



TRABAJO DE GRADO
Opción Seminario-Diplomado.

Informe
Seminario de Robótica
Brazo Robótico

Corporación Universitaria Remington.
Facultad de Ingeniería.
Ingeniería de Sistemas.

Néstor Alfredo Calderón Rodríguez
Tutor: Jonathan Stick Campos Núñez.
Opción de Trabajo de grado Seminario-Diplomado.
2024.

Dedicatoria

Se hace una dedicatoria al esfuerzo de mi familia, en primer lugar porque ha sido el apoyo fundamental para poder llevar a cabo todos estos logros obtenidos hasta el momento. También dar las gracias a mis padres, ya que en ellos se tuvo un apoyo incondicional para llegar a la culminación de este proceso, en un camino recorrido bastante difícil lleno de tropiezos y contratiempos, en donde ellos estuvieron siempre para darnos la mano para que siguiera luchando y así poder cumplir todas mis metas... Muchas gracias.

Agradecimientos

Se hace una dedicatoria al esfuerzo de mi familia en primer lugar porque ha sido el apoyo fundamental para poder llevar a cabo todo estos logros obtenidos hasta el momento, también dar las gracias a mis padres, ya que en ellos se tuvo un apoyo incondicional para llegar a la culminación de este proceso, en un camino recorrido bastante difícil lleno de tropiezos y contratiempos, en donde ellos estuvieron siempre para darme la mano para que siguiera luchando y así poder cumplir todas mis metas. Muchas gracias.

Tabla de Contenido.

Resumen.....	6
Palabras clave.....	6
Pregunta orientadora de la búsqueda.	7
Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.	8
Metodología de búsqueda de la información.....	9
2. Definición de Brazo Robótico.	10
3. Un poco de Historia.	10
4. Tipos de Brazos Robóticos.	11
5. Leyes de la Robótica.....	12
6. Construcción de robots.	13
6.1 Diseño estructural.....	13
6.2 Selección y configuración de actuadores (Servomotores).....	13
6.3 Implementación del Sistema de control.	13
6.4 Diseño del Sistema alimentación y comunicacional.	14
6.5 Ensamblaje e integración.....	14
6.6 Pruebas y validaciones.	14
7. Cinemática Directa e Inversa.	14
7.1 Cinemática directa.	15
7.2 Cinemática inversa.	16
8. Grados de libertad.	16
9. Arduino Uno.	16
9.1 Elementos importantes de la placa de desarrollo Arduino Uno.	16
9.2 El Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino.	17
9.3 Características y Ventajas del IDE de Arduino.	18
10. Motor eléctrico.....	19
10.1 Servomotor.	20
10.2 Funcionamiento y Control de Servomotores mediante Señales PWM.	21
10.3 Control de Servomotores con PWM.....	22
11. Informe de actividad	
11.1 Construcción Física del Prototipo.	22
11.2 Programación del Controlador Arduino Uno.	23
Conclusiones.....	24
Referencias.....	25

Tabla de Imágenes.

Imagen 1. Brazo robótico SCORBOT ER 9 PRO	10
Imagen 2. Joseph Engelberger, y George Devol (derecha) Robot Unimate (izquierda).	11
Imagen 3. Ejemplos de robots contruidos con articulaciones de revolución y prismáticas.	12
Imagen 4. Representación del brazo robótico en sistemas de coordenadas según algoritmo de Denavit-Hartenberg.....	15
Imagen 5. Muhammad S. A. (2014) Manipulador robótico TQ MA3000 5 DOF.....	15
Imagen 6. Componentes de una placa Arduino Uno	17
Imagen 7. Guía visual: Interfaz principal de Arduino Uno IDE.....	18
Imagen 8. Partes iniciales de un sketch de Arduino Uno IDE, sección Loop y Setup.	19
Imagen 9. Servomotor SG90.....	21
Imagen 11. Calibracion de servomotor con PWM y sus angulos de rotación del eje.....	22

Índice de Anexos.

Anexo 1. Vistas Diagrama de algunos componentes del brazo robótico.....	25
Anexo 2. Vistas Diagrama del brazo robótico ensamblado.....	27
Anexo 3. Diagrama de Conexiones.	28
Anexo 4. Lista de Materiales.	29
Anexo 5. Ejemplo del código o algoritmos de funcionamiento.....	30
Anexo 6. Evidencia Fotográfica de práctica.	31

Resumen

Este documento de opción de grado describe la historia y el desarrollo de los brazos robóticos, desde sus orígenes hasta los modelos más modernos. Isaac Asimov y otros pioneros de la robótica establecieron las leyes que rigen el comportamiento de estos dispositivos.

Además, se analizan las muchas aplicaciones y ventajas de los brazos robóticos, destacando su uso en la automatización de procesos industriales, la ayuda en tareas de manipulación y el apoyo en entornos peligrosos o difíciles de acceder para los humanos.

La segunda parte del informe detalla el desarrollo de un prototipo de brazo robótico utilizando una placa Arduino Uno y servomotores. Se explican las etapas de diseño, construcción, y programación.

Palabras clave

Robot, Robótica, Servomotor, Arduino, Movilidad.

Pregunta orientadora de la búsqueda.

Preguntas que nacieron en el proceso de desarrollo de un prototipo de brazo robótico utilizando Arduino Uno y servomotores:

¿Cuáles son las leyes que rigen el comportamiento de los brazos robóticos?

¿Cuáles son algunas de las aplicaciones y beneficios destacados de los brazos robóticos?

¿Cómo se describe el proceso de desarrollo del prototipo de brazo robótico utilizando Arduino y servomotores?

¿Qué tipo de panorama general proporciona este informe sobre el campo de la robótica?

Objetivos.
Objetivo general.

Ofrecer una visión integral y completa sobre el campo de la robótica, abarcando la evolución histórica de los brazos robóticos, las leyes que los rigen, sus aplicaciones y beneficios, así como el desarrollo de un prototipo utilizando Arduino y servomotores.

Objetivos específicos.

- Analizar la evolución histórica de los brazos robóticos y las leyes que rigen su comportamiento.
- Examinar las principales aplicaciones y beneficios de los brazos robóticos en diversos ámbitos.
- Detallar el proceso de diseño, construcción y programación de un prototipo de brazo robótico utilizando Arduino y servomotores.
- Proporcionar un panorama completo y contextualizado sobre el campo de la robótica a partir de la información presentada en el informe.

Metodología de búsqueda de la información.

