

DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO BIO - INSPIRADO EN UN OCTÓPODO PARA LA PALETIZACIÓN DE HUEVOS, BASADO EN LA BIO - MÍMESIS

DESIGN OF A BIO - ROBOTIC ARM INSPIRED BY AN OCTOPUS FOR PALLETIZING EGGS, BASED ON BIO - MIMESIS

Denzel Alexander Quinto Murillo¹

Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO

Ella Yohana González Guevara²

Ella Yohana González Guevara [CV] Ingeniera Catastral y Geodesta, Licenciada en Educación, especialista de Edumática, Magister en Docencia e Investigación universitaria

Fredy Marín Padilla³

Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO

Jeisson Ferney Bucurú Rodríguez⁴

Ingeniero Mecatrónico, Mg Mecatrónica. Docente Universitario; Corporación Tecnológica Industrial Colombiana - TEINCO

Jonathan Felipe Rodríguez Aldana⁵

Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO

Nicolás Leonardo Rodríguez Vargas⁶

Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO

RESUMEN

La biomímesis, hoy en día, es considerada una disciplina que pretende educar y transformar el comportamiento de la sociedad hacia acciones más sustentables. El principio de la biocinética se basa en la vida, los cuales permiten guiar al ser humano a construir de manera ascendente, optimizar, aprovechar la energía libre, adaptarse y evolucionar utilizando procesos y materiales amigables con la vida, de manera que se pueda establecer una relación simbiótica con el propósito de mejorar la civilización humana. La historia natural del diseño expresa ese potencial creativo e interdisciplinario para entender el mundo natural, y así, indagar dentro de la biomímesis. Es aquí donde mediante la ingeniería mecatrónica se toman datos, se identifica y se investiga la manera en la cual se realiza un diseño de brazo robótico cuya función permite la toma y el traslado de huevos para su proceso de empaquetado.

¹ Denzel Alexander Quinto Murillo [CV] Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO-, Colombia - 1077424821@teinco.edu.co

² Ella Yohana González Guevara [CV] Ingeniera Catastral y Geodesta, Licenciada en Educación, especialista de Edumática, Magister en Docencia e Investigación universitaria. Docente Universitaria; Coordinadora de Investigación ingeniería Mecatrónica. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO-, Colombia – ella.gonzalez@teinco.edu.co

³ Fredy Marín Padilla [CV] Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO-, Colombia - 1024588352@teinco.edu.co

⁴ Jeisson Ferney Bucurú Rodríguez [CV] Ingeniero Mecatrónico, Mg Mecatrónica. Docente Universitario; Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO-, Colombia - jeisson.bucuru@teinco.edu.co

⁵ Jonathan Felipe Rodríguez Aldana [CV] Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO-, Colombia - 1000522205@teinco.edu.co

⁶ Nicolás Leonardo Rodríguez Vargas [CV] Ingeniero Mecatrónico en formación, S IX. Corporación Tecnológica Industrial Colombiana -TEINCO-, Colombia - 1033746554@teinco.edu.co

Durante el desarrollo del proyecto se evidencian las técnicas, cálculos y aplicaciones que se llevaron a cabo para la construcción del mismo; así mismo como los procesos mecánicos, neumáticos y eléctricos que se ejecutaron para obtener resultados positivos en la modelación digital, donde se juntará el modelo de la naturaleza con el ingenio y transmutación del hombre para dar como resultado al brazo robótico capaz de generar movimiento y adhesión al elemento asignado.

A continuación, encontrarán la situación problemática identificada, las bases teórico – conceptuales sobre la cual se elabora el proyecto con una propuesta metodológica al desarrollo de la misma, además de una validación de las métricas inicialmente propuestas y las conclusiones a las cuales llega el proyecto. Igualmente la metodología está basada en el diseño para prototipos en donde se establece el estudio de materiales, el desarrollo de la programación con criterios previamente definidos, la identificación de la estructura mecánica del brazo robótico y el análisis de los diferentes esfuerzos a los que se someten las piezas, finalmente el desarrollo la solución cumplió con el propósito inicial que fue la ideación de un sistema cuyo modelo estaba basado en un cefalópodo.

PALABRAS CLAVE: Biomímesis, mecatrónica, diseño, mecanismo, modelamiento.

ABSTRACT

Biomimicry, today, is considered a discipline that aims to educate and transform the behavior of society towards more sustainable actions. The principle of biomimicry is based on life, which allows guiding the human being to build upward, optimize, take advantage of free energy, adapt and evolve using life-friendly processes and materials, so that a symbiotic relationship for the purpose of improving human civilization. The natural history of design expresses that creative and interdisciplinary potential to understand the natural world, and thus, inquire into biomimicry. It is here where, through mechatronic engineering, data is collected, the way in which a robotic arm design is carried out, whose function allows the taking and transfer of eggs for their packaging process, is identified and investigated.

During the development of the thesis, the techniques, calculations and applications that were carried out for its construction are evidenced; as well as the mechanical, pneumatic and electrical processes that were executed to obtain positive results in digital modeling, where the model of nature will be combined with the ingenuity and transmutation of man to result in the robotic arm capable of generating movement and adhesion to the assigned element.

Below you will find the problematic situation identified, the theoretical-conceptual bases on which the project is elaborated with a methodological proposal for its development, as well as a validation of the initially proposed metrics and the conclusions reached by the project.

KEYWORDS: Biomimicry, mechatronics, design, mechanism, modeling.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia se evidencia que el ser humano constantemente busca soluciones para resolver diferentes problemas, ha utilizado diversos métodos, entre ellos la especialización de la investigación científica y tecnológica. Sin embargo, la búsqueda para obtener una mejor calidad de vida ha ido más allá, al punto de llevarlos a aprender a utilizar los recursos naturales como elementos de transformación que les facilita desarrollar nuevas tecnologías.

Gracias a esto, surge la automatización la cual es un sistema que permite el incremento sustancial de la producción en cualquier industria mediante procesos de control y monitoreo. La integración de la automatización en el presente proyecto está incorporada en los diferentes elementos y dispositivos tecnológicos que conforman el brazo robótico permitiendo generar el proceso del empaquetado de huevos con mayor eficacia, teniendo un impacto importante en el área industrial.

El presente proyecto está encaminado a la automatización de pequeñas empresas productoras de huevo dentro del sector avícola. Este proceso se realizó mediante el diseño de un sistema de brazo robótico capaz de tomar, trasladar y ubicar huevos de gallinas permitiendo así un proceso de empaquetado mucho más rápido y eficiente. Bajo los fundamentos de la ingeniería mecatrónica y los principios de la biomímesis, se plantean métodos de cálculos bajo las áreas de electrónica, mecánica, control y diseño que permiten conocer cómo se llevó a cabo lo principalmente planteado.

2. MÉTODO

La metodología elegida para el desarrollo del presente proyecto está basada en la investigación aplicada la cual busca resolver un problema identificando posibles recursos (teóricos y/o prácticos) y logrando así, además de una solución alternativa a las clásicamente encontradas, una solución viable ante necesidades sociales y tecnológicas. Esto último refiere a que “la tecnología es el conjunto de conocimientos científicos y empíricos... requeridos para producir, distribuir y utilizar bienes de consumo. Incluye por lo tanto, conocimientos teóricos y prácticos” (E, 2006).

Ahora bien, en el diseño metodológico se identifica:

Población: el proyecto va dirigido al sector avícola que comprende un territorio ubicado en la Región central de Colombia, exactamente en el departamento de Cundinamarca, en donde se cuenta con aproximadamente 1.589 predios agrícolas especializados en la producción de huevos.

Según las cifras arrojadas por FENAVI para el 2018, hubo una producción de 4.311.914.776 huevos en la región central colombiana conformada por los departamentos de: Cundinamarca, Boyacá, Tolima y Huila, se escoge el departamento de Cundinamarca por ser el de mayor producción y por facilidad económica y geográfica para el traslado de insumos y herramientas necesarias teniendo en cuenta la ciudad y sede base que es Bogotá.

Imagen 1. Ilustración 4. Principales Zonas Avícolas y producción de Huevos en Colombia

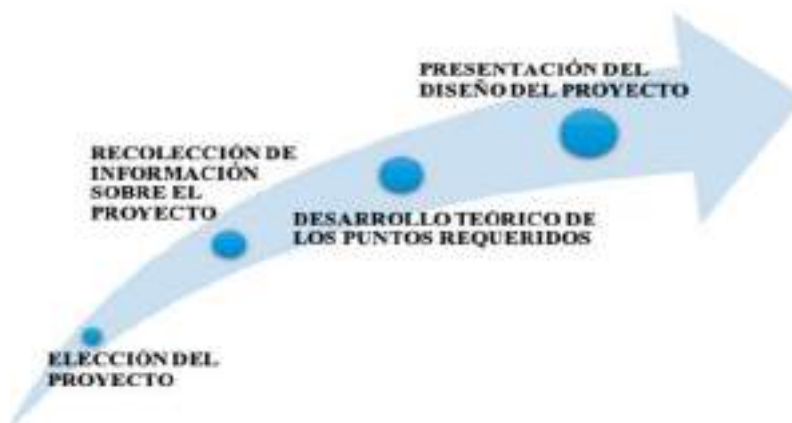


Fuente: Completamente generado por el autor, 2022

De acuerdo al ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) las empresas avícolas productoras de aves reproductoras y de primera generación registradas son 52 entre las que se encuentran: Incuavícola Quindío S.A- (Quindío), Pimpollo (Bogotá), Avícola Colombiana S.A Avicol (Ibagué), Avidesa MC pollo S.A (Bucaramanga) Ideacampo S.A (Medellín).

Instrumentos de recolección de información: pruebas de uso del artefacto – validación (pág. 38 del presente documento)

2.1. MÉTODO PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS APLICADOS. CONSISTE EN CUATRO ETAPAS:



2.1.1. ELECCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se encuentra la formulación, el planteamiento del problema, y se establecen los objetivos del proyecto.

a. Identificación de la pregunta problema

¿Cómo desde el modelo de ventosas del pulpo se pueden automatizar procesos de la pequeña industria avícola para volver más eficiente la línea de producción y empaque del huevo?

b. Planteamiento del problema.

En la actualidad múltiples compañías buscan obtener mayores ventajas de producción para satisfacer la demanda en comparación a sus rivales. Es por esto que durante las últimas décadas han invertido en automatizar sus procesos de producción, lo cual es un factor fundamental debido a las ganancias obtenidas por la agilización de aumento en sus productos. Por ello múltiples industrias del sector alimentario implementan líneas de producción automatizadas permitiendo el cambio y haciendo el trabajo más rápido y eficiente. Desde otro punto de vista, se plantea que estas líneas de desarrollo requieren de altos recursos como las fuentes de energía constantes, los diferentes sistemas de montajes y la implementación de costosas maquinarias que requieren de un capital que pocas empresas no poseen. Por otro lado, sus diferentes procesos de mantenimiento requieren de personal capacitado con equipos especializados que resultan ser algo costosos, teniendo en cuenta el ambiente y los productos con los que se trabajan. Por lo tanto, en Colombia las pequeñas y medianas industrias suelen contar con un número inferior a 200 empleados y activos totales hasta de 30.000 SMLMV (salarios mínimos legales mensuales vigentes), lo suficiente como para optar en grandes inversiones en el área de automatización como la producción avícola.

c. Objetivos

General

Diseñar en SolidWorks un brazo robótico para procesos de automatización en la industria avícola, basados en los principios técnicos de la bio - mimesis y la mecatrónica.

Específicos

1. Indagar dentro del campo de la bio - mimesis y la ingeniería mecatrónica, con el fin de hallar una relación entre sí para posteriormente aplicarla en el sector avícola.
2. Utilizar las herramientas y operaciones de SolidWorks para la modelación de un mecanismo cuyo dispositivo de adhesión esté basado en las ventosas del pulpo.

Identificar los esfuerzos y cálculos dinámicos a los que se someten las piezas con respecto al movimiento del brazo robótico.

2.1.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Sobre el proyecto y Desarrollo teórico de los puntos requeridos:

A continuación, se encuentran como elementos referentes para el desarrollo del proyecto; algunos antecedentes, estado del arte, teorías y conceptos pertinentes al objeto de estudio.

La seda es uno de los primeros ejemplos de biomimetismo en la historia de la humanidad. El hombre implementa este recurso hace unos 4000 AC, convirtiéndolo en uno de los primeros tejidos inventados por los seres humanos. Es bien sabido que proviene de los gusanos de seda (*bombyx mori*) y que los chinos fueron la primera civilización en utilizarlos (Schreiner, 2020). Si se decide investigar sobre las primeras bases de la biomimética, es imprescindible nombrar al primer investigador en biónica o ingeniería mecánica biomimética Leonardo Da Vinci. Estudió la formación y el movimiento de las alas de los pájaros, trató de simularlas e inventó la máquina voladora (Cascallana, 2020). Aplicando la biomimesis al estudio de las aves con la esperanza de realizar el vuelo humano mediante la observación de la anatomía y el vuelo de los pájaros proponiendo muchos bocetos de máquinas voladoras. Estas ideas, junto con las observaciones de palomas (*columba livia*) en vuelo, inspiraron a los hermanos Wright para efectuar el vuelo del primer avión en 1903 (Cascallana, 2020). Por otro lado también creó diseños de máquinas voladoras inspiradas en aves y murciélagos. Diseñó barcos y aeronaves observando peces y pájaros (Darwan GAN & Osama, 2016). Ha sido una de las figuras más admiradas y estudiadas del Renacimiento italiano. Considerado como un experto científico, inventor, artista, arquitecto, matemático, fue un hombre considerado como muy adelantado para su tiempo.

Como resultado de la indagación humana, del desarrollo de soluciones creativas, la automatización agrícola ha aumentado considerablemente en las últimas décadas puesto al interés y la ambición del hombre para cambiar los métodos de productividad debido a los beneficios como el aumento del rendimiento de elaboración o la reducción de la mano de obra. El artículo "Cosecha Robótica De Berenjenas Mediante Manipulación De Dos Brazos" da a conocer un robot cosechador de berenjenas de dos brazos. Para detectar y localizar las berenjenas de forma automática, se ha implementado un algoritmo basado en un clasificador de máquina de vectores de soporte y diseñamos un algoritmo de planificación para programar una recolección eficiente de la fruta que coordina los dos brazos durante todo el proceso de recolección. (Estupiñan, 2016).

Un ejemplo importante que permite tener un referente es el BionicMobileAssistant, este se mueve de manera autónoma en el espacio y puede reconocer objetos sin la ayuda de otro sistema. El procesamiento de la información obtenida lo toma una red neuronal, la cual fue entrenada previamente con ayuda de la Data Augmentation. Para obtener los mejores resultados posibles, la red neuronal necesita de mucha información a partir de la cual poder controlarse, lo cual quiere decir que entre más imágenes posea para el entrenamiento, más confiable será su resultado. Además, esto requiere de mucho tiempo, se cuenta con una multiplicación automática de la base de datos.

Otro ejemplo a considerar es el dedo adaptivo DHAS este se basa en el increíble comportamiento de la aleta que tienen los peces en la cola. Donde sí se llega a presionar lateralmente la aleta, esta no se rompe ni se parte, por el contrario, se curva alrededor del punto donde se generó la presión. Los desarrolladores han instaurado técnicamente este llamado FinRay Effect mediante dos cintas de carácter

flexibles de poliuretano las cuales se conectan entre sí a través de unas bandas intermedias, las cuales pueden colocarse en centradas o paralelo. Cabe resaltar que El DHAS ya ha encontrado la aplicación de esto en la industria alimentaria; un ejemplo de ello, es la clasificación de la fruta y la verdura. Igualmente la pinza adaptable a la forma DHEF, es un caso de evolución este sistema, en el cual se basaron del FlexShapeGripper, con el objetivo de mejorarlo. Su funcionamiento se basa en la lengua del camaleón. Debido a que al momento de este animal atrapar a sus presas, la lengua del reptil se desprende como si fuera una goma elástica. Momentos antes de que la punta de su lengua llegue al insecto, lo que hace es retirar la parte central, mientras que por otra parte los bordes si continúan avanzando.

