



**Diseño e Implementación de un Prototipo para el Ensamble de Arandelas en Clavos  
para la Instalación de Láminas Onduladas de Zinc**

**Edgardo José Pérez Jiménez**

20441621107

**Marlon Andrés Quintana Ramos**

20441711454

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2021

**Diseño e Implementación de un Prototipo para el Ensamble de Arandelas en Clavos  
para la Instalación de Láminas Onduladas de Zinc**

**Edgardo José Pérez Jiménez**

**Marlon Andrés Quintana Ramos**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electrónico**

Director (a):

Santiago Cortes Ocaña

Línea de Investigación:

Automatización

Grupo de Investigación:

Automatización Industrial

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

**Contenido****Pág.**

<b>Resumen</b>	<b>14</b>
<b>Abstract</b>	<b>15</b>
<b>Introducción</b>	<b>16</b>
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>23</b>
1.1 La automatización	23
1.2 Automatización de procesos	24
1.2.1 <i>Etapas de la automatización</i>	25
1.2.2 <i>Pirámide de automatización</i>	25
1.3 Pantallas HMI	28
1.4 Arduino Mega	28
1.5 Lenguaje de programación C++	29
1.6 Sistema de control automático	30
1.7 Maquinas ensambladoras	31
1.8 Maquina ensambladora de clavos en arandelas	32
1.9 Cinemática y estructura mecánica	33
<b>2. Desarrollo Ingenieril del proyecto</b>	<b>34</b>
2.1 Requerimiento y restricciones del diseño	34
2.2 Diseño general del prototipo	36
2.2.1 <i>Diseño del sistema mecanico del prototipo</i>	38
2.2.2 <i>Diseño del sistema electrónica del prototipo</i>	50
2.2.3 <i>Programación de la placa microcontrolador Arduino Mega UNO ATmega168</i>	54
2.3 Elementos electrónicos seleccionados y sus comparativos	55
2.3.1 <i>Microcontrolador Arduino UNO</i>	55
2.3.2 <i>Actuador lineal</i>	57
2.3.3 <i>Motor pasó a paso D8-MOTOR80 DC con tuerca de tornillo lineal deslizante</i>	58
2.3.4 <i>Motor vibrador</i>	59
2.3.5 <i>Servomotor</i>	60

2.3.6	<i>Shield control 16 servos PCA9685 modulo PWM 12 bits Driver 12C</i>	61
2.3.7	<i>Pantalla táctil</i>	62
2.3.8	<i>Puente H</i>	63
<b>3.</b>	<b>Construcción y puesta en marcha del prototipo</b>	<b>65</b>
3.1	Ensamble prototipo	65
3.2	Prototipo para ensamblar arandelas en los clavos	68
3.3	Operación del prototipo	69
3.4	Análisis de operación del prototipo	73
3.5	Análisis de viabilidad el prototipo automático	75
3.6	Manuales de operación y mantenimiento	81
	<b>Conclusiones</b>	<b>83</b>
	<b>Recomendaciones</b>	<b>85</b>
	<b>Anexos</b>	<b>86</b>
A.	ANEXO: Manuales de operación y mantenimiento	86
B.	ANEXO: Programación de la placa microcontrolador Arduino Mega UNO ATmega168	90
	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>96</b>

## Lista de Figuras

**Pág.**

<b>Figura 1-1</b>	<b><i>Ensamble de clavo y arandelas</i></b>	<b>17</b>
<b>Figura 1-2</b>	<b><i>Puntilla o clavo de acero</i></b>	<b>17</b>
<b>Figura 1-3</b>	<b><i>Arandelas</i></b>	<b>18</b>
<b>Figura 1-4</b>	<b><i>Etapas de la automatización</i></b>	<b>25</b>
<b>Figura 1-5</b>	<b><i>Etapas de la automatización</i></b>	<b>26</b>
<b>Figura 2-1</b>	<b><i>Diagrama de proceso del ensamble</i></b>	<b>36</b>
<b>Figura 2-2</b>	<b>Proceso de ensamble manual</b>	<b>37</b>
<b>Figura 2-3</b>	<b><i>Sistema mecánico para inserción de clavos</i></b>	<b>40</b>
<b>Figura 2-4</b>	<b><i>Base mecánica para la inserción de clavos</i></b>	<b>41</b>
<b>Figura 2-5</b>	<b><i>SopORTE porta arandelas</i></b>	<b>42</b>

<b>Figura 2-6 <i>Actuador Lineal</i></b>	<b>43</b>
<b>Figura 2-7 <i>Porta clavos</i></b>	<b>44</b>
<b>Figura 2-8 <i>Placa base del sistema de inserción de clavos</i></b>	<b>45</b>
<b>Figura 2-9 <i>Esquema del desplazador de arandelas</i></b>	<b>46</b>
<b>Figura 2-10 <i>Diseño del porta arandelas</i></b>	<b>47</b>
<b>Figura 2-11 <i>Brazo de expulsión</i></b>	<b>48</b>
<b>Figura 2-12 <i>Motor paso a paso</i></b>	<b>49</b>
<b>Figura 2-13 <i>Esquema de componentes eléctricos-electrónicos</i></b>	<b>50</b>
<b>Figura 2-14 <i>Estructura del sistema electrónico</i></b>	<b>51</b>
<b>Figura 2-17 <i>Actuador Lineal</i></b>	<b>56</b>
<b>Figura 2-18 <i>Motor paso a paso</i></b>	<b>58</b>
<b>Figura 2-19 <i>Motor vibrador</i></b>	<b>59</b>
<b>Figura 2-20 <i>Servomotor</i></b>	<b>60</b>
<b>Figura 2-21 <i>Shield control 16 servos PCA9685 módulo PWM 12 bits Driver 12C</i></b>	<b>61</b>
<b>Figura 2-23 <i>Puente H</i></b>	<b>63</b>
<b>Figura 3-1 <i>Ensamble parte mecánicas y acrílicas</i></b>	<b>65</b>

<b>Figura 3-2</b>	<b><i>Ensamble de componentes electrónicos</i></b>	<b>66</b>
<b>Figura 3-3</b>	<b><i>Pantalla táctil</i></b>	<b>66</b>
<b>Figura 3-4</b>	<b><i>Prototipo Final</i></b>	<b>67</b>
<b>Figura 3-5</b>	<b><i>Desplazamiento de la arandelas</i></b>	<b>69</b>
<b>Figura 3-6</b>	<b><i>Sujeción de clavos</i></b>	<b>69</b>
<b>Figura 3-7</b>	<b><i>Inserción del clavo en las arandelas</i></b>	<b>71</b>
<b>Figura 3-8</b>	<b><i>Brazo mecánico</i></b>	<b>71</b>
<b>Figura 3-9</b>	<b><i>Porta clavos</i></b>	<b>72</b>
<b>Figura 3-10</b>	<b><i>Grafica de tiempos de ensamble</i></b>	<b>76</b>
<b>Figura 3-11</b>	<b><i>Calidad ensamble manual</i></b>	<b>78</b>
<b>Figura 3-12</b>	<b><i>Calidad ensamble Automático</i></b>	<b>79</b>

#### **Lista de tablas**

**Pág.**

<b>Tabla 2-1</b>	<b><i>Tabla actividades ejecutadas durante el ensamble automático</i></b>	<b>38</b>
<b>Tabla 2-2</b>	<b><i>Tabla de Piezas mecánicas del prototipo</i></b>	<b>39</b>

<b><i>Tabla 2-3 Conexiones de las señales de control del actuador lineal</i></b>	<b>52</b>
<b><i>Tabla 2-4 Conexiones entre actuadores Electro-mecánicos y tarjetas electrónicas</i></b>	<b>53</b>
<b><i>Tabla 2-5 Tabla comparativa de tarjetas Arduino</i></b>	<b>55</b>
<b><i>Tabla 2-6 Tabla comparativa del Actuador Lineal</i></b>	<b>57</b>
<b><i>Tabla 2-7 Tabla comparativa del motor paso a paso</i></b>	<b>58</b>
<b><i>Tabla 3-1 Tiempos de ensamble manual y automático</i></b>	<b>75</b>
<b><i>Tabla 3-2 Error de las muestras de ensamble manual y automático</i></b>	<b>76</b>
<b><i>Tabla 3-3 Unidades ensambladas por turno</i></b>	<b>77</b>
<b><i>Tabla 3-4 Calidad de unidades ensambladas</i></b>	<b>78</b>
<b><i>Tabla 3-4 Paso a paso para la puesta en servicio del prototipo ensamblador de clavo en arandelas</i></b>	<b>85</b>
<b><i>Tabla 3-5 Paso a paso para el mantenimiento preventivo del prototipo</i></b>	<b>86</b>

*(Dedicatoria)*

*A Dios, por todas las bendiciones recibidas y por darnos fuerzas y sabiduría en todo este proceso para obtener un logro más en nuestras vidas.*

*A nuestros padres y hermanos, por ser las personas que permitieron iniciar con nuestros sueños de ser unos profesionales.*

*A la empresa donde laboramos, por brindarnos la oportunidad y la posibilidad de continuar con nuestros estudios superiores los cuales nos servirán para seguir creciendo profesionalmente.*

*A todas las personas que nos han apoyado en este camino con su conocimiento y dedicación para que este proyecto sea un éxito.*

## **Agradecimientos**

A toda la institución por poner a nuestra disposición todos los recursos necesarios para nuestra formación, a cada docente que ayudó a nuestra formación profesional, a nuestros padres, familiares y amigos cercanos que estuvieron apoyando este proceso, a todos ustedes nuestros agradecimientos.

## **Resumen**

El siguiente proyecto desarrolla un prototipo automático para el ensamble de arandelas en clavos usado para la instalación de las láminas de zinc para la construcción de los techos, el cual va dirigido a las ferreterías y pequeñas empresas del sector de la construcción. El diseño del prototipo automático es simple, de bajo costo y eficiente que permita realizar ensambles en menor tiempo con respecto al proceso de ensamble manual que se realiza actualmente y por tanto, pretende disminuir los costos de producción de las empresas. Este prototipo automático basa su funcionamiento en la movilidad y desplazamiento de piezas mecánicas impulsadas mediante servomotores, motores paso a paso y actuadores, así como la implementación de un microcontrolador ATmega que coordina cada movimiento, teniendo como objetivo principal realizar el proceso de forma sistematizada y automatizada para mejorar la calidad del ensamble de las arandelas en los clavos.

**Palabras clave: Sector de la construcción, eficiencia, prototipo automático, clavos, arandelas, lamina de zinc, instrumentación electrónica, servo motor, motor paso a paso, actuador lineal.**

### **Abstract**

The following project develops an automatic prototype for the assembly of rubber washers on nails used for the installation of zinc sheets for the construction of roofs, which is aimed at hardware stores and small companies in the construction sector. The design of the automatic prototype is simple, low-cost and efficient that allows assemblies in less time with respect to the manual assembly process that is currently carried out and therefore, it aims to reduce the production costs of the companies. This automatic prototype bases its operation on the mobility and movement of mechanical parts driven by servo motors, stepper motors and actuators, as well as the implementation of an ATmega microcontroller that coordinates each movement, having as its main objective to carry out the process in a systematic and automated way. to improve the quality of the assembly of the rubber washers on the nails.

**Keywords: Construction sector, efficiency, automatic prototype, nails, washers, zinc foil, electronic instrumentation, servomotor, linear actuator.**

## **Introducción**

En Colombia según el informe de CAMACOL, Edición N°19 se espera un crecimiento en el sector de la construcción para este año 2021, se provee un incremento del 26% con respecto al 2020 [1]. Dentro del sector de la construcción se tiene un subsector que es el ferretero, este es el encargado de proveer los diferentes materiales y herramienta manuales para los proyectos, incluyendo los clavos y las arandelas para las láminas de zinc.

Ante esta realidad se augura un crecimiento en la actividad edificadora de vivienda de diferentes tipos, lo que garantiza el aumento del consumo de clavos para los sistemas de

sujeción de las láminas de techo, por tanto, es necesario para las pequeñas empresas y ferreterías contar con procesos alternativos como maquinaria o equipo que mejoren los tiempos de ensambles de los clavos que sirven para la sujeción de los techos, lo que se puede convertir en una oportunidad para agregar valor a los productos ofrecidos actualmente.

La mayor parte de las ferreterías y pequeñas empresas de la construcción comercializan estas piezas de forma independiente o realizan el proceso de ensamble de los clavos en las arandelas de forma manual, ocasionando defecto de calidad, alto tiempo para realizar el ensamble, mayor ocupación de mano de obra y por consiguiente mayores costos de producción. Es de resaltar que existen sistemas electromecánicos que pueden hacer esta labor de forma efectiva y son muy utilizadas en las grandes empresas. El ensamble que pretende el proyecto se observa en la figura 1-1:

**Figura 1-1** *Ensamble de clavo y arandelas*



*Nota: Elaboración de los autores*

Las clavos o puntillas son accesorios de gran potencial por su utilización en el medio de la construcción. Estos son construidos a partir de alambre de acero, bronce y aluminio, el cual pasa por procesos de estirado, desinfectado, escurrido de agua, secado y pesado. A nivel mundial existe una gran variedad de clavos que pueden ser clasificadas de acuerdo con sus propiedades y aplicabilidad [3]. Los clavos son de uso universal en la industria de la construcción, son también auxiliares indispensables del carpintero en la elaboración de estructuras, tarimas, industria de muebles, y hasta para la construcción de casas de madera [3]. Ver figura 1-2:

**Figura 1-2** *Puntilla o clavo de acero*



*Nota: Elaboración de los autores*

Las arandelas son componentes utilizados en los montajes en forma de discos delgados que tienen en el centro un orificio el cual tiene la funcionalidad de sentar las cabezas de los clavos. Estas arandelas son fabricadas en diferentes materiales como plásticos, goma y metales. Las arandelas se usan para soportar una carga de apriete y para prevenir la corrosión [4]. En la Figura 1-3 podemos ver las arandelas propuestas en este proyecto:

**Figura 1-3** *Arandelas*



*Nota: Elaboración de los autores*

A nivel ingenieril se concibe este proyecto que permita el uso de la información teoría y soluciones tecnológicas, dando paso a una idea innovadora que permita su escalamiento a una idea de negocio replicable y efectivo para las empresas del sector de la construcción y ferreterías. Teniendo en cuenta lo anterior y la necesidad de mejorar el proceso de ensamble de arandelas en clavos utilizados para sujetar las láminas de zinc de los techos de las viviendas, se presenta este proyecto donde se pretende implementar un prototipo que automatice las actividades que se realizan de forma manual utilizando un sistema de control con Arduino mega y manipulado por medio de una HMI que permita disminuir los tiempos de los ensambles y mejorar la calidad de los actuales.

Entre las principales ventajas de usar este sistema automático de ensamble se tiene:

- Bajo costo, ya que por su practicidad y principio de funcionamiento no requiere de herramientas especializadas de alto costo para su fabricación y funcionamiento,
- Ajuste de su producción dependiendo de las ventas presupuestadas
- No requiere recurso humano permanente para su operación,

- Baja generación de ruido,
- Ciclos de operación continuos y requiere poco espacio para su operación.

Este proyecto, además, podría adjudicarse a las diferentes líneas de apoyo de emprendimiento joven que ha creado el actual gobierno a través de la nueva Ley de Emprendimiento [5] que estimula las ideas innovadoras que generan valor agregado a los diferentes sectores económicos, esto significación la puesta en marcha de una empresa que genere nuevos puestos de trabajo y mejora de la calidad de vida de las familias que se vena representadas para cada uno de los colaboradores. Adicional a ello, se tiene el aporte que puede significar a la comunidad académica, porque muestra la capacidad de los autores luego de la formación ingenieril recibida para solucionar a través del uso de diferentes paradigmas, teorías y técnicas, contribuyendo a la innovación, el desarrollo tecnológico, social y económico.