Para el desarrollo de un prototipo de brazo robótico utilizando Arduino y servomotores, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de información digital siguiendo una metodología estructurada:

- **Revisión de documentación oficial de Arduino.** Se consultaron los manuales y tutoriales en el sitio web oficial de Arduino para comprender las capacidades de la placa Arduino Uno y las instrucciones de programación. Se exploraron los foros y comunidades en línea de Arduino en busca de ejemplos y guías de proyectos con servomotores.
- **Búsqueda de información sobre servomotores.** Se realizaron búsquedas en bases de datos especializadas y motores de búsqueda web para encontrar artículos, tutoriales y guías sobre el funcionamiento e integración de servomotores con Arduino. Se revisaron páginas web de fabricantes y distribuidores de servomotores para obtener información técnica y de configuración.
- **Análisis de proyectos de brazos robóticos con Arduino.** Se exploraron repositorios en línea, como GitHub y GitLab, en busca de proyectos y tutoriales de desarrollo de brazos robóticos basados en Arduino y servomotores. Se examinaron en detalle los códigos fuente, diagramas y estrategias de implementación descritas en estos proyectos de referencia.
- **Consulta a comunidades en línea.** Se participó activamente en foros y grupos de discusión en línea relacionados con la robótica, la plataforma Arduino y el diseño de brazos robóticos. Se solicitaron recomendaciones, sugerencias y asesoramiento a los miembros de estas comunidades para optimizar el desarrollo del prototipo.

Esta metodología de búsqueda digital permitió recopilar una amplia y actualizada información sobre el desarrollo de brazos robóticos utilizando Arduino y servomotores, sentando las bases para la construcción y programación del prototipo.

2. Definición de Brazo Robótico.

Un brazo robótico es un dispositivo mecánico que puede imitar el funcionamiento de los brazos humanos y puede realizar tareas específicas de manera automatizada.

Estos brazos robóticos generalmente están compuestos por una base fija o móvil y una serie de segmentos articulados con formas similares a las de los brazos humanos, como los hombros, el codo y la muñeca.



Imagen 1. Brazo robótico SCORBOT ER 9 PRO. Fuente : (Intelitek, 2011).

Los actuadores de los brazos robóticos, que incluyen motores eléctricos o hidráulicos, les dan la fuerza y el movimiento necesarios para realizar las tareas encomendadas.

Además de los actuadores, los brazos robóticos también contienen sensores, como acelerómetros, y sensores de fuerza, que permiten al sistema de control vigilar y ajustar de manera precisa el movimiento y la posición.

3. Un poco de Historia.

Investigaciones sobre la teleoperación y los manipuladores maestro-esclavo llevaron al desarrollo de los primeros brazos robóticos en la década de 1950.

El futuro de los brazos robóticos se abrió paso cuando el ingeniero estadounidense George Devol patentó en 1962 el primer robot programable con brazo articulado.

En 1969, el ingeniero Joseph Engelberger, con la ayuda del "padre de la robótica", fundó Unimation, la primera empresa de robótica industrial. Presentó el primer robot industrial llamado Unimate en una línea de producción de General Motors.



Imagen 2. Joseph Engelberger, y George Devol (derecha) Robot Unimate (izquierda). Fuente : (Gaspardo, A., & Scalera, L. (2019).

La tecnología de los brazos robóticos experimentó un gran avance en las décadas de 1970 y 1980. Estos cambios incluyen controladores más atractivos, sensores de retroalimentación y mejoras en la velocidad y la precisión del movimiento.

4. Tipos de Brazos Robóticos.

- **Brazos Robóticos Cartesianos.** Son operadas en coordenadas rectangulares XYZ, y ejecutan movimientos lineales en tres ejes perpendiculares para posicionar herramientas o productos con gran precisión. Son las más comunes y eficientes debido a su estructura simple y fácil programaciones con alta precisión en movimientos lineales. Se utilizan para operaciones de pick and place, soldadura y ensamblaje en líneas de producción industrial.
- **Brazos Robóticos SKARA.** Sistemas de “muñeca” diseñados para movimientos rápidos y precisos en un plano horizontal con articulaciones en forma de L o T. Operan a altas velocidades y precisas, por lo que son ideales para aplicaciones de ensamblaje y manipulación.

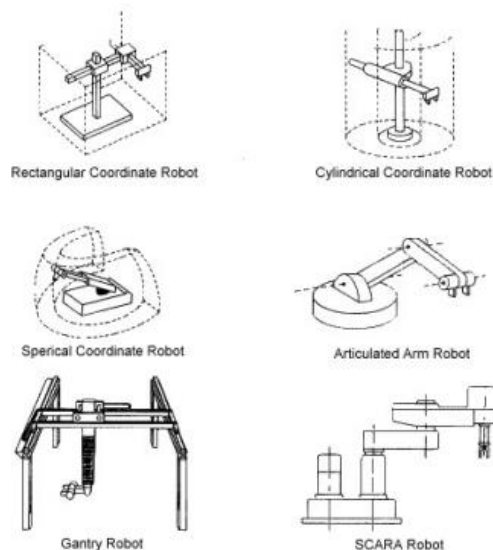


Imagen 3. Ejemplos de robots construidos con articulaciones de revolución y prismáticas. Fuente: Bordallo Vázquez, F. L. (2016).

5. Leyes de la Robótica.

Los principios de ética y seguridad en que se basan las leyes de la robótica son propuestos por el escritor de ciencia ficción Isaac Asimov a través de sus trabajos, principalmente en sus cuentos y novelas que conforman la serie del robot. Estas regulaciones están destinadas a controlar la conducta de los androides inteligentes además de garantizar la seguridad humana. Aunque inicialmente fueron concebidas como ficciones, han sido objeto de discusiones detalladas sobre inteligencia artificial y ética robótica.

Aquí están las tres leyes de la robótica según Asimov:

- **Ley Primera:** Un androide no hará daño a un ser humano ni permitirá por omisión que cualquier ser humano resulte herido.
- **Ley Segunda:** Un androide obedecerá todas las órdenes dadas por los seres humanos a excepción de aquellos casos donde estas órdenes vayan en contra de la Ley Primera.
- **Ley Tercera:** Un androide no debe permitir que su existencia sea puesta en peligro excepto cuando esto entre en conflicto con al menos una de las dos primeras leyes.

Estas normativas sirven como un marco teórico para regular y diseñar robots éticos en el mundo real. Si bien los sistemas robóticos actuales no operan estrictamente bajo estas leyes, constituyen un punto de referencia para desarrollar normativa y directrices que garantizan seguridad y ética del uso de IA e inteligencia artificial autónoma. Schlachter, A. (1997).

Los brazos robóticos son dispositivos enormemente versátiles y funcionales, y se utilizan en una variedad de industrias y entornos. Dada su naturaleza modular y habilidad para realizar tareas precisas y repetitivas, los brazos robóticos son indispensables en un número significativo de aplicaciones. En el caso de la industria manufacturera, los brazos robotizados forman parte integrante de las líneas de producción, donde ayudan en tareas

de ensamblaje, soldadura, pintura e incluso el manejo de materiales. Dado su milimetría y velocidad magníficas, los brazos robóticos mejoran la eficiencia operativa y la calidad del producto terminado, reduciendo los costos y los desperdicios. En el ámbito de la medicina, los brazos robóticos se han vuelto fundamentales en la cirugía de alta precisión. Los brazos robóticos permiten a los cirujanos realizar procedimientos intrincados con movimientos suaves y controlados, minimizando los errores y ayudando a los pacientes a recuperarse más rápidamente.

6. Construcción de robots.

6.1 Diseño estructural.

- Determine el número y tipo de articulaciones necesarias para alcanzar la movilidad deseada.
- Elija los materiales adecuados tales como el metal, plástico o compuesto teniendo en cuenta la ligereza, resistencia y durabilidad.
- Establecer las geometrías de los segmentos y longitudes de eslabones que lograrán un determinado volumen de trabajo.