De otro lado la simulación y síntesis de sistemas biológicos se ha vuelto esencial para comprender y explicar la lógica y la complejidad de la vida, lo cual es un factor fundamental para la biología nueva (Luisi, 2010; Solé y Goodwin, -2000; Stewart, 1999; Emmeche, 1998). En particular, han logrado profundizar su comprensión de los mecanismos que crean complejidad y dinámicas globales emergentes (Langton, 1996). A diferencia de todas las ciencias biológicas tradicionales, esta nueva ciencia, llamada vida artificial, no se centra exclusivamente en estudiar la vida tal como fue (o es) en el planeta; sino que trata de crearlo, además, en el entorno artificial (la vida como podría ser). Es decir, ante un enfoque histórico, la vida artificial utiliza un enfoque eficiente (Varela, 2000).

Dos lecturas adicionales siguen a esta última afirmación. Uno de estos problemas involucra la idea científica y filosófica de que la mejor o quizás la única forma de comprender la dinámica y el espacio de comportamiento de un sistema complejo es construirlo. (Kari y Rozemberg, 2008; de Rosnay, 2000; Bonabeau y Théraulaz, 1997). Otra razón, es el reconocimiento de que cuando es posible sintetizar compartimentos o biodinámica en un ambiente artificial debe construir, implícita o explícitamente, un sistema capaz de aplicar para resolver problemas técnicos complejos. Los modelos y herramientas de vida artificial se pueden clasificar en grupos según su papel en la ciencia-ingeniería: los enfocadas en comprender y explicar fenómenos biológicos, y quienes cuyo objetivo no es comprender un fenómeno biológico específico, sino resolver un problema o un grupo de problemas en el campo de la ingeniería. Ejemplos: los sistemas de Lindenmayer (Prusinkiewicz and Lindenmayer, 1990) y las redes booleanas (Kauffman, 2003), la inteligencia de enjambres (Bonabeau, Dorigo, and Theraulaz, 1999) y la computación inmune (Dasgupta and Niño, 2009), y la programación genética (Koza, 1998) y la optimización por colonias de hormigas (Dorigo and Stützle, 2000). En resumen, la ingeniería biomimética (más generalmente, los sistemas biomiméticos y, más precisamente, la vida artificial) se convierte en la base para la ingeniería de los sistemas complejos. El pulpo (algunos otros animales) y algunos artefactos tecnológicos. Los pulpos son animales marinos identificados como seres altamente adaptativo, que utiliza varias estrategias para evitar o disuadir los ataques de sus depredadores y son muy inteligentes; pertenecen a la familia de los moluscos cefalópodos ya que no son vertebrados por lo cual es demasiado flexible, habitan en aguas tropicales pudiéndose encontrar en el fondo marino y poseen ocho brazos fuertes provistos de tentáculos, dos ojos que sobresalen tres corazones, un cerebro y en la parte interior de sus ocho brazos cuenta con unas potentes ventosas. Utilizan un mecanismo que le permite impulsarse rápidamente en el agua lo cual le facilita escapar de las amenazas que vive en las profundidades del mar, tiene un

tanque de tinta y se puede ocultar fácilmente utilizando “una red de células pigmentarias y músculos especializados en su piel, el pulpo común puede casi instantáneamente igualar el color, el patrón e incluso la textura de su entorno; si todo lo demás falla, el pulpo también puede perder uno de sus brazos para escapar de las garras de un depredador” (National Geographic España, s.f.). Al estar compuesto en su mayoría por músculos blandos se le facilita además de nadar con habilidad, también manipular y sujetar diferentes objetos a la perfección. Este es el comportamiento el cual ha tomado el TentacleGripper, una pinza la cual se compone de una estructura de silicona blanda controlada de forma neumática. Si se trabaja con aire comprimido, lo que hará el tentáculo es doblarse hacia el interior teniendo la capacidad de coger el objeto que haya que sujetar con suavidad y adaptándose a la forma. Como sucede con su modelo natural, hay dos filas de ventosas en la cara interior del tentáculo de silicona. Mientras que las ventosas pequeñas actúan en la punta de la pinza, el vacío puede aplicarse en las ventosas más grandes con el que el objeto se adhiere a la pinza. Lo que conlleva a que el TentacleGripper tenga la capacidad de coger y sujetar una gran variedad de formas diferentes. Debido a su material blando, no es solo que los tentáculos artificiales agarren con suavidad y seguridad, sino que a su vez cumplen con los estrictos criterios de un componente de robótica blanda, lo que genera un gran potencial para los espacios de trabajo a futuro. (Festo, 2013).

Entre otros artefactos tecnológicos que se inspiran en los animales, se tiene: El BionicMotionRobot es un instrumento sensible y fuerte, los movimientos que genera se basan en la trompa del elefante y en los tentáculos del pulpo (Festo, 2010). El 3D Cocooner hace referencia a las telas capullos protectores o para cazar presas. Las orugas de mariposa y las arañas pueden crear sorprendentes tejidos con ayuda de sus hilos. (Festo, 2010). El FlexShapeGripper es un tipo de camaleón puede cazar diversidad de insectos, tan solo enrollando a sus presas con la lengua y atrapándolas de forma segura. (Festo, 2010). En la BionicSoftHand allí se emplea el sistema del reinforcement learning, en otras palabras, del aprendizaje por imitación y por prueba y error, a partir de las respuestas que obtiene (Festo, 2010). El BionicWorkplace integra métodos «capaces de aprender» con cabeza pedante y androides que trabajan codo a codo, es un neumático ligero que se inspira en la organización estructurada del brazo a través de sus impulsos maleables y atrayentes. Es intuitivo lo que permite que el Bioniccobot interactúe de guía directa y segura, trabaja con periféricos que están conectados entre sí y se comunican unos con otros; es anticipativo «capaz de aprender» (Festo, 2010). El BionicFlyingFox, el denominado zorro volador pertenece al orden de los murciélagos; los únicos mamíferos capaces de volar activamente. Una de sus características especiales es la membrana de sus alas, fina y elástica, que se extiende desde los metacarpiños y falanges extendidas hasta las articulaciones de los pies. (Festo, 2010).

El BionicWheelBot: Las nuevas formas de movimiento rompedoras y sistemas de propulsión a través de un robot andante con características inspiradas en el modelo biológico de las arañas, en este caso en el de la araña Cebrennus rechenbergi que tiene la capacidad de caminar como normalmente lo haría, pero a su vez puede avanzar hacia adelante con una doble secuencia en la que rueda en el suelo y en el aire, con lo cual, se logra adaptar perfectamente a sus diversos entornos: sobre la superficie plana, cuando rueda es mucho más rápida que cuando camina, se podría decir que el doble. (Festo, 2010). El BionicFinWave: Las

planarias marinas, el aba y la sepia, tienen algo en común, que, para su desplazamiento, generan una onda mediante sus aletas longitudinales propulsándolos por todo su cuerpo. El BionicFinWave se mueve a través de un sistema de tubos de cristal acrílico gracias al movimiento ondulatorio de su aleta. (Festo, 2010). El BionicSwift: Estos son maniobrables, ágiles, y capaces de dar vueltas en el aire, a tal punto de volar por curvas cerradas. Esto se da con la ayuda de un GPS de carácter inalámbrico de interior, estas cinco golondrinas artificiales logran coordinar y moverse de forma autónoma por un espacio aéreo determinado. (Festo, 2010).

Finalmente se identifica que el objetivo del proyecto está alineado con el Objetivo de Desarrollo sostenible -ODS- número 9 “Industria, Innovación E Infraestructura”, el cual versa sobre la construcción de infraestructuras resilientes para promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, propósito coherente con la construcción de un prototipo asociado a un nuevo diseño que permita el empaque de huevos haciendo uso responsable de materiales, optimizando procesos y logrando la eficiencia energética.

2.1.3. PRESENTACIÓN DEL DISEÑO DEL PROYECTO

Para el logro de esta fase del proyecto se utilizó una metodología específica para diseño de prototipos que se describe en la estrategia metodológica.

2.2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Se eligió la **Metodología Del Diseño Del Prototipo** la cual está basada en seis procesos: desarrollo de la solución, análisis estáticos, morfología y análisis cinemático, funcionamiento, programación y materiales.



3. PROCEDIMIENTO

A través de la investigación se estudió en el área de la biomímesis, como ciencia que busca en la naturaleza inspiración para desarrollar tecnologías innovadoras que solucionen problemas humanos, esto con la finalidad de encontrar un modelo a replicar, adaptar e inspirar, de un brazo robótico, se conoció diversidad de sistemas basados en la naturaleza tanto su diseño, materiales, tipo de fabricación y funcionamiento. De esta forma se llegó a un modelo de brazo robótico cuya parte manipuladora es de tipo ventosa, inspirados en el pulpo, además de su fisionomía de varios brazos y que pueden utilizarse simultáneamente.

El diseño del brazo robótico se generará en un software CAD (diseño asistido por computador) SolidWorks, el cual sirve para el modelado mecánico en 2D y 3D, dónde allí mismo se le realizarán pruebas de funcionamiento, diseño y movilidad, a tal punto de conseguir el mejor resultado posible. Con este proyecto se pretende obtener un modelo rápido, seguro y eficaz al momento de ejecutar su función en las diferentes áreas de automatización.

El desarrollo del diseño en el software sirve también como prueba y error antes de mostrar la propuesta final, dado a que llevar a cabo el desarrollo físico sin un previo diseño conlleva a presentar múltiples errores e inconvenientes al momento de su funcionamiento.

Imagen 2. Diseño final del brazo robótico



Imagen generada por los autores

Con este diseño se prevé que al completar un ciclo desde el lugar de recolección-succión (cinta transportadora A), hasta el lugar de descargue-expulsión (cinta transportadora B) se hayan transportado un total de 120 huevos.

Gracias a la implementación del actuador lineal se permite que cada uno de los brazos puedan realizar el proceso de subida y bajada de una forma más eficaz, además permite que dentro de la programación cada brazo pueda ascender y descender en el momento deseado.

Imagen 3. Diferentes vistas del brazo robótico

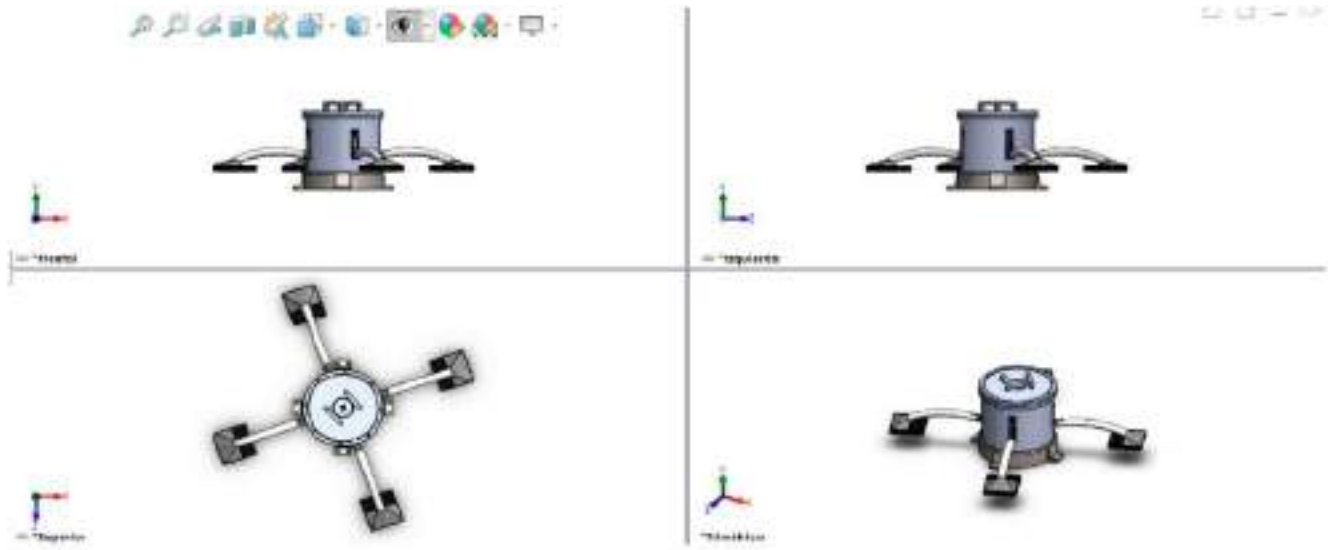


Imagen generada por los autores

3.1. PARTES DEL BRAZO ROBÓTICO

A continuación, se presentan cada una de las partes que conforman la estructura ensamblada del brazo robótico, dentro de las cuales se encuentran:

Brazos recolectores, dispositivo que permite tomar y trasladar los huevos	
Tapa, este elemento de sellado tipo manhole está diseñado para evitar que los elementos internos se vean expuestos. Por otro lado, posee una apertura central la cual permite la entrada y salida de las mangueras neumáticas	
Base superior, dentro de esta se encuentran las conexiones neumáticas en donde se distribuyen las mangueras neumáticas que van hacia cada uno de los brazos. Por otro lado, permite el giro en 360° para transportar los huevos de una cinta transportadora a otra.	

Actuador lineal, permite el movimiento de forma lineal de los brazos. Su función es la de hacer que los brazos lleguen a una distancia adecuada permitiendo así tomar y dejar los huevos.



Dispositivo giratorio, este dispositivo en forma de disco posee en el medio un acople para la válvula 5/2 vías la cual permite la alimentación y distribución de las mangueras neumáticas que van hacia cada brazo con el fin de realizar el proceso de succión.



Motor de giro, este mecanismo eléctrico es el que mediante su movimiento rotacional permite la sublevación de toda la estructura superior que comprende el brazo robótico.



Base inferior, soporta toda la carga del brazo robótico. Además de mantener una buena estabilidad mediante los elementos que posee para hacer las sujeciones.

