



Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte

Departamento de diseño

**Trabajo Recepcional para Obtener el Grado de Maestro en
Diseño y Desarrollo del Producto**

**“Caso de estudio para el diseño de un brazo robótico funcional,
fabricado de una sola impresión mediante manufactura aditiva”**

Maestría en diseño y desarrollo de producto

Presentado por:

Samuel Burgos Fausto

Dirigido por:

Dr. Cesar Omar Balderrama Armendáriz

Cd. Juárez Chihuahua, 3 de noviembre del 2025

índice

1.	Síntesis.....	5
2.	Introducción	6
3.	Marco Contextual	7
3.1	Justificación.....	7
4.	Planteamiento del problema	13
5.	Objetivo	14
5.1	Objetivo general	14
5.2	Objetivos específicos	14
6.	Marco conceptual	15
7.	Marco Operativo	15
7.1	Metodo	15
7.1.1	Identificar áreas de oportunidad del nuevo brazo de robot	17
7.1.3	Diseño y valoración de articulaciones integradas en brazos	18
7.1.4	Selección de propuestas de diseño para manufactura aditiva	19
7.1.5	Diseño de brazo robótico en una sola impresión	20
8	Desarrollo y resultados	20
8.1	Identificar áreas de oportunidad del nuevo brazo de robot	20
8.2	Selección de rodamiento impreso en 3D para articulaciones	21
8.3	Diseño y valoración de articulaciones integradas en brazos	24
8.4	Selección de propuestas de diseño para la manufactura aditiva	26
8.5	Diseño de propuestas	26
8.6	Selección de propuesta	33
8.7	Pruebas de impresión	34
9.	Conclucion.....	40
10.	Biografía	43

Figuras

Figura 1. Brazo robótico programable	9
Figura 2: Robot cartesiano	10
Figura 3. Robot esférico o polar	11
Figura 4: Robot articulado	11
Figura 5: Robot cilíndrico	12
Figura 6: Robot SCARA	12
Fuente Educa Madrid	12
Figura 7: Robot paralelo	13
Fuente HAL archives 2018	13
Figura 8. Método utilizado	16
Figura 9. Rodamientos impresos en 3d.....	22
Figura 10. Equipo de medición con acelerómetro para vibración en rodamientos	22
Figura 11. Rodamiento helicoidal	23
Figura 12. Etapa creativa collage de brazos robóticos impresos en 3d y metálicos	26
Figura 13. Primera propuesta de diseño en vistas generales.....	27
Figura 16. Propuesta de diseño 1	29
Figura 17. Vista lateral izquierda del brazo en paredes traslúcida	29
Figura 18. Asignación de parámetros impresión y optimización de espacio	30
Figura 19. Propuesta de diseño 2	31
Figura 20. Vista lateral izquierda del brazo en paredes traslúcida	31
Figura 21. Asignación de parámetros impresión y optimización de espacio	32
Figura 22 Propuesta seleccionada	34
Figura 23 verificación de ensamble servomotor en impresión 3d.....	35
Figura 24 verificación de ensamble mariposa de servomotor en impresión 3d	36
Figura 25 Prueba de impresión 3d de rodamiento Hemmett.....	36
Figura 26 Prueba impresión con motor	37
Figura 27 Modelado de función motor – articulación en base a engrane	37
Figura 28 impresión de articulación funcional en base a engranes.....	38
Figura 29. Una sección del brazo robótico impreso en ASA y soporte SR-30 (soluble)	39
Figura 30. sección de brazo robótico con articulación integrada impreso	40

Gráficas

Gráfica 1. Grafica comparativa de prueba vibracion en rodamientos plasticos 23

Tablas

Tabla 1. Tabla comparativa de resultados en prueba de vibración rodamientos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. Listado de necesidades y requerimientos de diseño	24
Tabla 3. QFD requerimientos de diseño	25
Tabla 4. Matriz de pugh para selección de propuesta	33

1. Síntesis

La tecnología de manufactura aditiva, especialmente a través de la impresión 3D, ha transformado el diseño de brazos robóticos funcionales al permitir la creación de estructuras complejas en una sola impresión. Esta metodología ha proporcionado nuevas oportunidades para la fabricación de componentes con geometrías optimizadas que serían difíciles o imposibles de obtener mediante métodos tradicionales de manufactura sustractiva. (Gibson, Rosen & Stucker, 2021).

La manufactura aditiva reduce significativamente los costos y el tiempo de producción al eliminar la necesidad de ensamblar múltiples piezas. Además, la capacidad de personalizar los diseños permite adaptar los brazos robóticos a diferentes aplicaciones industriales y mejorar la precisión en sus movimientos. Este enfoque también facilita la experimentación con prototipos, permitiendo realizar ajustes rápidos sin tener que modificar moldes o herramientas especializadas. (Ford & Despeisse, 2016).

Los avances en materiales, como plásticos reforzados, resinas de ingeniería y compuestos metálicos, han permitido que los brazos robóticos impresos sean más resistentes y funcionales. Gracias a estos materiales, es posible fabricar componentes que soporten mayores esfuerzos y ciclos de operación prolongados. (Ngo et al., 2018).

Otro aspecto importante es la integración de componentes electrónicos y sistemas de actuadores dentro de las piezas impresas. Actualmente, se están desarrollando técnicas para incorporar conductores eléctricos y sensores directamente en estructuras impresas, lo que reducirá aún más la cantidad de ensamblaje y permitirá la creación de brazos robóticos más compactos y eficientes (Truby & Lewis, 2016). Este avance también contribuirá al desarrollo de robots colaborativos más livianos y seguros para interactuar con humanos.

Asimismo, el uso de herramientas de simulación digital y análisis por elementos finitos ha permitido optimizar las estructuras antes de la impresión, reduciendo el desperdicio de material y aumentando la confiabilidad del producto final. Estas simulaciones facilitan la identificación de zonas críticas donde se requiere refuerzo, mejorando el desempeño mecánico sin aumentar significativamente el peso (Zhang, Bernard & Perry, 2020).

En resumen, la manufactura aditiva está abriendo nuevas posibilidades para el diseño y fabricación de brazos robóticos de alto rendimiento, con un enfoque en la eficiencia de recursos y personalización. A medida que los materiales y las técnicas de impresión continúen mejorando, es probable que esta tecnología se integre aún más en procesos industriales, permitiendo la creación de robots más

avanzados, accesibles y adaptados a las necesidades específicas de cada sector productivo. Este proyecto, desarrollado en el laboratorio de prototipado CAPA, representa un ejemplo directo de las actividades que se llevan a cabo en dicho centro, donde se fomenta la aplicación práctica de la manufactura aditiva para el diseño y construcción de sistemas mecatrónicos funcionales. La elaboración de este brazo robótico demuestra cómo el uso de tecnologías de impresión 3D no solo impulsa la innovación, sino que también fortalece las capacidades técnicas y formativas dentro del laboratorio.

2. Introducción

Durante la última década, se ha dedicado un importante esfuerzo de investigación al desarrollo de la manufactura aditiva (MA) basada en la extrusión de polímeros y compuestos de matriz polimérica para diversas aplicaciones, tanto industriales como académicas (Ngo et al., 2018). La manufactura aditiva permite a los diseñadores desarrollar productos con un alto grado de libertad geométrica y personalización, lo que facilita la creación de piezas complejas y optimizadas que serían difíciles de producir mediante métodos tradicionales (Gibson, Rosen & Stucker, 2021).

La fabricación de componentes robóticos mediante la manufactura aditiva (MA) es cada vez más común. La MA presenta ventajas ante otras tecnologías, ya que permite la personalización en el diseño de objetos y representa un nuevo camino en términos de eficiencia energética, costo efectivo y reducción de tiempo en los procesos de producción (Ford & Despeisse, 2016). Además, esta tecnología puede permitir que sistemas de articulaciones múltiples sean fabricados en una sola etapa, sin necesidad de ensamblaje posterior, manteniendo la movilidad y funcionalidad requerida para aplicaciones robóticas (Zhang, Bernard & Perry, 2020). El diseño personalizado de un brazo robótico fabricado mediante MA lo posiciona como una alternativa de bajo costo frente a soluciones comerciales tradicionales (Gibson, Rosen & Stucker, 2021). Asimismo, este enfoque ha sido aplicado en el laboratorio de prototipado CAPA, donde se desarrollan proyectos orientados a la experimentación y validación de soluciones tecnológicas mediante impresión 3D. En este contexto, la fabricación del brazo robótico no solo demuestra la viabilidad de la manufactura aditiva en el ámbito mecatrónico, sino que también refleja las capacidades del centro para fomentar el diseño funcional, la iteración rápida y la innovación en la creación de componentes robóticos accesibles y adaptados a necesidades específicas.

En algunos casos, los materiales poliméricos están reemplazando a los componentes metálicos en aplicaciones de ingeniería donde ocurren lubricación marginal, condiciones secas, ambientes corrosivos y abrasivos, y situaciones que requieren evitar la transferencia de calor o magnetismo, operando incluso en temperaturas extremas de hasta $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hedayati & Daneshmand, 2019). Además, debido a su elasticidad, los polímeros pueden soportar cargas de impacto, desalineación del eje y flexión mejor que los metales, lo que los hace adecuados para mecanismos con movimiento dinámico y repetitivo (Kalpakjian & Schmid, 2014). Otra ventaja es que los plásticos poseen un peso significativamente menor en comparación con los metales, ofreciendo al mismo tiempo un funcionamiento más silencioso en aplicaciones mecánicas (Gibson, Rosen & Stucker, 2021). Asimismo, los rodamientos fabricados con polímeros presentan beneficios adicionales, como la ausencia de lubricación y mantenimiento, alta resistencia a la corrosión, inexistencia de propiedades magnéticas debido a la ausencia de componentes metálicos, compatibilidad con rangos térmicos entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, buen desempeño en entornos exigentes, facilidad para lavado y bajo peso (Igus GmbH, 2022). El uso de las tecnologías de manufactura aditiva (MA) en conjunto con materiales plásticos reforzados, metales y cerámicos genera un gran potencial para el diseño de elementos mecánicos integrados en una sola impresión, permitiendo configuraciones complejas y funcionales que antes requerían múltiples procesos de fabricación (Ngo et al., 2018). Este tipo de integración resulta especialmente útil en aplicaciones donde un robot convencional presenta dificultades de operación debido a condiciones adversas del entorno, altas exigencias estructurales o limitaciones en la disponibilidad de piezas de reemplazo (Zhang, Bernard & Perry, 2020).