6.2 Selección y configuración de actuadores (Servomotores).

- Escoger motores eléctricos, hidráulicos o neumáticos que suministrarán al brazo la fuerza y par requeridos para su movimiento.
- Determinar la potencia que se necesita, velocidad y rango de movimiento para cada junta.
- Conecte correctamente los actuadores a las secciones del brazo robótico.

6.3 Implementación del Sistema de control.

- Elaborar un sistema de control que posibilitará programar y monitorear los movimientos del brazo.
- Integrando sensores posicionales, velocidades, fuerzas e impulsos en su totalidad las cuales retro-alimentan al sistema.
- Diseñando algoritmos de control capaces de realizar con precisión trayectorias y tareas.

6.4 Diseño del Sistema alimentación y comunicacional.

- Seleccione fuentes energéticas como batería o sistemas externamente alimentables.
- Implantar un sistema que facilite la comunicación por medio de protocolos inalámbricos o cableados permitiendo así el control remoto además de ser integrable a sistemas externos.

6.5 Ensamblaje e integración.

- Instalar y unir juntos los diferentes componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos del brazo robótico.
- Asegurarse de que las uniones se han alineado correctamente y que las articulaciones son capaces de moverse adecuadamente.
- Diseñar el sistema de control, sensorización y comunicación para permitir una ejecución coordinada del brazo.

6.6 Pruebas y validaciones.

- Realizar pruebas de funcionamiento en diversos escenarios y tareas.
- Calibrar parámetros de control y realizar ajustes a fin de optimizar el rendimiento.
- Confirmar la satisfacción de los requisitos del diseño y los estándares pertinentes en cuanto a la seguridad.

Estos son los pasos generales sobre cómo construir brazos robóticos sin embargo, específicamente pueden variar dependiendo del uso o tecnologías utilizadas. Saquimux, C. B. (2005).

7. Cinemática Directa e Inversa.

Los robots y manipuladores industriales se caracterizan por el uso de la cinemática como área crucial de la ingeniería de sistemas. La cinemática directa e inversa son dos conceptos fundamentales que permiten determinar la posición y orientación de los elementos finales efectores de un sistema mecánico o robótico, en función de las posiciones de sus componentes.

7.1 Cinemática directa.

El cálculo de la ubicación y orientación del efector final de un robot en función de su conjunto de articulaciones y su configuración espacial se conoce como cinemática directa. En términos sencillos, responde a la pregunta: "¿dónde está el final del robot?", teniendo en cuenta que se encuentran sus articulaciones.

El uso de operaciones geométricas y matemáticas permite determinar cómo se combinan las juntas, como las rotativas o prismáticas, para localizar el efector final en el espacio tridimensional. Las transformaciones matriciales homogéneas o transformaciones de Denavit-hartenberg son los medios habituales para expresar la cinemática directa en un robot con múltiples grados de libertad.

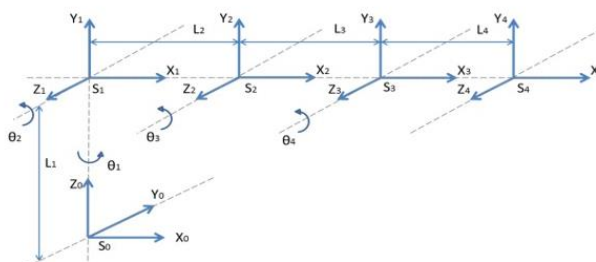


Imagen 4. Representación del brazo robótico en sistemas de coordenadas según algoritmo de Denavit-Hartenberg. Fuente:(Intelitek, 2011).

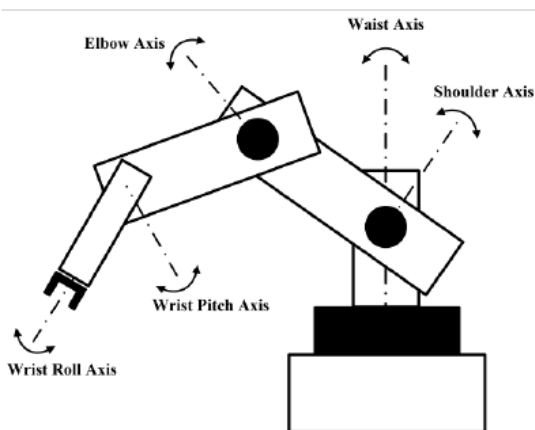


Imagen 5. Muhammad S. A. (2014) Manipulador robótico TQ MA3000 5 DOF Fuente :(Intelitek, 2011).

7.2 Cinemática inversa.

Por el contrario, la cinemática inversa es el proceso opuesto, donde las posiciones y ángulos requeridos de las articulaciones del robot se calculan con el objetivo espacial del efector final del robot para lograr la posición y orientación deseadas. El propósito es encontrar una solución a un conjunto de problemas matemáticos que pueden resultar desafiantes, particularmente en sistemas con limitaciones físicas y grados de libertad variables.

La aplicación directa de la cinemática inversa en el control de movimiento de robots y sistemas automatizados es un área importante donde los ingenieros pueden diseñar trayectorias de movimiento eficientes y precisas. Arias, J. L. R., & Fonseca, A. R. (2012).

8. Grados de libertad.

El grado de libertad de un sistema mecánico o robot es el número de movimientos independientes que puede realizar. La cinemática tiene una relación directa con el número de uniones en un sistema y las restricciones geométricas que se aplican.

Las tres articulaciones giratorias de un brazo robótico se rigen por tres grados de libertad, que afectan a su capacidad para moverse y orientarse en el espacio. Cárdenas, (2015).

9.Arduino Uno.

Arduino Uno es una placa de desarrollo muy conocida de código abierto basada en microcontrolador ATmega328P. Lanzado en 2010, se ha ocupado del lugar de uno de los dispositivos más utilizados en proyectos de electrónica y robótica a nivel de bricolaje, educación e incluso en aplicaciones industriales.

9.1 Elementos importantes de la placa de desarrollo Arduino Uno.

- **Microcontrolador ATmega328P.** Este componente es el cerebro del dispositivo y ejecuta las instrucciones y controla los periféricos conectados.
- **Pines de E/S digitales y analógicos.** La placa está equipada con 14 pines digitales y 6 analógicos, lo que permite la conexión de sensores, actuadores y módulos adicionales para la expansión de la funcionalidad.
- **Conector USB.** Permite la conexión y programación de la placa desde una computadora y, por lo tanto, hacerla accesible para su uso.

Pero también existe otra opción utilizando un conector de alimentación que permite alimentar la placa a través de una fuente externa, como un adaptador de corriente o una batería.

Un Oscilador de cristal, que proporciona la señal de reloj necesaria para la operación del microcontrolador.

Un Regulador de voltaje, que convierte la tensión de alimentación a los 5V (voltios) requeridos por el microcontrolador y los circuitos conectados.

Además, también incluye el entorno de desarrollo de Arduino, conocido como IDE de Arduino, un software gratuito y de código abierto que facilita la programación y la carga de sketches en la placa. Vila Castellá, I. (2018).