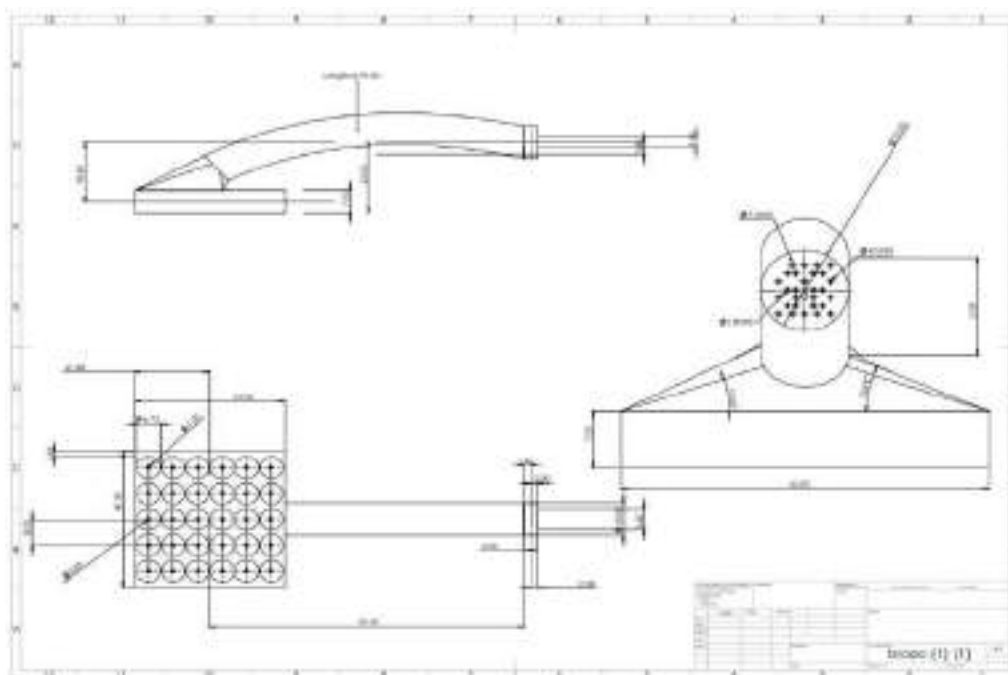


Imagen generada por los autores

3.2. PLANOS DE LAS PIEZAS

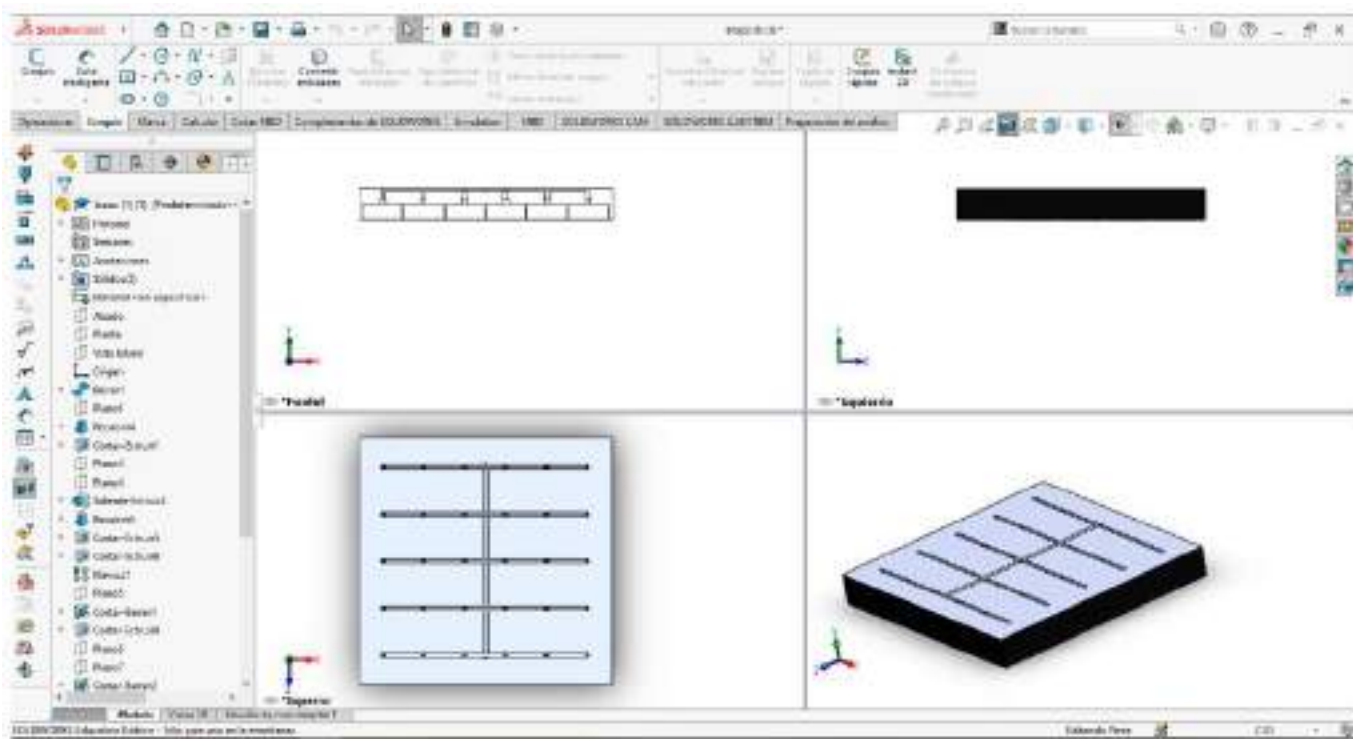
Se realizaron planos de cada una de las piezas donde se logra determinar las medidas y formas que dieron lugar a la creación del sólido.

Imagen 4. Ilustración 1. Planos del brazo



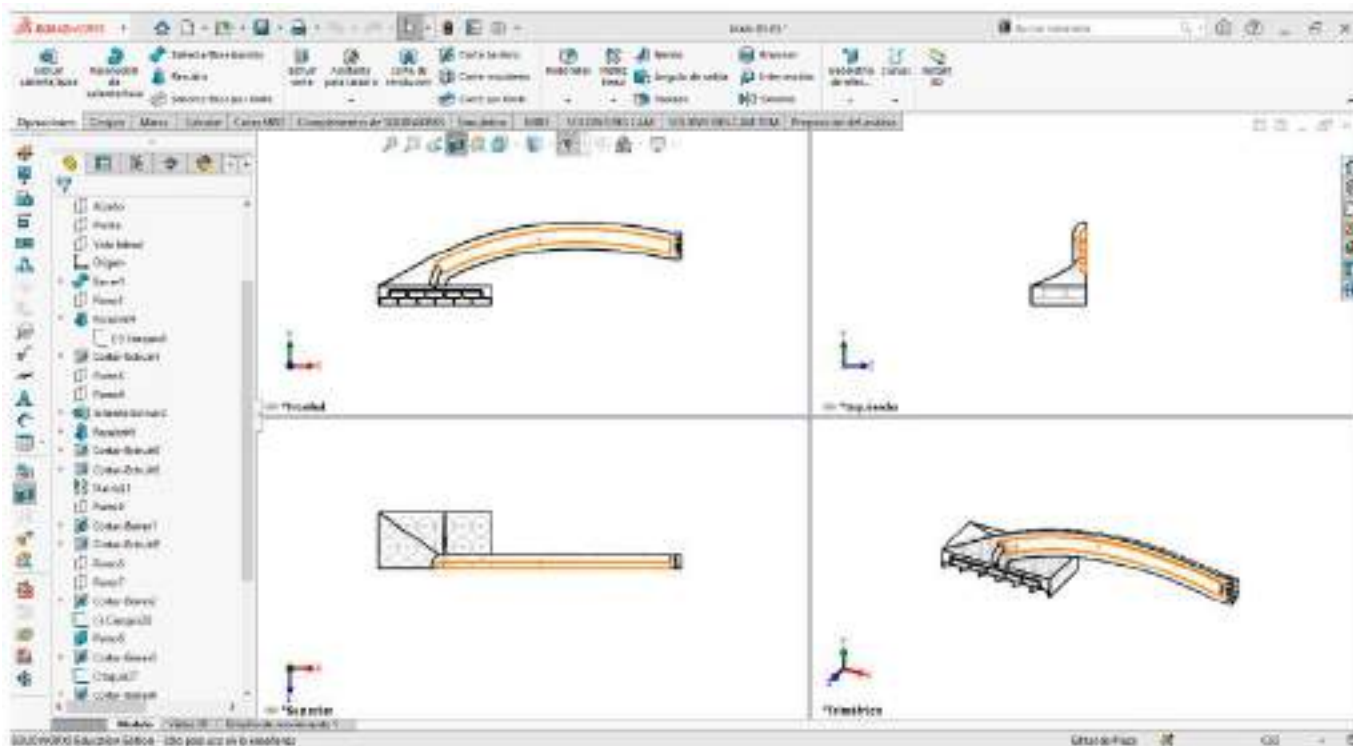
Fuente: Imagen generada por el autor

Imagen 5. Ilustración 2. Red interna de succión, corte superior



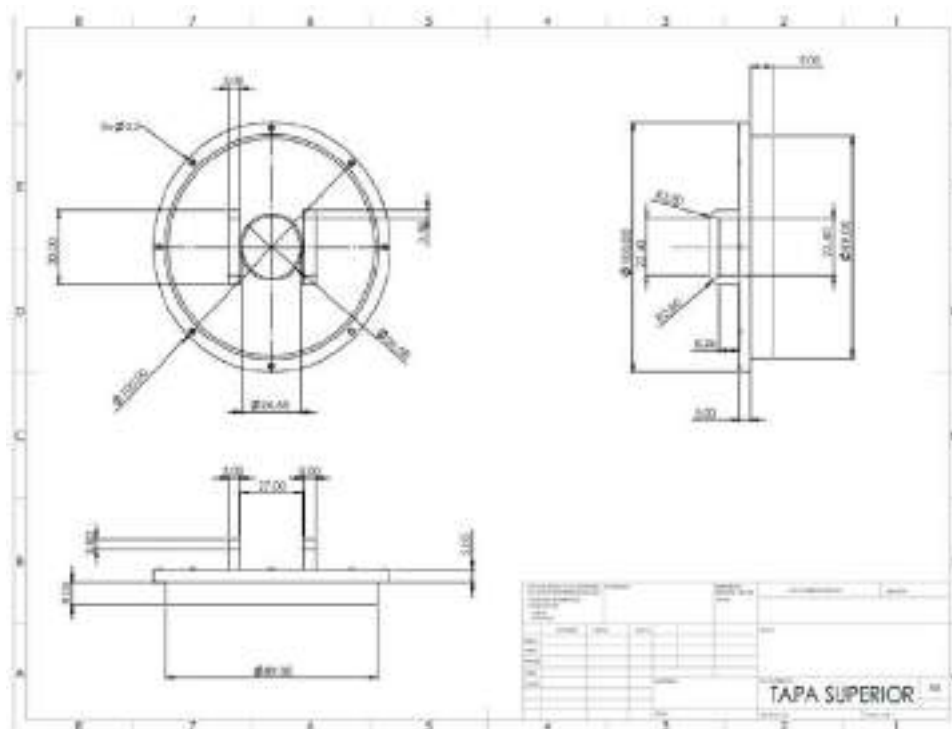
Fuente: Imagen generada por el autor

Imagen 6. Ilustración 3. Corte medio del brazo



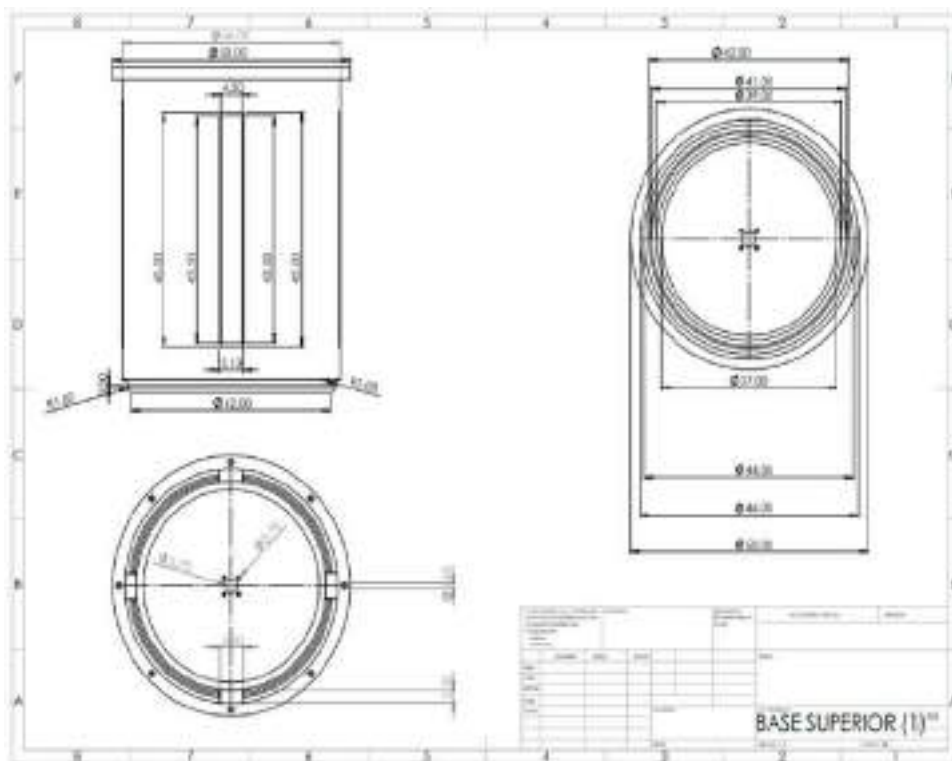
Fuente: Imagen generada por el autor

Imagen 7. Ilustración 4. Plano de la tapa para la base superior



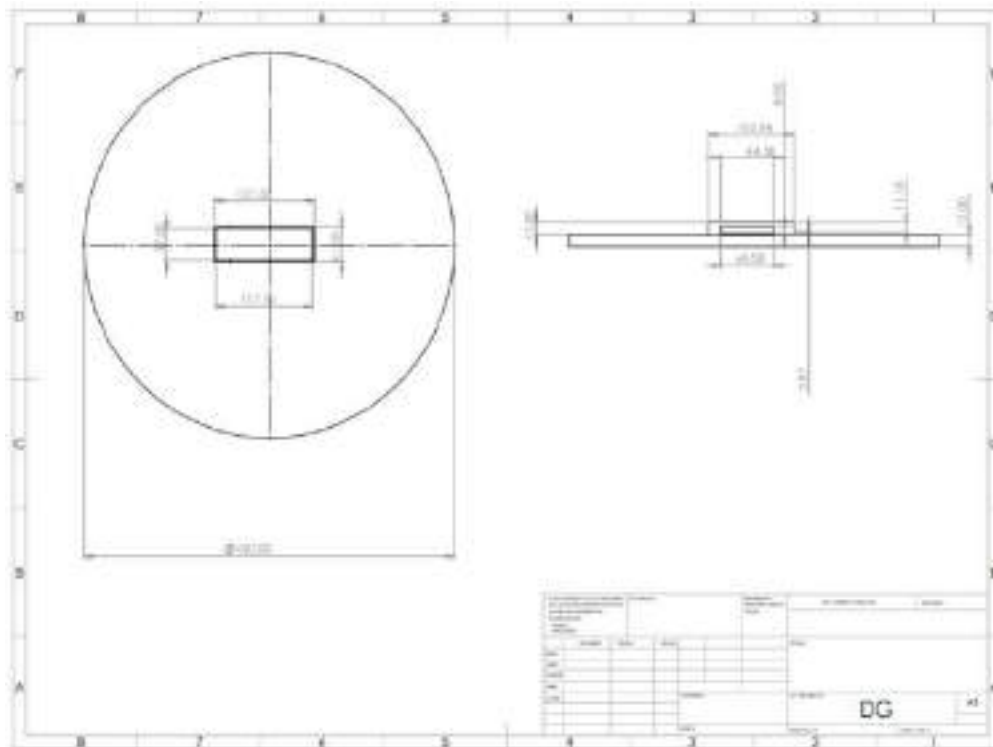
Fuente: Imagen generada por el autor

Imagen 8. Ilustración 5. Planos base superior



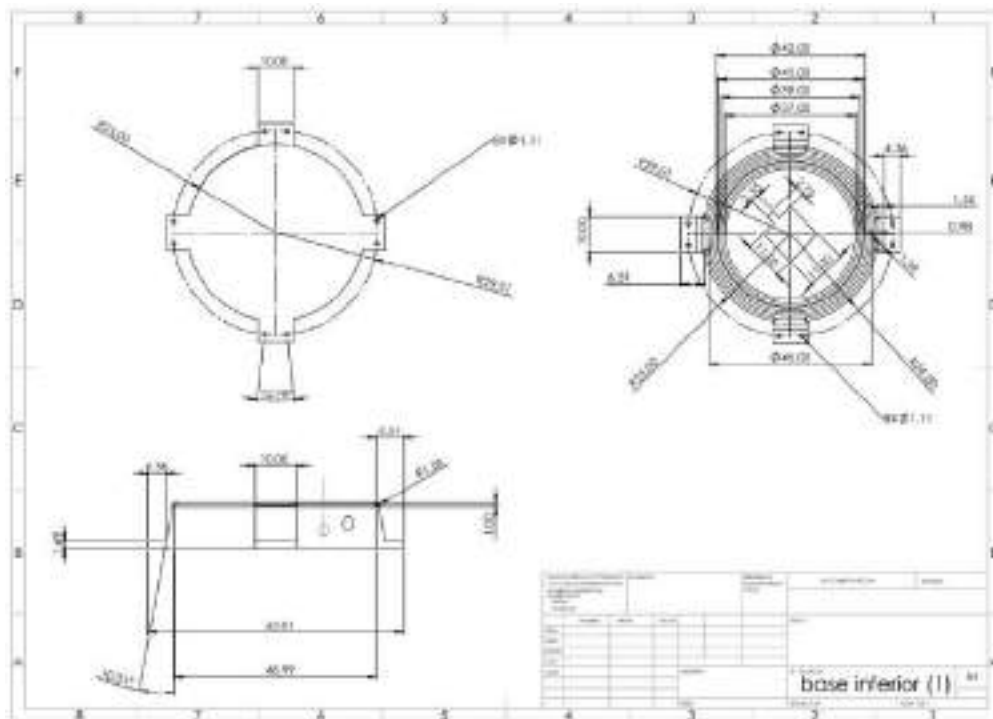
Fuente: Imagen generada por el autor

Imagen 9. Ilustración 6. Planos del disco giratorio



Fuente: Imagen generada por el autor

Imagen 10. Ilustración 7. Planos de la base inferior



Fuente: Imagen generada por el autor

3.3. ANÁLISIS ESTÁTICOS

La estática, perteneciente a la rama de la mecánica es la que se ocupa de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo rígido cuando está en equilibrio. El análisis estático se utiliza para determinar el estado de un mecanismo cuando se somete a fuerzas ya conocidas. La aplicación de esta busca una configuración en la que todas las cargas y fuerzas del mecanismo estén equilibradas y la energía potencia sea cero. El análisis estático identifica configuraciones estáticas más rápido que el análisis dinámico, ya que no tiene en cuenta la velocidad en el cálculo.