3. Marco Contextual

3.1 Justificación

La manufactura aditiva (MA) abre un nuevo campo para el diseño personalizado de piezas y productos, esto gracias a sus diversas capacidades de manipulación en el modelado, así como a su amplia gama de materiales resistentes. Esta tecnología permite crear geometrías complejas que serían difíciles o imposibles de fabricar mediante métodos convencionales, permitiendo adaptaciones específicas según las necesidades funcionales de cada componente.

Los polímeros utilizados en MA presentan una resistencia mecánica y térmica considerablemente alta, además de una elasticidad adecuada para soportar esfuerzos dinámicos. De esta manera, pueden ser muy resistentes y, al mismo tiempo, significativamente más ligeros que ciertos metales, lo cual es una ventaja

importante cuando se busca reducir peso en sistemas robóticos o mecanismos móviles.

En el caso de los rodamientos utilizados en articulaciones robóticas, los plásticos reforzados resultan ser una alternativa eficiente frente a los rodamientos metálicos tradicionales. A diferencia de estos últimos, los rodamientos poliméricos son libres de lubricación, generan menor ruido durante la operación, tienen mayor tolerancia a ambientes secos o corrosivos, y presentan menor peso total, lo que contribuye a disminuir la inercia en el movimiento de la articulación. Además, su durabilidad y ausencia de mantenimiento los posiciona como una solución óptima en aplicaciones con alta humedad, exposición química o variaciones extremas de temperatura.

Una de las ventajas más importantes de la impresión 3D en el desarrollo de brazos robóticos es la posibilidad de fabricar componentes en sitio. El proceso de fabricación directa permite producir diseños personalizados con amplias opciones de geometría, facilitando el desarrollo de elementos complejos a bajos costos y con tiempos de producción reducidos. Esto contrasta con los brazos robóticos comerciales, cuyo costo puede ascender a miles de dólares y cuyos tiempos de entrega pueden extenderse por semanas o incluso meses.

El desarrollo del presente proyecto de titulación, centrado en el diseño y optimización de un brazo robótico mediante tecnologías de impresión 3D, se apoya directamente en la infraestructura, equipos y conocimientos especializados del laboratorio CAPA. Este espacio proporciona los recursos técnicos y metodológicos necesarios para la ejecución de todas las etapas del proceso, desde la conceptualización del diseño hasta la fabricación del prototipo funcional.

Durante la fase de diseño, el laboratorio ofrece acceso a software de modelado tridimensional de alta precisión, lo cual permite generar modelos digitales detallados del brazo robótico y realizar ajustes geométricos o estructurales antes de la fabricación. Este proceso facilita la identificación de posibles áreas de mejora en la ergonomía, movilidad y eficiencia mecánica del sistema.

En la etapa de fabricación, CAPA cuenta con equipos de manufactura aditiva basados en la tecnología Fused Deposition Modeling (FDM), que permiten materializar los componentes del brazo robótico en termoplásticos de ingeniería, tales como PLA, ABS hasta fibra de carbono, PEEK, ULTEM etc. Esta tecnología se seleccionó por su viabilidad técnica, bajo costo y capacidad para producir piezas modulares, lo cual resulta ideal para un sistema robótico adaptable y funcional.

Asimismo, el laboratorio dispone de equipos complementarios de manufactura sustractiva, termoformado, extrucción de nuevos filamentos y moldeo, los cuales pueden emplearse para la postproducción, acabado y ensamble de las piezas impresas, asegurando una integración estructural adecuada. De igual manera, CAPA proporciona apoyo técnico en la calibración, validación y pruebas funcionales

del prototipo, permitiendo evaluar el comportamiento mecánico y la precisión de movimiento del brazo robótico bajo condiciones controladas.

La asesoría del personal especializado del laboratorio contribuye de manera significativa en la toma de decisiones técnicas, tales como la selección de materiales, el tipo de relleno estructural, la orientación de impresión y la optimización de los parámetros de manufactura. Todo ello garantiza que el proceso de diseño no solo cumpla con los requerimientos funcionales del sistema, sino que también promueva la eficiencia, sostenibilidad y reducción de costos de producción.

De esta manera, el laboratorio CAPA se convierte en un entorno integral de desarrollo, donde convergen la investigación, la experimentación y la innovación tecnológica. Gracias a su infraestructura y experiencia, se facilita la creación de un brazo robótico optimizado, que responde a los objetivos del proyecto en cuanto a diseño, funcionalidad y aplicabilidad práctica dentro del campo de la robótica educativa e industrial.

La construcción de este brazo robótico representa claramente las actividades que se realizan en el centro, donde estudiantes y colaboradores trabajan en el diseño, modelado, impresión y validación de dispositivos mecatrónicos. Este proyecto demuestra la capacidad del laboratorio para generar prototipos funcionales de manera eficiente, accesible y adaptada a necesidades reales, reforzando su papel como espacio formativo y de innovación tecnológica.

3.2 Tipos de brazos robóticos

Un brazo robótico (figura 1) es un brazo mecánico que se puede programar, tiene la función de realizar tareas parecidas a las humanas, pero mucho más ágiles y precisas. Teniendo como ventajas que la velocidad en sus procesos es mucho más meticulosa, exactitud, puede repetir un movimiento miles de veces consecutivas sin cansancio, requieren poco espacio, aumenta el rendimiento de la producción gracias a la automatización, evita bajas laborales por lesiones o enfermedades en los trabajadores, mejoran considerablemente la calidad estándar del producto, pueden llevar a cabo tareas peligrosas o de alto riesgo y son seguros (EDS Robotics, 2020).



Figura 1. Brazo robótico programable

Fuente EDS Robotics, 2020.3.1

Una vez visto qué es esta herramienta, procedemos a hablar de los tipos de brazos robóticos que se encuentran en las industrias. Los cuales facilitan el trabajo de sus empleadores, aumentando el rendimiento de las mismas y permitiendo realizar tareas complejas de levantamiento o traslados de pesos que resultan costosos o riesgosos para el ser humano.

3.2.1 Robot cartesiano

Este robot se caracteriza por sus ejes ya que coinciden con los tres ejes cartesianos. Se emplea en funciones de soldadura, en operaciones de ensamblado, manipulación de objetos e incluso aplicación de impermeables (Figura 2).



Figura 2: Robot cartesiano

Fuente Larraioz Elektronika 2021

3.2.2 Robot esférico o polar

Los ejes de este robot forman un sistema polar de coordenadas. Es decir, en un círculo un eje que va de arriba a abajo y otro de derecha a izquierda (como norte-sur este-oeste). Su origen se encuentra en el primer robot instalado en una fábrica de coches, General Motors. Este realizaba trabajos de soldadura, fundición y manipulación de máquinas y herramientas.

Este robot permitió que en la fábrica hubiera menos accidentes al hacer trabajos que tienen un alto nivel de peligro. Tareas como la fundición (altas temperaturas) las realizaba este robot. Esto permitía que los trabajadores pudiesen realizar otras funciones y acabar el trabajo con mayor rapidez y eficacia (Figura 3).



Figura 3. Robot esférico o polar

Fuente EDS Robotics,2020

3.2.3 Robot articulado

El robot articulado tiene, como mínimo, tres articulaciones que giran sobre sí mismas, lo que le permite llevar a cabo tareas más complejas. La mayor rotación permite que pueda realizar desde soldaduras hasta pintar con espray. Se emplea con frecuencia en la industria automovilística y sus funciones, como hemos mencionado, pueden variar, aunque se suelen destinar a las de mayor precisión dada su capacidad de giro (Figura 4).



Figura 4: Robot articulado

Fuente Direct industry 2021

Robot cilíndrico

Sus ejes forman un sistema de coordenadas de círculos concéntricos que le permiten efectuar tareas como la manipulación de máquinas. Además, puede realizar funciones de soldadura de punto, manejar maquinaria de fundición a presión y operaciones de ensamblaje (Figura 5).



Figura 5: Robot cilíndrico

Fuente Educa Madrid

Robot SCARA

Es un robot con dos articulaciones rotatorias paralelas, que permiten que se puedan hacer trabajos de pick and place, que significa coger y dejar. Es decir, las principales funciones de este tipo de brazo son las de recoger objetos y dejarlos en otros lugares. En este caso se tiene que prestar atención en la fuerza que pueden tener estas máquinas. Pueden recoger metales pesados o estructuras imposibles de mover por una sola persona y moverlas (Figura 6).

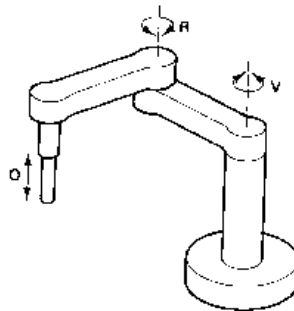


Figura 6: Robot SCARA

Fuente Educa Madrid

Robot paralelo

Por último, hay que destacar que el robot paralelo cuyos brazos tienen articulaciones en forma de prisma tiene como uso principal estar en la plataforma móvil desde donde se trabajan las simulaciones de vuelo. Su alto nivel de rotación permite una mayor variedad de movimientos para que la simulación sea más compleja (Figura 7).