Para el desarrollo de este proyecto se tiene como objetivo general implementar un prototipo que permita ensamblar arandelas en puntillas para la sujeción de tejas de zinc onduladas, basado en un método de fácil de operación y alta eficiencia para el aumento de la rentabilidad y calidad del producto ofrecido en las ferreterías. Para el logro de él se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los requisitos ingenieriles realizando un estudio comparativo de los diferentes componentes para lograr un prototipo automático de bajo costo.

- Diseñar el sistema de control con Arduino Mega 2560 y HMI TFT para coordinar automáticamente el ensamble de las arandelas en los clavos.
- Construir una estructura portable y liviana que facilite su almacenamiento y manipulación en el lugar de trabajo.
- Analizar la operación del prototipo a través de un método experimental para realizar los ajustes de tiempo entre el ensamble de las arandelas.
- Crear los manuales de operación y de mantenimiento del prototipo que garanticen su operación correcta y su vida útil.

Existen diferentes proyectos realizados a través de la búsqueda en las bases de datos, entre ellos los proyectos de la universidad Antonio, los cuales sirvieron de base para para la recopilación de la información.

Se pueden mencionar el proyecto de la Reorganización del área del pulido y empaque de una línea de producción de clavo [6]. Este proyecto distribuirá la maquinaria y equipo de una forma lineal para poder realizar las tareas de carga y descarga de producto en los equipos de forma más rápida y eficiente. En el área se montará un sistema de grúa que le permitirá realizar las tareas más lentas de proceso que son la carga y la descarga en un menor tiempo, además de esto se instalará un sistema de extracción de desperdicios que permitirá trabajar de manera más limpia y ordenada.

Mejoramiento de la línea de producción de clavos negros de una planta procesadora de alambres de acero [7]. El presente trabajo busca identificar, analizar y proponer mejoras para resolver problemas como baja productividad, altos niveles de desperdicio, paros constantes de máquinas, movimientos productivos, falencias en la comunicación interdepartamental, problemas con el aprovechamiento de los recursos.

Y por último podemos relacionar el proyecto guía de laboratorio virtual para la simulación y control de movimientos de un brazo robótico realizado por Jesus Osorio (bibliografía) el cual utiliza el control de lazo abierto y lazo cerrado en su método de sincronización. (Proyecto robótica) que sirve como base para...[8].

Este proyecto apoya en el método científico experimental, por lo que se establecen las siguientes etapas del proceso metodológico:

- Etapa de requerimientos básicos: En la misma se busca establecer los requisitos y necesidades ingenieriles para el proyecto de acuerdo con el problema identificado. Es necesario analizar la forma, componentes, estructura, funcionamiento y operación del proceso de ensamblado de arandelas en los clavos y los requisitos que debe cumplir el prototipo.
- Etapa de diseño y planificación: En esta se hará necesario desarrollar el diseño del prototipo y hacer simulaciones para establecer las correcciones iniciales. En esta

etapa se presentan los diferentes tipos de planos y la programación de herramientas para el proceso de automatización.

- Etapa de construcción y puesta en marcha del prototipo: En esta fase se construirán las estructuras, elementos de control, circuitos electrónicos y eléctricos necesarios. Así mismo, se seleccionarán los diferentes dispositivos y componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, tales como actuadores, sensores, tarjetas de circuitos necesarias.
- Etapa de análisis de operación del prototipo: En esta se hará monitoreo del desempeño del prototipo para establecer oportunidades de mejora y corrección en el funcionamiento. En esta etapa se hace reajuste de los tiempos entre el ensamble de las arandelas y la calidad de los ensambles. Adicionalmente se realiza un análisis estadístico basado un muestreo aleatorio donde se aplicará el concepto de el teorema central del límite para validar los resultados obtenidos con el prototipo.
- Etapa de presentación de manuales: En esta se llevará a cabo el diseño de manuales para la operación del sistema y del mantenimiento básico del mismo. es necesario en esta etapa establecer todas las condiciones de operación del sistema, las fallas más comunes y como se resuelven. Por otro lado, es necesario establecer cada uno de los pasos para el proceso de mantenimiento preventivo del equipo.

## **1. Marco Teórico**

Este proyecto se desarrolla dentro de la línea de investigación de la automatización y grupo de investigación automatización industrial.

### **1.1 La automatización**

La automatización es la tecnología que utiliza los sistemas mecánicos y electrónicos, los cuales a través de la computadora pueden ejecutar y controlar la producción. Estos necesitan el mínimo de la intervención humana. A través de la historia podemos ver la aplicación de ellos donde una de las primeras aplicaciones fue el talar de Jacquard en el siglo XVII, donde se usó tarjetas perforadas que permitió automatizar del proceso de tejidos. Luego en la revolución industrial apareció la máquina de vapor y la forma de trabajar por proceso, lo cual fue importante para la automatización porque permitió mejoras con el uso de las maquinas [9].

Posteriormente se dio la creación de las computadoras que incremento el uso de la automatización en diferentes sectores de la industria, donde se vio favorecido el automotriz [10].

## 1.2 Automatización de procesos

La automatización hace referencia al proceso en el que una máquina o sistema automatizado es capaz de realizar una actividad sin necesidad de la intervención humana y de tareas de supervisión y guía externa.

La automatización de procesos origino el desarrollo de las industriales, porque los sistemas inteligentes y robotizados han logrado mejoras que para la manufactura manual son difíciles. Una de las ventajas de la automatización es que permite realizar una operación de forma continua sin interrupción, con bajos márgenes de error, de forma óptima y sistematizada.

Dentro de los aportes de la automatización de procesos en los sistemas es que integra soluciones colaborativas donde interactúan los operarios, y a la vez recogen y procesan datos que se convierten en información real y precisa para mostrar lo actual del proceso operativo. Otra ventaja es la interconexión de los sistemas que ejecutan las tareas,

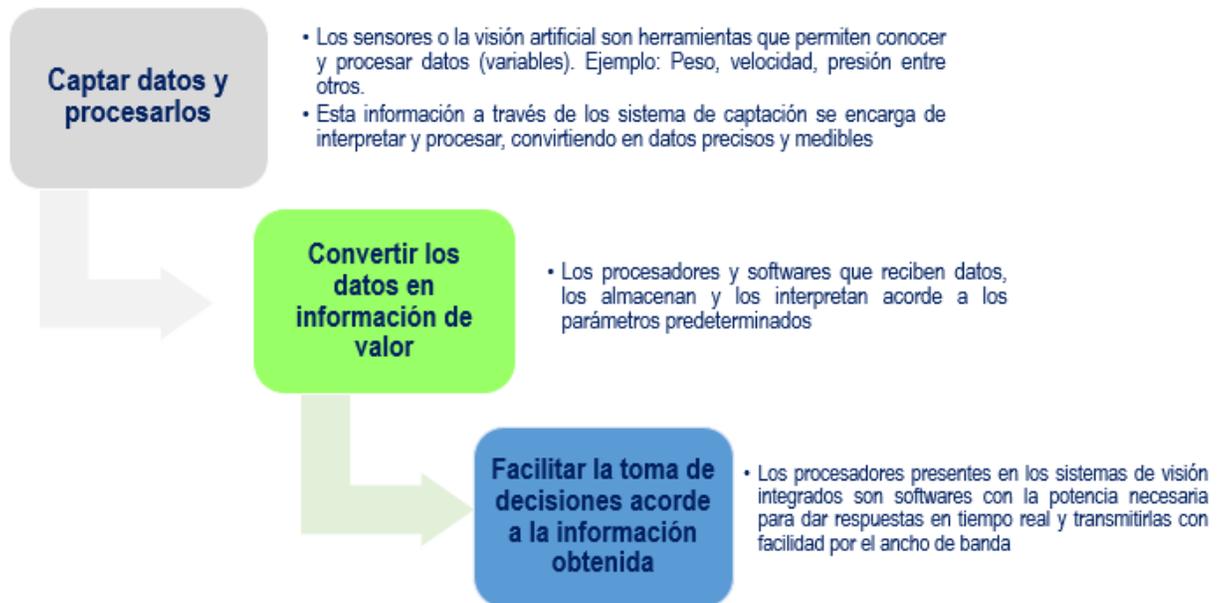
lo cual facilita la transmisión de información de tal forma que se mejora la adaptabilidad de la operación a las necesidades en imprevistos que se presenten.

En las industrias, invertir en la automatización es impórtate porque permite integrar el sistema de gestión y la supervisión de la producción, de tal forma que se aprovecha de mejor forma los recursos, ejecutando las tareas de forma inmediata, eliminando productos no conforme y desabastecimiento de materiales. Todo lo anterior permite optimizar las operaciones generando más producción con menores costos.

### *1.2.1 Etapas de la automatización*

Recoger información e integrarla a la operación es el principal objetivo de la automatización de tal forma que las maquinas puedan realizar las siguientes etapas de forma correcta [11]. Ver Figura 1-4:

**Figura 1-4** *Etapas de la automatización*



### 1.2.2 Pirámide de automatización

Integrar tecnologías como la mecánica, la electricidad, electrónica, informática, telecomunicaciones, entre otras, hace una realidad automatizar los procesos. Esta integración es llamada pirámide de automatización, la cual incluye los cinco niveles tecnológicos que aplican a la industria. Las tecnologías se relacionan entre sí, mediante diversos estándares de comunicaciones industriales [12]. Se clasifican en niveles, de acuerdo tráfico y tipo de información que se intercambia [13]. Ver Figura 1-5

**Figura 1-5** *Etapas de la automatización*



En la pirámide se reconocen los siguientes niveles [13].

Primer Nivel: Comienza en la parte inferior de la pirámide e incluye los dispositivos, motores eléctricos, actuadores y sensores que se usan para detectar movimientos y materiales en las producciones. Aquí se realiza el trabajo físico y el monitoreo. Este nivel se conoce como nivel de proceso.

Segundo Nivel: Incluye los dispositivos de control automático los cuales están representados por controladores lógicos programables PLC, unidades terminales remotas (UTR), los sistemas de control distribuido (DCS) y los controladores de automatización

programables (PAC). Estos dispositivos permiten asegurar los procesos, llevándolos a estados ideales y para esto necesitan comunicarse con dispositivos del nivel de proceso con el objetivo de medir las variables o actuar sobre este aplicando cualquier tipo de energía. Este nivel se conoce como nivel de supervisión.

Tercer Nivel: En este nivel utiliza SCADA que significa control de supervisión y adquisición de datos. Aquí se combinan los niveles anteriores para acceder a los sistemas de datos y control desde una sola ubicación. En estos equipos una persona puede monitorear y controlar las diferentes variables de los procesos, utilizando los datos de campo que fueron tomados por los PLC, así mismo ellos reconocen de Interfaz Hombre-máquina (HMI) y están cerca de la operación. Este nivel se conoce como nivel de supervisión.

Cuarto Nivel: En este nivel se utiliza un sistema de administración de computadoras llamado MES que significa sistema de ejecución de fabricación, el cual permite que la administración vea lo que está sucediendo y pueda tomar decisiones con respecto a esa información. Este nivel se conoce como nivel de planificación.

Quinto Nivel: Esta en la parte superior de la pirámide y utiliza el sistema de gestión integrado de las empresas llamado ERP o planificación de recursos empresariales. Este permite observar y controlar las operaciones y utiliza la tecnología de los anteriores niveles y otro software para lograr ser integral. El ERP es importante porque contribuye a

la eficiencia y transparencia dentro de las empresas por tener la información en una página.

Esta pirámide en el proyecto nos ayuda a identificar los componentes necesarios que hacen parte de la automatización, los cuales estarán sincronizado de tal forma que el prototipo trabaje de forma correcta.

### **1.3 Pantallas HMI**

El HMI (interfaz de software) es la interfaz entre el hombre el proceso y es básicamente el panel de instrumentos del operador. Este dispositivo tiene como función mostrar al operador información real de la operación en tiempo real, al igual que permite coordinar, controlar y optimizar los procesos productivos.

El HMI en este proyecto permitirá mostrar al operador las opciones de operación del prototipo [14].

### **1.4 Arduino Mega**

Es una de las marcas de microcontroladores más usada en la electrónica, la programación y la robótica por ser el más capaz. Las funciones de Arduino son tres [15]:

- Tiene una interfaz de entrada que permite que los periféricos externos se conecten a través de puertos.
- Los periféricos son los encargados de tomar la información y trasladarla al microcontrolador para ser procesados.
- Tiene una interfaz de salida que se encarga de entregar la información procesada a los periféricos autorizados para su uso final.

La computadora y el Arduino se comunican a través del puerto de serie y posee un convertidor usb – serie. Este puede ser alimentado por un puerto USB o con una fuente externa de poder. Al trabajar con una fuente externa de poder es recomendable utilizar un convertidor AC/AD y regular el voltaje operativo [16].

Para este proyecto es útil porque se necesitan varios periféricos electromecánicos que serán manejados por el Arduino para que realicen la función de acuerdo al diseño.

### 1.5 Lenguaje de programación C++

Es un lenguaje de programación que utiliza Arduino y está asociado al sistema operativo UNIX. Este lenguaje es de nivel medio y utiliza objetos básicos tales como los caracteres, los números, bits, direcciones de memorias, entre otros. Adicionalmente versátil y tiene una gran portabilidad [15].

En este proyecto el lenguaje de programación C++ nos facilitara realizar los ajustes necesarios para sincronizar los movimientos del prototipo.

## 1.6 Sistema de control automático

El control automático es uno de los aspectos más relevantes para el desarrollo y avance de ingeniería. En sus alcances se encuentran los vehículos espaciales, misiles teledirigidos y la robótica. La ingeniería de control está basada en los principios de la teoría de retroalimentación y análisis de sistemas lineales, integrados a la teoría de redes y de comunicación.

Un sistema de control está compuesto por una serie de elementos, los cuales están sincronizada de tal forma que al recibir una señal ellos den una respuesta deseada a lo requerido por el proceso. Lo importante en los sistemas de control está relacionado a las variables controladas y manipuladas del lazo de control. La manipulación de estas variables está relacionado al objetivo del sistema de control del proceso. En conclusión, se puede decir que el objetivo del sistema es controlar la salida de manera ordenada, que los elementos de control actúen dependiendo de la señal de entrada [17].

Un sistema de control a lazo abierto es aquel donde su salida no es independiente de la señal de entrada. La salida no se realimenta para compararla con la entrada [18].

Un sistema de control a lazo cerrado es aquel donde el controlador se alimenta de la señal de entrada. En este sistema las decisiones son tomadas teniendo en cuenta las señales de entrada y salida [18].

Es el prototipo de ensamble de arandelas en clavos se utiliza un sistema de control de lazo abierto, este operara de acuerdo con un algoritmo en lenguaje de programación C++ elaborado en Arduino. La programación está diseñada para que se realicen los ciclos de operación de acuerdo a la cantidad de unidades que se requieran fabricar.

### 1.7 Maquinas ensambladoras

La función de las maquinas ensambladoras es armar productos compuestos por varias piezas. El paso a paso del ensamble para el producto terminado está conformado por varias secciones. Estas piezas son entregadas de manera independiente por los alimentadores a la máquina principal y salen de estos armados. Todo este proceso se realiza de manera automática. En el proceso de ensamble automatizado interactúan máquinas, herramientas automáticas para procesar piezas, máquinas automáticas de ensamble y robots industriales. Los diferentes tipos de maquina varían de acuerdo a su tamaño, tipo producto y cantidad de piezas a armar.

Las maquinas ensambladoras son utilizadas en diversas industrias entre las cuales tenemos: la cosmética, la química, la alimenticia, la electrónica, la farmacéutica, de

plástico, la automotriz, entre otras. Existen dos tipos de maquina ensambladoras de acuerdo a su movimiento: Indexado y Continuo [19].