El análisis estático dentro del software SolidWorks cuantifica los desplazamientos, deformaciones unitarias, tensiones y fuerzas de reacción mediante el efecto de cargas aplicadas. Cuando se superponen cargas a un sólido, este sólido se deforma permitiendo que el efecto de las cargas se transmita a través del sólido. Las cargas mueven fuerzas internas y reacciones para renderizar el sólido a un estado de proporción.

Previo a la determinación de los diferentes análisis estáticos mediante SolidWorks, se realizaron las piezas y por consiguiente se tomaron los siguientes datos con el fin de tener medidas precisas de cada una de las piezas, esto incluyendo el producto principal que le levantan los brazos y el elemento que permite el movimiento lineal de este.

Medidas

PESO HUEVOS X 90	EN KG
6930	6.93

ELEMENTOS	PESOS UNIDAD (G)	PESOS TOTAL (G)	PESO TOTAL EN KG
Huevos	77	2310	2.31
Brazo	51004.06	204016.24	204.01624
Base superior	17161.66	17161.66	17.16166
Base inferior	55656.94	55656.94	55.65694
Actuador lineal	539.54	2158.16	2.15816

FUERZA EN N POR ELEMENTO	KG	NEWTON (N)
Brazo	2.31	22.638
Base superior	213.1044	2088.42312
Base Inferior	230.26606	2256.607388

Luego de haber determinado las medidas, se procede a realizar los análisis estáticos de cada una de las piezas mediante el software SolidWorks, con el objetivo de determinar factores como:

- Deformación de la pieza.
- Factor de seguridad.
- Cargas y sujeciones.

El análisis de cada uno de estos factores ha sido aplicado en las piezas que requieren una mayor concentración de esfuerzo.

A manera de ejemplo se referirá el análisis para una de las piezas.

BRAZO RECOLECTOR



Informe Pieza Brazo

SIMULACIÓN DEL BRAZO

Fecha: Martes 25/04/2023

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 2

Tipo de análisis: Análisis estático

Contenido:

Descripción, suposiciones, información del modelo, propiedades de estudio, unidades, propiedades de material, cargas y sujeciones, definiciones de conector, información de interacción, información de malla, detalles del sensor, fuerzas resultantes, vigas, resultados de estudio.

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir11 	Sólido	Masa:24.3938 kg Volumen:0.00903482 m³ Densidad:2,699.97 kg/m³ Peso:239.059 N	C:\Users\USUARIO\Downloads\brzo ULTIMA EDIT.SLDPRT Apr 25 20:24:13 2023
Cortar-Extruir10 	Sólido	Masa:26.61 kg Volumen:0.00985557 m³ Densidad:2,700 kg/m³ Peso:260.778 N	C:\Users\USUARIO\Downloads\brzo ULTIMA EDIT.SLDPRT Apr 25 20:24:13 2023

Tabla 1. Propiedades de estudio

Propiedades de estudio	
Nombre de estudio	Análisis estático 2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulación	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\USUARIO\Downloads)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material - Datos de curva: N/A

Propiedades	Componentes
Nombre: Aleación 1060 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.75742e+07 N/m² Límite de tracción: 6.89356e+07 N/m² Módulo elástico: 6.9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.33 Densidad: 2,700 kg/m³ Módulo cortante: 2.7e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2.4e-05 /Kelvin	Sólido1(Cortar-Extruir11) (brazo ULTIMA EDIT) Sólido2(Cortar-Extruir10) (brazo ULTIMA EDIT)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.00128651	22.6387	0.00023067	22.6387
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: Tipo: 1 cara(s) Valor: Aplicar fuerza normal -22.64 N

Información de interacción		
Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Componentes: Unión rígida Opciones: 1 componente Mallado independiente

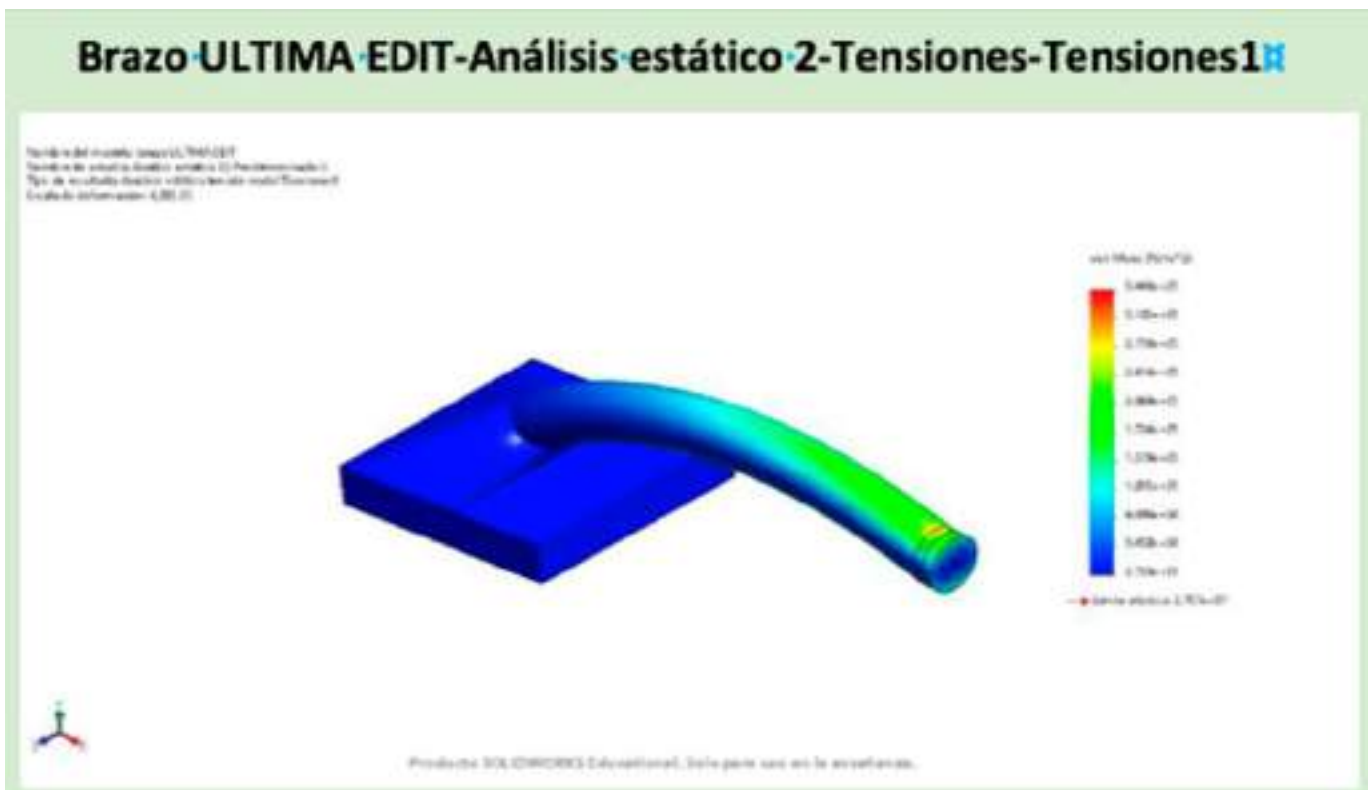
Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	5.32673 cm
Tamaño mínimo del elemento	0.266337 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

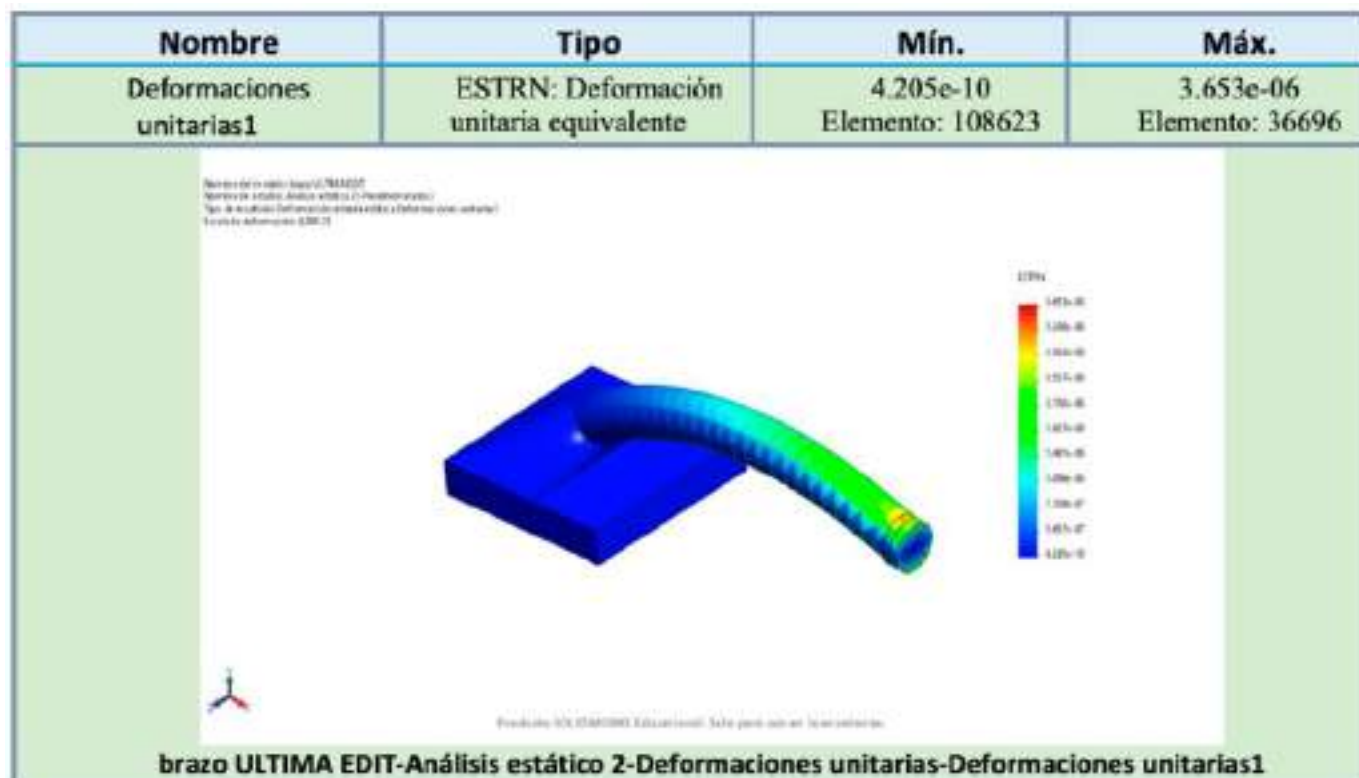
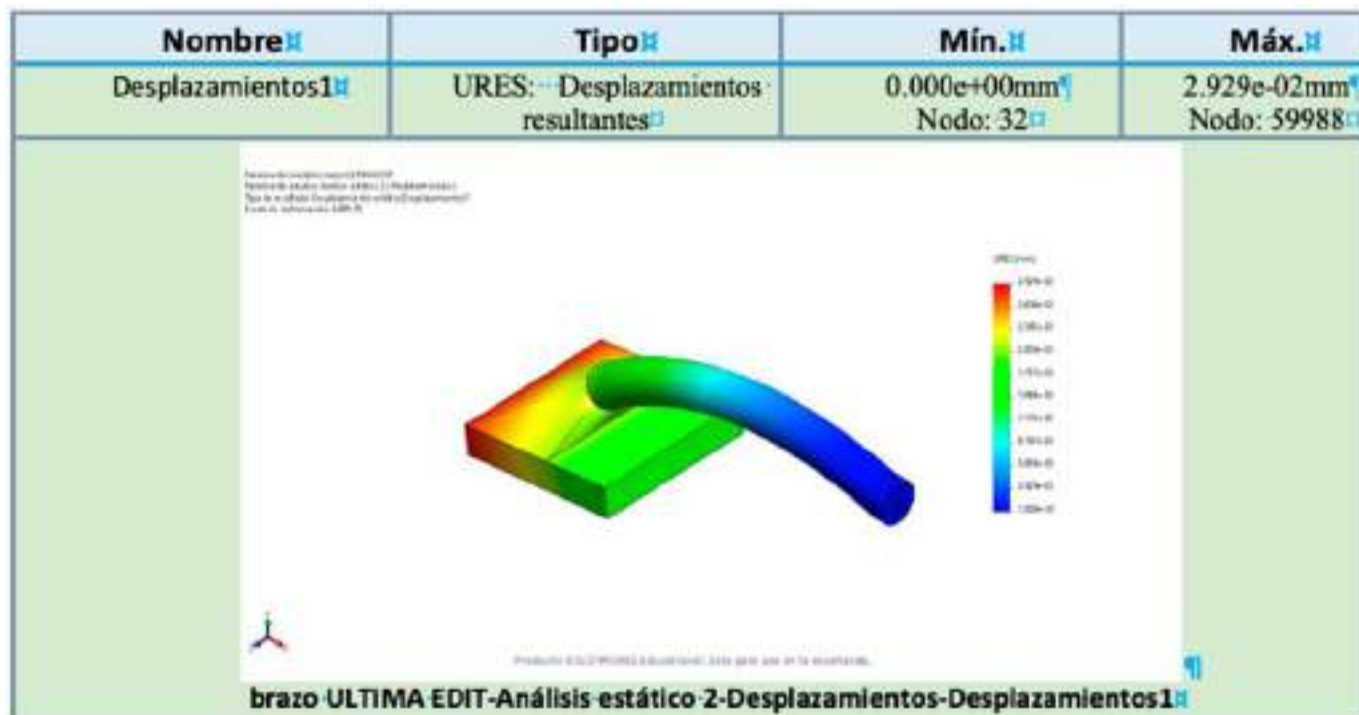
Información de malla - Detalles	
Número total de nodos	285787
Número total de elementos	191013
Cociente máximo de aspecto	4,410.4
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94.3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.245
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:17
Nombre de computadora:	