Figura 7: Robot paralelo

Fuente HAL archives 2018

4. Planteamiento del problema

Existe la necesidad de operar electro mecanismos en condiciones a bajas temperaturas, ya que se tiene como problema en compuestos metálicos, puesto que sufren cambios en sus propiedades mecánicas de dureza y los vuelve más frágiles a los esfuerzos de la actividad. De manera similar, ambientes con alta humedad o que operan bajo el agua (o algún otro fluido), están sujetos a la degradación de los elementos metálicos debido a su oxidación.

Hoy en día se realizan actividades en lugares remotos donde empresas privadas y gubernamentales como la industria naval, la del petróleo y la aeroespacial, donde requieren de la fabricación en sitio de herramientas que apoyen a concluir los trabajos críticos para no consumir el tiempo y los recursos de buscar reemplazos en otros lados.

El costo de un robot multifuncional puede llegar a ser de miles de dólares y su entrega puede tardar meses dependiendo el origen. Los robots de buena precisión contienen partes metálicas para retener esfuerzos, sin embargo, existen polímeros reforzados con fibras para la manufactura aditiva, los cuales pueden superar propiedades físicas de algunos de estos metales.

Se han realizado diseños en Manufactura aditiva de brazos robóticos, pero hasta hoy no se tiene uno donde sus ensambles sean menores a 30 piezas, y donde el material no sea resistente para esfuerzos altos o realización de trabajos en temperaturas extremas.

Como resultado deseado, el brazo robótico con simplificación de ensambles y con articulaciones integradas podrá imprimirse en sitio donde este se requiera, en un par de horas este podrá ser totalmente funcional en cualquier ambiente gracias a

su material de fibra de carbono. Se tiene planeado aplicar una encuesta de servicio de manejo en modelado y de su funcionamiento para medir su desempeño.

5. Objetivo

5.1 Objetivo general

- Desarrollar un brazo robótico integral basado en rodamientos para impresión 3D, que sea fabricado en una sola impresión para manufactura de brazos de robot funcionales.

5.2 Objetivos específicos

1. Analizar el funcionamiento de brazos robóticos, así como sus diferentes tareas, precisiones, tiempos, programación, aditamentos y mecanismos electrónicos.
2. Determinar las características apropiadas del brazo robótico 3d que cumple las funciones
3. Seleccionar materiales y mecanismos electrónicos para el desarrollo del brazo robótico en MA.
4. Rediseñar el brazo robótico articulado mediante manufactura aditiva con elementos simplificados e incluir mecanismos para la inserción de componentes automatizada.
5. Prototipar modelos que cumplan con especificaciones de diseño y funcionamiento.
6. Validar la propuesta del prototipo, verificando su viabilidad y su capacidad de trabajo.
6. Emitir resultados y recomendaciones de la propuesta.

6. Marco conceptual

La manufactura aditiva es un proceso de producción que consiste en la creación de objetos tridimensionales mediante la adición sucesiva de capas de material, a partir de un modelo digital. A diferencia de los métodos de manufactura sustractiva, donde se elimina material de un bloque sólido, la manufactura aditiva construye las piezas desde cero, permitiendo una mayor precisión, personalización y aprovechamiento de materiales. Este enfoque ha transformado los procesos de diseño y fabricación en sectores como la ingeniería, la medicina, la arquitectura y la educación.

Dentro de las tecnologías de manufactura aditiva, una de las más comunes y accesibles es la impresión 3D por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés). Este método utiliza filamentos termoplásticos, como PLA, ABS o PETG, los cuales se funden y depositan capa por capa mediante una boquilla controlada por un sistema de coordenadas. Este tipo de impresión destaca por su bajo costo, facilidad de uso y versatilidad, lo que la convierte en una opción ideal tanto para prototipado rápido como para la producción de piezas funcionales en pequeñas series.

El filamento plástico es el material base de este tipo de manufactura. Está compuesto por polímeros que pueden variar en propiedades mecánicas, térmicas y químicas dependiendo de su composición. La elección del filamento adecuado influye directamente en la resistencia, acabado superficial y durabilidad del producto final. Además, la aparición de materiales compuestos, biodegradables o reciclados ha impulsado el desarrollo de nuevas aplicaciones sostenibles en la manufactura aditiva, promoviendo una menor huella ambiental.

Finalmente, la manufactura aditiva con filamento plástico representa una revolución en los métodos de producción tradicionales, al permitir la fabricación descentralizada, personalizada y bajo demanda. Este tipo de tecnología fomenta la innovación y la experimentación, ya que reduce las limitaciones del diseño convencional y abre nuevas posibilidades en la creación de prototipos funcionales, herramientas y componentes finales. En el contexto de la investigación, el estudio de esta tecnología permite identificar sus ventajas, limitaciones y su potencial en el desarrollo de soluciones industriales y académicas.

7. Marco Operativo

7.1 Metodo

Al analizar las ventajas que la manufactura aditiva tiene sobre otros procesos de fabricación, el presente estudio estableció una serie de necesidades de diseño

basadas en las oportunidades que se puede diseñar un robot impreso en manufactura aditiva. Al establecer las 5 fases en el método (figura 8) en este proyecto para definir el diseño y desarrollo de un brazo robótico donde incluya la simplificación de ensambles con articulaciones integradas y que este se imprima a través de la manufactura aditiva utilizando los equipos de impresión 3d de marca Ender 3 y Stratasys 400mc con un software utilizado para generar su código G, Cura e Creality, modelando a través del software Rhino e Solid works. A través de estas fases de métodos se realiza una serie de investigaciones relevantes al desarrollo del brazo robótico como determinar el área de oportunidad dirigida, la impresión 3d, brazos robóticos, productos existentes o similares, rodamientos en impresión 3d y normativas.



Figura 8. Método utilizado

De acuerdo con el método establecido anteriormente, al diseñar el desarrollo del brazo robótico en Manufactura Aditiva y establecer las 5 fases las cuales se describen a continuación:

7.1.1 Identificar áreas de oportunidad del nuevo brazo de robot

Esta fase tiene como propósito reconocer y analizar las áreas de oportunidad en el diseño y proceso de fabricación del nuevo brazo robótico, con el fin de establecer estrategias que permitan optimizar su desempeño, reducir costos y mejorar su funcionalidad estructural.

Para ello, se llevará a cabo una recopilación y análisis de información científica y técnica mediante la consulta de fuentes especializadas disponibles en bases de datos académicas como ScienceDirect, Google Scholar, ProQuest, SciELO y Dialnet. En dichos recursos se abordarán temas relacionados con brazos robóticos, procesos de ensamble de componentes y manufactura aditiva, con el objetivo de comprender los avances tecnológicos, tendencias de diseño y estrategias actuales de optimización aplicadas en el ámbito de la robótica.

El análisis documental permitirá identificar la relevancia de reducir el número de componentes y subprocesos dentro del diseño del sistema robótico, una práctica común en la ingeniería moderna que contribuye a disminuir los tiempos de producción, reducir costos de fabricación y mejorar la eficiencia estructural. Este enfoque busca favorecer un uso más racional de los recursos y promover un diseño funcional, ligero y adaptable a diversas aplicaciones.

Asimismo, se seleccionará la tecnología de manufactura aditiva Fused Deposition Modeling (FDM) como base para el desarrollo del proyecto, debido a su viabilidad técnica, bajo costo y facilidad de implementación. Esta técnica permitirá la fabricación de componentes personalizados en materiales termoplásticos, posibilitando la creación de brazos robóticos modulares con características mejoradas en cuanto a peso, precisión y adaptabilidad.

Finalmente, esta fase integrará la revisión bibliográfica, el análisis de procesos de manufactura y la aplicación práctica de la tecnología FDM, con el propósito de detectar, fundamentar y definir las principales áreas de oportunidad que orientarán las siguientes etapas del proyecto hacia el diseño y desarrollo de un modelo de brazo robótico optimizado en términos de estructura, funcionalidad y costo de producción.

7.1.2 En esta fase se llevará a cabo la selección y evaluación de rodamientos impresos en 3D que puedan emplearse como articulaciones funcionales en el diseño del brazo robótico. El objetivo principal consiste en analizar y comparar diferentes tipos de rodamientos utilizados en sistemas robóticos, tanto en modelos metálicos tradicionales como en componentes fabricados mediante tecnologías de manufactura aditiva, con el propósito de determinar la opción más adecuada para el prototipo propuesto.

Inicialmente, se realizará una investigación documental y técnica sobre las articulaciones robóticas convencionales, observando el tipo de rodamientos metálicos comúnmente utilizados en brazos industriales y su principio de funcionamiento. Paralelamente, se recopilará información sobre rodamientos diseñados para manufactura aditiva, los cuales pueden ser totalmente funcionales y presentan ventajas en cuanto a peso, costo y facilidad de integración.

Entre los modelos a analizar se consideran ejemplos representativos como el engranaje helicoidal, el rodamiento lineal dentado y el rodamiento de bolas impreso, todos ellos aplicables como mecanismos de articulación en sistemas robóticos.

Para la evaluación experimental, se realizarán pruebas de impresión 3D de cada tipo de rodamiento, fabricando cuatro muestras por modelo en dos orientaciones distintas (vertical y horizontal). Las piezas serán elaboradas en una impresora 3D marca Ender 3 Pro, utilizando el software de preparación de impresión Ultimaker Cura, donde se configurarán los parámetros de relleno, velocidad, altura de capa, generación de soportes, grosor de paredes, orientación y calidad de impresión.

Posteriormente, se llevará a cabo una evaluación comparativa de las muestras impresas, analizando su calidad dimensional, suavidad de movimiento, resistencia mecánica y precisión funcional. Los resultados obtenidos permitirán seleccionar el rodamiento más adecuado para su integración en las articulaciones del brazo robótico, priorizando su funcionalidad, durabilidad y compatibilidad estructural con el diseño general del prototipo.