Su costo y la amplia base de usuarios y recursos disponibles han contribuido a la popularidad de Arduino Uno como una herramienta versátil y accesible para el prototipado y la implementación de proyectos de electrónica.

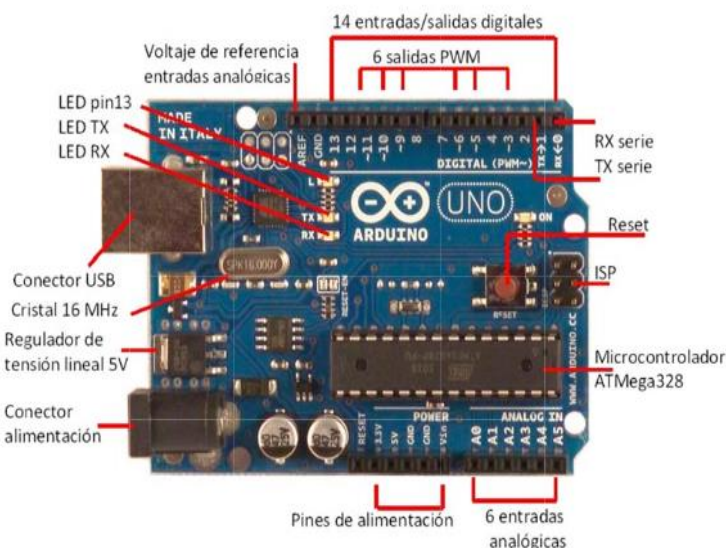


Imagen 6. Componentes de una placa Arduino Uno, Herranz, J. C. H. (2015).

9.2 El Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino.

El software de código abierto Arduino IDE es una herramienta para programar microcontroladores con la arquitectura de Arduino. Su objetivo principal es proporcionar un entorno de desarrollo amigable que facilite la escritura, la compilación y la carga de código en placas Arduino, como el conocido Arduino Uno.

Cada programa en Arduino consta de al menos dos funciones: `setup()` y `loop()`, que son

esenciales para iniciar el microcontrolador y ejecutar un ciclo continuo de instrucciones, respectivamente.

9.3 Características y Ventajas del IDE de Arduino.

- **Simplicidad de Uso.** Arduino IDE está diseñado para ser accesible incluso para aquellos nuevos en la programación. Ofrece una interfaz gráfica intuitiva que facilita la escritura y edición de código.
- **Soporte para Bibliotecas.** Dispone de una amplia biblioteca estándar y una comunidad activa que contribuye con bibliotecas adicionales, simplificando el acceso a funciones complejas como la comunicación serie, el control de motores y la gestión de sensores.
- **Depuración y Monitor Serie.** Arduino IDE permite la depuración básica a través de mensajes en el Monitor Serie, lo que facilita la visualización de datos y la detección de errores durante el desarrollo.
- **Compilación y Carga Sencilla.** El proceso de compilación y carga del código en la placa Arduino se realiza con solo un clic, agilizando el ciclo de desarrollo y pruebas.

La programación en lenguaje C/C++ utilizando el entorno de desarrollo integrado de Arduino es fundamental para los estudiantes y profesionales de la ingeniería de sistemas. Ofrece una plataforma accesible y poderosa para la creación de proyectos mecatrónicos y sistemas embebidos, promoviendo la innovación tecnológica y el aprendizaje práctico en el campo de la robótica y la automatización.

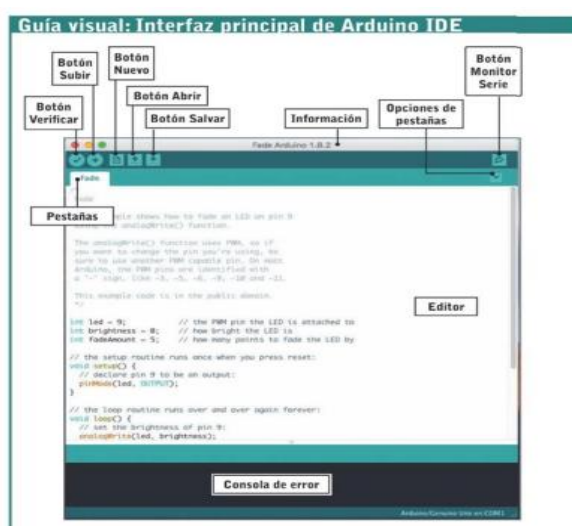


Imagen 7. Guía visual: Interfaz principal de Arduino Uno IDE.

Fuente: https://elhacker.info/manuales/Arduino/00286_arduino.pdf

```

1 1 // Blink
2 2 // Blink
3 3 // Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
4 4 //
5 5 //
6 6 //
7 7 // the setup function runs once when you press reset or power the board
8 8 //
9 9 void setup() {
10 10 // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
11 11 pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
12 12 }
13 13 //
14 14 // the loop function runs over and over again forever
15 15 void loop() {
16 16 digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
17 17 delay(1000); // wait for a second
18 18 digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
19 19 delay(1000); // wait for a second
20 20 }

```

Imagen 8. Partes iniciales de un sketch de Arduino Uno IDE, sección Loop y Setup.

Fuente: https://elhacker.info/manuales/Arduino/00286_arduino.pdf

10. Motor eléctrico.

Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica al hablar de la interacción de los campos magnéticos. Es uno de los componentes más básicos y comunes utilizados en diversas aplicaciones, desde electrodomésticos hasta sistemas industriales.

Los elementos clave de un motor eléctrico incluyen:

- **Estator**, que es la parte fija del motor que tiene los devanados o bobinas eléctricas que crean el campo magnético.
- **Rotor**, que es la parte móvil del motor, que gira dentro del campo magnético del estator y está compuesto por bobinas o imanes permanentes.
- **Eje**. Es un componente que transmite la fuerza y el movimiento rotacional del rotor hacia el exterior. Por lo general, cada motor tiene un eje que sale del medio de su carcasa.
- **Carcasa**. Es el marco o estructura de soporte del motor que alberga y protege los otros componentes. El motor se monta a menudo por medio de la carcasa. El motor eléctrico opera con base en el campo magnético generado en el estator y en el campo magnético del rotor. Cuando al devanado en la armadura se le aplica una corriente eléctrica, se produce un campo magnético giratorio que interactúa con el campo magnético del rotor, haciéndolo girar.

El principio de funcionamiento de un motor eléctrico se basa en la interacción entre el campo magnético generado en el estator y el campo magnético del rotor. Cuando se

aplica una corriente eléctrica a los devanados del estator, se crea un campo magnético giratorio que interactúa con el campo magnético del rotor, provocando que este último gire.

Los motores eléctricos se clasifican en diferentes tipos, como motores de corriente continua (DC), motores de corriente alterna (AC), motores de paso, motores servo, entre otros, cada uno con características y aplicaciones específicas. Algunas de las principales características de los motores eléctricos.