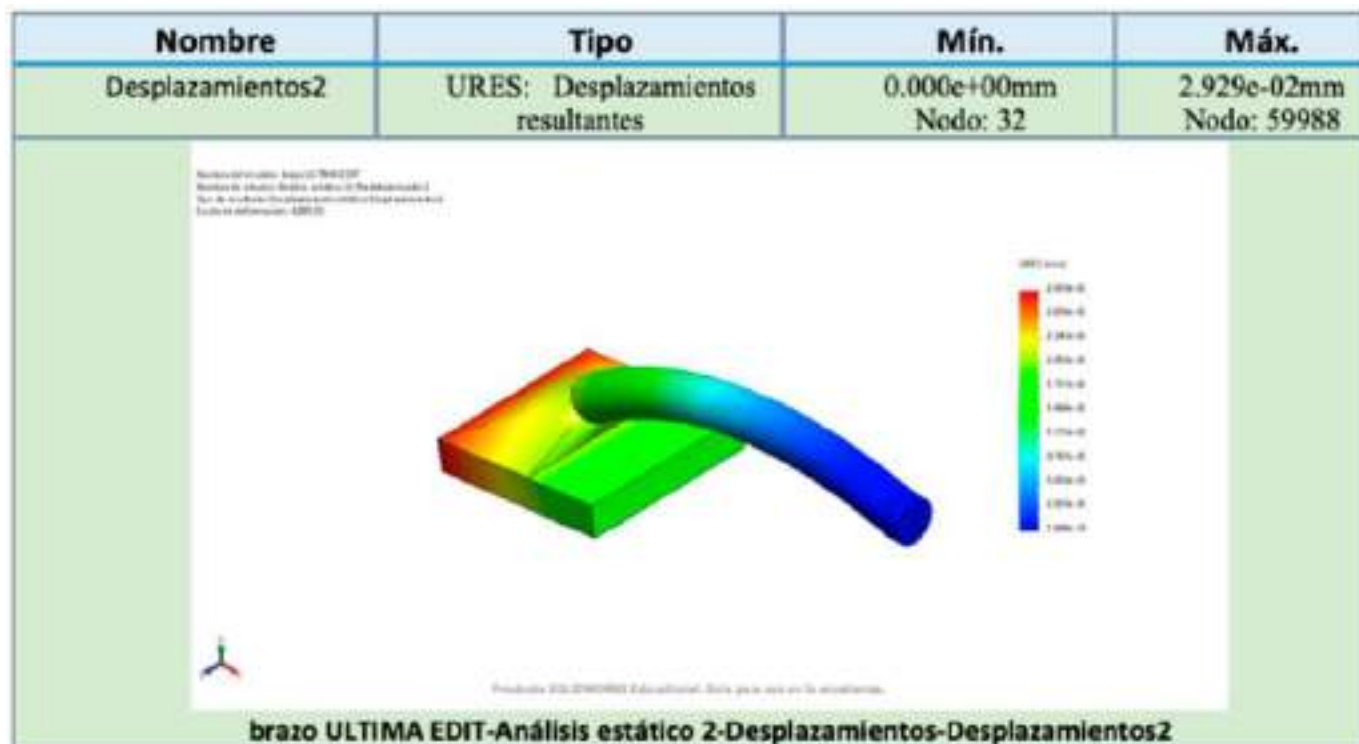
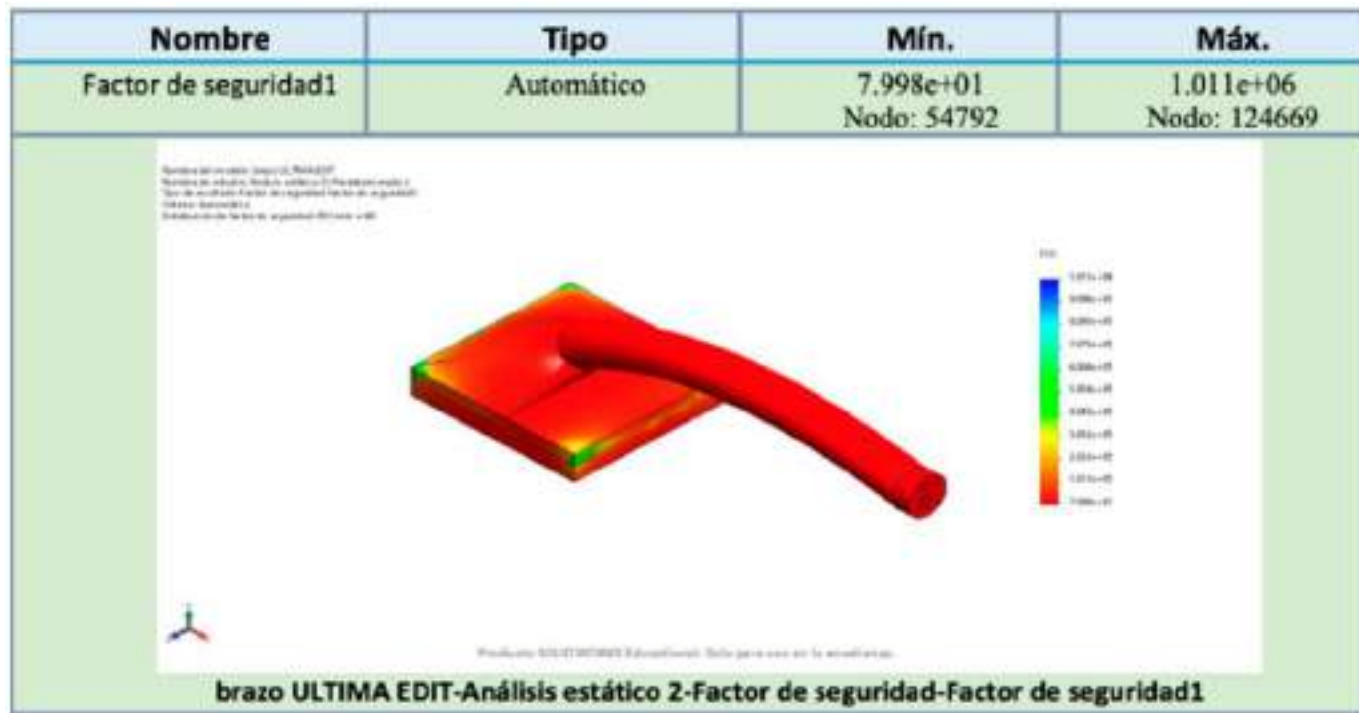
Fuerzas resultantes					
Fuerzas de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.00128651	22.6387	0.00023067	22.6387
Momentos de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0
Fuerzas de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.00268868	0.0165531	0.0368967	0.040529
Momentos de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Tabla 2. Información de malla

Resultados del estudio			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2.728e+01N/m ² Nodo: 124669	3.448e+05N/m ² Nodo: 54792







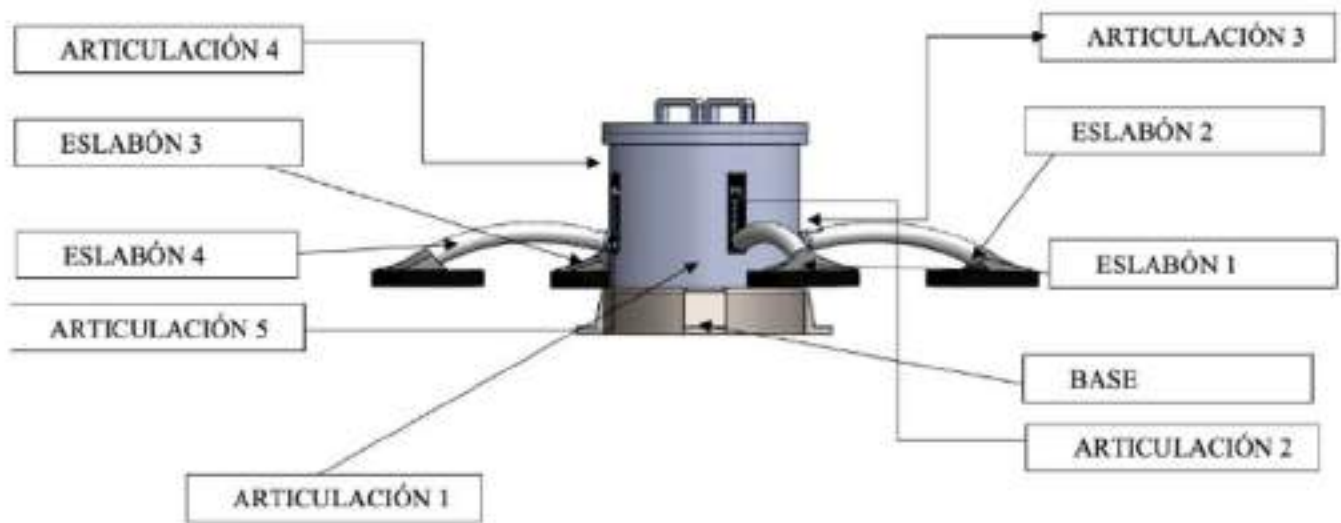
3.4. MORFOLOGÍA Y ANÁLISIS CINEMÁTICO

3.4.1. MORFOLOGÍA DEL BRAZO ROBÓTICO

La morfología es un concepto importante porque la forma y estructura de un robot determina en gran medida modo el de su funcionamiento y desempeño, así como su campo de aplicación. Teniendo en cuenta que la constitución física de un brazo robótico se basa en el modelo y anatomía del brazo y la mano humana, este diseño está conformado por una serie de elementos que unidos mediante articulaciones permiten generar un movimiento relativo entre un número de eslabones consecutivos. Al número de movimientos independientes que puede realizar cada articulación se denomina “grado de libertad” siendo estos los parámetros necesarios para determinar la posición y orientación del elemento terminal del manipulador. También puede definir grados de libertad como posibles movimientos elementales (rotación y desplazamiento) independientes. Los mayores grados de libertad conducen a una mayor flexibilidad en el posicionamiento del elemento terminal. Mientras que la mayoría de las aplicaciones industriales requieren 6 grados de libertad, así como la soldadura, mecanizado y paletizado, otros más complejos poseen un mayor número en las labores de montaje. Para tareas más simples con un movimiento más restringido como las de la pintura y paletización, suele requerir 4 o 5 grados de libertad.

Las diferentes combinaciones de articulaciones dan paso a construir distintas configuraciones o arquitecturas mecánicas, cuyas características permiten que sean implementadas para la realización de una tarea determinada. Para la implementación del diseño se optó por imitar la configuración de los ejes que posee el robot cilíndrico por su rango de movimiento (rotación y traslación), además de que consta de articulaciones de revolución y articulaciones prismáticas. La junta de revolución se sitúa en la base del brazo lo que le permite la rotación de los eslabones entorno al eje del robot. Esta configuración de articulación prismática y de revolución resulta útil para la operación de recoger los huevos y trasladarlos de una cinta transportadora a otra.

Imagen 11. Modelo cinemático del brazo robótico



Fuente: Imagen generada por los autores

La cinemática del diseño del brazo robótico está constituida por la base y 4 eslabones, también 5 articulaciones constituidas de la siguiente manera:

- La primera articulación pertenece al cuerpo del brazo, el cual permite el giro.
- Las articulaciones 2,3,4 y 5 pertenecen a los actuadores lineales que permiten el desplazamiento de los brazos de forma vertical.
- Los eslabones 1,2,3 y 4 pertenecen a los brazos.

De esta forma, el diseño del brazo robótico posee 5 grados de libertad que le permiten realizar los movimientos en los ejes X y Z.

Una vez indicados los giros del brazo, se puede describir su movimiento dentro del área de trabajo.

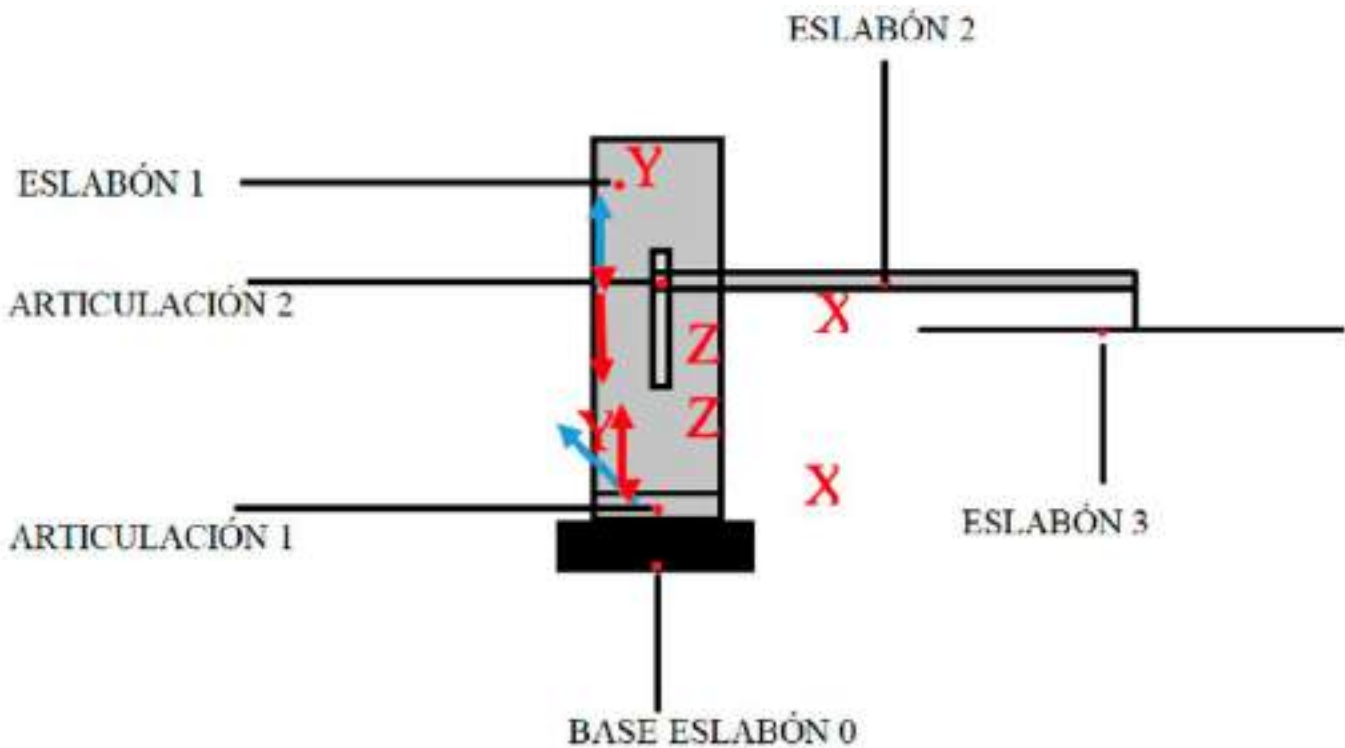
3.4.2. ANÁLISIS CINEMÁTICO

La cinemática se utiliza fundamentalmente para el álgebra vectorial y matricial con el fin de representar y describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema fijo como lo es el brazo robótico en este caso. Teniendo en cuenta que el diseño del proyecto cuenta con una cadena cinemática formada por eslabones unidos entre sí mediante las articulaciones, es posible determinar un sistema fijo que se sitúa en la base del brazo de manera que se logre describir donde se sitúa cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia.