7.1.3 Diseño y valoración de articulaciones integradas en brazos

Durante la fase de identificación de áreas de oportunidad, se determinó la necesidad de desarrollar brazos robóticos con mayor resistencia a la humedad, al contacto con el agua y con menor fricción en sus componentes móviles. Con base en estas observaciones, se establecieron los requerimientos técnicos y parámetros de diseño orientados a mejorar el desempeño del sistema en entornos con condiciones ambientales exigentes.

A partir de dichos requerimientos, se elaboró la primera matriz de despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés), herramienta que permitió asignar valores cuantitativos a las necesidades del diseño y establecer un orden de prioridades para guiar las decisiones técnicas en el desarrollo del brazo robótico. Este análisis facilitó la identificación de los aspectos críticos que debían considerarse en la integración de las articulaciones, como la selección del tipo de material, la geometría de las piezas y el método de ensamble.

Posteriormente, se realizaron pruebas experimentales de impresión 3D de las secciones del brazo robótico con articulaciones integradas, utilizando diferentes orientaciones de fabricación (vertical y horizontal). Estas pruebas tuvieron como finalidad evaluar la calidad de las superficies, la precisión dimensional y el comportamiento funcional de las articulaciones impresas.

Finalmente, las piezas obtenidas fueron sometidas a una valoración práctica, verificando su movilidad, resistencia mecánica y capacidad de operar en condiciones de humedad, con el fin de determinar la viabilidad de las articulaciones integradas y establecer las bases para la siguiente etapa del proyecto, enfocada en el desarrollo del prototipo funcional del brazo robótico.

7.1.4 Selección de propuestas de diseño para manufactura aditiva

Durante la etapa creativa del proyecto se desarrolla el diseño conceptual del brazo robótico con articulaciones integradas, aplicando principios de manufactura aditiva y criterios de funcionalidad estructural. En esta fase, se elaboran dos tableros de inspiración (mood boards) que sirven como base para la generación de ideas y el análisis comparativo de estilos de diseño. El primero incluye referencias de brazos robóticos fabricados mediante manufactura aditiva (MA), mientras que el segundo recopila diseños de brazos robóticos industriales metálicos, con el propósito de identificar tendencias estéticas, geométricas y funcionales aplicables al desarrollo del prototipo.

A partir del análisis visual y técnico de los referentes, se diseñan tres propuestas distintas de brazo robótico, en las cuales se aplican los requerimientos de diseño y criterios de desempeño establecidos en fases anteriores, considerando factores como la resistencia estructural, facilidad de ensamble, reducción de peso y compatibilidad con los procesos de impresión 3D.

Posteriormente, se definen los parámetros de impresión para cada propuesta utilizando el software Ultimaker Cura, donde se configuran variables como el tiempo estimado de fabricación, peso total en gramos, densidad de relleno, altura de capa y eficiencia del material empleado. Esta etapa permite obtener una primera comparación cuantitativa entre las alternativas de diseño, evaluando su viabilidad de manufactura y optimización de recursos.

Finalmente, se aplica la Matriz de Pugh como herramienta de evaluación y toma de decisiones, mediante la cual se comparan las tres propuestas de diseño en función de los requerimientos técnicos y funcionales previamente definidos. Este análisis multicriterio permite determinar la alternativa más adecuada para su desarrollo y posterior fabricación, asegurando un equilibrio entre rendimiento mecánico, costo de producción y calidad del diseño final del brazo robótico.

7.1.5 Diseño de brazo robótico en una sola impresión

Una vez establecida la propuesta final de diseño del brazo robótico, se procederá a calcular y ajustar los parámetros óptimos de impresión mediante el software Ultimaker Cura, considerando aspectos clave como el posicionamiento de las piezas, la generación de soportes, la densidad de relleno, la velocidad de impresión y la altura de capa.

El objetivo de esta etapa es lograr una impresión completa en una sola ejecución, evitando complicaciones técnicas y garantizando la precisión dimensional y calidad superficial de las piezas fabricadas.

Posteriormente, se llevarán a cabo pruebas de validación del prototipo del brazo robótico con articulaciones integradas, con el propósito de evaluar su desempeño funcional, resistencia mecánica y fluidez de movimiento. Los resultados obtenidos permitirán verificar la correcta integración de las articulaciones, así como la capacidad del diseño para cumplir con los requerimientos de operación establecidos en fases previas.

De igual forma, se realizará la selección del material de impresión más adecuado para la fabricación integral del brazo robótico, tomando en cuenta las propiedades técnicas del material, su compatibilidad con la tecnología FDM y las condiciones específicas del entorno de aplicación. Esta selección será fundamental para asegurar la durabilidad, estabilidad dimensional y eficiencia estructural del prototipo final.

8 Desarrollo y resultados

8.1 Identificar áreas de oportunidad del nuevo brazo de robot

Se logró identificar que en entornos remotos existe la necesidad de operar brazos robóticos que mantengan su funcionalidad sin presentar deficiencias asociadas al uso de materiales metálicos. A partir de este diagnóstico, se determinó un área de oportunidad orientada al diseño de un brazo robótico fabricado mediante impresión 3D, capaz de ejecutar secuencias de tareas continuas y mantener una operación constante sin inconvenientes provocados por corrosión, congelamiento o desgaste térmico.

Se definió también un análisis de posibles entornos de aplicación para este tipo de dispositivo, considerando industrias que operan en zonas remotas o de difícil

acceso, tales como la naval, espacial, petrolera y otras instalaciones industriales alejadas de centros urbanos o poblaciones.

Asimismo, se resaltaron las ventajas del uso de rodamientos fabricados en polímeros, entre las cuales destacan: ausencia de lubricación y mantenimiento, alta resistencia a la corrosión, ausencia de componentes metálicos (ya que utilizan bolas de vidrio o plástico, eliminando propiedades magnéticas), rango de operación térmica entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, resistencia en entornos de trabajo exigentes y peso reducido [8].

8.2 Selección de rodamiento impreso en 3D para articulaciones

Se pudo establecer una búsqueda de todos los rodamientos utilizados para ser impresos en 3D y comprobar la calidad y funcionalidad después de su impresión en la tecnología de fusión de filamentos. Posteriormente, se logró determinar una prueba de fricción basada en la norma ISO-15242.

Se llegó a establecer modificaciones en la medida de separaciones en los rodillos helicoidales y en la base del rodamiento para realizar la impresión de ellos y seleccionar la mejor impresión 3D del rodamiento en cuanto a su giro de engranes.

Se seleccionaron y logró producir tres tipos de rodamientos de montaje con 5 cm de diámetro exterior. Se logró fabricar la reducción en el tamaño de 5 cm de diámetro a 2 cm de diámetro para que el brazo robótico se pueda imprimir en una sola impresión en el equipo de impresión Funmat intamsys 610ht, con los rodamientos impresos se logró evaluar algunas pruebas de medición en cuanto a sus capacidades, para la selección del mejor rodamiento como articulación robótica.

En la manufactura aditiva existen rodamientos que se pueden utilizar como articulaciones robóticas, por ejemplo: el engrane helicoidal, rodamiento lineal dentado, rodamiento de bolas y rodamiento cilíndrico acanalado. Los cuales se realizaron las siguientes pruebas para medir sus capacidades (figura 9)



Figura 9. Rodamientos impresos en 3d

Se diseñó una base para aplicar una prueba de vibración con un acelerómetro marca ERGOPAK, donde se imprimió en PLA en un equipo ultimaker 2, una base donde pudiese medir dichas vibraciones de acuerdo con la norma ISO-15242, (figura 10).

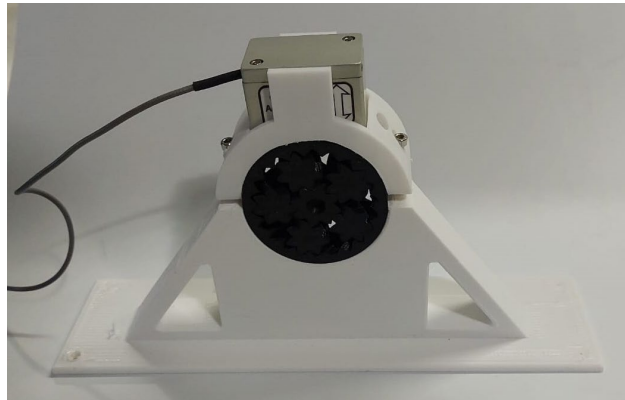
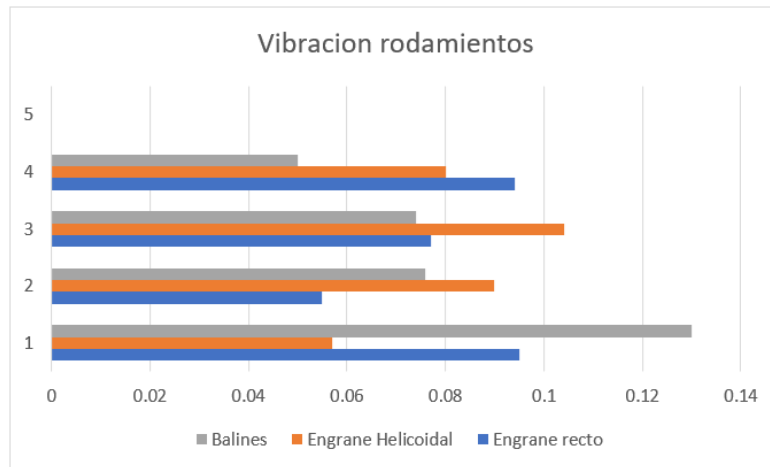


Figura 10. Equipo de medición con acelerómetro para vibración en rodamientos

Una vez realizada la prueba de mediciones con el acelerómetro, se logró formular los siguientes resultados a través del software ERGOPAK, (Gráfica1).