10.1 Servomotor.

El servomotor SG90 es un pequeño y popular actuador rotativo ampliamente utilizado en proyectos de robótica, modelismo y automatización. Este dispositivo combina un motor eléctrico con un sistema de control y retroalimentación, lo que le permite posicionarse con precisión y mantener una posición específica.

Algunas de las características clave del servomotor SG90 son:

- **Tamaño compacto:** Mide alrededor de 22,2 x 12,2 x 27,4 mm, lo que lo hace ideal para usar en aplicaciones donde se necesitan dispositivos de tamaño compacto.
- **Rango de rotación:** El servo puede girar 180 grados, 90 grados en sentido horario y 90 grados en sentido antihorario.210355.
- **Torque de salida:** Genera un torque máximo de 1.8 kg-cm, lo que le permite mover cargas moderadas.
- **Control por ancho de pulso (PWM):** El servomotor se controla mediante señales PWM, lo que permite ajustar con precisión la posición del eje.
- **Alimentación:** Funciona con un voltaje de alimentación de 4.8V a 6V, y consume parcialmente entre 5 a 10 mA en reposo.
- **Interfaz de conexión:** Cuenta con un cable de tres hilos (alimentación, tierra y señal de control) que facilita su integración con placas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi, entre otras.

El servomotor SG90 se utiliza combinado en una amplia gama de aplicaciones, como brazos robóticos, mecanismos de elevación, control de superficies de vuelo en aeromodelos, y diversas aplicaciones de automatización y control de movimiento a pequeña escala.

Su combinación de tamaño compacto, torque adecuado y facilidad de control hacen

del servomotor SG90 un componente muy popular y versátil en el mundo de la electrónica y la robótica.



Imagen 9. Servomotor SG90. Barrientos, D. R., Castillo, M. M. M., Arias, J. M. G., Graciadas, C. A. H., Aguilar, G. G., & Espínola, I. S. (2019).

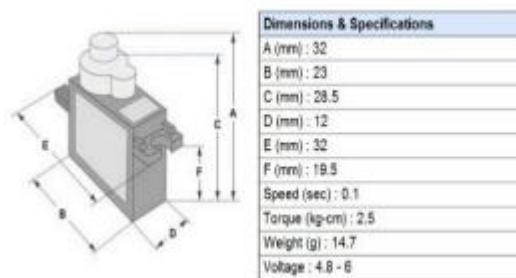


Imagen 10. Servomotor SG90 Características Técnicas. Barrientos, D. R., Castillo, M. M. M., Arias, J. M. G., Graciadas, C. A. H., Aguilar, G. G., & Espínola, I. S. (2019).

10.2 Funcionamiento y Control de Servomotores mediante Señales PWM.

La técnica de modulación por ancho de pulso para el control de servomotores es esencial en aplicaciones que requieren precisión y repetibilidad en el posicionamiento angular, como en robots, sistemas de control de vehículos, cámaras PTZ (Pan-Tilt-Zoom) y más. Permite una integración eficiente de actuadores en sistemas mecatrónicos complejos.

La modulación por ancho de pulso es una técnica utilizada para controlar la cantidad de energía que se envía a un dispositivo. En el caso de los servomotores, la señal PWM se utiliza para determinar la posición del eje del motor. La señal consiste en una serie de pulsos eléctricos donde la duración del pulso (ancho de pulso) determina el ángulo de posición del servo.

- Un pulso corto corresponde a un ángulo pequeño (por ejemplo, 0 grados).
- Un pulso largo corresponde a un ángulo grande (por ejemplo, 180 grados).

10.3 Control de Servomotores con PWM

El control de servomotores mediante señales PWM se realiza típicamente con microcontroladores como Arduino, que generan pulsos PWM precisos. Para controlar un servo:

- **Configuración del Microcontrolador.** Se establece un pin digital para generar señales PWM mediante la biblioteca adecuada (por ejemplo, Servo.h en Arduino).
- **Programación.** Se utiliza el IDE de Arduino para escribir un código que especifique el ángulo deseado del servo utilizando la función write(). Esta función convierte el ángulo en un ancho de pulso adecuado y envía la señal PWM al servo.
- **Calibración y Ajuste.** A través de pruebas iterativas, se ajustan los valores de ancho de pulso en el código para obtener la posición precisa deseada del servo.

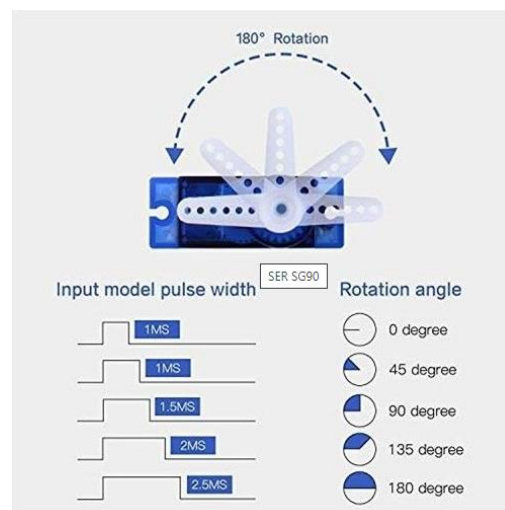


Imagen 11. Calibración de servomotor con PWM y sus ángulos de rotación del eje.

Fuente: <https://ssdielect.com/robotica/1043-ser-sg90.html>

11. Informe de actividad.

11.1 Construcción Física del Prototipo.

- Se identifican los 4 servos/motores que controlan el brazo robótico:

- Base: Controla la rotación de la base del brazo
- Hombro: Controla el movimiento del "hombro" del brazo
- Codo: Controla el movimiento del "codo" del brazo
- Mano: Controla la apertura y cierre de la pinza

➤ Se describe la funcionalidad de cada servo/motor:

- Base: Permite girar todo el brazo en la base
- Hombro: Controla el movimiento de elevación/descenso del brazo
- Codo: Controla el movimiento de flexión/extensión del codo
- Mano: Abre y cierra la pinza del extremo del brazo

Se proporcionan imágenes que muestran la ubicación de cada uno de los servos en el brazo robótico y el ensamblado de sus piezas. (Anexo)

Se realizó las conexiones de estos con placa Arduino uno, utilizando una protoboard y cables adaptador macho; se realizan pruebas de código para controlar desde el ordenador un brazo robótico. (Anexo)

11.2 Programación del Controlador Arduino Uno.

Se realiza código para calibrar el rango del ángulo de movimiento y posicionamiento de los servomotores para cumplir las funciones preestablecidas en el código desarrollado en el IDE de Arduino. (Anexo)

Conclusiones

Este proyecto hizo posible la implementación práctica de las teorías, que utilizaron los conocimientos de los módulos adquiridos en cursos de robótica, electrónica y programación dados por el tutor . La incorporación de estos conceptos dentro del proyecto físico enfatizó la jerarquía de la teoría en la ingeniería de sistemas para la resolución de problemas prácticos y complejos.

El diseño del brazo robótico y la programación del Arduino Uno promovieron el desarrollo de habilidades técnicas y prácticas, lo que facilitó el desarrollo de habilidades técnicas transcendentales y ganar más experiencia como la habilidad en diseño mecánico, manipulación de componentes electrónicos y escritura de códigos de forma adecuada y eficiente.