Para el desarrollo del análisis cinemático se puso en práctica el principio de DENAVIT-HARTENBERG, el cual establece que una vez realizando correctamente la selección de los sistemas de coordenadas asociados a cada eslabón, es posible pasar de uno al otro mediante cuatro transformaciones básicas que dependen únicamente de las características geométricas del eslabón.

Bajo los parámetros mencionados, el cálculo cinemático se realizó de la siguiente manera:

Imagen 12. Ubicación de los ejes del brazo



Fuente: Imagen generada por los autores

Utilizando Denavit-Hartenberg, se puede representar las articulaciones de la estructura del brazo robótico en una matriz de transformación homogénea. La tabla DH sería:

i	X		Z	
	a (i - 1)	a (i - 1)	d (i)	$\Theta (i)$
1	0	0	0	$360^\circ \circ Q1$
2	90°	L1	0	Q2
3	90°	L2	0	Q3
4	90°	L3	0	Q4
5	90°	L4	0	Q5

Donde:

- i : número de articulaciones.
- $\alpha(i-1)$: ángulo de rotación alrededor del eje $X(i-1)$ para llevar el eje $Z(i-1)$ al eje $Z(i)$.
- $a(i-1)$: distancia a lo largo del eje $X(i-1)$ para llegar al punto donde se encuentran los ejes $Z(i-1)$ y $Z(i)$.
- $d(i)$: distancia a lo largo del eje $Z(i-1)$ para llegar al punto donde se encuentran los ejes $Z(i-1)$ y $Z(i)$.
- $\theta(i)$: ángulo de rotación alrededor del eje $Z(i-1)$ para llevar el eje $X(i)$ al eje $X(i-1)$.

A partir de la tabla de Denavit-Hartenberg, se puede calcular la matriz de transformación homogénea $T(i-1, i)$ entre las articulaciones $(i-1)$ e i .

$\cos(\theta(i))$	$-\sin(\theta(i))$	0	$a(i-1)$
$\sin(\theta(i))$	$\cos(\theta(i))$	0	0
0	0	1	$d(i)$
0	0	0	1

Para hallar la matriz de transformación homogénea $T(0, n)$, la cual representa la transformación completa desde la articulación 0 (cero) hasta la articulación n , se realiza una multiplicación de todas las matrices $T(i-1, i)$ desde $i=1$ hasta n .

Matriz de la transformación homogénea $T(0,1)$ para la transformación entre las articulaciones 0 y 1.

$\cos(\theta(1))$	$-\sin(\theta(1))$	0	$a(0)$
$\sin(\theta(1))$	$\cos(\theta(1))$	0	0
0	0	1	$d(1)$
0	0	0	1

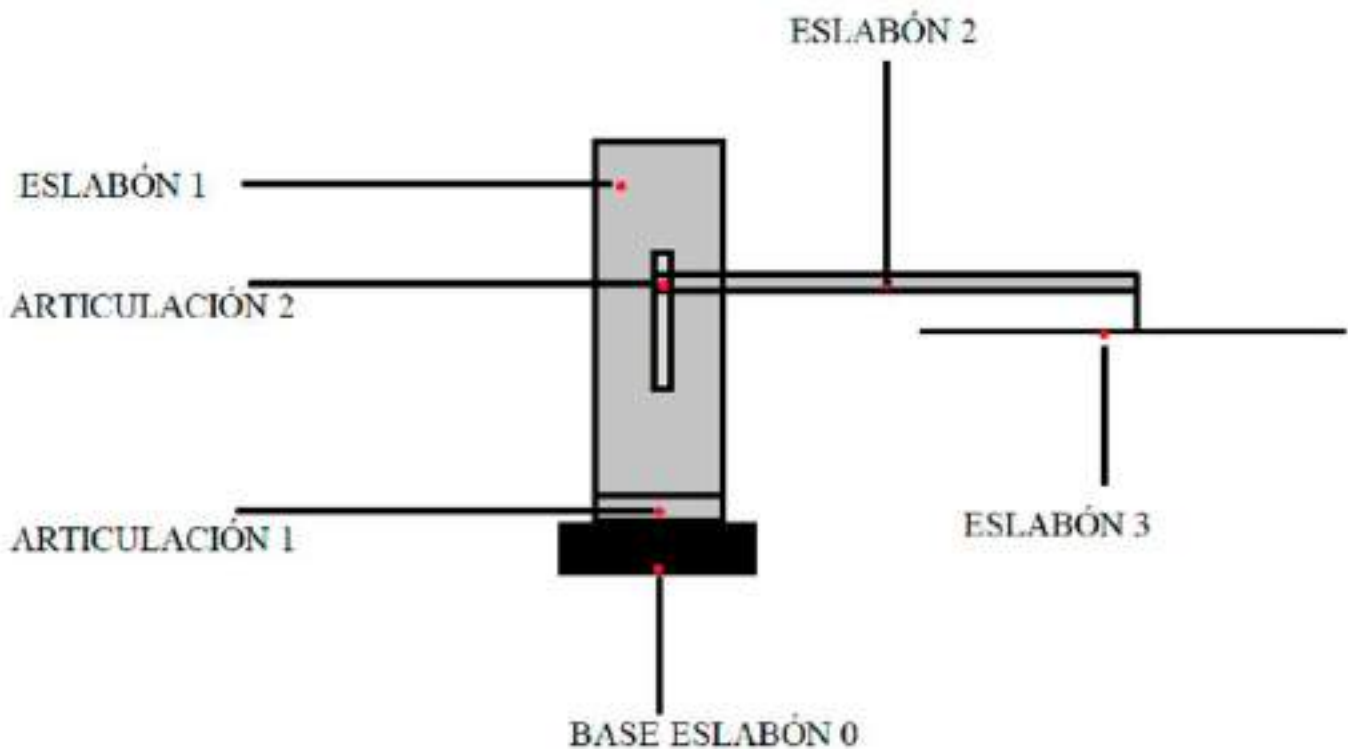
Matriz de la transformación homogénea $T(1,2)$ para la transformación entre las articulaciones 1 y 2.

$\cos(\theta(2))$	$-\sin(\theta(2))$	0	$a(1)$
$\sin(\theta(2))$	$\cos(\theta(2))$	0	0
0	0	1	$d(2)$
0	0	0	1

De la misma manera se calculan las matrices para: la transformación homogénea $T(2,3)$ para la transformación entre las articulaciones 2 y 3; la transformación homogénea $T(3,4)$ para la transformación entre las articulaciones 3 y 4 y la transformación homogénea $T(4,5)$ para la transformación entre las articulaciones 4 y 5.

Aplicación del criterio de Gröbler

Imagen 13. Vista lateral representando los eslabones y articulaciones



Fuente: Imagen generada por los autores

La fórmula de Kutzbach-Grübler es una expresión para la aplicación del criterio del mismo nombre que permite obtener el grado de movilidad de un mecanismo o grados de libertad en el plano. Dicho criterio consiste en realizar una diferencia entre los grados de libertad de cada eslabón y las restricciones del mecanismo impuestas por los pares cinemáticos.

La fórmula del criterio de Kutzbach-Grübler en el plano es la siguiente:

$$m = 3 (N - 1) - 2 \times j_1 - 1 \times j_2$$

Donde:

m = movilidad

n = número de eslabones

j_1 = número de uniones de 1 grado de libertad

j_2 = número de uniones de 2 grados de libertad

De acuerdo con la fórmula, se reemplazó obteniendo el siguiente resultado:

$$m = 3 (5 - 1) - (2 \times 5) - 1 \times 0$$

$$\text{ENTONCES } m = 2$$

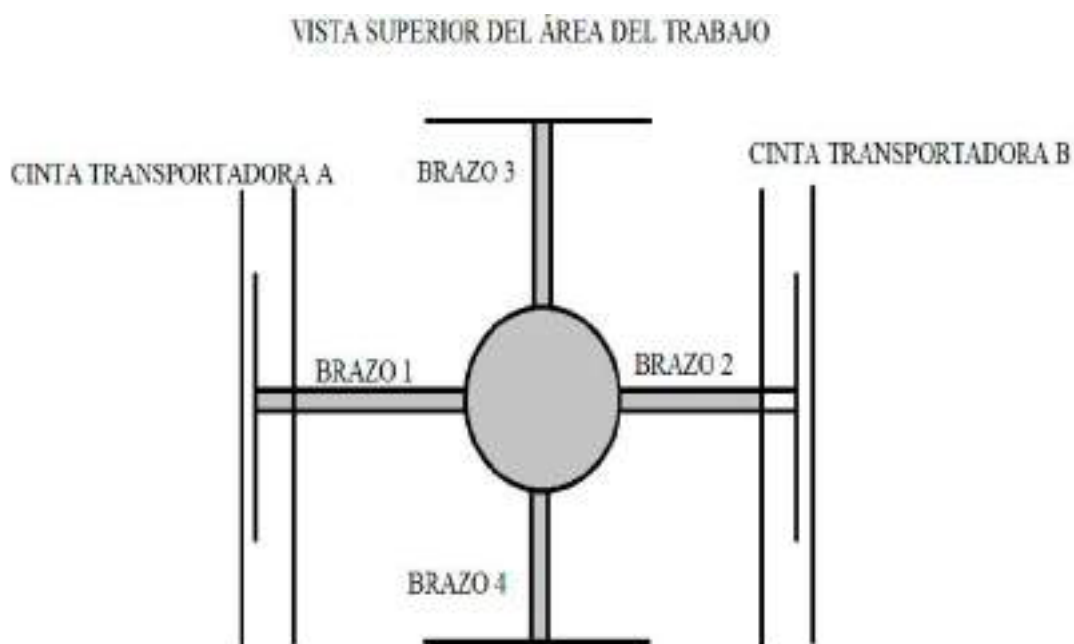
3.5. FUNCIONAMIENTO

3.5.1. MOVIMIENTO DEL BRAZO ROBÓTICO

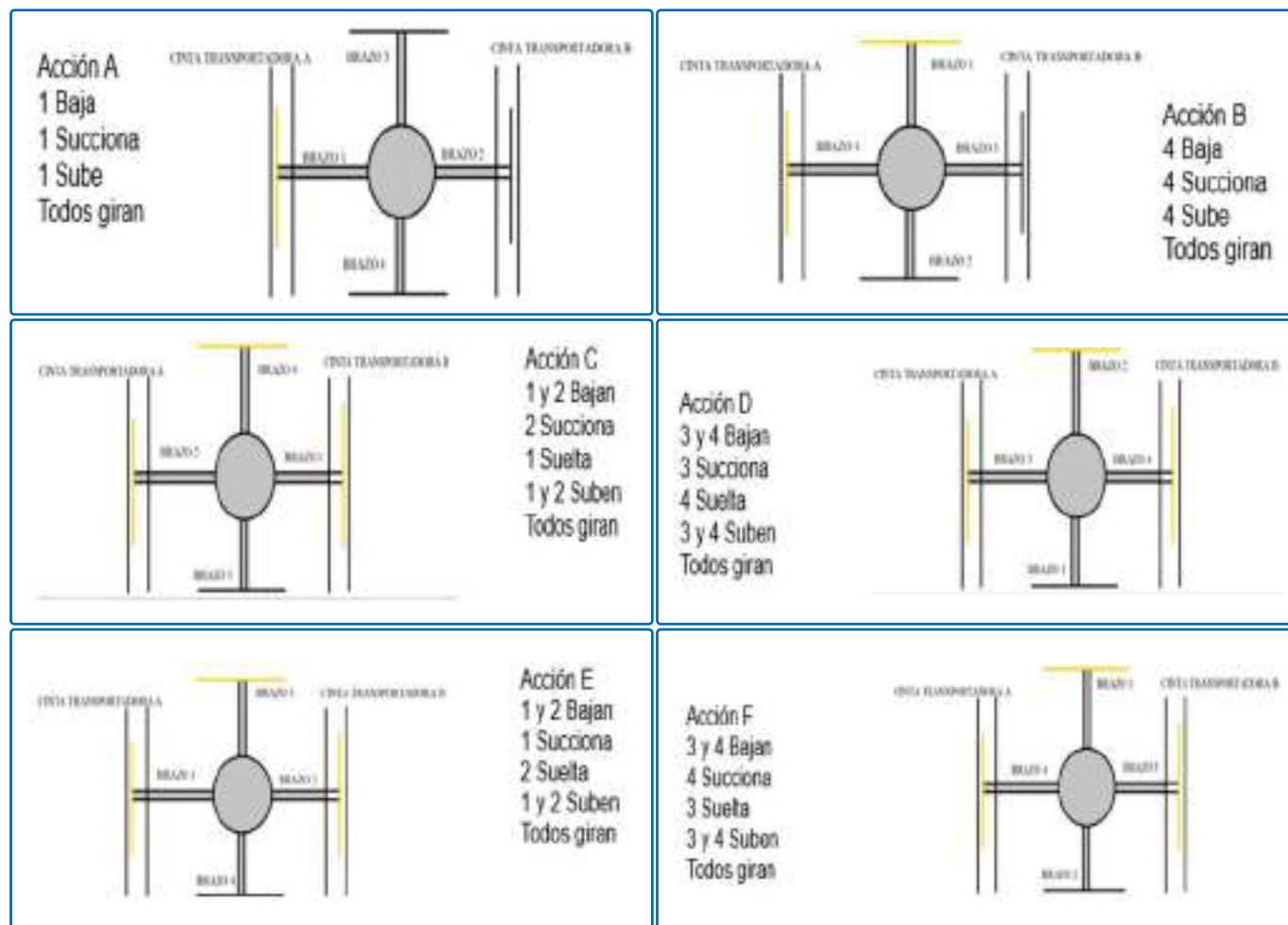
Previo a la programación del brazo robótico es esencial conocer los movimientos que realizará dentro del área de trabajo para llevar a cabo el proceso de recolección de huevos. Para esto se determinaron 6 tipos de movimientos de giro donde en cada uno de ellos se realiza un número de acciones (5 máx - 4min) las cuales permiten desde la toma del huevo hasta su expulsión concluyendo así, su principio de llevar de una cinta transportadora A, a una cinta transportadora B los huevos.

Acciones a realizar: Bajar, Succión, Soltar O Expulsar, Subir, Girar Su representación gráfica está dada de la siguiente manera:

Imagen 14. funcionamiento del brazo robótico en el área de trabajo



Fuente: Imagen generada por los autores



3.5.1.1. FUNCIONAMIENTO DE LA PARTE NEUMÁTICA

Se define a la neumática como una tecnología capaz de emplear aire comprimido como un modo de transmisión de energía lo suficiente como para mover y hacer funcionar máquinas y/o mecanismos. Los sistemas de aire comprimido se utilizan para convertir su energía en energía mecánica o en un movimiento. Este proceso basta de incrementar la presión del aire y mediante la energía acumulada se transfiere a los elementos de un circuito neumático para efectuar un trabajo útil.

Elemento de sujeción

Ventosas. Este sistema es implementado en las industrias como un método de agarre por succión con el objetivo de trasladarlo de un lugar a otro, adaptándose a su geometría, porosidad, espesor, textura, fuerzas transversales y su peso. El uso de las ventosas resulta ser un método más óptimo en cuanto al desarrollo del trabajo. La función que tienen las ventosas dentro del desarrollo del proyecto son la de tomar, transportar y dejar los huevos de una cinta transportadora a otra. Dentro del tema de la ventosa es importante realizar una distinción general según el uso que se les dé a esta. Para este caso, determinando que la ventosa tendrá su uso específicamente para tomar huevos de gallina se utiliza una gran fuerza de aspiración y bajo nivel de vacío. Esto significa que: se alcanza rápidamente la fuerza de sujeción necesaria y en materiales ligeramente porosos el aire difícilmente atraviesa el objeto.

