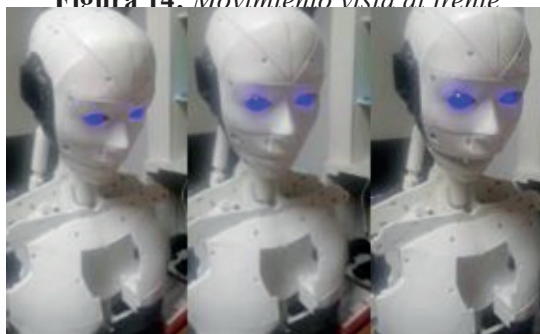
## III. Evaluación de resultados y discusión

El control de gesticulación y habla de un robot interactivo social con apariencia humana es una tarea compleja, que exige eventualmente una serie de pasos necesarios para su correcto desarrollo. El diseño y construcción del prototipo tiene un alto nivel de parentesco hacia los seres humanos, con la capacidad de realizar correctamente las tareas asignadas.

### 3.1. Evaluación de Resultados

Cuando el robot está completamente ensamblado y la programación desarrollada, se realizan pruebas de funcionamiento para comprobar que el prototipo pueda generar movimientos semejantes a los del ser humano. Activada la fuente de alimentación y presionando el botón de Start, el robot humanoide comenzará a moverse, primero posicionando la vista del robot al frente, moviendo la cabeza de izquierda a derecha, al igual que los ojos, y cambiando de posición los brazos.

**Figura 14:** *Movimiento vista al frente*



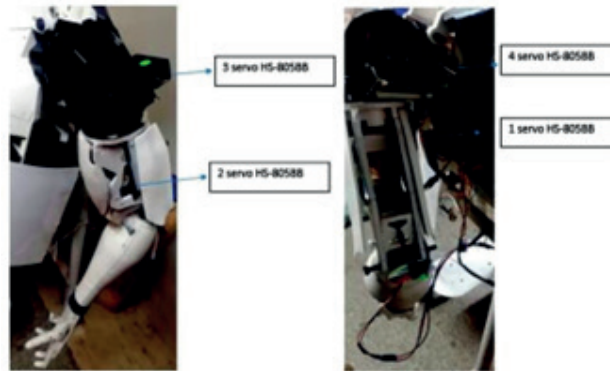
Las fuentes de energía abastecen a todos los servomotores conectados en cada rama de conexión. Para la rama de conexión de la cabeza se optó por ocupar una fuente de alimentación ATX de 5v a 3Amp.

Los engranajes tienen un estado sólido y por ende deben de tener una resistencia máxima a la hora de trabajar cada grado de libertad que tiene el robot. Se debe de tener una correcta densidad y lubricación para que el engrane trabaje correctamente.

Dicho esto, el robot presenta un problema de encaje de engranajes o a su vez son muy grandes para su correcta ubicación. Para solventar este problema se realizó su respectiva corrección, modificando la pieza en los softwares Blender y Cura.

El robot humanoide cumple con las especificaciones de realizar movimientos semejantes a los del ser humano. Los movimientos fueron probados y corregidos hasta no tener ningún tipo de dificultad que impida el movimiento de cada servomotor. Todos los GDL del robot humanoide son calibrados de tal forma que no exceden el límite en grados al momento de su giro, generando un movimiento preciso. Esto se lo puede evidenciar en la Figura 15. Para que el robot humanoide tenga un correcto funcionamiento se debe saber el lugar donde se ubica cada servomotor para corregir o solventar cualquier inconveniente.

**Figura 15:** *Movimiento vista al frente*



La comunicación entre el software y el robot es bidireccional, de forma tal que al ubicar en una postura determinada que hace parte del proceso de marcha en el robot se replica el comportamiento de enseñanza guiada para los niños, en donde se suele ubicar un patrón frente al robot e indicar el movimiento a realizar. De esta forma, cada posición de marcha equilibrada es establecida manualmente, almacenada y secuenciada para posterior programación. La Figura 16 muestra el prototipo final.

**Figura 16:** *Prototipo final*



## IV. Conclusiones

El desarrollo presentado forma parte de una prueba piloto para caracterización de marcha en agentes robóticos de múltiples grados de libertad, donde el modelado geométrico da una opción a la complejidad del modelo cinemático propio de un robot antropomórfico. Una vez establecidos los movimientos de marcha bajo dicho modelo geométrico y restricciones angulares, se realiza una prueba de desplazamiento del robot.

Se pudo obtener una prueba piloto con un sistema que presenta tiempos de respuesta aceptable donde se cuenta con la capacidad de responder ante cambios bruscos en las posiciones de las articulaciones y en donde no se presenten movimientos involuntarios debido a oscilaciones de los motores el cual genere errores en el funcionamiento.

Finalmente, se concluyó que el movimiento del robot humanoide depende netamente de cuánta libertad obtienen los servomotores mediante la programación de cada grado de libertad que cuenta el robot.

Como un trabajo futuro se considera implementar mejoras como la aplicación de IA (Inteligencia artificial) la cual domina elementos electrónicos como adaptación de sensores, siendo estos los sensores PIR para reconocimiento de movimiento y visión artificial. También se podrían adaptar sensores de presión, proximidad y muchos más dispositivos electrónicos, dependiendo la aplicación que se requiera hacer.

También se recomienda cambiar la columna base donde se apoya el robot por una estructura metálica más robusta, ya que el robot humanoide es sujeto a movimientos manuales a distintos lugares para su demostración. Por otro lado, también se puede incorporar un robot móvil en su base, haciendo de este un robot humanoide más independiente con desplazamientos programados sobre superficies lisas.

## Referencias

- Astudillo, A. (2012). *Ensamblaje y control de un rostro robótico que simule los movimientos del rostro humano*. Quito: EPN.
- Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos de robótica*. Aravaca (Madrid).
- Engineerstoy. (2019). engineerstoy.com. Recuperado el 22 de 08 de 2020, de <https://www.engineerstoy.com>
- González, V. (03 de 2015). *Fundamentos de Robótica*. Recuperado el 08 de 01 de 2020, de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/portada.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/portada.htm)
- IONOS. (2018). *IONOS*. Obtenido de [www.ionos.es](http://www.ionos.es)
- Jiménez, M. (2015). *Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección de aglomeración de personas en un semáforo*. Loja.
- Jiménez, R., Espinosa, F., & Amaya, D. (2018). *Control de movimiento de un Robot Humanoide por medio de Visión de Máquina y Réplica de Movimientos Humanos*. En I.CUC, INGE CUC (págs. 44 - 51).
- Lakmal, R. (2016). *Design of a human-like robot head with emotions*. Moratuwa, 421-426.

Rosero, C. (2015). *Diseño y construcción de un rostro robótico de apariencia humana*. Sangolquí: UFA ESPE.

Sánchez, M. (2017). *Diseño y Construcción de un robot humanoide*. Barcelona.