Gráfica 1. Grafica comparativa de prueba vibración en rodamientos plasticos

Los resultados de la prueba de vibración se llegó a definir y se logró detallar un análisis comparativo de a cuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, donde destacamos el rodamiento helicoidal como mejor para este proyecto de articulación robótica por sus ventajas

Se logro seleccionar el rodamiento helicoidal por sus grandes ventajas al momento de imprimir y por sus resultados en la prueba de vibración, el rodamiento helicoidal es un rodamiento con engranes en forma helicoidal como su nombre lo dice, y en su pared dentado ayuda a que estos rodamientos no tengan juego al momento de girar, así mismo reduce la vibración por su ajuste exacto de contacto entre cilindros helicoidales y centro de giro con paredes, así mismo al momento de imprimir es perfecto ya que no genera soportes dentro de él, y al momento de funcionar gira sin problema alguno (figura 11).

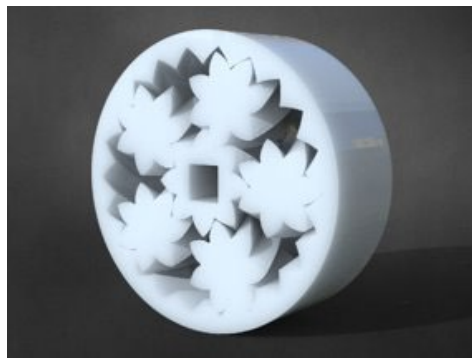


Figura 11. Rodamiento helicoidal

8.3 Diseño y valoración de articulaciones integradas en brazos

Se logró situar una tabla donde se especifican de manera detallada las necesidades del brazo robótico, así como los requerimientos funcionales, técnicos y operativos asociados a cada una de ellas. Además, se establecieron los parámetros de diseño correspondientes, los cuales fueron definidos a partir del análisis del área de oportunidad detectada en el estudio previo. Esta tabla permitió organizar y priorizar los aspectos más relevantes del proyecto, facilitando la toma de decisiones durante el proceso de diseño conceptual y el desarrollo del prototipo. De esta manera, se garantizó que cada requerimiento tuviera una justificación técnica clara y estuviera alineado con los objetivos planteados para la mejora del sistema robótico. Tabla 2

Necesidad	Requerimientos	Parámetros de Diseño
Brazo de robot de bajo costo	-Impresión en MA de costo accesible -Materiales de MA de costo accesible -Diseño Ligero -Impresión sin ensambles	-Impresora 3D acorde a las funciones del brazo -Múltiples materiales (PLA, ASA, CF, Peek, etc.) -Uso de Diseño para MA -Diseño programado para una sola impresión
Obtención del robot en tiempo reducido	-Impresión sin ensambles -Impresión en sitio por MA	-Diseño programado para una sola impresión -Uso de MA
Flexibilidad de brazo para adaptarse a condiciones ambientales de trabajo	-Uso de diferentes materiales para MA	-Múltiples materiales (PLA, ASA, CF, Peek, etc.)
Brazo de robot personalizado a las aplicaciones requeridas	-Cambios en archivo de dibujo 3D	-Uso de dibujo 3D
Brazo robótico sea atractivo visualmente	-Diseño atractivo	-Hacer diferentes propuestas de diseño
Uso de brazo en aplicaciones productivas	-Articulaciones resistentes (esfuerzo, fricción, desgaste)	-Baleros plásticos integrados en articulación

Tabla 2. Listado de necesidades y requerimientos de diseño

Una vez que se pudo analizar el listado de necesidades establecidas, donde se llegó a establecer en el área de oportunidad detectada anteriormente, donde se requiere crear un brazo de robot de bajo costo ya que actualmente el precio de estos ronda mínimo los 10 mil dólares, así mismo se pudo mostrar que los polímeros en la manufactura aditiva son tan resistentes como algunos de metal y que estos polímeros tienen menor costo y son fácil de fabricar en sitio.

El tiempo de fabricación es esencial en una producción, una necesidad primordial es la obtención de un brazo robótico en tiempo reducido, si lo comparamos con el tiempo de fabricación, empaquetado, flete, distancia del fabricante y ensamblado hablamos de meses para la obtención de uno, se pudo implementar la manufactura aditiva en este proyecto para que cada vez que se requiera un brazo robótico este se imprima en sitio. En cuanto a la flexibilidad del brazo para adaptarse a condiciones ambientales de trabajo este se implementó con materiales poliméricos

Se logro implementar la herramienta QFD para asignarles un valor a las necesidades establecidas, obteniendo los siguientes resultados y poder priorizar los requerimientos al proyecto al diseñar. (Tabla 3).



8.4 Selección de propuestas de diseño para la manufactura aditiva

Se logro aplicar una etapa creativa donde se pudo definir la búsqueda visual de diseños de brazos robóticos existentes donde se dividieron en 2 collages, uno para los brazos robóticos metálicos y el otro para los brazos impresos en manufactura aditiva, una vez que se realizaron los collages se empezó a modelar varias figuras geométricas para darle cuerpo al brazo robótico, (Figura 12).

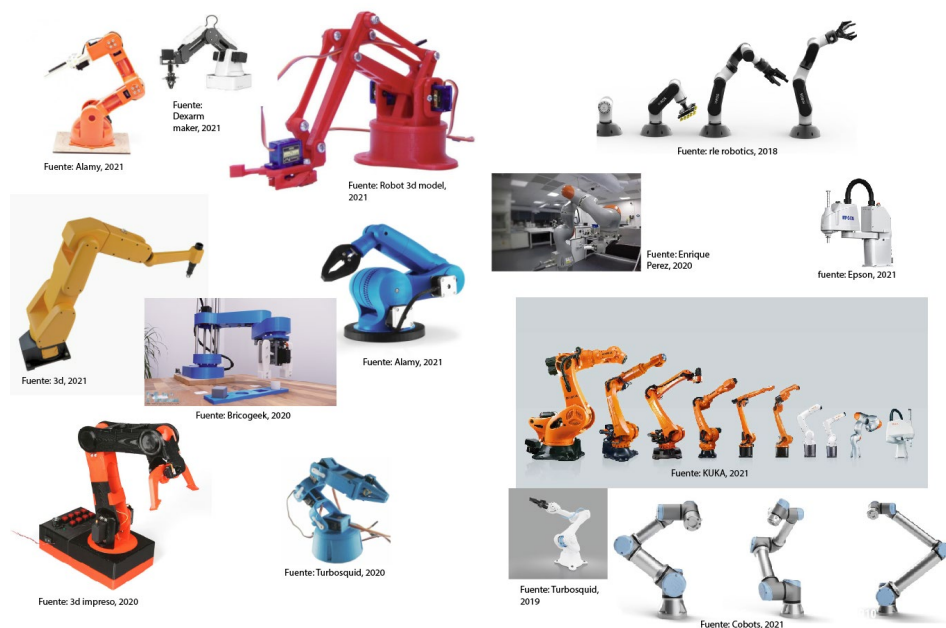


Figura 12. Etapa creativa collage de brazos robóticos impresos en 3d y metálicos

8.5 Diseño de propuestas

Se llego a diseñar 3 propuestas de brazos robóticos para la manufactura aditiva donde estos se aplicó una evaluación entre las ideas de diseño, esto con el objetivo de obtener la propuesta ideal y apta para ser trabajada como solución para la problemática del presente proyecto, en las propuestas se logró definir la facilidad al momento de imprimir, posteriormente se realizo un análisis Pugh, este consistirá en sustituir el valor o referencia y colocar el peso relativo de cada uno de los criterios, los cuales se obtuvieron como resultado del análisis QFD.

8.5.1 Propuesta 1

Se pudo desarrollar el modelado 3d del brazo robótico, obteniendo el concepto de un robot tipo scara de 5 grados de libertad, el concepto se base en los brazos

robóticos impresos en la manufactura aditiva, ya que estas cuentan con dobles caras y bases para darle un espesor, se tomó en cuenta esto y se realizó un bajo relieve en las caras, se aplicó figuras de geometría como los cilindros y rectángulos para darle el aspecto moderno.

Se pudo implementar una reducción de partes y ensambles en el modelado para que este llegase a imprimirse en una sola impresión. (Figura 13).

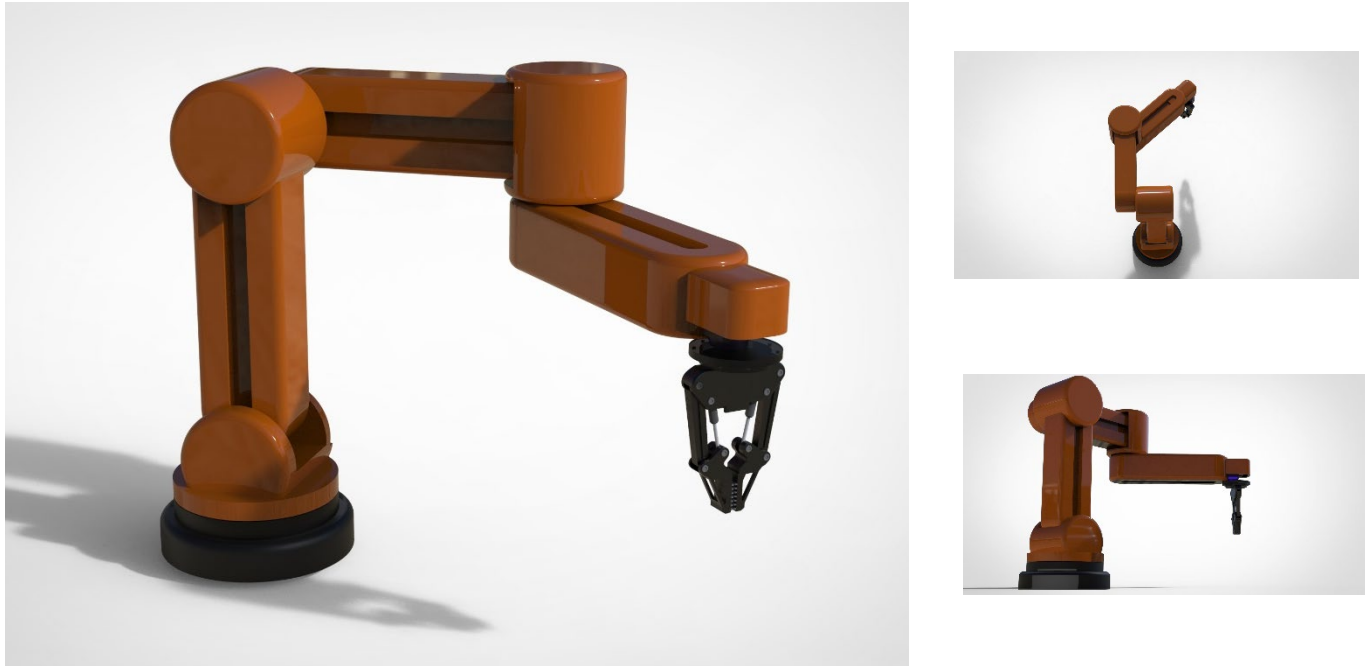


Figura 13. Primera propuesta de diseño en vistas generales

Se gestionó la optimización de espacio interno en el brazo robótico en cuanto a la distribución de mecanismos para que este sea totalmente funcional, donde los motores son de color azul y los rodamientos como articulaciones son de color rojos, se gestionó la función a través de una banda de servomotores para su funcionamiento y precisión. (Figura 14).