Las ventosas poseen varias formas para diferentes aplicaciones, en este caso se optó por el uso de las ventosas tipo fuelle, ya que puede sostener superficie con un alto grado de desnivel. También permite la sujeción a materiales porosos. El tipo de ventosas a utilizar son las:

Ventosas Tipo Vso Series. Este tipo series es especialmente para la manipulación de huevos, debido a que posee una gran flexibilidad del labio de retención. Está compuesto de silicona 35 roja shore A, silicona translúcida 35 y 60 shore A.

Sus dimensiones son de $\varnothing 30$ a 36 mm

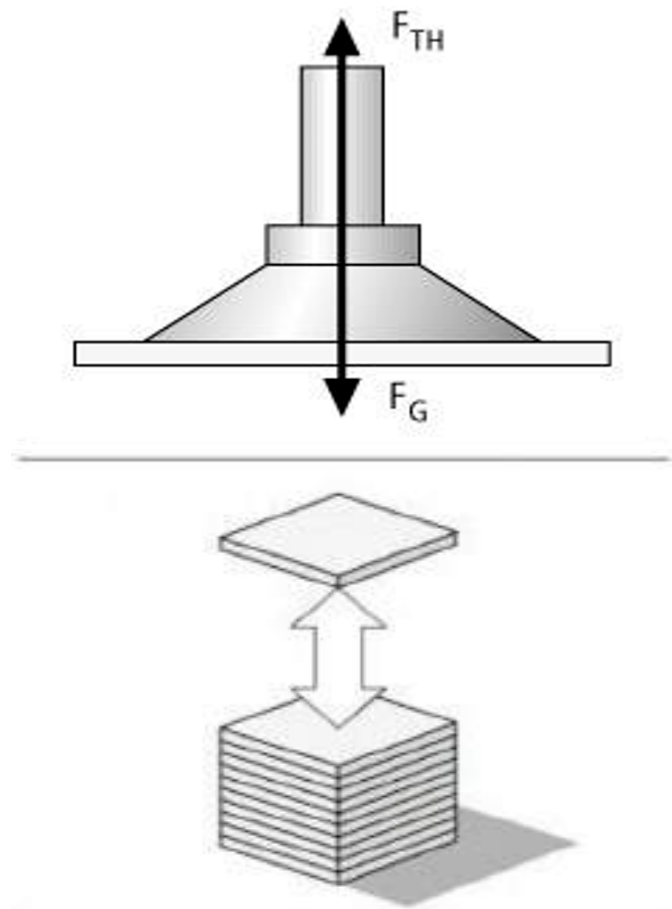
Imagen 15. Ventosas de fuelle aplicadas para la sujeción de los huevos



Fuente: Imagen generada por los autores

Cálculo de ventosa horizontal, fuerzas de sujeción vertical F_H y de separación F_S

Representación gráfica de la carga y fuerza de la ventosa



Fuente: (schmalz.com, <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/procedimiento-para-dimensionar-un-sistema/fuerza-de-retencion-teorica-de-una-ventosa/>, s.f.)

Este cálculo se realiza dependiendo la posición de la ventosa, en este caso para una sujeción vertical la fórmula para aplicar es:

$$F_{TH} = m * (g + a) * s$$

Donde:

F_{TH} = fuerza de retención teórica (N)

N = cantidad de ventosas

m = masa (kg)

g = gravedad (9.8 m/s^2)

a = aceleración (m/s^2)

Teniendo en cuenta que se sujetan huevos, cuyo peso por individual es de 77g, el movimiento lineal del brazo es de 5 m/s^2 y el factor de seguridad estándar de este es 1,5, el resultado es el siguiente:

$$F_{TH} = 0,077kg * \left(\frac{9,8m}{s^2} + \frac{5m}{s^2} \right) * 1,5$$

$$F_{TH} = 1.7094N$$

Tecnología de vacío

Esta tecnología hace referencia a los diferentes sistemas de vacío que permiten tomar una pieza u objeto, de modo que se conviertan en el punto de unión entre una máquina y una pieza. Este sistema se da gracias a que las ventosas utilizan presión negativa que al expulsar la presión del aire al exterior de la ventosa es posible que de este modo pueda sujetar las piezas.

Previo a la determinación de los elementos factores para generar el vacío, es importante tener en cuenta la presión atmosférica según la altura sobre el nivel del mar, ya que para el implemento de técnicas de vacío el uso de la presión cambia según el lugar la altura sobre el nivel del mar donde se vaya a implementar esta tecnología.

En este caso, la presión atmosférica, se calcula que para sostener un total de 4620g que es el número de los huevos en suspensión (30 huevos por brazo, 60 huevos sujetos) la masa capaz de elevar el sistema a una altura de 2625m (Bogotá) es de: 0,675bares.

Debido que a mayor altura hay menos presión atmosférica, el cálculo se realizó de la siguiente manera.

A 2700m la presión en mbar (milibar) es de 1013.

Entonces = $1013 - 27 \times 12,5 = 675\text{mbar}$.

Pasando 675,5mbar a bar, se tiene que $675,5\text{mbar}/1000 = 0,675\text{bares}$.

Por lo tanto, para una masa de $4620g \times 0,675 = 4333,5g$.

Siendo esta la masa que se podría levantar. Como los bares utilizados serían insuficientes para levantar la capacidad de huevos necesarias se tomó la altura de 2700m con el peso equivalente a la succión de tres veces un panel de huevos 6930g para obtener los 0,675bares; valor suficiente para que el proceso de succión sea óptimo.

A 2700m la presión en mbar (milibar) es de 1013,

Entonces = $1013 - 15 \times 12,5 = 675\text{mbar}$.

Pasando 675,5mbar a bar, se tiene que $675,5\text{mbar}/1000 = 0,675\text{bares}$.

Por lo tanto, para una masa de $6930g \times 0,675 = 4677,75g$.

Siendo esta la masa que se podría levantar.

Generador de vacío

Se implementó una tobera o eyector de vacío que básicamente funciona según el principio de Venturi, donde la conexión A se usa para alimentar el aire comprimido a los eyectores. Estos pasan por medio de la boquilla Venturi B, donde el aire se ve acelerado y comprimido. El aire acelerado se libera después de pasar por la boquilla creando una depresión o vacío. De esta manera, el aire se absorbe a

través de la conexión al vacío D. por último el aire aspirado y el aire comprimido salen a través del silenciador C.

De acuerdo con la altura de presión atmosférica planteada 675,5mbar, la tobera a una altura de 2700m sobre el nivel del mar será capaz de generar un nivel de vacío del -607.96bar

$0,9 * 675,5 = -607.96\text{bar}$

Con el resultado anterior se determina que es necesario el uso de una tobera de gran caudal de aspiración debido a que el nivel de vacío es de aproximadamente un 50% ya que está entre -0,4 y -0,6 bar.

El tipo de bomba a implementar es la Bomba de vacío BOECO R-300 modelo BXX51, sin aceite y accionada por pistón.

3.6. PROGRAMACIÓN

Automatización

La automatización básica se trata de mecanizar tareas simples y básicas en procesos donde la intervención del hombre sea mínima. Dichos procesos pueden implementarse en cualquier sector donde sus tareas sean un poco repetitivas. Aunque se utiliza en diversos campos, su uso es más frecuente en áreas como la fabricación, la robótica y la industria automotriz. También es común en el ámbito tecnológico, en programas de toma de decisiones empresariales y sistemas de tecnología de la información.

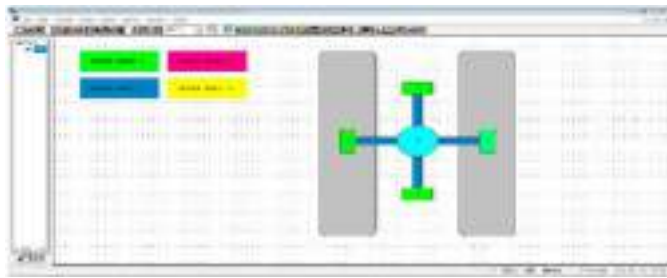
Dentro del mundo de la automatización se encuentran diferentes tipos, los cuales poseen un principio fundamental dependiendo su enfoque: básica, de integración, de inteligencia artificial (IA), para el presente proyecto se utilizó la automatización industrial que implica el uso de la informática y el control automatizado para llevar a cabo los procesos de manera autónoma y optima. Estos procesos están diseñados de acuerdo con los criterios de ingeniería y en línea con los objetivos de la empresa, permitiendo la toma de decisiones en tiempo real. (DNP Colciencias. Plan Estratégico del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad, 2000 - 2010).

Controlador Lógico Programable (PLC)

El controlador lógico programable es una computadora utilizada en la ingeniería de la automatización industrial, para volver sus procesos autómatas. Por ejemplo, la automatización industrial se utiliza para controlar las máquinas en las líneas de montaje de las fábricas y otros procesos de producción, así como en atracciones mecánicas. El PLC también es responsable de la activación de partes mecánicas para realizar acciones que podrían ser peligrosas para los humanos o que simplemente serían muy lentas si se hicieran manualmente.

El lenguaje de programación que se utilizó para llevar a cabo el movimiento del brazo robótico fue Ladder Diagram. Ya que este pertenece al grupo de lenguajes gráficos, el cual a manera de vista permite visualizar mediante una interfaz animada línea por línea la secuencia de programación que se le va adjuntando. También visualiza de manera sencilla los errores en la lógica cableada e ir corrigiendo sobre la marcha para lograr un funcionamiento adecuado.

Diseño en Grafset



Fuente: Imagen generada por los autores

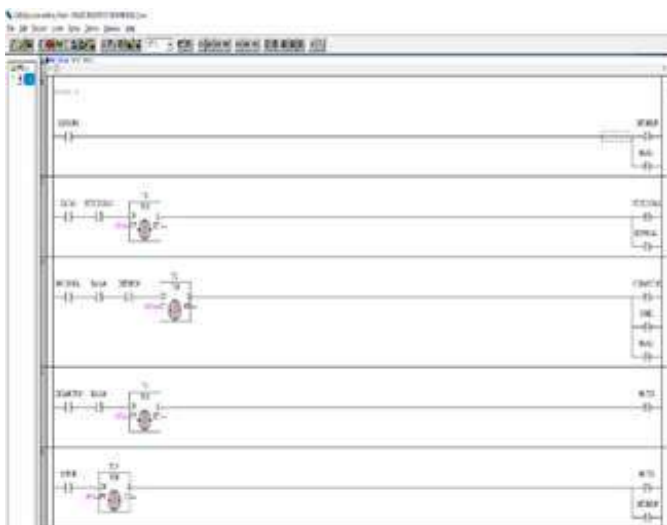
Que se encuentren (cinta transportadora A o cinta transportadora B). Así mismo realiza la función de bajar y recoger los huevos o en su efecto bajar y soltarlos.

Cada sensor está representado por un color el cual se ilumina (representando el censado) al momento de ubicarse en una cinta determinada. Posterior a esto, se comienza a programar en Ladder donde se identifican y se llaman las variables.

En la programación, se utilizaron temporizadores, contactos SET y RESET de bobinas, las cuales controlaran las acciones de bajar y subir los brazos del mecanismo, succión y expulsión de aire de las ventosas, contactos NO (Normalmente abierto) y NC (Normalmente cerrado) de relés y bobinas que accionarían el giro y detención del motor.

Acción A

En la acción A, como primera secuencia se ejecutará el proceso en el que el sensor del brazo 1 detecta los huevos, el brazo 1 baja, a los 5 segundos la ventosa succiona, luego de 5 segundos el brazo 1 sube y posteriormente pasados 5 segundos el motor realiza un giro de 90 grados para posicionar el brazo 4 en el punto de recolección.



La acción B se inicia cuando el sensor del brazo 4 detecta los huevos en el punto de recolección, el brazo 4 baja, pasados 5 segundos la ventosa succiona, luego de 5 segundos el brazo 4 sube, 5 segundos después el motor realiza un giro de 90 grados para posicionar el brazo 2 en el punto de recolección.

La acción C comienza cuando el sensor del brazo 2 llega al punto de recolección de huevos y los detecta, los brazos 1 y 2 bajan simultáneamente y pasados 5 segundos mientras la ventosa del brazo 1 expulsa los huevos en el punto de finalización, la ventosa del brazo 2 succiona los huevos que acabó de detectar en el punto de recolección, luego de 5 segundos los brazos 1 y 2 suben y pasados 5 segundos el motor realiza un giro de 90 grados para posicionar el brazo 3 en el punto de recolección.

La acción D comienza cuando el sensor del brazo 3 llega al punto de recolección de huevos y los detecta, los brazos 3 y 4 bajan simultáneamente y pasados 5 segundos mientras la ventosa del brazo 4 expulsa los huevos en el punto de finalización, la ventosa del brazo 3 succiona los huevos que acabó de detectar en el punto de recolección, luego de 5 segundos los brazos 3 y 4 suben y pasados 5 segundos el motor realiza un giro de 90 grados para posicionar el brazo 1 en el punto de recolección.

La acción E comienza cuando el sensor del brazo 1 llega al punto de recolección de huevos y los detecta, los brazos 1 y 2 bajan simultáneamente y pasados 5 segundos mientras la ventosa del brazo 2 expulsa los huevos en el punto de finalización, la ventosa del brazo 1 succiona los huevos que acabó de detectar en el punto de recolección, luego de 5 segundos los brazos 1 y 2 suben y pasados 5 segundos el motor realiza un giro de 90 grados para posicionar el brazo 4 en el punto de recolección.

La acción F comienza cuando el sensor del brazo 4 llega al punto de recolección de huevos y los detecta, los brazos 3 y 4 bajan simultáneamente y pasados 5 segundos mientras la ventosa del brazo 3 expulsa los huevos en el punto de finalización, la ventosa del brazo 4 succiona los huevos que acabó de detectar en el punto de recolección, luego de 5 segundos los brazos 3 y 4 suben y pasados 5 segundos el motor realiza un giro de 90 grados para posicionar el brazo 2 en el punto de recolección.

Al finalizar la acción F, se vuelve a repetir el mismo proceso de la acción C y es en este punto donde el programa que controla las secuencias del mecanismo comienza a trabajar de manera continua.

3.7. MATERIALES

Cada uno de los materiales fueron escogidos bajo los criterios y enfoques que se tuvieron dentro del planteamiento del problema. Si bien la implementación del mecanismo se dirige a pequeñas y medianas empresas en busca de automatizar su proceso de empaquetado de huevo, se tuvo en cuenta el presupuesto que se debe tener para una posible implementación física. De acuerdo con el proceso de búsqueda, los materiales identificados son: Aleación de aluminio, Manguera de poliuretano, Actuador de giro eléctrico, en su versión dda-1t18c type, Válvula 5/2 vías, Válvula reguladora de caudal, Actuador lineal eléctrico, Sensor de posición, Ventosas tipo fuelle, Toberas de vacío, Bomba de vacío BOECP R-300.