La gestión metódica de proyectos que abarcó las etapas de diseño, creación y desarrollo demostró la importancia de la sistemática de desarrollo.

Referencias.

Intelitek (2011) Manual del usuario – Scorbot ER 9 Pro. Recuperado en Agosto de 2019. Ruta de enlace: <http://www.intelitekdownloads.com/Manuals/Robotics/Spanish/Scorbot-ER-9Pro-ES-B.pdf>

Gasparetto, A., & Scalera, L. (2019). Breve historia de la robótica industrial en el siglo XX. *Avances en Estudios Históricos*, 8, 24-35.

Bordallo Vázquez, F. L. (2016). Diseño e implementación de un brazo robot SCARA de tres grados de libertad.

Schlachter, A. (1997). Isaac Asimov, Creador de mundos.

Arias, J. L. R., & Fonseca, A. R. (2012). Modelamiento matemático de la cinemática directa e inversa de un robot manipulador de tres grados de libertad. *Ingeniería solidaria*, 8(15), 46-52.

Cárdenas, M. M., Barrios, P. P., Moreno, K. M. G., Arismendy, J. F. S., & Ávila, M. C. O. (2015). Diseño y Construcción del Prototipo de un Brazo Robótico con Tres Grados de Libertad, como Objeto de Estudio. *Ingeniare*, (18), 87-94.

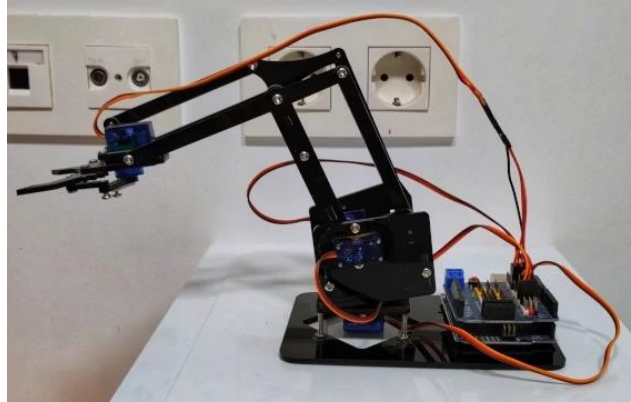
Vila Castellá, I. (2018). Diseño y desarrollo del prototipo de un brazo robótico articulado antropomórfico controlado mediante un microcontrolador Arduino Mega 2560 (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Anexos

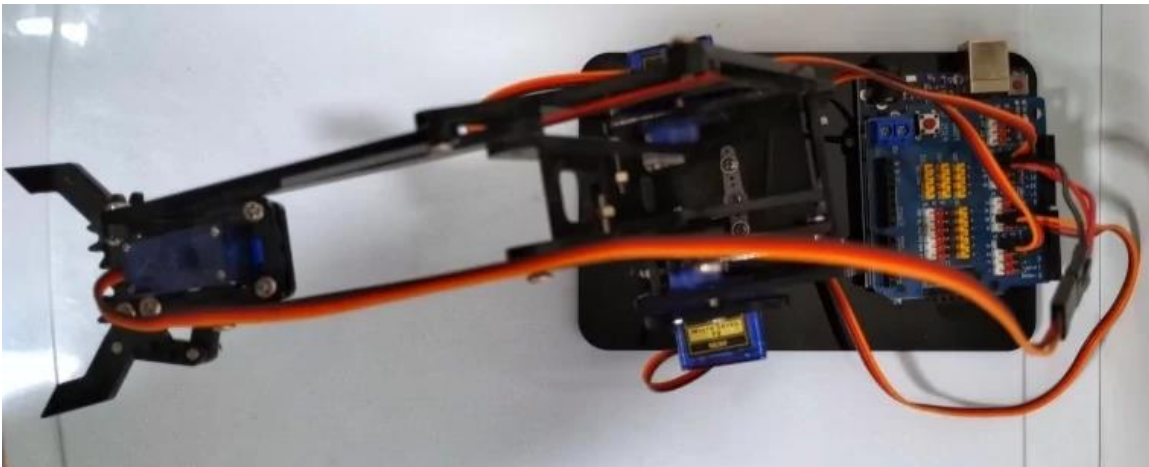
Anexo 1. Vistas Diagrama de algunos componentes del brazo robótico.



Partes en acrílico del Brazo Robot Robótico Arduino Chasis Incluye Servos Sg90

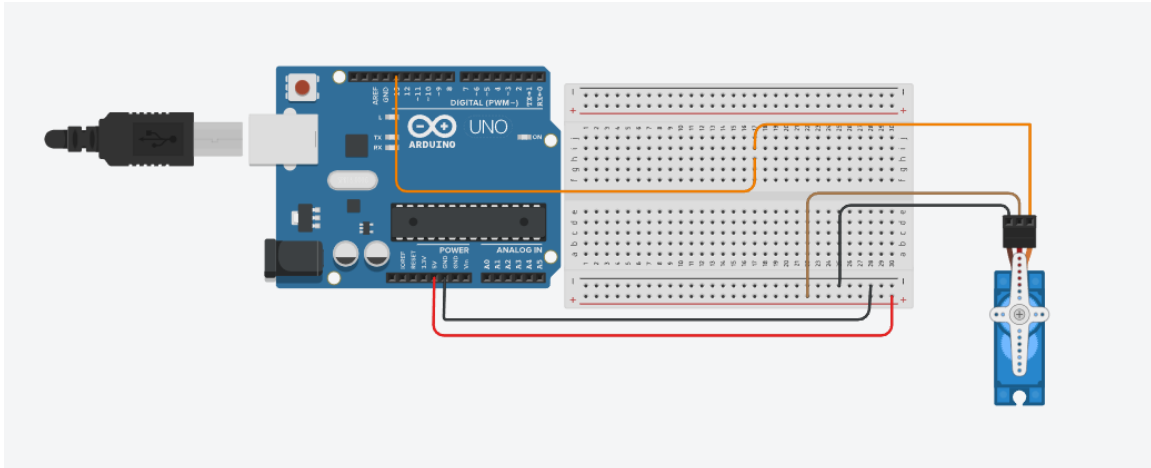
Anexo 2. Vistas Diagrama del brazo robótico ensamblado.

Vista lateral del Brazo Robótico ensamblado y armado

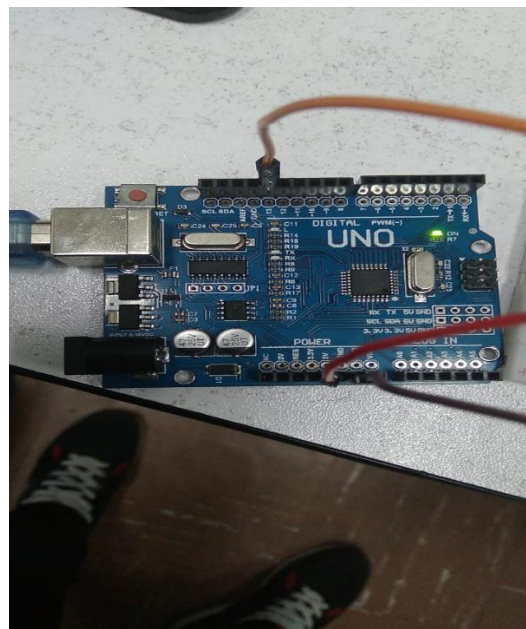


Vista Superior del Brazo Robótico ensamblado y armado

Anexo 3. Diagrama de Conexiones.