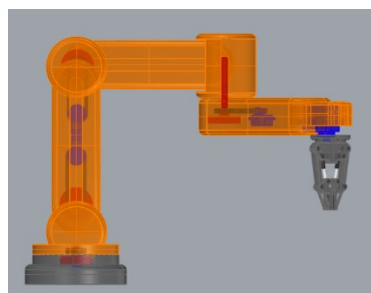


Figura 14. Vista lateral izquierda del brazo en paredes traslúcida para visualización de motores y bandas

Se agrego la propuesta al software INTAMSUITE para asignarles los parámetros y características de impresión, así como acomodo de piezas y asignación de soportes, aplicando las mismas características para las tres propuestas de diseño para así llegar a realizar un análisis comparativo de a cuerdo a su ventajas y desventajas de fabricación.

Se aplico un relleno del 100 % para tener la rigidez necesaria para realizar tareas de sujeción, una altura de capa de .4, soportes en todas partes, calidad de impresión alta, velocidad al 100 %, cantidad de paredes de 5, torre de sacrificio al 100% y material en PC con soporte en HIPS (Figura 15).



Figura 15. Asignación de parámetros impresión y optimización de espacio

8.5.2 Propuesta 2

En este diseño se pudo establecer la forma de hojas de árbol, dándole un mejor aspecto como un tipo de armadura, también se pensó en incluir formas orgánicas para mejorar lo visual, la base se diseñó más rígida y tipo industrial, se modificó de posición vertical la última sección del brazo donde en vez de moverse hacia los ejes x, y se moverá en eje z.

Se llegó a desarrollar una reducción de partes y ensambles en el modelado para que este llegase a imprimirse en una sola impresión (Figura 16).



Figura 16. Propuesta de diseño 1

Se gestionó la optimización de espacio interno en el brazo robótico en cuanto a la distribución de mecanismos para que este sea totalmente funcional, donde los motores son de color azul y los rodamientos como articulaciones son de color rojos, se gestionó la función a través de una banda de servomotores para su funcionamiento y precisión (Figura 17).

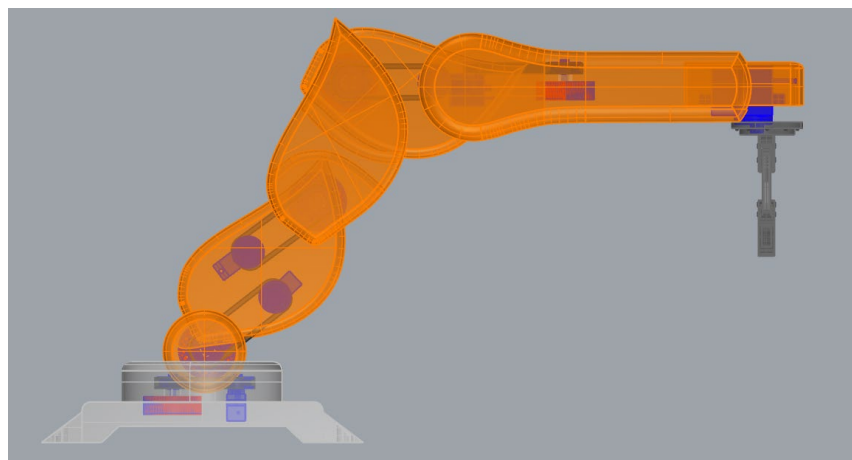


Figura 17. Vista lateral izquierda del brazo en paredes traslúcida para visualización de motores y bandas

Se logro establecer un relleno del 100 % para tener la rigidez necesaria para realizar tareas de sujeción, una altura de capa de .4, soportes en todas partes, calidad de impresión alta, velocidad al 100 %, cantidad de paredes de 5, torre de sacrificio al 100% y material en PC con soporte en HIPS (Figura 18).

Velocidad 100%

Calidad alta

Relleno 100%

Altura de capa 0.4

Tipo de soportes Normal en todas partes

Paredes 5

Boquilla 0.6

Material modelado PC

Material soporte HIPS

Torre de sacrificio si, altura 100%

Tiempo de impresión 4d 17h 37m

Material 596gr



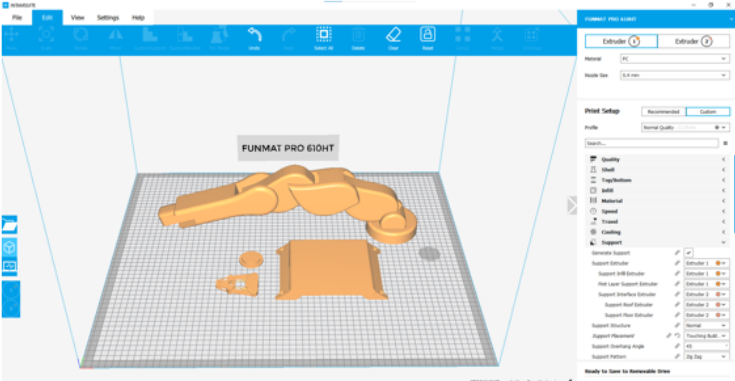


Figura 18. Asignación de parámetros impresión y optimización de espacio

8.5.3 Propuesta 3

En este diseño se pudo establecer la forma en las partes de huesos humanos en sección de brazos, donde se tomo como referencia el antebrazo, se realizó un modelado 3d del brazo en formas geométricas con ángulos y reducciones en secciones para su facilidad al momento de fabricar.

También se pudo determinar el concepto y función de un brazo robótico tipo scara con 5 grados de libertad, diseñando una base circular para reducir el material en comparación a las otras dos propuestas de diseño.

Se llegó a desarrollar una reducción de partes y ensambles en el modelado para que este llegase a imprimirse en una sola impresión (Figura 19).



Figura 19. Propuesta de diseño 2

Se gestionó la optimización de espacio interno en el brazo robótico en cuanto a la distribución de mecanismos para que este sea totalmente funcional, donde los motores son de color azul y los rodamientos como articulaciones son de color rojos, se gestionó la función a través de una banda de servomotores para su funcionamiento y precisión (Figura 20).

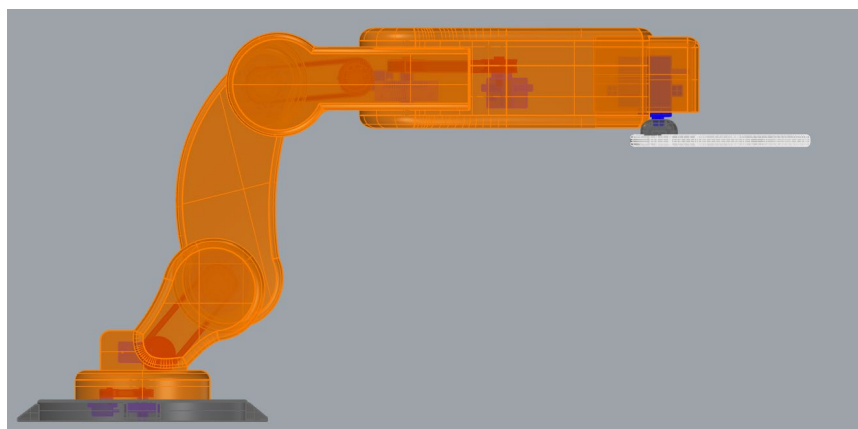


Figura 20. Vista lateral izquierda del brazo en paredes traslúcida para visualización de motores y bandas

Se logro establecer un relleno del 100 % para tener la rigidez necesaria para realizar tareas de sujeción, una altura de capa de .4, soportes en todas partes, calidad de impresión alta, velocidad al 100 %, cantidad de paredes de 5, torre de sacrificio al 100% y material en PC con soporte en HIPS (Figura 21).

Velocidad	100%		
Calidad	alta		
Relleno	100%		
Altura de capa	0.4		
Tipo de soportes	Normal en todas partes		
Paredes	5		
Boquilla	0.6		
Material modelado	PC		
Material soporte	HIPS	Tiempo de impresión	4d 09h 13m
Torre de sacrificio	si, altura 100%	Material	599gr

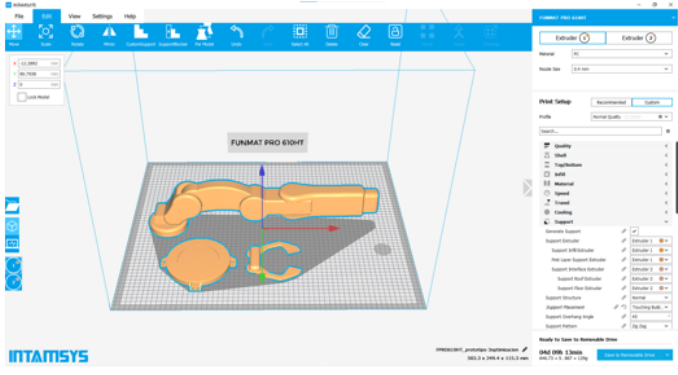


Figura 21. Asignación de parámetros impresión y optimización de espacio

8.6 Selección de propuesta

Se realizó una matriz de Pugh (Tabla 4) para poder comparar las propuestas de diseño presentadas anteriormente donde se aplican los requerimientos de diseño y así asignarles un peso para poder verificar que el diseño de brazo robótico de solución a los requerimientos de diseño establecidos.