4. VALIDACIÓN

Análisis de Factor de Seguridad	El análisis de factor de seguridad evalúa la resistencia estructural del mecanismo del brazo robótico. Apoyados en el software SolidWorks, se identificó y se comprobó que el diseño de las piezas posee un factor de seguridad admisible al propuesto. De esta manera, bajo los cálculos realizados en el software y teniendo en cuenta la (Ley 1480 de 2011), la cual establece la responsabilidad de los productores de garantizar la seguridad e indemnidad de los consumidores.																			
Análisis de Von Mises	La teoría de Von Mises se aplicó para evaluar las tensiones equivalentes en los diferentes componentes del brazo robótico y garantizar su resistencia bajo cargas de trabajo. Un factor de seguridad inferior a 1 significa que el material ha fallado. Si el factor de seguridad es igual a uno quiere decir que este fallará muy pronto, lo que lo convierte en un factor negativo. El factor de seguridad de cada una de las piezas arrojó el siguiente valor: Fsd (Factor de Seguridad) • Brazo = fsd 80 • Base superior = fsd 1.5 • Base inferior = fds 4.9																			
Deformaciones	Se realizaron análisis de las deformaciones en los puntos críticos del brazo robótico para garantizar su estabilidad y funcionamiento seguro. Los cálculos se basaron en principios de resistencia de materiales y se utilizaron ecuaciones específicas dentro del software para cada tipo de deformación. <table><tr><th colspan="3">TENSIONES</th><th rowspan="2">ESCALA DE DEFORMACIÓN OBTENIDA</th></tr><tr><th>PIEZA</th><th>MIN</th><th>MAX</th></tr><tr><td>BRAZO</td><td>2.728e + 01N / m^2</td><td>3.448e + 05N / m^2</td><td>4,035.35</td></tr><tr><td>BASE SUPERIOR</td><td>5.798e + 01N / m^2</td><td>1.820e + 07N / m^2</td><td>973.042</td></tr><tr><td>BASE INFERIOR</td><td>4.403e + 00N / m^2</td><td>5.642e + 04N / m^2</td><td>1.72E + 06</td></tr></table>	TENSIONES			ESCALA DE DEFORMACIÓN OBTENIDA	PIEZA	MIN	MAX	BRAZO	2.728e + 01N / m^2	3.448e + 05N / m^2	4,035.35	BASE SUPERIOR	5.798e + 01N / m^2	1.820e + 07N / m^2	973.042	BASE INFERIOR	4.403e + 00N / m^2	5.642e + 04N / m^2	1.72E + 06
TENSIONES			ESCALA DE DEFORMACIÓN OBTENIDA																	
PIEZA	MIN	MAX																		
BRAZO	2.728e + 01N / m^2	3.448e + 05N / m^2	4,035.35																	
BASE SUPERIOR	5.798e + 01N / m^2	1.820e + 07N / m^2	973.042																	
BASE INFERIOR	4.403e + 00N / m^2	5.642e + 04N / m^2	1.72E + 06																	
Identificación de Eslabones	Se utilizó el criterio de Grübler para obtener los grados de libertad del mecanismo. Esto fue posible a la utilización de su fórmula $m = 3 (N - 1) - 2 \times j_1 - 1 \times j_2$ La cual verifica que el grado de libertad del mecanismo es de 2. También se utilizó el método de Denavit - Hartenberg para la identificación de los ejes de rotación de cada articulación en los ejes Z y X. Estas ecuaciones se realizaron mediante matrices de transformación homogéneas.																			
Análisis de Succión Neumática	En este apartado se implementaron dos cálculos matemáticos diferentes: El primero, fue el cálculo de ventosas horizontales con fuerza de sujeción vertical y de separación el cual se realizó para determinar la sujeción que realiza la ventosa de forma vertical. Aplicando la siguiente fórmula: $F_{TH} = m * (g + a) * s$ Aquí se esperaba no superar la fuerza de retención de 2N con la cual se tuvo éxito gracias a que el resultado obtenido fue de: $F_{TH} = 1.7094 \text{ N}$ Como segundo, del proceso de tecnología de vacío se implementaron los cálculos de presión atmosférica teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar del área de ubicación en la que puede implementarse el mecanismo. Como resultado se obtuvo que para levantar una masa de 4620g (total de huevos en suspensión) en una altura de 2625m (Bogotá) es necesaria una succión de 0,675 bares.																			
Programación en CODESYS	Se realizó la programación en el software CODESYS para controlar los movimientos del brazo robótico. Se implementaron las siguientes funcionalidades: • Rotación en 360 grados. • Subida y bajada del brazo. • Control del tiempo de operación • Control de sensores.																			
Diseño en SolidWorks y Simulación:	El diseño del brazo robótico se realizó en SolidWorks, donde se generaron planos detallados del mecanismo. Además, se llevó a cabo una simulación del brazo robótico dentro del software para verificar su funcionamiento y detectar posibles problemas o interferencias.																			

5. RECOMENDACIONES

Se sugieren algunas recomendaciones con base a los resultados y las conclusiones a las que se llegó luego del presente estudio:

- Indagar y aprovechar más el campo de la biomimética y su impacto en la mecatrónica, ya que es una gran fuente de innovación y solución a procesos industriales.

- Si se llegase a implementar el brazo robótico, se deben tener en cuenta los análisis neumáticos ya que dependiendo de la altura sobre el nivel del mar la fuerza de succión varía.
- Los materiales que se presentan en el proyecto fueron escogidos teniendo en cuenta los estándares propuestos sin dejar de lado la buena calidad de estos. Sin embargo, la opción de elegir otro tipo de materiales está totalmente abierta. El diseño del mecanismo seguirá funcionando de manera óptima.
- El diseño del brazo robótico es totalmente modular, lo que da paso a su fácil transportación y mantenimiento.
- Uno de los puntos importantes para tener en cuenta es que el diseño está propuesto únicamente para la succión de huevos de gallina. Si se llegase a implementar para otro tipo de función es probable que no realice su trabajo debido a que factores como la fuerza de carga, succión y sujeción se verían afectadas en este.
- La no implementación de cintas transportadoras deja carta abierta a que, en su posible implementación física cada empresa utilice los métodos de llegada del producto más accesible para ellos.

6. CONCLUSIONES

El proyecto contribuyó de manera significativa en la identificación de los factores y elementos que aportan al desarrollo de las tecnologías los cuales facilitan en un gran porcentaje la intervención del ser humano en trabajos largos y repetitivos. A su vez, bajo los diferentes procedimientos de investigación se logró conocer el beneficio que aporta el campo de la biomimética como método de integración para la ingeniería. De esta manera, se logra idear un sistema cuyo modelo está basado en un cefalópodo (pulpo), gracias a sus 8 brazos y su sistema de agarre. Estos fueron los pilares que bajo la integración de los conocimientos ingenieriles permitieron ser transformados para posteriormente culminar con la creación del diseño ya expuesto para mecanismo de brazo robótico.

El mecanismo del brazo robótico fue sometido al cambio de su diseño debido a que la primera estructura poseía una base totalmente inestable donde era imposible añadir un elemento rotatorio. Además, en cuanto a términos de rentabilidad el primer diseño poseía la deficiencia de tomar solamente una cantidad de 6 huevos por brazo, lo que generaba una ralentización en el proceso de empaquetado, factor que va en contra de la principal problemática por la que fue construido. Con el nuevo diseño del brazo robótico se reduce un margen de error del 95% con respecto al anterior, puesto que, en temas de calidad, eficiencia y modularidad, este mecanismo sí cumple con los objetivos propuestos.

Los sistemas de programación y simulación aplicados al mecanismo funcionan de manera eficiente y demuestran que el proceso de trabajo que llevan a cabo es óptimo y efectivo. Por otro lado, estos sistemas permiten simular el funcionamiento del mecanismo antes de una futura implementación real, lo que permite detectar y corregir posibles problemas y de esa manera asegurar que el proceso sea lo más eficiente posible.

El desarrollo de este proyecto aportó a la adquisición de nuevas estrategias fundamentales para implementación de la biomimesis en futuros proyectos que de una u otra forma tengan la capacidad de facilitarle la vida al ser humano. Dado que, como ingenieros, conocer e investigar sobre nuevas áreas que pueden relacionarse con el campo de aprendizaje influye en el desempeño.



REFERENCIAS

- Airacuda. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de (<https://www.festo.com/group/es/cms/10249.htm>, s.f.)
- AirJelly. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de <https://www.festo.com/group/es/cms/10244.htm>
- AirPenguins. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de <https://www.festo.com/group/es/cms/10242.htm>
- Amaris, C. E. (2008 - 2023). ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Principales-zonas-productoras-Fuente-FENAVI_fig1_352292333
- AquaPenguins. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de <https://www.festo.com/group/es/cms/10243.htm>
- BionicWorkplace. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.festo.com/group/es/cms/13112.htm>, s.f.)
- BionicSwift. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.festo.com/group/es/cms/13787.htm>
- BionicOpter. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de <https://www.festo.com/group/es/cms/10224.htm>
- BionicKangaroo. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de <https://www.festo.com/group/es/cms/10219.htm>
- Cascallana, J. G. (05 de Octubre de 2020). DOCUBI. Obtenido de <http://documentacion-culturabiblioteca.blogspot.com/2020/10/biomimetica-o-biomimesis-i-parte.html>
- Martín, E. (2006). Metodología de la investigación. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Cuba, 345pp.
- eMotionButterflies. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.festo.com/group/es/cms/10216.htm>
- Estupiñán, J. J. (15 de Febrero de 2016). Redalyc.org. Obtenido de Tecnura: <https://www.redalyc.org/journal/2570/257046835012/html/>
- ExoHand. (n.d.). Festo.Com. Retrieved November 6, 2021, from (<https://www.festo.com/group/es/cms/10233.htm>, s.f.)
- Festo_BionicAnts_en. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_BionicAnts/en/files/assets/basic-html/page-1.html
- Investigación y desarrollo. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.festo.com/group/es/cms/10260.htm>
- Músculo neumático. (n.d.). Festo.Com. Retrieved November 6, 2021, from <https://www.festo.com/group/es/cms/10248.htm>
- National Geographic España. (s.f.). Obtenido de Animales. Pulpos: <https://www.nationalgeographic.com.es/animales/pulpos>
- Red de aprendizaje biónico. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.festo.com/group/es/cms/10156.htm>
- Robotino® XT. (n.d.). Festo.Com. Retrieved November 6, 2021, from <https://www.festo.com/group/es/cms/10239.htm>
- SmartBird. (n.d.). Festo.Com. Retrieved November 6, 2021, from <https://www.festo.com/group/es/cms/10238.htm>
- Tecnología MID: componentes muy integrados con potencial de. (s / f). Festo.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.festo.com/group/es/cms/10631.htm>
- AirJelly. (Dakota del Norte). Festo.Com. Obtenido el 6 de noviembre de 2021 de <https://www.festo.com/group/es/cms/10244.htm>
- https://confecamaras.org.co/phocadownload/Cuadernos_de_analisis_economico/Cuaderno_de_An%20%20lisis_Economico_N_11.pdf, s.f.



REFERENCIAS

- <https://ripipsacobots.com/automatizacion/>, s.f.
- <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>, s.f.)
- <https://fenavi.org/documentos/resolucion-2015025417-de-2015-invima/#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20adopta,en%20Plantas%20de%20>
- Beneficio%20Animal, s.f.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=ES>, s.f.)
- <https://www.camara.gov.co/inteligencia-artificial-0>, s.f.
- <https://es.slideshare.net/Guadarev/articulaciones-del-robot>, s.f.)
- <https://www.sicma21.com/robots-industriales-tecnologia-y-aplicaciones/>, s.f.
- <https://daneel-mechatronics.com/blog/la-evolucion-industrial-los-robots-parte-2/>, s.f.
- <https://www.kramirez.net/Robotica/Material/Presentaciones/CinematicaDirectaRobot.pdf>, s.f.), s.f.
- <https://sites.google.com/uth.edu.mx/wikiconceptos/criterio-de-kutzbach-grueble>, s.f.), s.f.
- [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185609/40437-3452.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20morfolog%C3%ADa%20es%20un%20concepto,ligados%20con%20el%20factor%20morfolog%C3%ADa.,s.f.\),s.f.\)](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185609/40437-3452.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20morfolog%C3%ADa%20es%20un%20concepto,ligados%20con%20el%20factor%20morfolog%C3%ADa.,s.f.),s.f.))
- https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r9.0/spanish/index.html#page/simulate/mech_des/static_anal_top.html, s.f.
- https://help.solidworks.com/2018/spanish/solidworks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.
- htm#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20est%C3%A1tico%20lineal%20calcula,el%20efecto%20de%20cargas%20aplicadas.&text=Todas%20las%20cargas%20se%20aplican,que%20alcanzan%20sus%20ma, s.f.)
- <https://suministroserrekalde.es/blog/news/circuito-neumatico-y-sus-elementos>, s.f.
- <https://salvilab.com/producto/bomba-de-vacio-boeco-r-300/>, s.f.
- <https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/ventosas-de-vacio-para-aplicaciones-industriales/>, s.f.)
- <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/procedimiento-para-dimensionar-un-sistema/fuerza-de-retencion-teorica-de-una-ventosa/>, s.f.)
- <https://www.directindustry.es/prod/coval/product-7503-1295157.html>, s.f.
- https://youtu.be/88evZD_a12A, s.f.
- <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8822693>, s.f.



REFERENCIAS

- <https://urany.co/blog/adquiere-precisi%C3%B3n-con-efecto-hall>, s.f.
- <https://www.igus.es/info/actuadores-lineales-electricos>, s.f.
- <https://ferrosplanes.com/usos-aluminio-industria-transicion-energetica/>, s.f.
- <https://industrialesandes.co/neumatica/424-4v210-08-220vac-valvula-14-neumatica-52-solenoide.html#>, s.f.)
- <https://instrumentalia.com.co/laboratorio-quimico/64341-bomba-de-vacio-r-300-1-8-hp-600-mm-hg-unidad-boeco.html>, s.f.)
- <https://www.pedrogil.com/es-es/news/vacuum-pumps>, s.f.
- <https://instrumentalia.com.co/Instrumentalia-Infoma/Enviar/bomba-de-vacio-boeco-8830100-modelo-r300.html>, s.f.)
- <https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/ventosas-de-vacio-con-fuelles-industriales/>, s.f.)
- <https://www.edsrobotics.com/blog/ventosas-de-vacio-para-aplicaciones-industriales/#:~:text=de%20cargas%20pesadas-,%C2%BFC%C3%B3mo%20funcionan%20las%20ventosas%20de%20vac%C3%ADo%3F,del%20interior%20de%20la%20ventosa>, s.f.)
- <https://www.piab.com/es-es/ventosas-y-sistemas-de-agarre-delicado/ventosas-redondas/ventosa-con-fuelle/>, s.f.)
- <https://www.schmalz.com/es/tecnica-de-vacio-para-la-automatizacion/componentes-de-vacio/ventosas-de-vacio/ventosas-de-fuelle-redonda/>, s.f.)
- <http://www.hnsa.com.co/sensores-de-posicion-lineal/>, s.f.
- <https://es.rs-online.com/web/p/racores-reguladores-de-caudal-neumatico/1754610>, s.f.
- <https://www.quiminet.com/articulos/emplee-mangueras-de-poliuretano-por-sus-avanzadas-caracteristicas-3535240.htm#:~:text=La%20manguera%20de%20poliuretano%20es,no%20cede%20ante%20agresiones%20bacteriol%C3%B3gicas>, s.f.)
- <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/#:~:text=Un%20Controlador%20L%C3%B3gico%20Programable%2C%20m%C3%A1s,f%C3%A1brica%20o%20de%20situaciones%20mec%C3%A1nicas>, s.f.
- <https://www.redhat.com/es/topics/automation>, s.f.
- <https://larraioz.com/codesys>, s.f.
- <https://www.opiron.com/codesys-5-razones-para-aprender/#:~:text=M%C3%A1s%20de%20500%20PLC's%20se,han%20apostado%20por%20Codesys%20C2%AE>, s.f.
- <https://www.redalyc.org/pdf/643/64326315.pdf>, s.f.
- <https://www.ibm.com/es-es/topics/automation>, s.f.
- https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/automatizacionindustrial.html, st