Movimiento Indexado: Las piezas en este tipo de ensamble son armadas secuencialmente en estaciones instaladas en un plato giratorio central. Posteriormente se realizan pruebas de calidad en otras estaciones y si el producto no cumple las especificaciones, son descartados.

Movimiento continuo: Las estaciones de ensambles en este tipo de máquinas sobre un rotor girando continuamente y estas a su vez son dirigidas por levas mecánicas fijas. Estos sistemas permiten prescindir de estructuras con accionamientos mecánicos y realizar producciones en masa por medio de la verificación del producto a través de diferentes sensores y cámaras de alta velocidad [19].

Las máquinas ensambladoras en su mayoría son construidas de acuerdo a las especificaciones del usuario, pero también existen modelos estandarizados. Estas requieren de programa informático especializado para dar instrucciones a la máquina en el proceso de producción. En la producción la manipulación de objetos se realiza mediante sistemas de vacío, los brazos robóticos o los tubos neumáticos. Algunas máquinas requieren ser supervisadas o alimentadas por personas

Las maquinas ensambladora son una tecnología que permite altos volúmenes de producción con bajos gastos en mano de obras, así como el uso espacios reducidos. También son ideales para ensamblar artículos que requieren de mucha precisión y son de difícil trabajo para las personas [20].

### **1.8** Maquina ensambladora de clavos en arandelas

A pesar de que los sistemas de ensamble automático tienen más beneficios, se tiene como desventaja que son diseños poco flexibles que solo fabrican un tipo de puntillas. En el mercado internacional se evidencian diferentes soluciones automatizadas para el proceso de ensamble de arandelas: la máquina de ensamble de arandelas de modelo DLX-250, fabricada en Taiwan (China) supera los \$55 millones de pesos [21].

Dentro de las empresas pioneras en la fabricación y exportación se encuentra la empresa MANEK, cuya empresa tiene 85 años en el mercado y posee una maquina automatic wire nail making machine MODELO 6, la cual es una máquina de clase mundial que produce clavos con un excelente eficiencia y buena calidad, cabe resaltar que adquisición de esta máquina tiene un valor que oscila entre unos US 2.750 y US 3.500 [22].

También se tiene la maquina SSS-YH-ZDJ-X90 la cual fabrica clavo de hormigón y es operada en automático. Esta puede producir varios tipos de clavos una velocidad de 760 U/Minutos. Dentro de sus característica esta su bajo nivel de ruido y vida útil que supera los 20 años. Esta última tiene un valor de US 18.500 y US 20.000 [23].

### 1.9 Cinemática y estructura mecánica

La cinemática es la rama de la mecánica que se encarga de estudiar los movimientos de los cuerpos u objetos en el espacio. Esta no tiene en cuenta las causas que lo originan sino su desplazamiento en función del tiempo. Utiliza la velocidad y aceleraciones para mostrar los cambios de posición que se dan en función del tiempo [24].

A través de la tecnología podemos los diferentes tipos de movimientos de los objetos o cuerpos, dentro de los tipos de movimientos encontramos la cinemática lineal uniforme, la cual describe los movimientos rectilíneos. Esto quiere decir que se mantiene paralelo desde la posición inicial hasta el final con velocidad uniforme.

## **2. Desarrollo Ingenieril del proyecto**

### **1.1 Requerimiento y restricciones del diseño**

De acuerdo con el diseño del prototipo para ensamble de clavos en arandelas se realizó un análisis de los aspectos necesarios que nos permitieran llegar a la construcción y desarrollo del mismo, entre los cuales tenemos:

Debe ser de fácil operación y manipulación para poder ubicarlo en cualquier lugar donde se requiera.

Debe ser de bajo consumo de energía.

Debe tener una interfaz amigable al operador.

El programa debe estar diseñado para que el operador reinicie cuando lo requiera.

La programación del prototipo será en el lenguaje de programación Arduino C++.

La precisión de los componentes que lo conforman debe ser importante para la operación del prototipo.

Se debe considerar siempre contar con energía eléctrica, para el funcionamiento del prototipo.

El programa debe ser capaz de producir la cantidad de clavos asignada por el operador.

El prototipo utilizara una corriente de trabajo 110 Voltios.

El sistema debe contar con un circuito de corriente continua de 12 VDC.

El sistema debe contar con un circuito de corriente continua de 7 VDC.

Es importante aclarar que a pesar de ser un proceso de ensamble es automático, el prototipo debe ser operado por una persona.

La temperatura del ambiente de trabajo debe ser de 38°C.

La humedad relativa del ambiente de trabajo deber máximo 98%

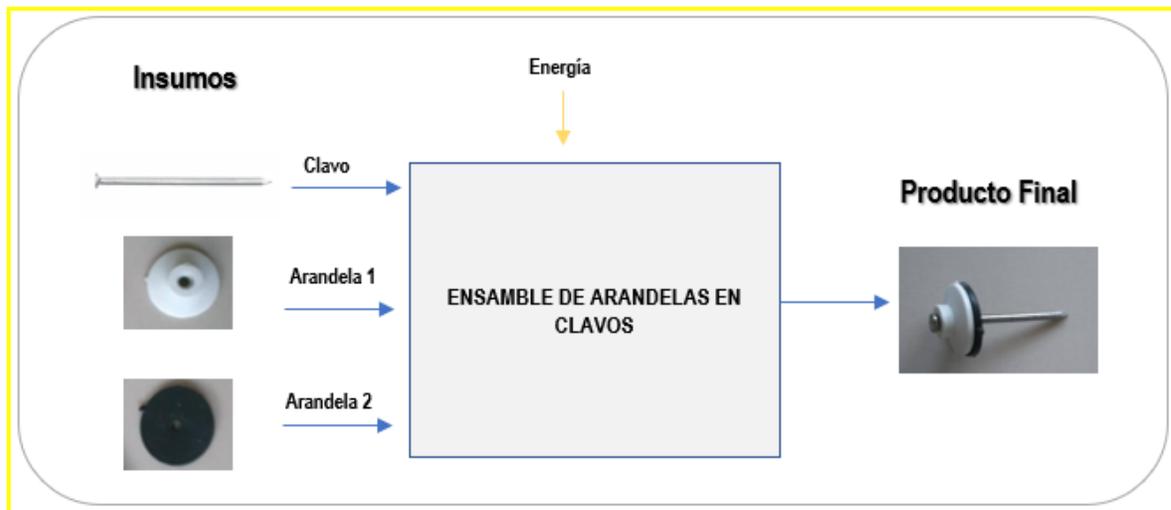
## 1.2 Diseño general del prototipo

En esta etapa de proyecto se hace necesario desarrollar el diseño del prototipo y hacer simulaciones para establecer las correcciones iniciales. Se presentan los diferentes tipos de planos y la programación de herramientas para el proceso de automatización.

La función principal del prototipo que se desarrollara en este proyecto es ensamblar las arandelas y clavos de forma automática, obteniendo un producto final de calidad.

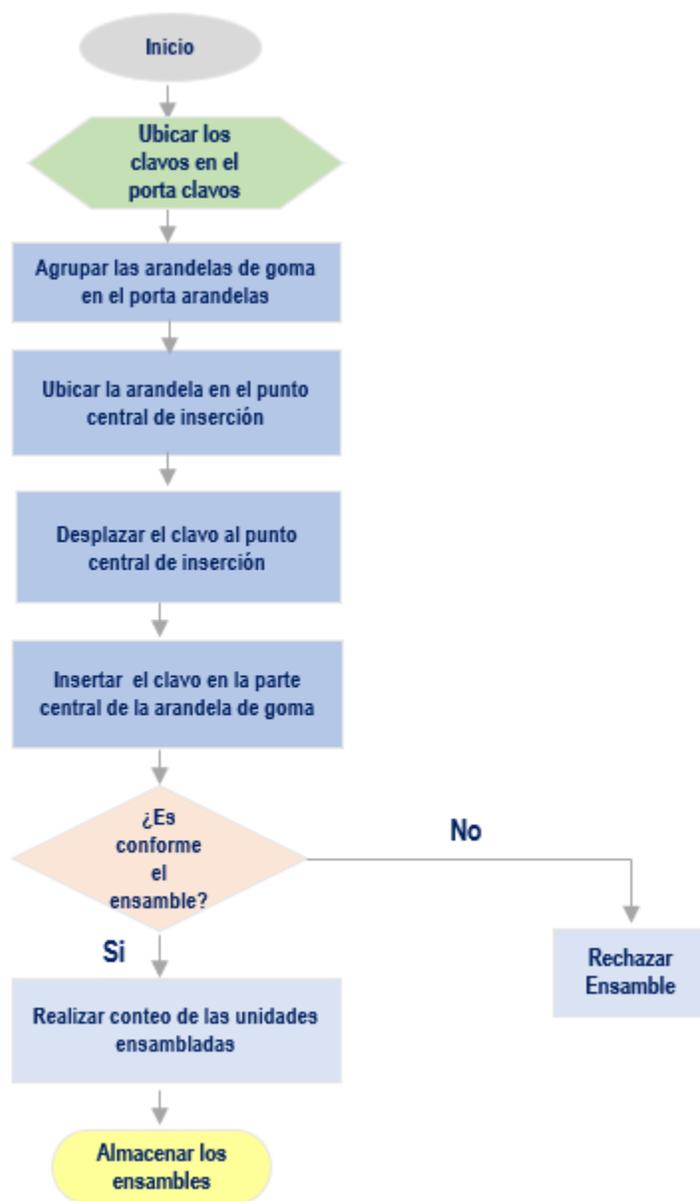
El proceso de ensamble de arandelas en clavos para la sujeción de láminas de zinc en techo para el cual es diseñado el prototipo tiene como insumos los clavos de 2 pulgadas fabricados en acero y las arandelas. Para una mayor claridad del alcance del proyecto en la figura 2-1 se puede observar el diagrama de entrada y salida del proceso de ensamble:

**Figura 2-1** *Diagrama de proceso del ensamble*



De acuerdo con las visitas realizadas a 5 ferreterías y 2 obras de construcción de la ciudad de Cartagena se encuentra que el ensamble manual de arandelas en clavos consta de 8 pasos de ejecución como lo muestra la Figura 2-2:

**Figura 2-2** Proceso de ensamble manual



*Nota: Elaboración de los autores*

En la Tabla 2-2 se relacionan las actividades que involucran ejecución manual y automática implementando el prototipo:

**Tabla 2-1 Tabla actividades ejecutadas durante el ensamble automático**

ACTIVIDADES PARA EL ENSAMBLE	PROTOTIPO AUTOMATICO
------------------------------	----------------------

	Actividad Manual	Actividad Automatizada
Ubicar los clavos en el porta clavos	X	
Agrupar las arandelas en el porta arandelas	X	
Ubicar la arandela en el punto central de inserción		X
Desplazar el clavo al punto central de inserción		X
Insertar el clavo en la parte central de la arandela		X
¿Es conforme el ensamble?	X	
Realizar conteo de las unidades ensambladas		X
Almacenar los ensambles	X	

*Nota: Elaboración de los autores*

El prototipo automático pretende disminuir el número de tareas que se realizan de forma manual en el ensamble de las arandelas en los clavos, es decir, de 8 tareas manuales solo quedaran 4 tareas manuales, ya que el resto de las tareas el prototipo las realizara de forma automático. Esto representa el 50% de la reducción de las actividades de forma manuales.

### *1.2.1 Diseño del sistema mecánico del prototipo*

Para el logro de las anteriores actividades se contempla en el diseño del prototipo los siguientes componentes mecánicos, los cuales son fabricados en materiales de fácil consecución en el mercado y a continuación en la tabla 2-2 se tiene la relación de cada uno de ellos:

**Tabla 2-2 Tabla de Piezas mecánicas del prototipo**

<b>Ítems</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>
1	Base mecánica para la inserción de clavos	1
2	Actuador Lineal	1
3	Porta Arandela	1
4	Placa Base	1
5	Acrílico soporte porta arandelas	1
6	Acrílico porta clavos	1
7	Acrílico desplazador de arandelas	1
8	Acrílico	1
9	Motor de carrera lineal	1
10	Base sujetador de clavos	1
11	Brazo de expulsión	1
12	Soporte Servomotor	1
13	Soporte	3
14	Soporte porta Clavos	2
15	Sujetador de clavos	1
16	Base guía para cremallera	1
17	Servomotor	2
18	Piñón	1
19	Abrazadera	2
20	Soporte porta arandelas	1
21	Motor vibrador	1

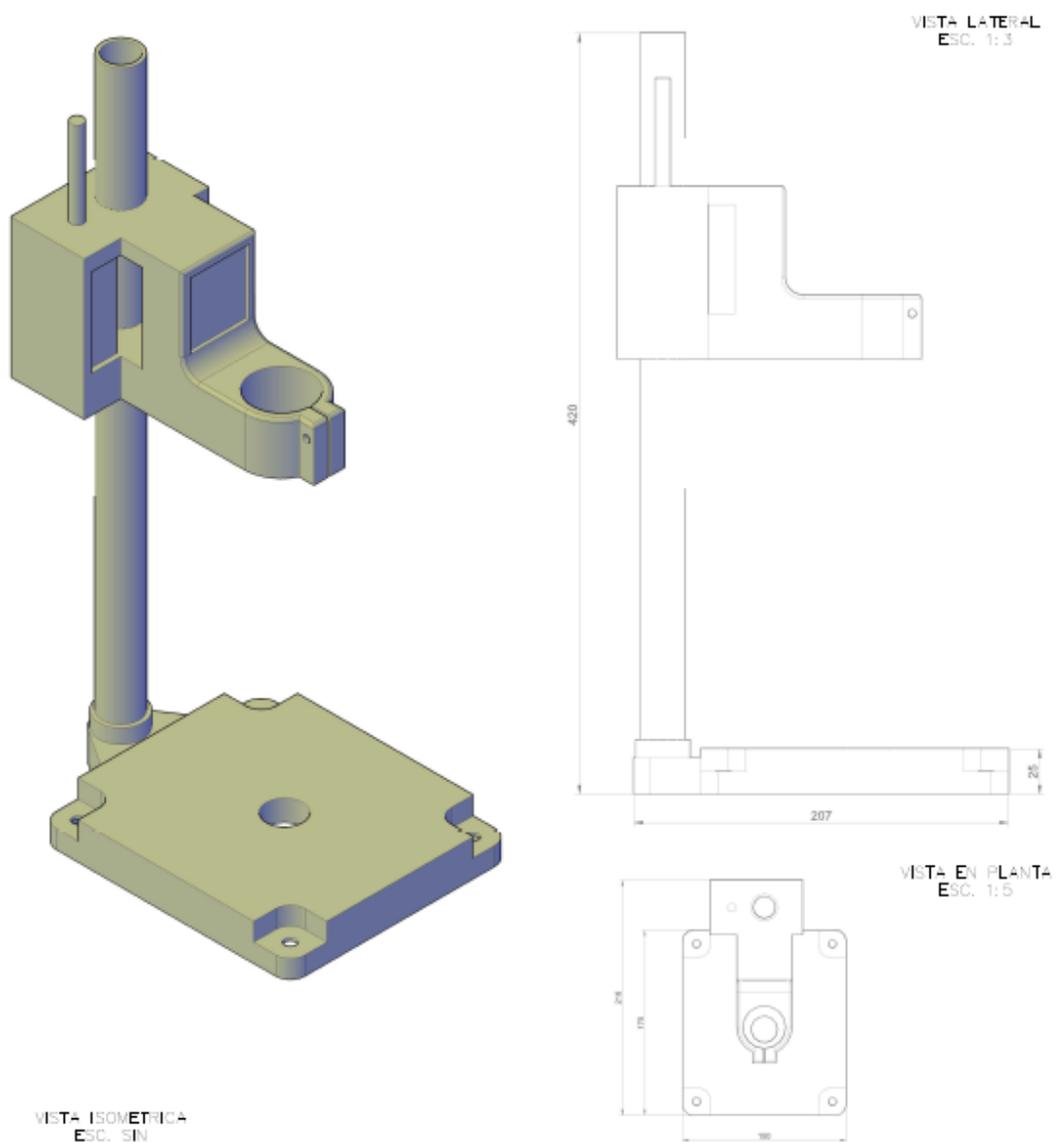
*Nota: Elaboración de los autores*

En la siguiente Figura 2-3 podemos observar el esquema general del prototipo, el cual tiene unas dimensiones de 20 cm de ancho y 42 cm de largo, adicional se evidencia las piezas que lo integran y los nombres cada una están relacionados en la tabla 2-3:



A continuación, se detallan las principales piezas mecánicas que hacen parte del prototipo. La Figura 2- 4 muestra la base mecánica para la inserción de clavos, la cual este fabricado en aleación de aluminio y su función es soportar el prototipo:

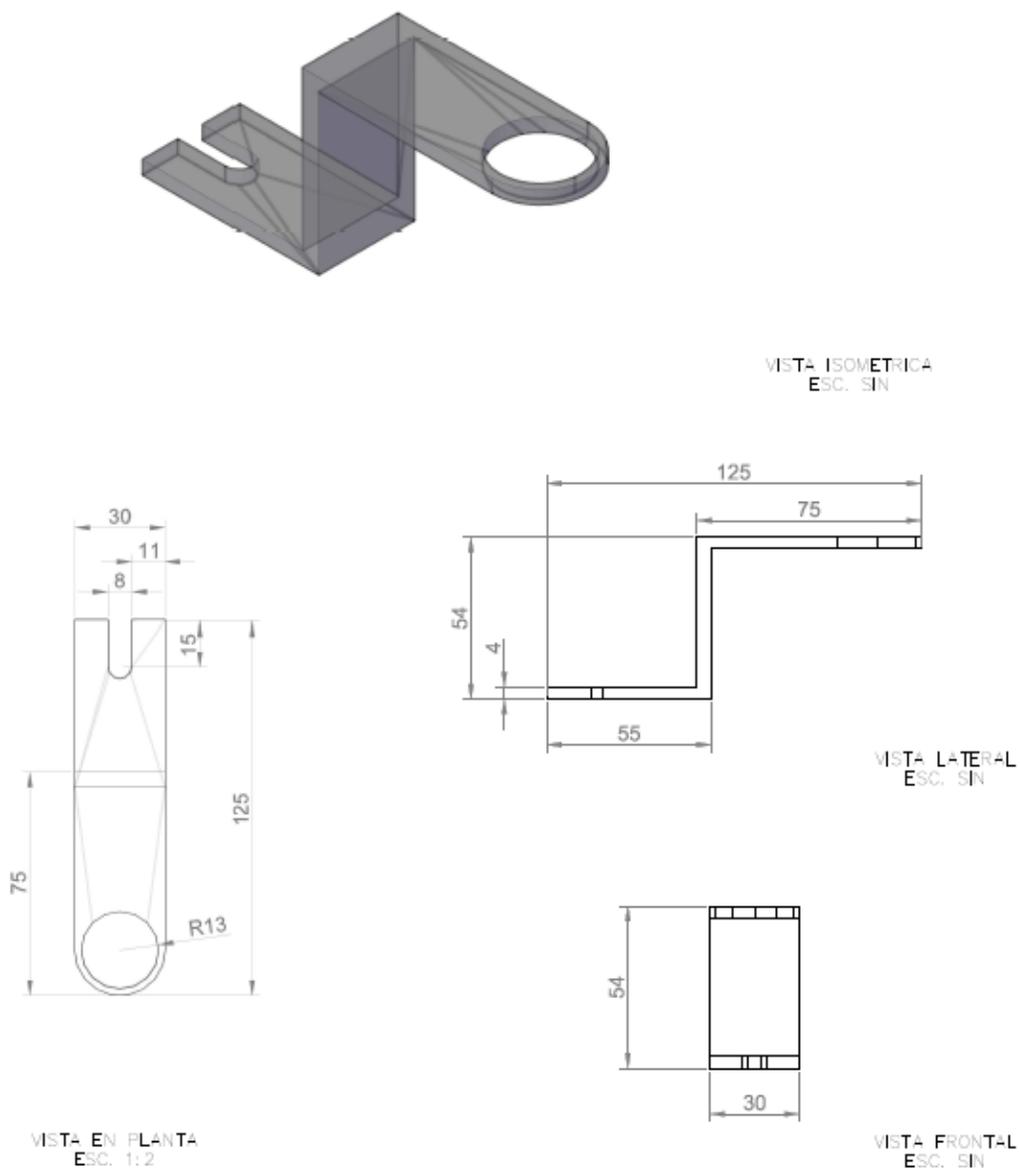
**Figura 2-4** Base mecánica para la inserción de clavos



*Fuente: Elaborado por los autores*

Adicionalmente cuenta con una pieza que soporta el porta arandela y va sujetado a la base mecánica. Este fabricado en aleación de aluminio. En la Figura 2-5 podemos observarla:

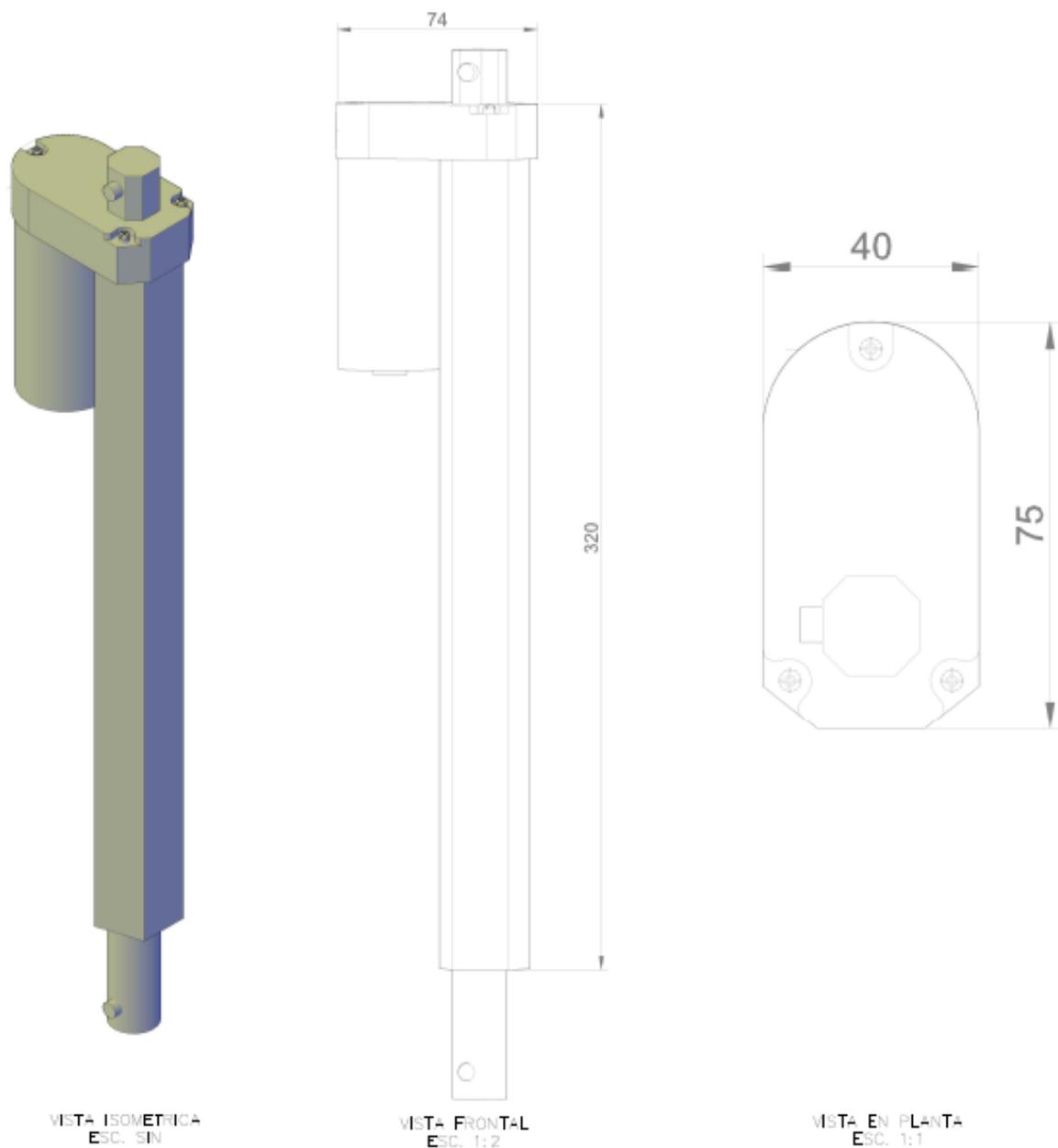
**Figura 2-5** Soporte porta arandelas



*Fuente: Elaborado por los autores*

El prototipo también cuenta con un actuador lineal, el cual es el encargado de insertar el clavo en la arandela y su diseño es en aleación de aluminio Ver Figura 2-6.

**Figura 2-6** *Actuador Lineal*

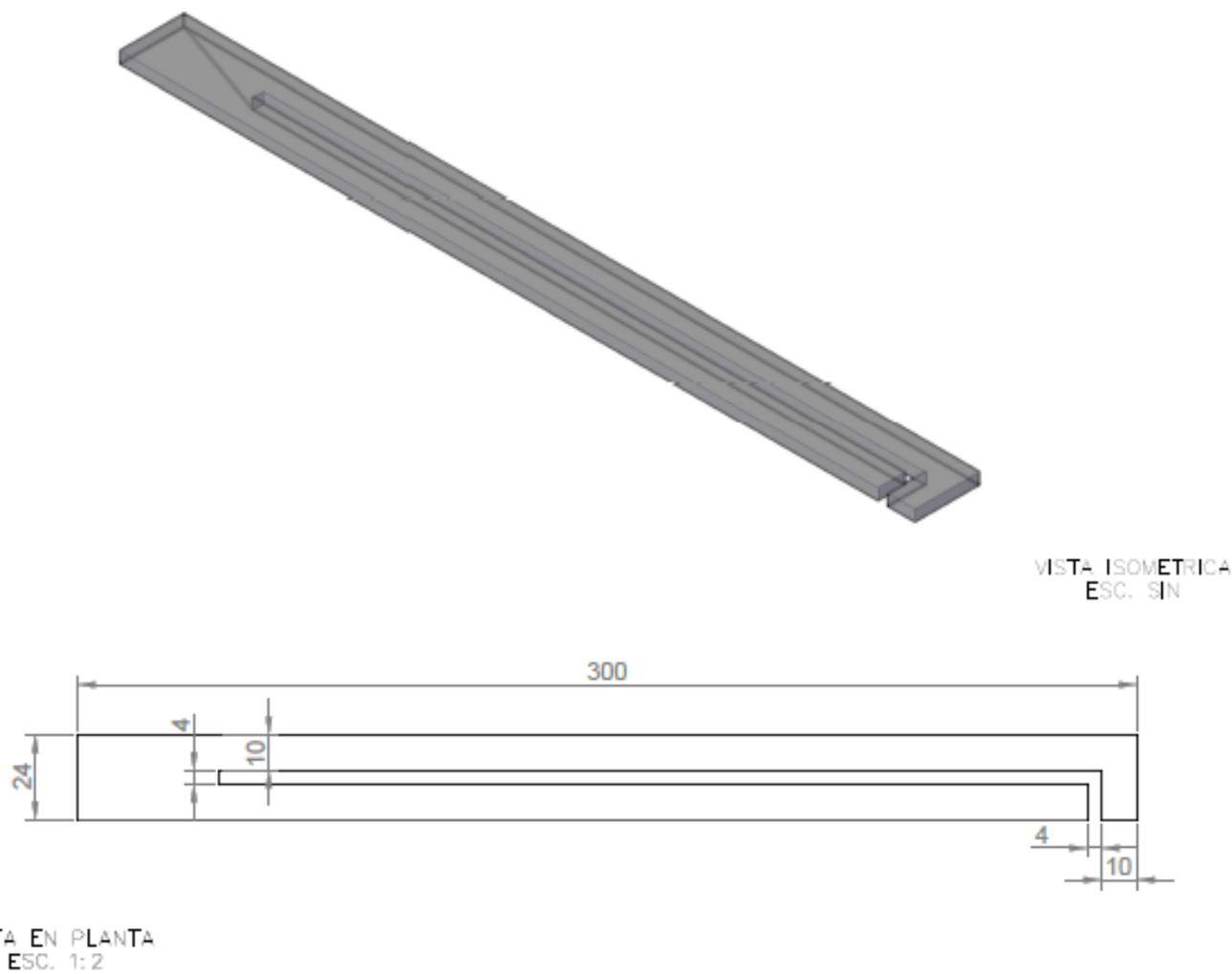


*Fuente: Elaborado por los autores*

En la Figura 2-7 se puede observar las especificaciones del porta clavos, la cual es diseñada en acrílico transparente de 4mm de espesor, contiene un orificio en la parte

central para garantizar el desplazamiento del clavo al momento de ser insertado en las arandelas.

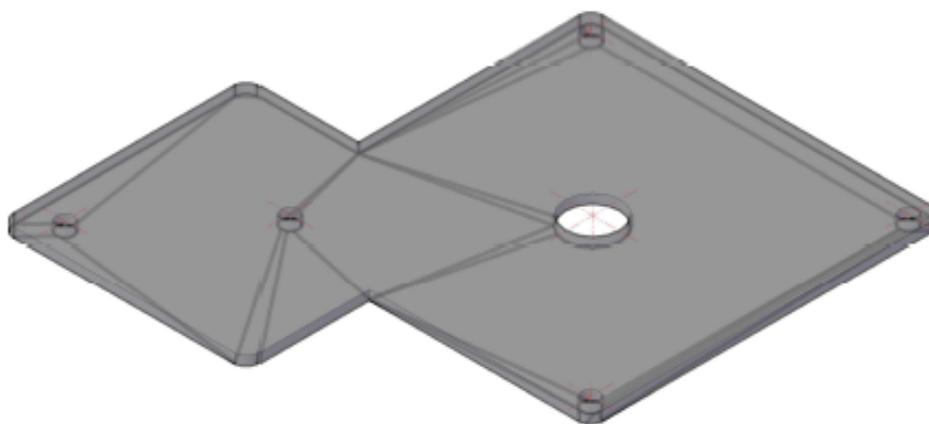
**Figura 2-7** *Porta clavos*



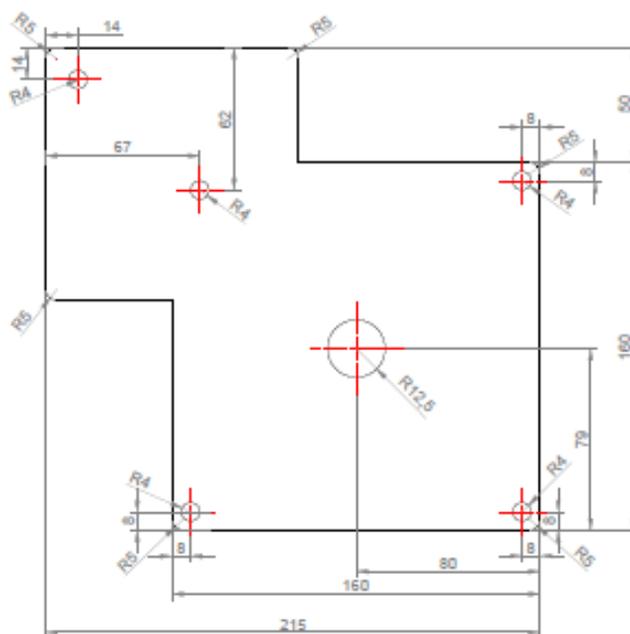
*Fuente: Elaborado por los autores*

La placa base del sistema de inserción de clavos fue diseñada en acrílico transparente de 4mm de espesor y contiene orificios laterales de 8mm para sujeción mediante tornillos a la base mecánica. En la Figura 2-8 se ilustra el diseño de la placa base:

**Figura 2-8** Placa base del sistema de inserción de clavos



VISTA ISOMETRICA  
ESC. SIN

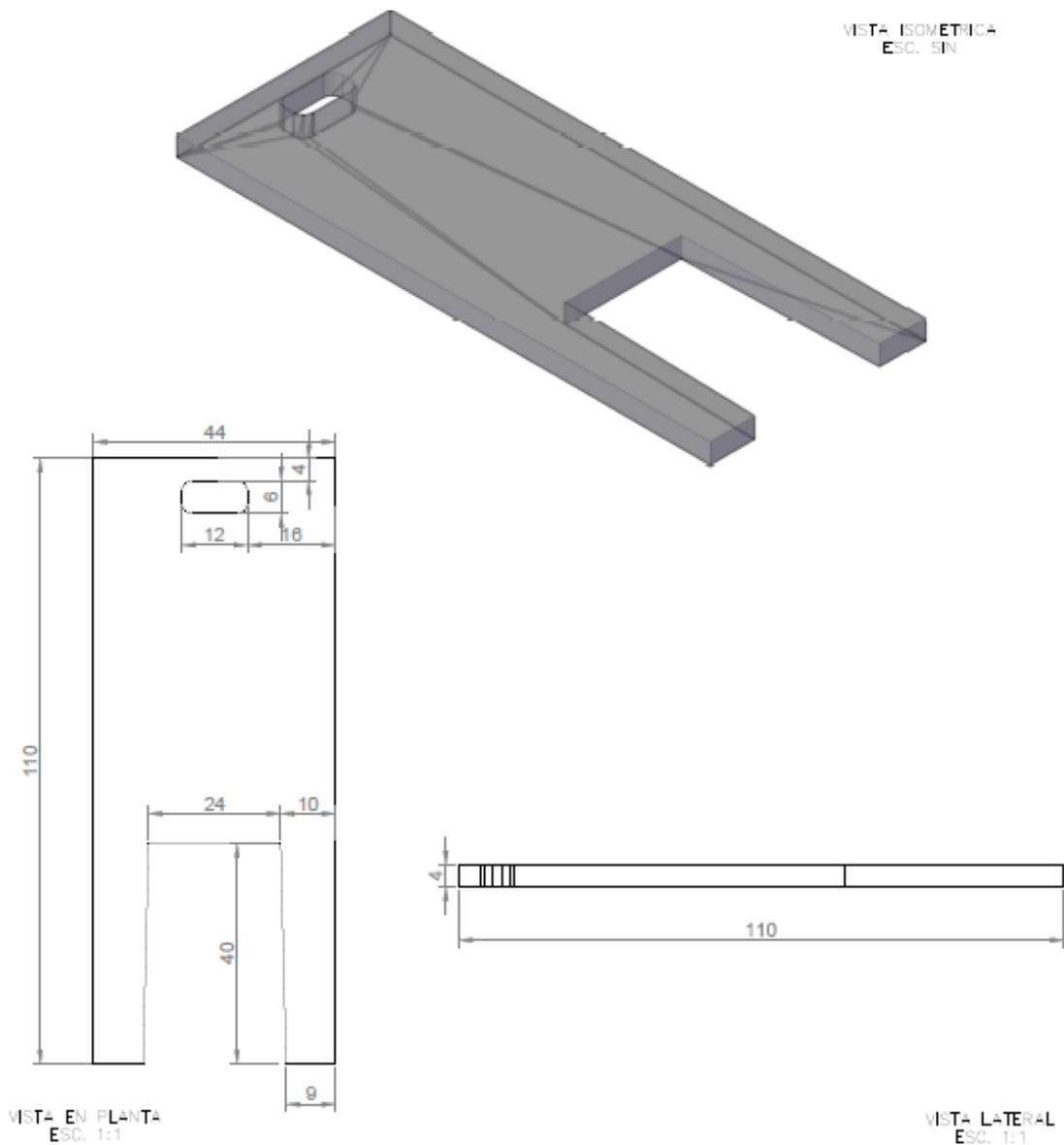


VISTA EN PLANTA  
ESC. 1:3

*Fuente: Elaborado por los autores*

El desplazador de arandela fue fabricado en acrílico transparente de 4mm de espesor. Su función es desplazar las arandelas desde el porta arandelas hasta el orificio central de forma muy precisa para dar continuidad al paso de inserción del clavo. En la Figura 2-9 se ilustra el diseño del desplazador de arandelas.

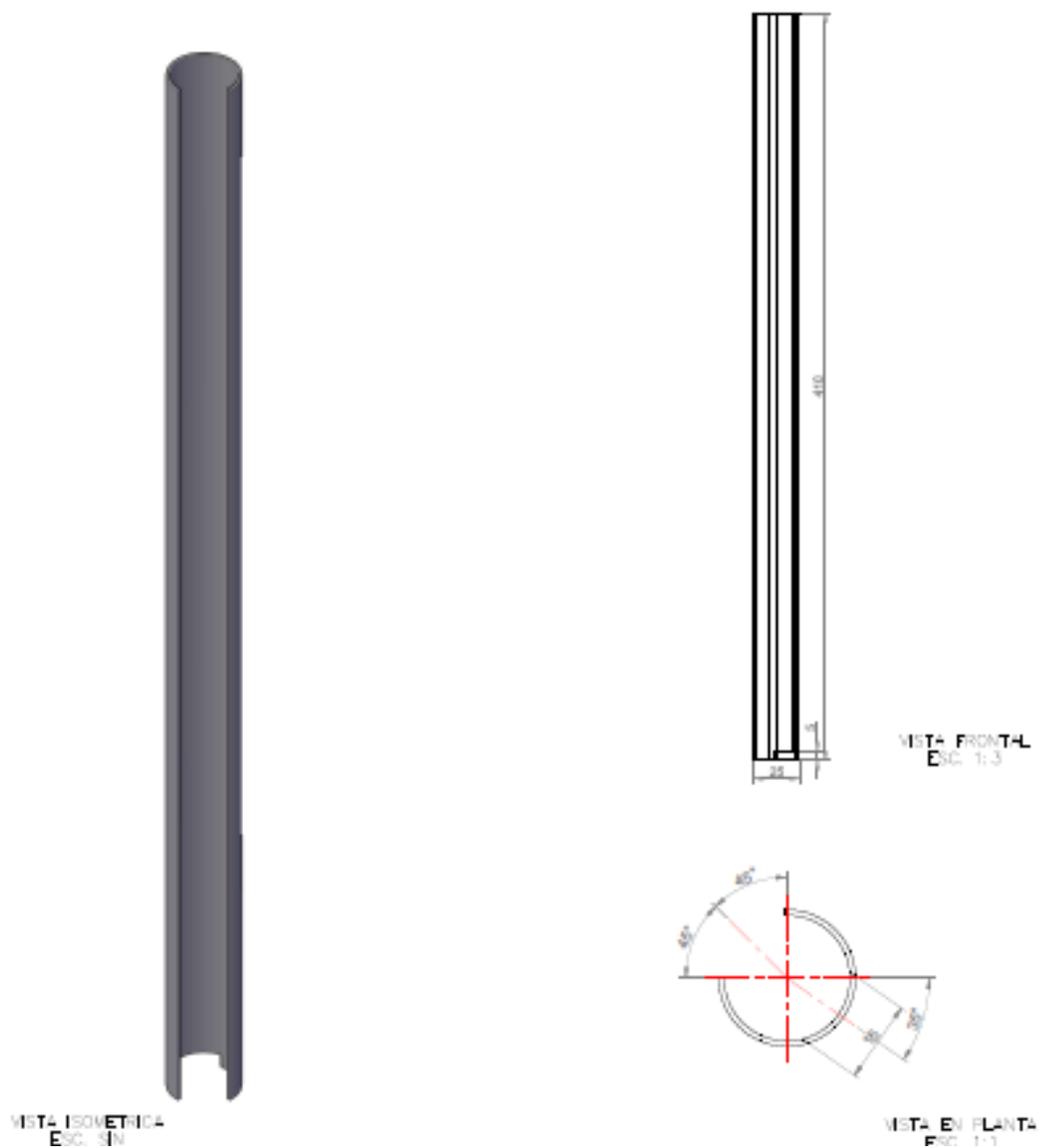
**Figura 2-9** *Esquema del desplazador de arandelas*



*Nota: Elaboración de los autores*

Además, el prototipo cuenta con un porta arandelas el cual fue diseñado en PVC, el cual tiene dimensiones de 2.5 cm de diámetro y 41 cm de largo. En la Figura 2-10 se ilustra el porta arandelas:

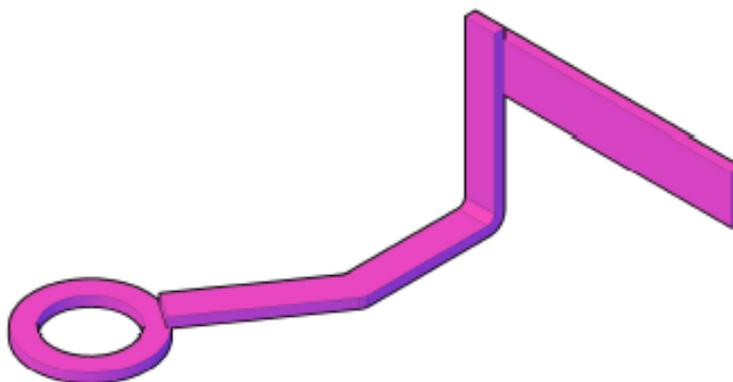
**Figura 2-10** *Diseño del porta arandelas*



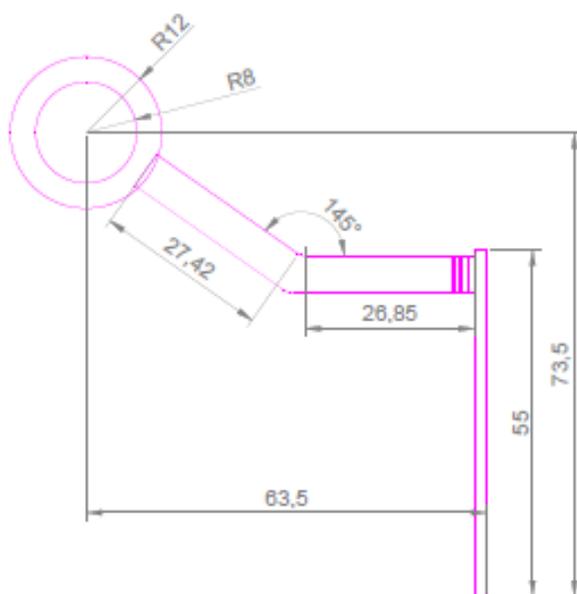
*Nota: Elaboración de los autores*

El brazo de Expulsión también hace parte del prototipo y esta acoplada en el servomotor para retirar del proceso el ensamble final y esta construido en plástico Ver Figura 2-11.

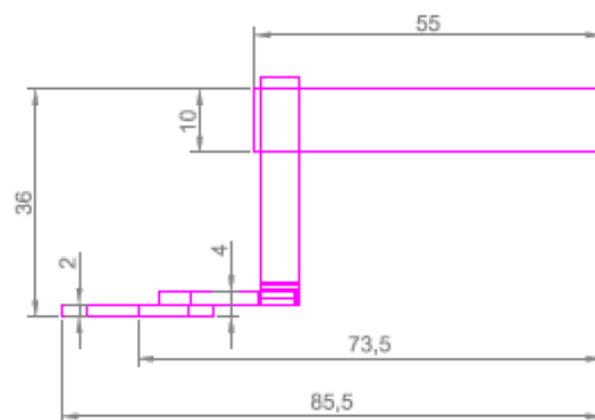
**Figura 2-11** *Brazo de expulsión*



VISTA ISOMETRICA  
ESC. SIN



MISTA EN PLANTA  
ESC. 1:1

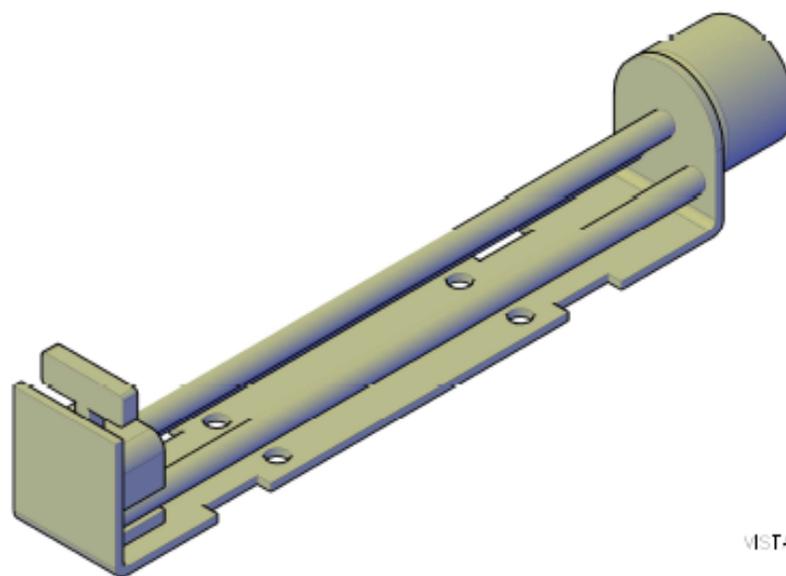


MISTA LATERAL  
ESC. 1:1

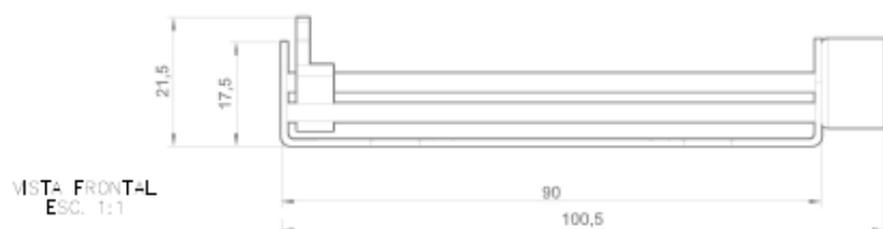
*Nota: Elaboración de los autores*

Y por último tenemos la estructura del motor paso a paso que tiene como función tomar el clavo desde el porta clavo hacia el punto donde se debe hacer la inserción, también fabricada en aleación de aluminio. Ver Figura 2-12:

**Figura 2-12** Motor paso a paso



VISTA ISOMETRICA  
ESC. SIN



VISTA FRONTAL  
ESC. 1:1



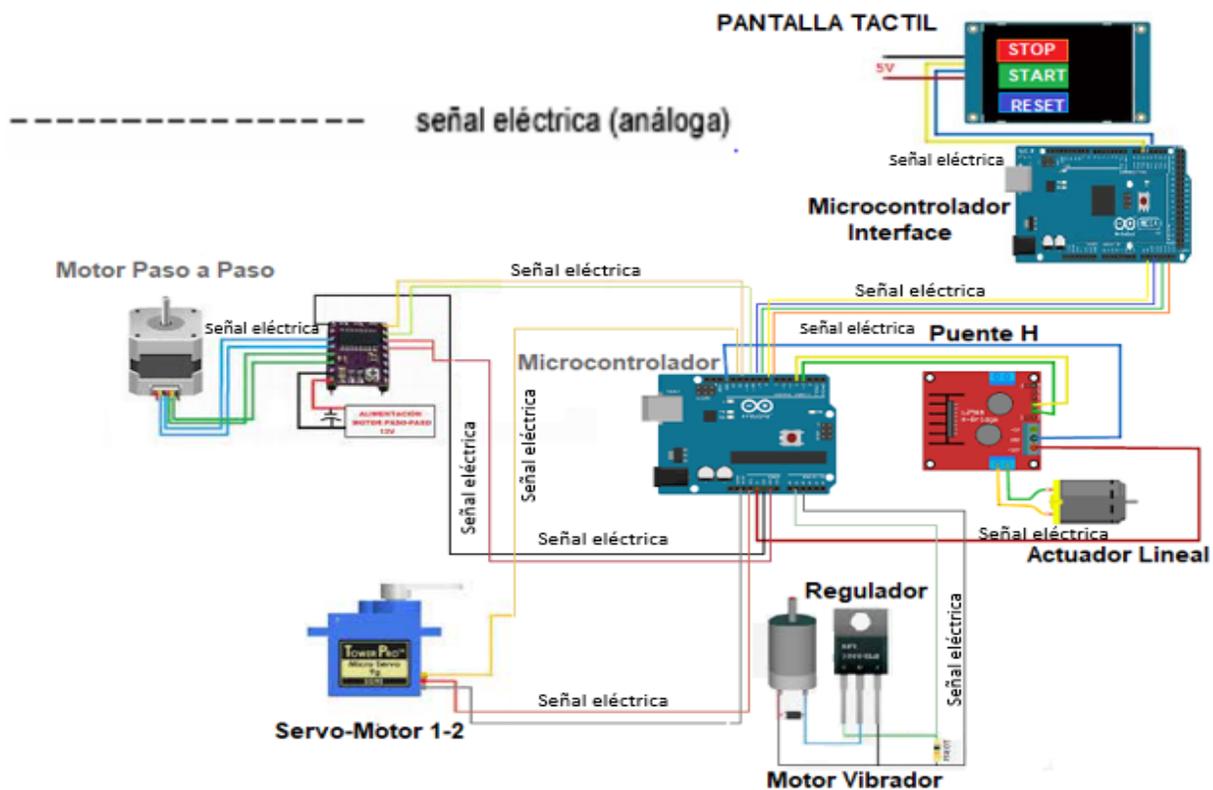
VISTA EN PLANTA  
ESC. 1:1

*Nota: Elaboración de los autores*

### *1.2.2 Diseño del sistema electrónica del prototipo*

El prototipo de ensamble de arandelas en clavos cuenta con un sistema eléctrico-electrónico, el cual es el encargado del control automático. El prototipo cuenta con un sistema de control de pantalla táctil, microcontroladores, un motor paso a paso, un motor vibrador con regulador, un actuador lineal, un salvo motor y un puente H como se observa en la Figura 2-13.

**Figura 2-13** Esquema de componentes eléctricos-electrónicos



*Nota: Elaboración de los autores*

Durante el análisis del diseño se evidenció que el prototipo debe tener una interfaz hombre maquina (HMI) para su manipulación y operación, de acuerdo con este se escoge

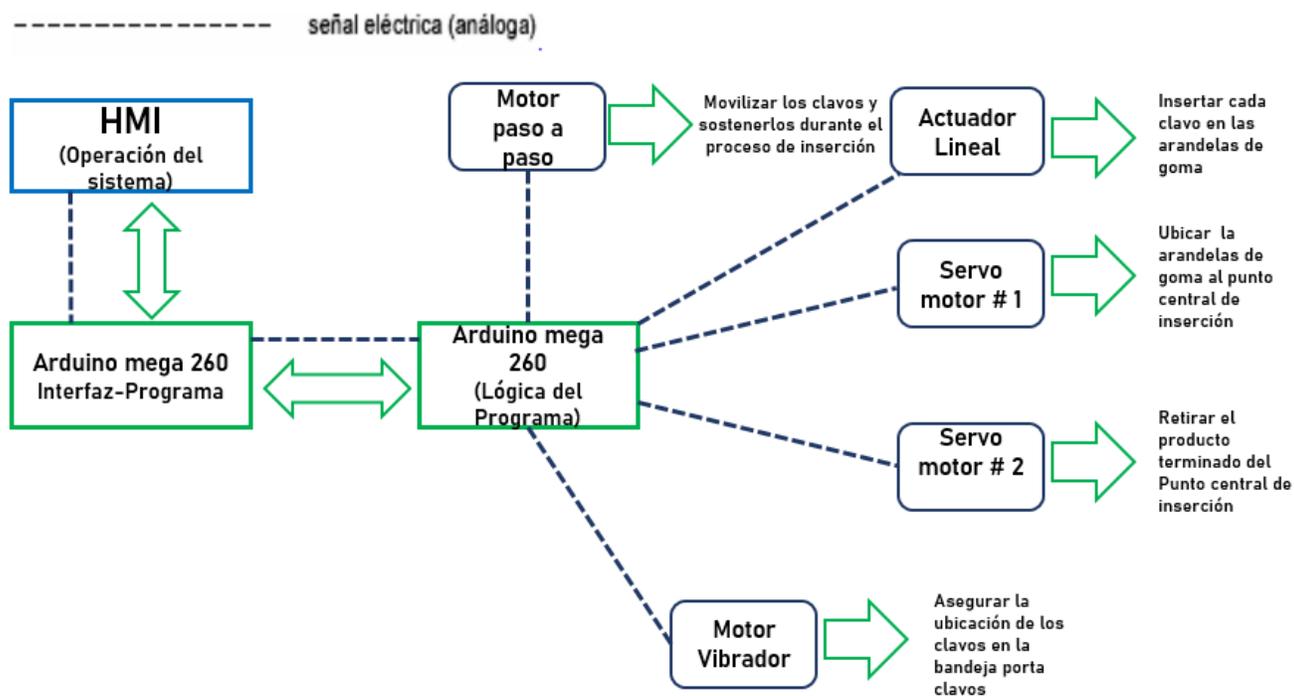
un display en el cual se incorporan 3 botones y funciones relacionadas a la operación del equipo, START, STOP y RESET.

- **START:** Teniendo todas las condiciones necesarias para que inicie la operación, se debe seleccionar esta opción para que empiece a ejecutar el ensamble de los arandelas y clavos.
- **STOP:** Cuando la maquina esté operando y produciendo la cantidad de arandelas, se tiene la opción de detener el proceso autorizando al sistema de control que ejecute esta acción.
- **RESET:** cuando por alguna situación de emergencia, atascamiento de piezas, rompimiento de algún actuador y se desee iniciar el proceso desde cero o cuando se realiza un ajuste de las piezas mecánicas, al ejecutar esta acción el sistema de control ajustara la posición de las piezas.

La HMI envía datos al Arduino mega 2560 que maneja la interface programa, el cual se interrelaciona con el Arduino Mega que maneja la lógica del programa. Este último se encarga de direccionar las señales a los diferentes actuadores para que de esta manera el equipo realice sus funciones operativas.

La Figura 2-14 y Tabla 2-1 muestran el esquema del sistema de conexiones diseñado para el prototipo basado en la interrelación de las tarjetas, motores y los actuadores del sistema automático.

**Figura 2-14** Estructura del sistema electrónico



*Nota: Elaboración de los autores*

Las conexiones de las señales de control del actuador lineal son importantes mencionarlás y se pueden ver en la Tabla 2-3:

**Tabla 2-3** Conexiones de las señales de control del actuador lineal

		LM2596 DC-DC		
		IN +	IN-	PIN 5VDC
Puente H		OUT 4	OUT 3	5VDC

*Nota: Elaboración de los autores*

También en la Tabla 2-4 se muestra las conexiones entre los componentes electromecánicos e identificación de los pines utilizados en las tarjetas electrónicas o puertos de comunicación:

**Tabla 2-4 Conexiones entre actuadores Electro-mecánicos y tarjetas electrónicas**

Conexiones entre actuadores Electro-mecánicos y tarjetas electrónicas												
Componente	ARDUINO MEGA		DRIVER ROJO				LM2596 DC-DC		Driver 7-12v		Puente H	
	Pin de conexión (PWM)	GN D	Pin 2A	Pin 2B	Pin 1A	Pin 1B	Out +	Out -	Pin 5vc	GN D	Out -1	Out -2
MG 90S-Micro Servo	3	x										
Motor vibrador							x	x				
Servo # 2			x	x	x	x						
Servo # 1	2	x							X			
Actuador lineal											x	x
Pantalla táctil HMI	31-33-35(Digital)									x		

*Nota: Elaboración de los autores*

### 1.2.3 Programación de la placa microcontrolador Arduino Mega UNO ATmega168

Para que este microcontrolador pueda funcionar y controlar los dispositivos es necesario utilizar el software Arduino para programar el microcontrolador en lenguaje C++. Y tiene las siguientes características:

- Función insertar.Clavo() activa la salida de 5 v para para permitir que el puente H invierta el sentido de giro del actuador que permite insertar el clavo dentro de la arandelas
- StepDalay() determina el tiempo en micro segundos que tarda cada paso del motor paso a paso para lograr un desplazamiento del clavo con precisión

En el Anexo C se describe el programa de control que contiene el código que enviará las señales a los diferentes componentes electrónicos para el funcionamiento del prototipo, el cual recibirá las instrucciones operativas desde la pantalla LCD.

### **1.3 Elementos electrónicos seleccionados y sus comparativos**

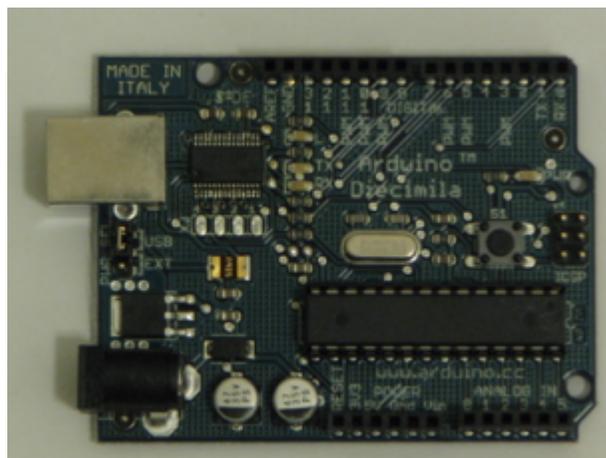
Los componentes eléctricos fueron seleccionados de acuerdo con su funcionalidad y las características de operación del prototipo. Además, se tuvo en cuenta que fuesen de fácil aplicación durante el ensamble de todos los componentes.

#### ***1.3.1 Microcontrolador Arduino UNO***

El Arduino Diecimila es una placa microcontroladora basada en el ATmega168. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cuarzo a 16MHz, una conexión USB, un conector para alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctalo a un ordenador con un

cable USB o enchúfalo con un adaptador AC/DC o batería para comenzar [25]. En la Figura 2-16 se ilustra en Microcontrolador Arduino Uno.

**Figura 2-16** *Microcontrolador Arduino Uno*



*Fuente:* Enríquez Herrador, R. (2009, 13 noviembre). *Guía de Usuario de Arduino* [Figura]. Microcontrolador Arduino Uno.  
[https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wpcontent/uploads/2010/05/Arduino\\_user\\_manual\\_es.pdf](https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wpcontent/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf)

En este sentido se escoge el Arduino mega porque esta tarjeta facilita el desarrollo de software por manejar su lenguaje de programación en C++ y porque contiene el número de pines de entradas y salidas digitales necesario para el accionamiento de los motores y componentes del prototipo.

Se realiza análisis comparativo de dos tipos de tarjeta como lo ilustra a Tabla 2-5:

**Tabla 2-5** Tabla comparativa de tarjetas Arduino

Componente	Pines de entrada análogas	Salida PWM	Lenguaje de programación	Memoria Flash	Precio (\$)
Tarjeta Arduino Arduino Uno	6	6	C++	16k	\$ 33.900
Tarjeta Arduino Arduino Mega 2650 Rev. 3	16	14	Processing/Wiring	256k	\$199.400

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

En este sentido se escoge el Arduino mega porque esta tarjeta facilita el desarrollo de software por manejar su lenguaje de programación en C++ y porque contiene el número de pines de entradas y salidas digitales necesario para el accionamiento de los motores y componentes del prototipo.

### **1.3.2** Actuator lineal

El actuador lineal de motor de alto rendimiento 750N12V DC está equipado con interruptores de límite preinstalados, eje sellado y lubricado, engranajes metálicos, etc. Adecuado para aplicaciones como ventanas automáticas eléctricas, sofás eléctricos, plataforma elevadora eléctrica, bancada de UCI manual, desarrollo de maquinaria / plataforma industrial, etc. En la Figura 2-17 se puede ver el actuador lineal.

**Figura 2-17** Actuator Lineal



Fuente: <https://www.hwlibre.com/actuador-lineal/>

En la Tabla 2-6 se observa la comparación entre dos miniactuadores y las características evaluadas para la posible selección. Se tuvo en cuenta primeramente la velocidad, en este caso se seleccionó un actuador Electric push rod 750N JS-TGZ-U1 de 12mm/s el cual tiene mayor velocidad. Adicionalmente se evaluó la fuerza y se definió que 750 N es suficiente para la inserción del clavo en las arandelas. Ambas características nos permiten aumentar el número de unidades por ciclo de trabajo.

**Tabla 2-6** Tabla comparativa del Actuador Lineal

Componente	Longitud del trazo	Torque	Voltaje	Precio (\$)	Velocidad
Mini actuador 1: <b>Electric push rod 750N JS-TGZ-U1</b>	50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm	750 N	12V DC	\$298.643	12 mm/s
Mini actuador 2: <b>1000N</b>	50 mm 100 mm 150 mm 200 mm 300 mm	1000 N	12V DC	\$201.305	6 mm/s

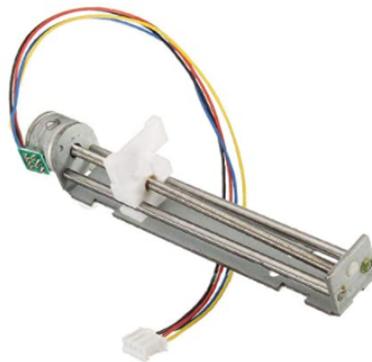
<b>JS-TGZ-U1 50mm</b>	400 mm 500 mm				
---------------------------	------------------	--	--	--	--

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

### **1.3.3 Motor pasó a paso D8-MOTOR80 DC con tuerca de tornillo lineal deslizante**

Fabricado en acero de alta calidad, resistente al desgaste, de alta dureza, tiene una larga vida útil y es ampliamente utilizado para dispositivos pequeños como equipos, máquinas de grabado. En la Figura 2-18 se ilustra el motor paso a paso.

**Figura 2-18** *Motor paso a paso*



*Fuente:*

<https://www.walmart.ca/en/ip/12V-Stepper-Motor-Stroke-80mm-with-Slider-Motor-for-DIY-Small-Engraving-Machine/PRD3S266VEDC99K>

Para el diseño del desplazador de las arandelas se tuvo en cuenta que el sistema requería precisión y torque por lo cual se implementa un motor paso a paso D8-

MOTOR80 para poder desarrollar dicho proceso. En La tabla 2-7 se observa que el escogido tiene mayor torque que el VSM08138.

**Tabla 2-7** Tabla comparativa del motor paso a paso

Componente	Torque	Carrera	Voltaje	Precio (\$)	Velocidad
<b>Modelo: D8-MOTOR80</b>	500 g arriba a 125pps	80mm	9-12V DC	\$74.061	25 mm/s
<b>VSM08138</b>	1,5 gf-cm min (en 500 EPA 3,3 V DC)	8mm	3.3V DC	\$29.250	15 mm/s

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

#### 1.3.4 Motor vibrador

El motor vibrado es un componente electrónico que comúnmente tienen los celulares para realizar sus gestos de vibración. Trabaja con un voltaje pequeño de 1V. En el prototipo este componente es utilizado para generar vibración a la bandeja porta clavo para que los clavos se desplacen y puedan ser tomados uno a uno y ser ubicados en el punto central de inserción de los clavos en la arandela. En la Figura 2-19 se puede observar el motor vibrador.