				
Impresión en MA de costo beneficio	20.6	0	0	0
Material en MA de costo beneficio	13.7	0	0	0
Diseño para optimizar tiempo y material	13.8	0	4	-4
Fabricación con ensamblajes mínimos	13.2	-4	-4	0
Impresión en sitio por MA	10.7	0	0	0
Diseño en CAD para ser personalizado fácilmente	9.5	0	0	0
Uso de diferentes materiales para la MA de acuerdo	7.4	0	0	0
Reducción de peso		4	4	4
Tiempo de impresión		4	4	0
Impresión de soportes		0	4	-4
Costo de impresión		4	0	4
Peso		4	4	4
Σ^-		0	2	1
Σ^+		8	3	6
$\Sigma 0$		7	10	8
Suma		12	16	4

Tabla 4. Matriz de Pugh para selección de propuesta

De acuerdo con los resultados obtenidos en la matriz de Pugh, la propuesta número 1 presentó el mayor valor ponderado en relación con los requerimientos de diseño establecidos. Esto indica que dicha alternativa cumple de manera más eficiente con los criterios definidos para el desarrollo del proyecto, posicionándose como la opción más favorable dentro del proceso de evaluación comparativa. (figura (figura 22)).



Figura 22 Propuesta seleccionada

8.7 Pruebas de impresión

El diseño del brazo robótico se desarrolló con el propósito de que su funcionamiento estuviera basado en el uso de servomotores, los cuales permiten un control preciso del movimiento en cada articulación. Para lograr esto, se realizó una planificación detallada de la disposición de los componentes internos, contemplando la gestión del cableado, la ubicación de los motores, las tabllas de control y la trayectoria de los movimientos.

Asimismo, se consideraron criterios de ergonomía mecánica y eficiencia energética, con el fin de optimizar el desempeño del sistema y minimizar pérdidas por fricción o consumo excesivo de corriente. El diseño estructural fue pensado para facilitar el

mantenimiento y el reemplazo de componentes, garantizando al mismo tiempo la rigidez necesaria para soportar las cargas dinámicas generadas durante la operación.

Además, se integraron estrategias de ordenamiento del cableado para evitar interferencias eléctricas y mecánicas entre los elementos móviles. De igual forma, se analizó la disposición de las tablillas electrónicas para asegurar una correcta ventilación y accesibilidad. Todo este proceso permitió concebir un diseño funcional, modular y adaptable, capaz de responder de manera eficiente a las exigencias de precisión y control que requiere un brazo robótico de propósito experimental o industrial.

Se modelaron los servomotores y sus accesorios con el propósito de definir la estructura funcional interna del brazo robótico. Posteriormente, se realizaron pruebas de impresión de secciones parciales con el fin de verificar las dimensiones de fabricación en el equipo Stratasys 380mc, específicamente en las zonas donde se anclan los motores y se extienden los soportes estructurales, aso como canales donde pasara el cableado. (Figura 23).

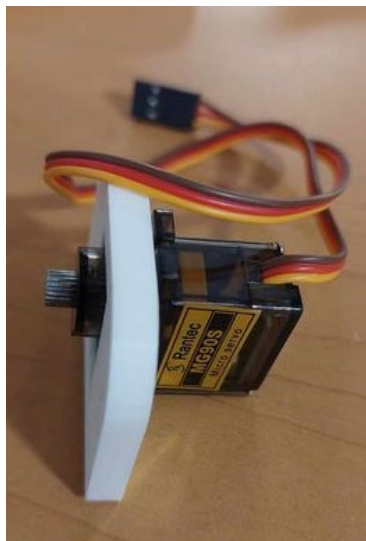


Figura 23 verificación de ensamble servomotor en impresión 3d

A su vez, se imprimieron pruebas de una sección específica destinada al anclaje de la mariposa que viene integrada de fábrica en los servomotores. Este componente cumple la función de sujeción y transmisión del torque hacia la estructura del brazo robótico, garantizando la correcta fijación y desempeño mecánico del sistema durante su operación. (Figura 24)



Figura 24 verificación de ensamble mariposa de servomotor en impresión 3d

Una vez obtenidos los resultados esperados en el ensamble del motor, se procedió a realizar pruebas de impresión de los rodamientos, variando la separación entre rodillos en el equipo Stratasys 380mc. El objetivo de estas pruebas fue verificar el comportamiento y las modificaciones de los parámetros de impresión, con el fin de optimizar la precisión dimensional y el correcto funcionamiento de las piezas impresas. (Figura 25).



Figura 25 Prueba de impresión 3d de rodamiento Hemmett

Se realizó la impresión de prueba de función en articulación robótica donde el motor está en otra sección independiente a la articulación para verificar su función y poder aplicarla al brazo robótico (Figura 26).



Figura 26 Prueba impresión con motor

Los problemas encontrados en la prueba de impresión anteriormente se pueden decir que los soportes quedan bastante adheridos a la pieza y es muy difícil removerlos ya que no permite ingresar el motor en sus cavidades, se descartara este tipo de soporte y se imprimirán en soportes solubles para mayor calidad en el brazo.

Se modelo la función en base a engranes para tener mayor acomodo en las articulaciones dentro del brazo robótico, así mismo se imprime con soportes solubles para descartar el problema al momento de remover soportes y que estos no nos afecten en la calidad (Figura 27).

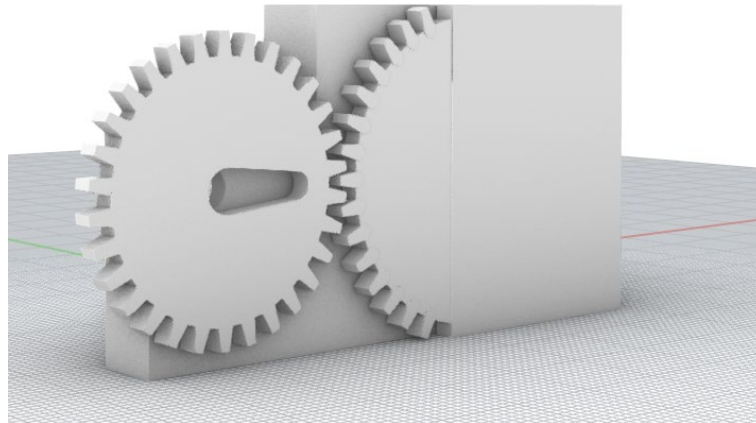


Figura 27 Modelado de función motor – articulación en base a engrane

Se realizó la impresión de la articulación ya modelada anteriormente, imprimiéndose en el equipo Stratasys 380mc en material ASA y con soporte SR-30 Soluble, esto

para tener una pieza mas definida, limpia y con mayor calidad la cual presento buenos resultados al momento de montar el servomotor y el engrane, haciendo girarlo sin problema alguno (Figura 28).

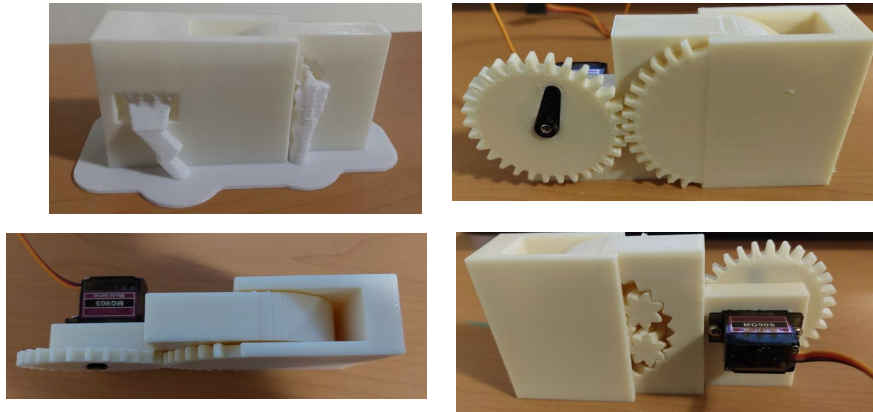


Figura 28 impresión de articulación funcional en base a engranes

Una vez obtenido los resultados de pruebas de impresión para verificar si el brazo robótico puede llegar a imprimirse sin ensambles de a cuerdo al diseño seleccionado para este proyecto, se realizaron unas ultimas impresiones de la sección del brazo robótico donde se imprimen con soportes solubles y el material es ASA (Figura 29).