Vista de conexiones del circuito de los componentes Arduino Uno con la Protoboard y el Servomotor dentro del simulador Tinkercad

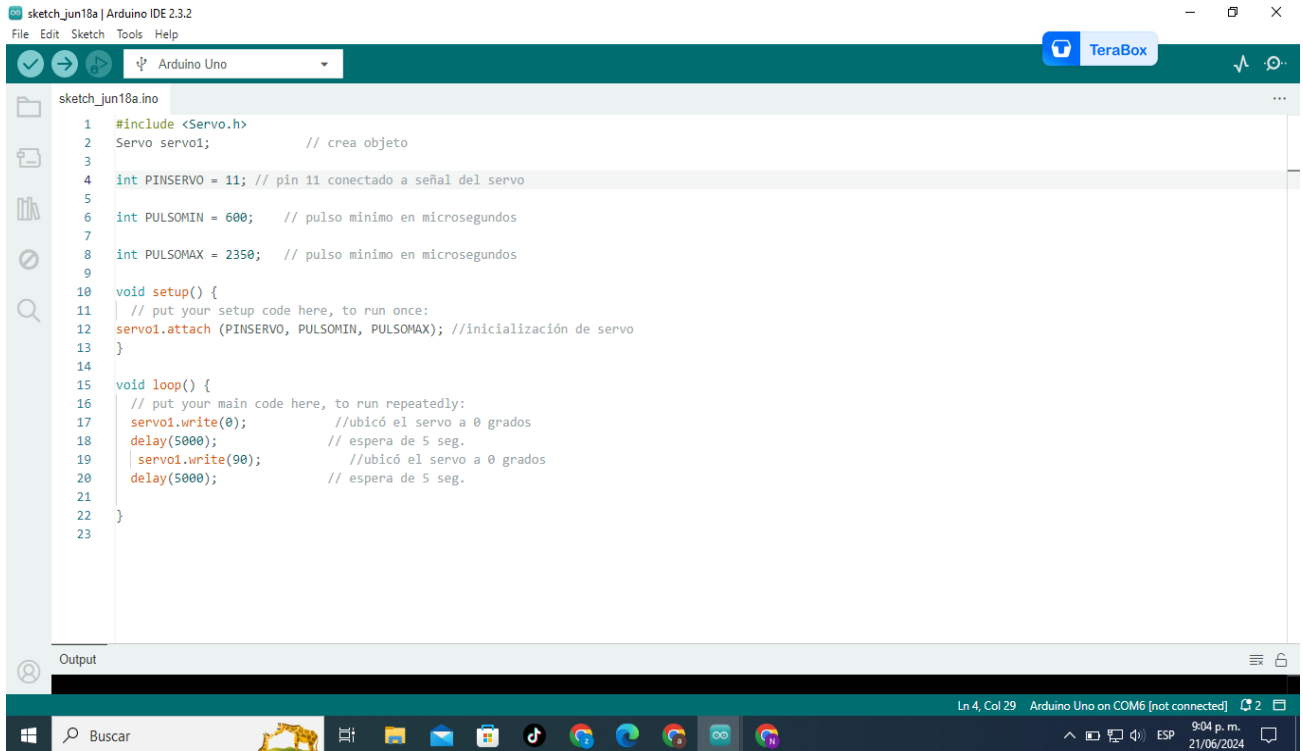


Vista de la conexión de la placa Arduino Uno para programarla y con los componentes debidamente conectados.

Anexo 4. Lista de Materiales.

- 3 Laminas de Acrílico que contienen las piezas para el ensamble.
- 4 micro servos SG90
- Arduino UNO
- Cable USB de Programación
- Protoboard mediana
- Juego de jumpers x 30 unidades macho macho 10 cm
- **Tornillería y tuercas:**
 - Tornillo Cantidad
 - 6 mm 10
 - 8 mm 15
 - 10 mm 6
 - 12 mm 1
 - 10 mm Avellanado 8
 - Tuercas 6
- 4 x Separadores de Teflon
- Guía de ensamble
(https://issuu.com/germanbejaranomartin/docs/brazo_robotico_instrucciones_2019)

Anexo 5. Ejemplo del código o algoritmos de funcionamiento.



```
sketch_jun18a.ino
1  #include <Servo.h>
2  Servo servo1;          // crea objeto
3
4  int PINSERVO = 11; // pin 11 conectado a señal del servo
5
6  int PULSOMIN = 600;  // pulso mínimo en microsegundos
7
8  int PULSOMAX = 2350; // pulso mínimo en microsegundos
9
10 void setup() {
11   // put your setup code here, to run once:
12   servo1.attach (PINSERVO, PULSOMIN, PULSOMAX); //inicialización de servo
13 }
14
15 void loop() {
16   // put your main code here, to run repeatedly:
17   servo1.write(0);          //ubicó el servo a 0 grados
18   delay(5000);             // espera de 5 seg.
19   | servo1.write(90);      //ubicó el servo a 0 grados
20   delay(5000);             // espera de 5 seg.
21
22 }
23
```

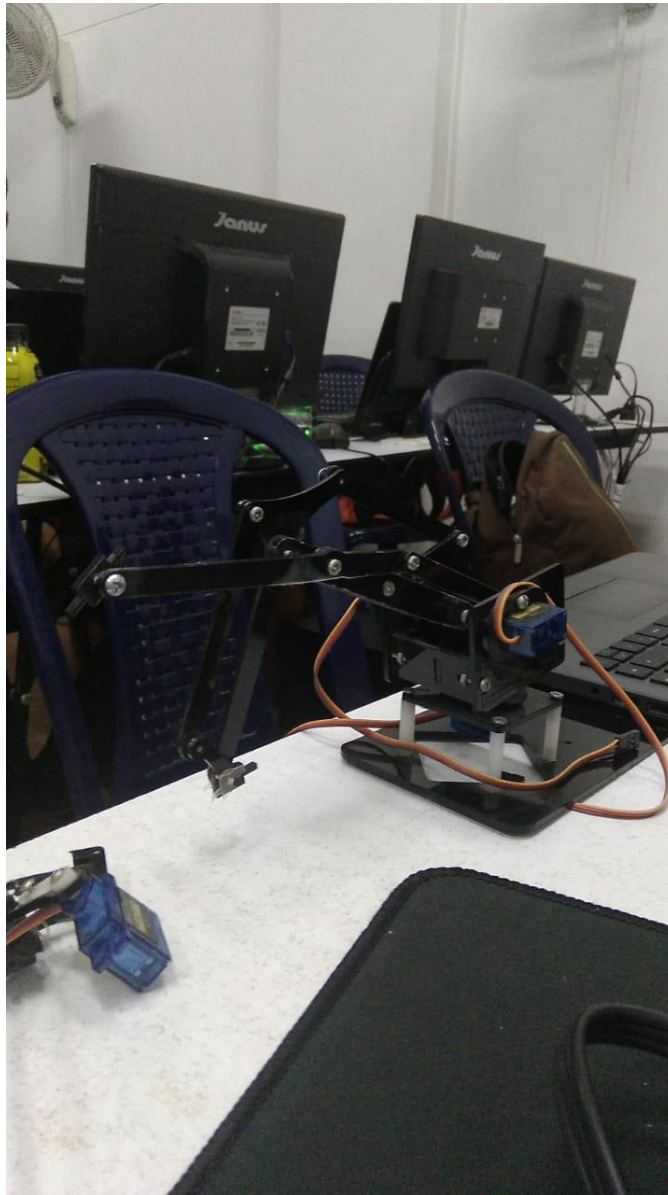
Ln 4, Col 29 Arduino Uno on COM6 [not connected]