**Figura 2-19** Motor vibrador



*Fuente: <https://gsmserver.es/vibrating-motor-for-apple-iphone-5s-cell-phone/?currency=4>*

Se escoge un motor vibrador de celular teniendo en cuenta que es de poco tamaño y trabaja con bajos niveles de tensión.

### 1.3.5 Servomotor

A continuación, se describen las principales características:

Es diminuto y ligero con alta potencia de salida. El servo puede girar aproximadamente 180 grados (90 en cada dirección). Estos servos pueden utilizar cualquier código de servo, hardware o biblioteca para controlar. Es útil para principiantes que quieren hacer que las cosas se muevan sin construir un controlador de motor con retroalimentación y caja de cambios, especialmente porque cabe en pequeños lugares. Viene con 3 cuernos (brazos) y hardware [26]. En la Figura 2-20 se ilustra el servomotor.

**Figura 2-20** *Servomotor*



*Fuente: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/791970/TowerPro/SG90/1>*

Para el desplazador de clavos se implementa un servo motor, el cual tiene un imán en su extremo superior que toma el clavo del porta clavos y lo ubica en el punto central donde serán ensamblados los componentes. Se seleccionó por su alto grado de precisión al momento de realizar desplazamientos lineales.

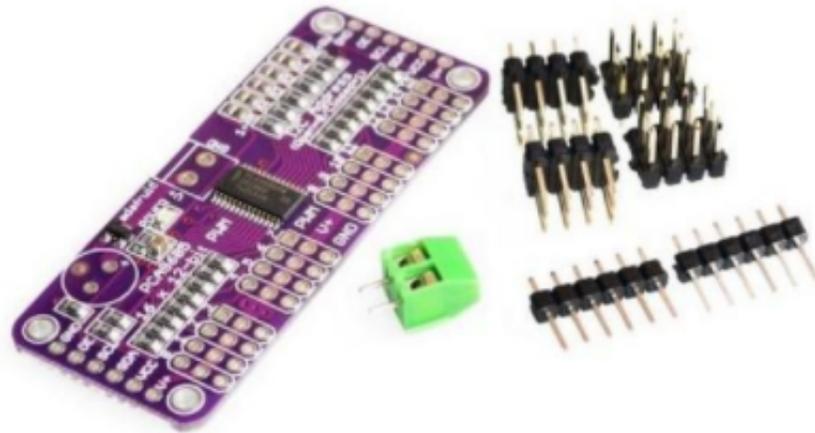
Se implementa también un servo motor para retirar el material terminado debido ya que este presenta una alta velocidad y torque el cual es el adecuado para el retiro del producto terminado y pasar a la etapa de empaque.

### **1.3.6** *Shield control 16 servos PCA9685 modulo PWM 12 bits Driver I2C*

Este regulador de expansión tiene hasta 16 señales PWM de salida, las cuales funcionan con interface I2C que es compatible con Arduino. Este regulador se puede concatenar con otros módulos diversificando sus usos permitiendo obtener hasta 992 salidas PWM. Su primordial uso es para la conexión de servomotores y para cambiar la

luminosidad de los leds. Dentro de sus características tenemos que son de fácil de usar, de bajo costo, y con espacio para conectar máximo de 62 tarjetas [27]. En la Figura 2-21 se puede observar el Shield control 16.

**Figura 2-21** *Shield control 16 servos PCA9685 módulo PWM 12 bits Driver 12C*



*Fuente:*

<https://yrobotics.co/producto/shield-control-16-servos-pca9685-modulo-pwm-12bit-driver-12c>

### **1.3.7** *Pantalla táctil*

La Pantalla LCD táctil que se utiliza en este proyecto es TFT 2.8 y está para usar con Arduino. Posee un slot para memoria micro-SD y admite de forma sencilla escribir textos y dibujar figuras con la librería TFT. La resolución de la pantalla es de 65K, 240 \* 320, y la pantalla tiene una medida de 2.8 pulgadas TFT LCD [28]. En la Figura 2-22 ilustra la pantalla táctil.

Figura 2-22 *Pantalla táctil*



Fuente: <https://demosspro.com/cb/inicio/372-lcd-pantalla-tactil-tft-28-arduino-mega-.html>

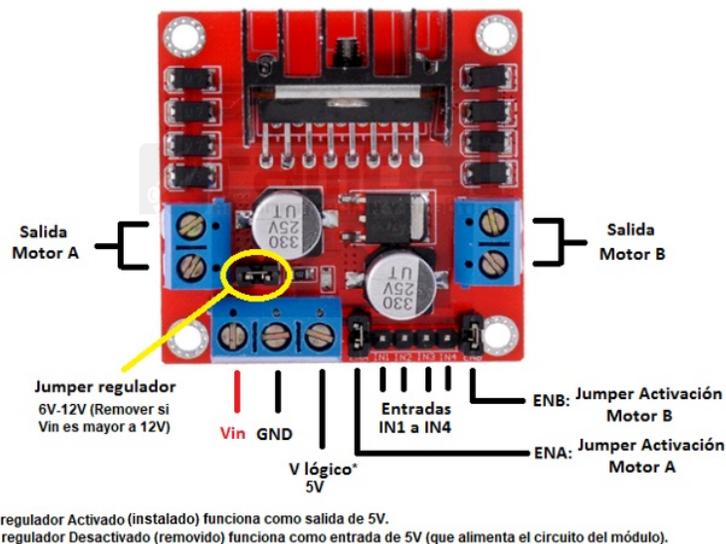
### 1.3.8 Puente H

Este puente H L298N puede controlar los sentidos del funcionamiento de los motores por medio de una corriente de salida por cada canal de 2A. Este compuesto por un disipador de calor y puede trabajar con una tensión de entrada de 46 VDC y dentro de las recomendaciones del fabricante esta trabajar con niveles de tensión por debajo de este.

El puente H puede controlar los motores paso a paso de dos fases y cuatro fases. Adicionalmente puede controlar dos motores de corriente continua. También incluye un

regulador de voltaje 78M05 de 5 VDC, el cual se encarga de regular el voltaje hasta 12VDC. Cuando se requiera trabajar con voltajes de entrada superiores a 12VDC se sugiere deshabilitar el jumper regulador y la parte lógica alimentarla con una fuente externa de 5VDC. Este puente H tiene la capacidad de filtrar el ruido y tiene un diodo de protección de corriente para que su funcionamiento sea más estable y seguro [29]. En la siguiente Figura 2-23 se ilustra el Puente H:

**Figura 2-23** Puente H



Fuente: <https://rambal.com/control-motores/866-driver-l298n.html>

Un puente H permite los movimientos verticales de inserción del clavo, el cual será el encargado de insertar el clavo en las arandelas.

## **2. Construcción y puesta en marcha del prototipo**

### **2.1 Ensamble prototipo**

En esta fase se construirán las estructuras, elementos de control, circuitos electrónicos y eléctricos necesarios. Así mismo, se instalarán los diferentes dispositivos y componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, tales como actuadores, sensores, tarjetas de circuitos necesarias.

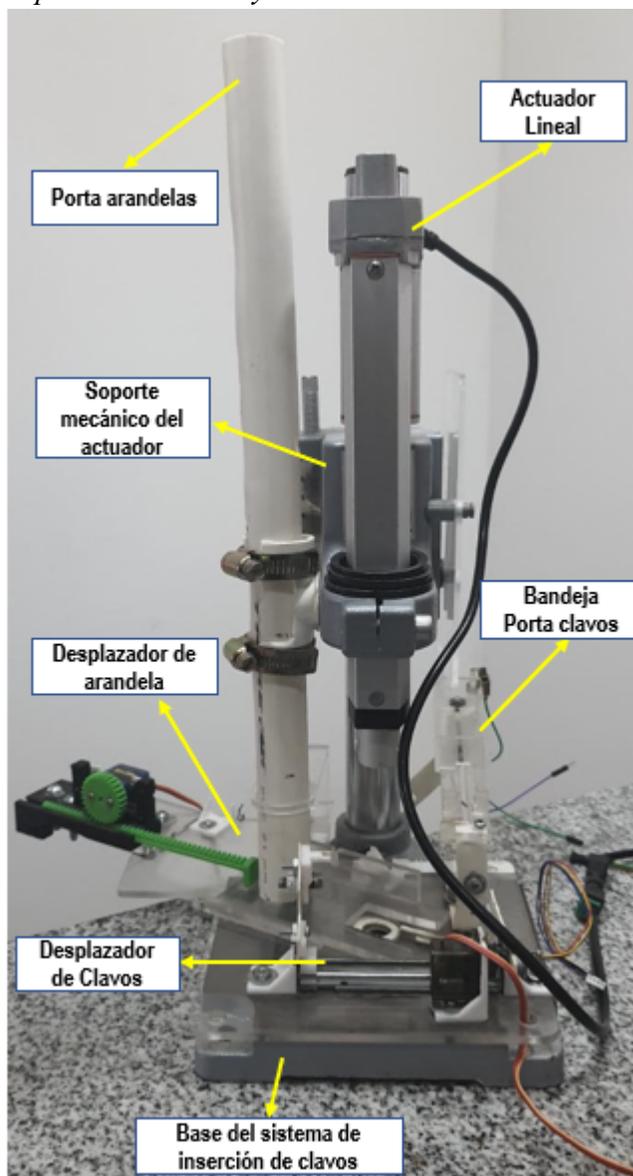
Se inicia con el ensamble de las piezas mecánicas, iniciando con la base principal donde es instalado en soporte se ubica el actuador lineal. Luego se instala las láminas metálicas donde será instalada la bandeja porta clavo. Posteriormente se instala en porta arandelas, el cual está atornillado en la base y acoplado a una lámina metálica de soporte.

Seguido a esto se procesa a instalar los componentes acrílicos como:

- Base del sistema de inserción de clavos.
- Base del desplazador de arandelas
- Bandeja porta clavos.

La Figura 3-1 ilustra el ensamble de las partes mecánicas y acrílicas del prototipo:

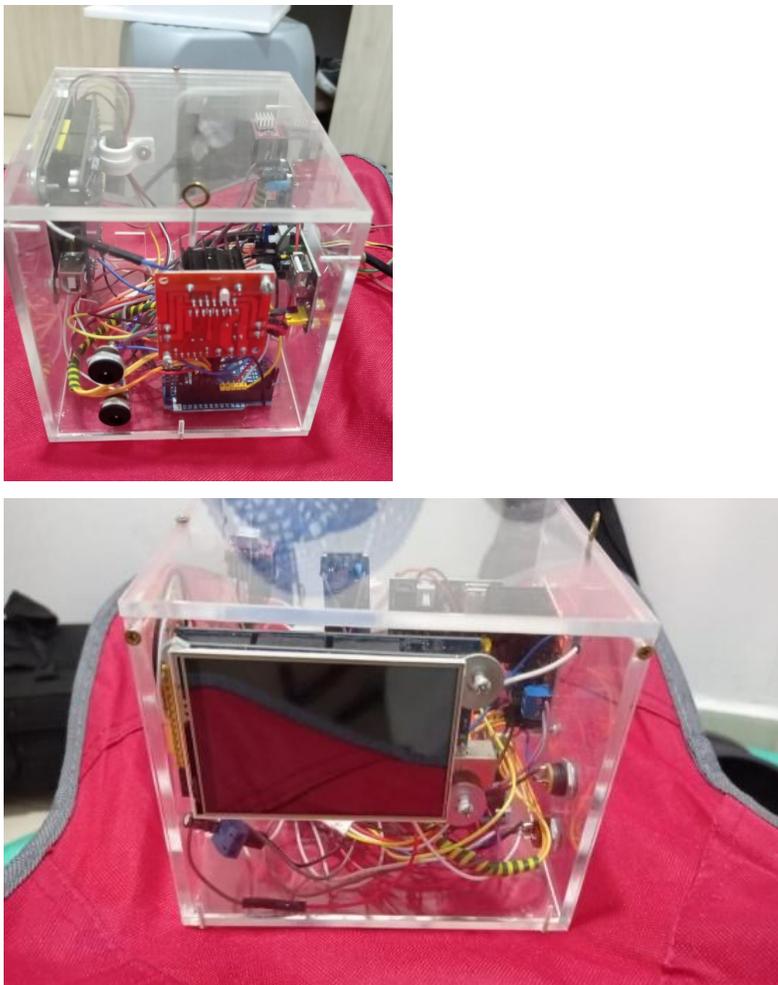
**Figura 3-1** *Ensamble parte mecánicas y acrílicas*



*Nota: Elaboración de los autores*

Una vez armada la estructura mecánica se decide acoplar todos los elementos mecánicos con los componentes electrónicos, este paso se realiza teniendo en cuenta las funciones de cada elemento electrónico basado en la programación del software que se requiere para la operación del prototipo. En la Figura 3-2 se puede observar el ensamble de los componentes electrónicos.

**Figura 3-2** *Ensamble de componentes electrónicos*

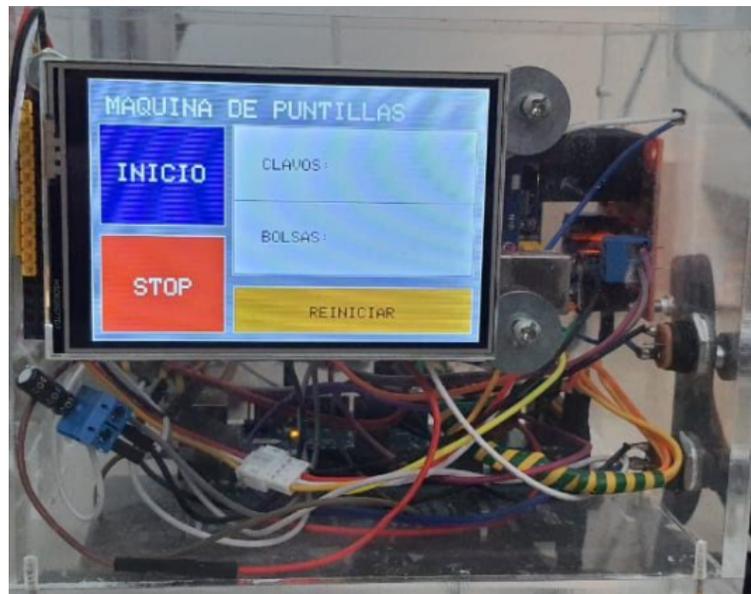


*Nota: Elaboración de los autores*

La máquina cuenta con una pantalla táctil en la cual se muestran los botones de inicio, reset y stop del proceso, así mismo se visualiza el número de unidades producidas.

En la Figura 3-3 se ilustra la pantalla táctil.