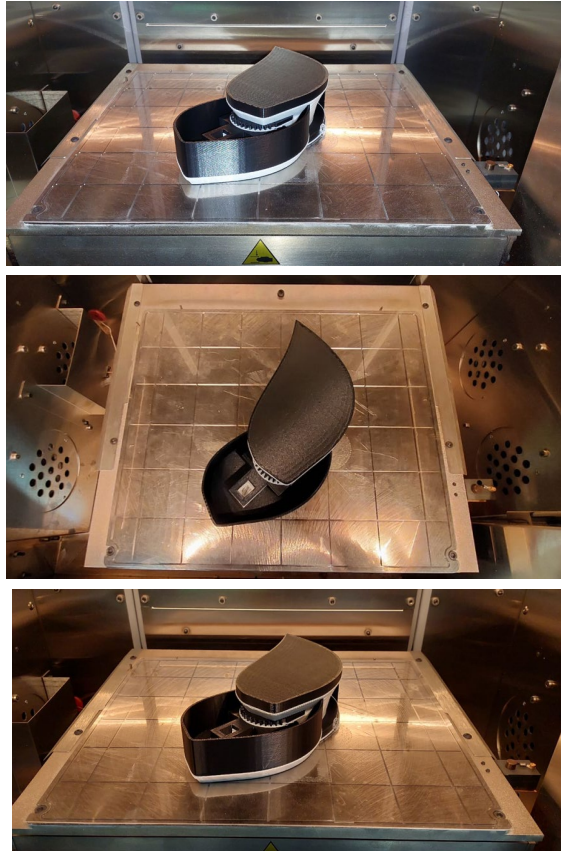


Figura 29. Una sección del brazo robótico impreso en ASA y soporte SR-30 (soluble)

Una vez impresa la pieza, esta se colocó en el equipo SCA 1200 HT, el cual contiene agua y una solución química proporcionada por el fabricante. A una temperatura y tiempo controlados, dicho proceso permite que los soportes de impresión se disuelvan completamente, dejando únicamente la pieza final del modelo impreso lista para su posterior ensamblaje o evaluación. (Figura 30).



Figura 30. sección de brazo robótico con articulación integrada impreso

9.Conclusion

La aplicación de la manufactura aditiva permitió la creación de piezas con geometrías complejas y ensamblajes integrados, eliminando la necesidad de procesos de unión o mecanizado adicionales. Este enfoque favoreció la reducción del peso total del sistema y la mejora en la precisión del movimiento, al mismo tiempo que permitió un diseño modular, capaz de adaptarse a diferentes configuraciones o grados de libertad según la aplicación requerida.

El uso de materiales poliméricos impresos en 3D brindó ventajas significativas respecto a los diseños metálicos tradicionales, al ofrecer una excelente relación resistencia-peso, buena absorción de impactos y resistencia a la corrosión, lo que hace viable su uso en entornos experimentales y de enseñanza. Además, la

flexibilidad en el diseño permitió iterar y mejorar las piezas rápidamente, facilitando la validación de los parámetros estructurales y funcionales del brazo.

En conjunto, el diseño alcanzado representa una solución técnica y académicamente relevante, que demuestra cómo la manufactura aditiva puede emplearse no solo para la producción de prototipos, sino también como una herramienta de innovación en el desarrollo de sistemas robóticos personalizados.

El diseño del brazo robótico desarrollado demuestra la eficacia de combinar la ingeniería asistida por computadora con la manufactura aditiva para crear sistemas mecatrónicos funcionales, ligeros y de bajo costo. Gracias a la impresión 3D, se integraron componentes estructurales, mecánicos y electrónicos en un modelo compacto y modular, optimizando espacio y reduciendo peso. El uso de materiales poliméricos permitió fabricar piezas resistentes y personalizables, impulsando la innovación en el desarrollo de brazos robóticos adaptables a aplicaciones educativas, industriales y de investigación.

El proyecto, desarrollado en el laboratorio CAPA, sienta las bases para futuras mejoras en aspectos de control, precisión y selección de materiales, promoviendo el avance hacia brazos robóticos más eficientes, ligeros y accesibles. Asimismo, contribuye al fortalecimiento de las aplicaciones educativas, industriales y de investigación dentro del ámbito de la robótica y la manufactura aditiva.

10. Biografía

- Qiao, J., & Shang, J. (2013). Application of axiomatic design method in in-pipe robot design. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(4), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.10.007>
- Rojas, J. S., & Suárez, M. A. (2012). Diseño e implementación de un brazo robótico de bajo costo para la automatización en el proceso de análisis bacteriológico. *Inge-Cuc*, 8(1), 219–230.
- Muñoz Zatizabal, H. X., & Garcia Salazar, G. F. (2016). *Construcción Y Ensamblaje De Un Brazo Robot a Escala Controlado Con Una Tarjeta Arduino Y Desarrollo Del Software, Para El Control Y Manipulación Por Medio De Joystick, Labview Y App Por Bluetooth Proyecto*. 162.
- NSK. (2012). *Tipos Y Características De Los Rodamientos*. 565.
- Núñez-Cortés, R., Cruz-Montecinos, C., Torres-Castro, R., Tapia, C., Püschel, T. A., & Pérez-Alenda, S. (2022). Effects of Cognitive and Mental Health Factors on the Outcomes Following Carpal Tunnel Release: A Systematic Review and Meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 103(8), 1615–1627. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.10.026>
- Pamplona, Á. I. M. Á. M. A. U. (2018). *Programación de un brazo robótico basado en Arduino y controlado*. 1–77. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/29248/MemoriaTFG-Alvaro Ibañez Mariñelarena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, J. (2013). *Diseño y construcción de un brazo robótico manipulador Móvil*. 10. <https://upaep.mx/micrositios/coloquios/coloquio2013/memorias/Mesa%0A4%0AMec%0Ay%0ABio/4.-Meliton%0AFernando%0ASantiago.pdf>
- Popa, C. F., Marghitas, M. P., Galatanu, S. V., & Marsavina, L. (2022). Influence of thickness on the IZOD impact strength of FDM printed specimens from PLA and PETG. *Procedia Structural Integrity*, 41(C), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.05.064>
- Prosthesis, M., & Amputees, T. (2017). *ib*. 38(3), 602–620.
- McKeown, C. (2008). A Guide to Human Factors and Ergonomics. In *Ergonomics* (Vol. 51, Issue 6). <https://doi.org/10.1080/00140130701680379>
- Reseña, C., & De, H. (n.d.). *Indice*.
- Riccillo, M. (n.d.). *Robótica*.
- Rob, B., & Rv, T. (n.d.). *Brazo robótico rv.09*.
- Robotics, I. (n.d.). *Why SCARA ?*
- Rojas, J. S., & Suárez, M. A. (2012). Diseño e implementación de un brazo robótico de bajo costo para la automatización en el proceso de análisis bacteriológico. *Inge-Cuc*, 8(1), 219–230.
- Sanz, P. J. (2006). Introducción a La Robótica Inteligente. *Sanchez Pedro, I*, 80. <http://www3.uji.es/~sanzp/robot/RobInt-Apuntes.pdf>
- Scorbot-er, E. L. B. R. (n.d.). *El brazo robot scorbot-er iii*. 17–32.

- Soares, A. P. (2013). 済無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Soleyman, E., Aberoumand, M., Rahmatabadi, D., Soltanmohammadi, K., Ghasemi, I., Baniassadi, M., Abrinia, K., & Baghani, M. (2022). Assessment of controllable shape transformation, potential applications, and tensile shape memory properties of 3D printed PETG. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 4201–4215. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.076>
- Techawinyutham, L., Tengsuthiwat, J., Srisuk, R., Techawinyutham, W., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2021). Recycled LDPE/PETG blends and HDPE/PETG blends: mechanical, thermal, and rheological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 2445–2458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.052>
- Trejos, S., & Trejos, P. S. (2005). Propiedades físicas y químicas del cuero para calzado de seguridad. *Tecnología En Marcha*, 18(1), 37–47.
- Ultimaker. (2017). *Ficha de datos técnicos PLA*. 1–3. <https://ultimaker.com/download/67583/TDS PLA v3.011-spa-ES.pdf>
- Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). *Conceptos y reglas de lean manufacturing* (pp. 13–40, 45–61, 69, 253).
- Zhao, Y., Chen, Y., & Zhou, Y. (2019). Novel mechanical models of tensile strength and elastic property of FDM AM PLA materials: Experimental and theoretical analyses. *Materials and Design*, 181, 108089. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108089>
- Maiti, & Bidinger. (1981). 済無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- M, Martínez a Gloria, A, J. O. S., & , José, R. M. (2008). Diseño propio y Construcción de un Brazo Robótico de 5 GDL. *Revista De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación*, 4(1), 9–15. <https://doi.org/ISSN: 1870-9532>
- Lin, K. C., Miao, W., & Liao, W. Y. (2022). How to implement inclusive design into distinctive feature hand tool? a design study on fine operation-aid screwdriver. *Heliyon*, 8(7), e09866. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09866>
- Kumar, R., Sharma, H., Saran, C., Tripathy, T. S., Sangwan, K. S., & Herrmann, C. (2022). A Comparative Study on the Life Cycle Assessment of a 3D Printed Product with PLA, ABS & PETG Materials. *Procedia CIRP*, 107, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.003>
- Iván, C. O. (1999). *Una introducción a la Robótica Industrial* (p. 14). <http://www.umng.edu.co/documents/63968/74798/8n1art6.pdf>
- Guti, R. D., & Hern, C. (n.d.). *sistema de lectura del movimiento mecánico humano para su réplica ajustada a un prototipo de brazo robótico* Brazo robótico Rolando Daniel Gutiérrez Ortega *. 71–94.
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2021). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* (3rd ed.). Springer.

Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.

Truby, R. L., & Lewis, J. A. (2016). Printing soft matter in three dimensions. *Nature*, 540(7633), 371–378.

Zhang, Y., Bernard, A., & Perry, N. (2020). Multi-criteria optimization of additive manufacturing processes for lightweight robotic structures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101893.

Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587.

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2021). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* (3rd ed.). Springer.

Zhang, Y., Bernard, A., & Perry, N. (2020). Multi-criteria optimization of additive manufacturing processes for lightweight robotic structures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101893.

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2021). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* (3rd ed.). Springer.

Hedayati, E., & Daneshmand, F. (2019). Polymer-based mechanical components for harsh environments: A review of material performance and applications. *Materials & Design*, 181, 108–131.

Igus GmbH. (2022). *Polymer Bearings: Technical Data and Application Guide*. Igus Technical Publication.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.

Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.

Zhang, Y., Bernard, A., & Perry, N. (2020). Multi-criteria optimization of additive manufacturing processes for lightweight robotic structures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101893.