9:04 p. m.
21/06/2024

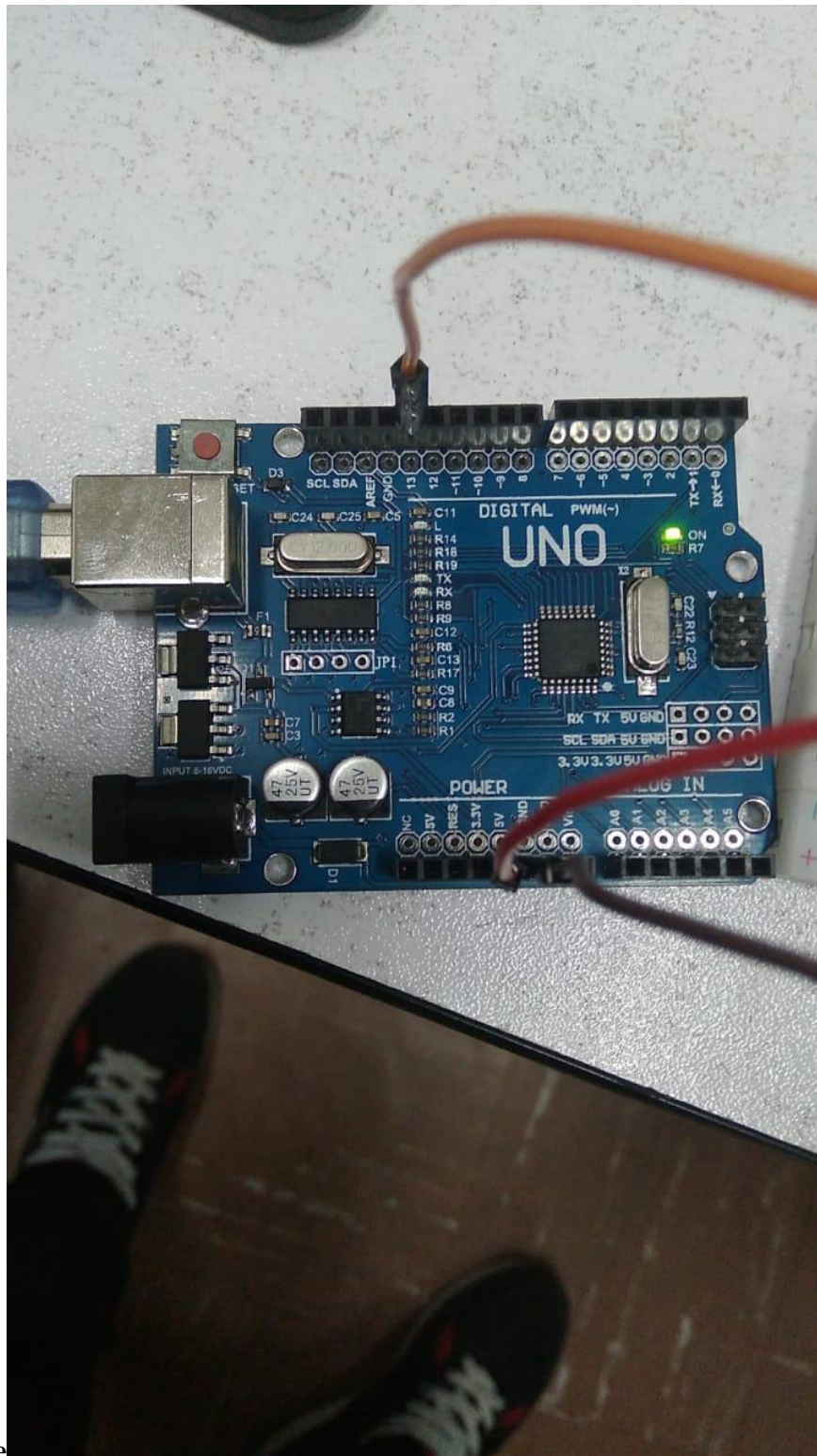
Ejemplo del código aplicado dentro del IDE Arduino para controlar los servomotores SG90

Anexo 6. Evidencia Fotográfica de práctica.

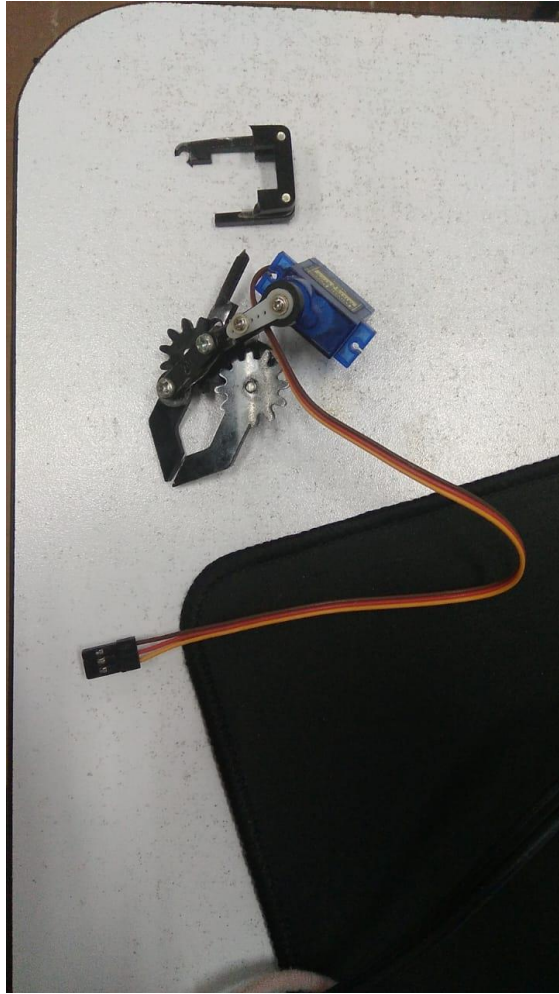
Evidencia del proceso de planeación, desarrollo y prueba del proyecto



Evidencia práctica de prueba de los servomotores SG90 en las articulaciones del brazo robótico



Evidencia práctica probando la conexión de la placa Arduino por el cable USB a la laptop



Evidencia práctica ensablado de la pinza del brazo robótico