**Figura 3-3** *Pantalla táctil*



*Nota: Elaboración de los autores*

## 2.2 Prototipo para ensamblar arandelas en los clavos

En la Figura 3-4 se muestra el prototipo de ensamble de arandelas en los clavos ya finalizada su construcción. Esta dispuesto de un material acrílico transparente y cuenta con unos servomecanismos los cuales están descrito en el capítulo 2.3:

**Figura 3-4** *Prototipo Final*



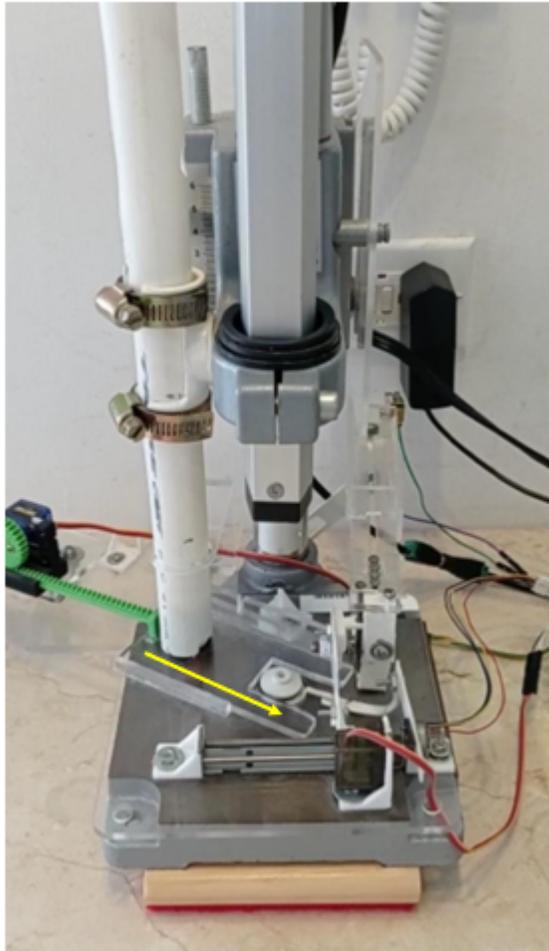
*Nota: Elaboración de los autores*

### 2.3 Operación del prototipo

El proceso inicia su funcionamiento al recibir el comando start desde la pantalla HMI, al presionar el botón de inicio el microcontrolador del HMI envía una señal al

microcontrolador del proceso, el cual a su vez ordena al servomotor #1 realizar el desplazamiento de las arandelas al punto central de la base de perforación en donde será ensamblada con la puntilla como se observa en la Figura 3-5.

**Figura 3-5** *Desplazamiento de las arandelas*



*Nota: Elaboración de los autores*

Luego el motor paso a paso realiza un desplazamiento hasta sujetar uno de los clavos dispuestos en el porta clavo como se observa en la Figura 3-6:

**Figura 3-6** *Sujeción de clavos*



*Nota: Elaboración de los autores*

Una vez realizado este movimiento, se desplaza nuevamente al centro de perforación para dar lugar al actuador lineal de 12 VDC el cual recibe la señal de control desde el microcontrolador pasando por el puente H con el fin de impulsar el clavo a través del centro de las arandelas.

La puntilla es sujeta por un imán ubicado en el mini actuador lineal, el sistema de control está diseñado para que en el momento que el mini-actuador lineal ubique la

puntilla en el punto central el imán suelte la puntilla y en ese instante el microcontrolador envía una señal de 12 VDC para que el actuador lineal realice un movimiento vertical en donde el clavo es insertada en las arandelas como se observa en la Figura 3-7.

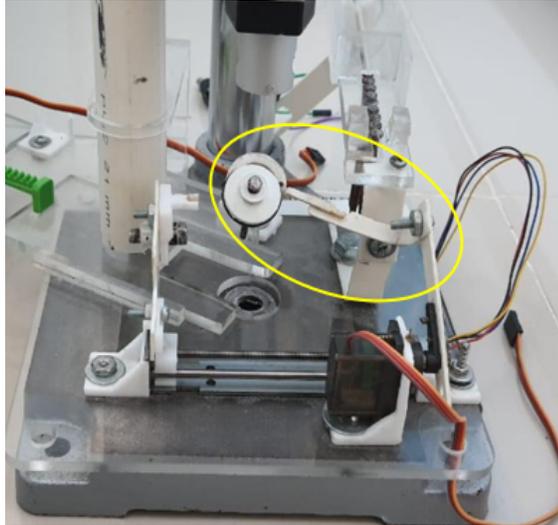
**Figura 3-7** *Inserción del clavo en las arandelas*



*Nota: Elaboración de los autores*

Seguido de esto el actuador lineal se ubica en su posición inicial y la puntilla terminada es retirada mediante un segundo servomotor con un brazo mecánico para ser empacada como se observa en la Figura 3-8.

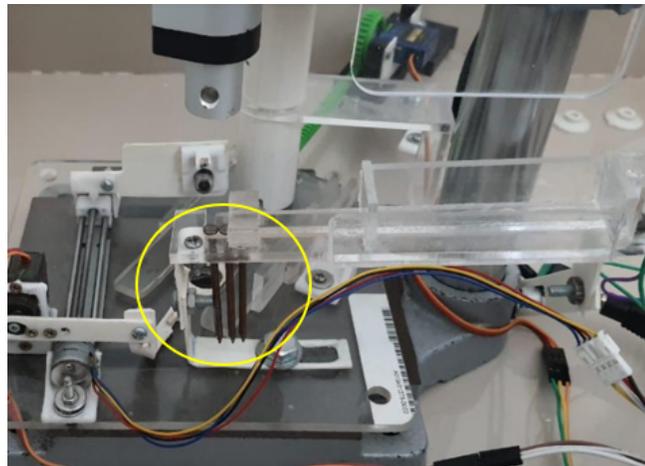
**Figura 3-8** *Brazo mecánico*



*Nota: Elaboración de los autores*

Durante la secuencia de operación del equipo un pequeño motor vibrador de 3.3 VDC se encarga de dar movimiento al sistema portador de clavos al momento que finaliza el ciclo de ensamblado de las arandelas, este movimiento permite el desplazamiento de forma ordenada del próximo clavo que será sujetado por medio del imán para ejecutar el proceso de ensamble como se observa en la Figura 3-9.

**Figura 3-9** *Porta clavos*



*Nota: Elaboración de los autores*

#### 0.4 Análisis de operación del prototipo

En esta etapa se hacen reajustes de los tiempos entre el ensamble de las arandelas y la cantidad de material final procesado.

Al momento de realizar pruebas del prototipo nos tocó ajustar en el software la velocidad de la cremallera, puesto que esta no ubicaba correctamente las arandelas en el punto central, se evidenció que el porta arandelas tocaba ajustarle la altura correctamente para que el desplazador de acrílica según su altura de base la pudiera tomar correcta y ubicarla en el punto central.

Dentro de los ajustes más importante se puede destacar la velocidad de producción del prototipo por la inclinación de porta clavos. Se pudo observar que al momento que entraba en funcionamiento el vibrador para que los clavos se ubicaran en la posición adecuada para ser escogidos por la parte imantada de transportador mini línea, estos clavos se apilaban todos y se salían del porta clavos. Aquí se decide ajustar la inclinación del porta arandelas y las vibraciones a 500ms lo cual nos dios un resultado adecuado.

También se ajustó la velocidad del actuador lineal ya que no estaba sincronizado la ubicación del clavo en el punto central de inserción y de esta manera poder ser insertado el clavo en las arandelas correctamente. Cabe resaltar que todas las piezas del prototipo están sujetadas con tornillos que permiten un desplazamiento de todos los accesorios, esto ayuda también que al momento se hacer un mantenimiento a la maquina las piezas puedan ser

revisadas y limpiadas una a una, lo cual nos permite hacer un mantenimiento adecuado y también calibrar las piezas según su posición y funcionamiento.

Todos estos ajustes fueron realizados para aumentar la velocidad de los ensambles a 372 piezas por hora en operación continua.

### 0.5 Análisis de viabilidad el prototipo automático

Este proyecto se pretende investigar y demostrar si los tiempos de ensamble de las arandelas y clavos en el proceso manual y automático son iguales. Se define como variable independiente:

- X: Tiempo de ensamble de las arandelas en los clavos.

Luego se procede a plantear las hipótesis:

- La hipótesis Nula: El promedio de los tiempos de ensamble del proceso manual ( $U_x$ ) es igual a los tiempos de ensamble automático ( $U_y$ ).
- La hipótesis Alternas: El promedio de los tiempos de ensamble del proceso manual ( $U_x$ ) es mayor a los tiempos de ensamble automático ( $U_y$ ).

Inicialmente se realiza un muestreo simple aleatorio a la ejecución de un pedido por 100 ensambles, donde se seleccionan 10 ensambles, teniendo los siguientes supuestos [30]:

- Los datos tienen Distribución normal

- La media de la muestra es igual a la de la población
- La desviación de la distribución de medias es igual a la desviación original.
- Se define un nivel de confianza (NC) de 90% para esta evaluación.

A continuación, se relacionan los datos iniciales en la Tabla 3-1:

**Tabla 3-1 Tiempos de ensamble manual y automático**

Muestras	Ensamble Manual (X)	Ensamble Automático (Y)
1	17	9
2	19	10
3	24	9
4	21	10
5	19	10
6	19	10
7	14	9
8	18	10
9	19	10
10	20	10
<b>Suma</b>	<b>170</b>	<b>97</b>
<b>Promedio (U)</b>	<b>18,9</b>	<b>9,7</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>2,6</b>	<b>0,5</b>

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

En la tabla 3-1 se puede observar que el promedio de los ensambles manuales es de 18.9 segundos y presentan una desviación estándar de 2,6 segundos. Adicionalmente se observa que el promedio de los ensambles automáticos es de 9,7 segundos y presentan una desviación estándar de 0,5 segundos. Teniendo un nivel de confianza del 90% y aplicando la formula el teorema del límite se puede obtener un error de la muestra [31] utilizando la siguiente formula:

$$e \leq Z_{NC} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

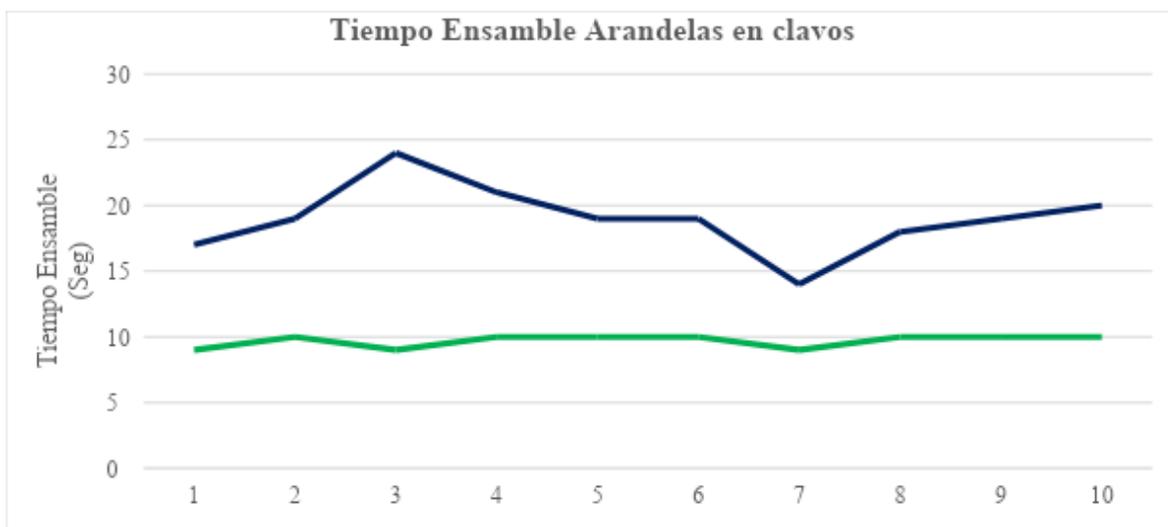
**Tabla 3-2 Error de las muestras de ensamble manual y automático**

Muestras	Ensamble Manual (X)	Ensamble Automático (Y)
Error	1,3	0,3

Con estos datos se puede inferir que los ensambles manuales se realizan entre 16,3 segundos y 21,5 segundos y los ensambles automáticos se ejecutan entre 9,2 segundos y 10,2 segundos con lo cual se concluye que la hipótesis nula se rechaza, ya que los tiempos de ensamble manual difieren considerablemente de los tiempos de ensamble automático. Adicionalmente se puede decir que el tiempo de ensamble automático es menor y esto representa una ventaja ya que se producirán más ensambles utilizando el mismo recurso humano.

En la Figura 3-10 se evidencia que existe una brecha significativa de 9.2 segundos entre proceso manual y proceso automático, lo cual es suficiente para demostrar la viabilidad del prototipo automático ya que su producción es mayor en un 51%

**Figura 3-10** *Grafica de tiempos de ensamble*



*Nota: Elaboración de los autores*

Llevando estos tiempos de ensamble a unidades por día realizadas en turnos laborales de 8 horas se tiene lo siguiente:

**Tabla 3-3** *Unidades ensambladas por turno*

	<b>Ensamble Manual (X)</b>	<b>Ensamble Automático (Y)</b>

<b>Pieza /Turno</b>	1.525	2.979
---------------------	-------	-------

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

Los resultados muestran que al realizar en el proceso de ensamble manual se puede fabricar 1525 unidades, mientras que de forma automática se puede fabricar 2979 unidades, lo que representa 1454 unidades como diferencia entre un proceso y otro. Este resultado impacta considerablemente en los gastos asociados de mano de obra.

Adicionalmente se evaluó otra variable relacionada con la eficiencia del prototipo, como es el % de productos defectuoso, para lo cual se tuvo en cuenta la muestra anterior de 10 unidades y se realizó inspección de calidad a cada unidad ensamblada. En la tabla 3-4 se ve los datos recolectados:

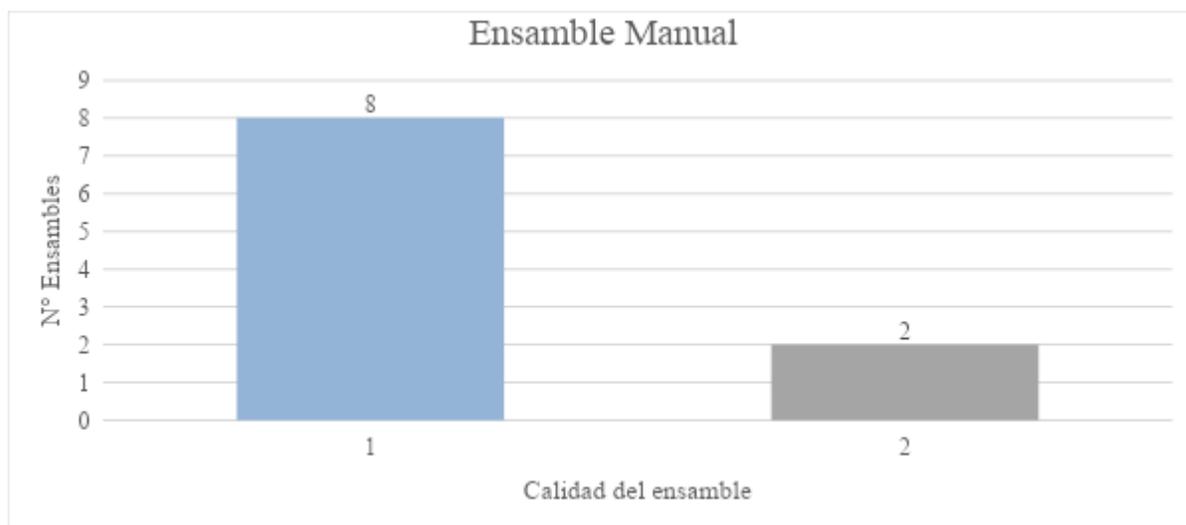
**Tabla 3-4 Calidad de unidades ensambladas**

<b>Muestras</b>	<b>Ensamble Manual (X)</b>		<b>Ensamble Automático (Y)</b>	
	<b>Conforme</b>	<b>Defectuoso</b>	<b>Conforme</b>	<b>Defectuoso</b>
1	1	0	1	0
2	1	0	1	0
3	0	1	1	0
4	1	0	1	0
5	1	0	1	0
6	1	0	1	0
7	1	0	1	0
8	0	1	1	0
9	1	0	1	0
10	1	0	1	0
<b>Suma</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
<b>%</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

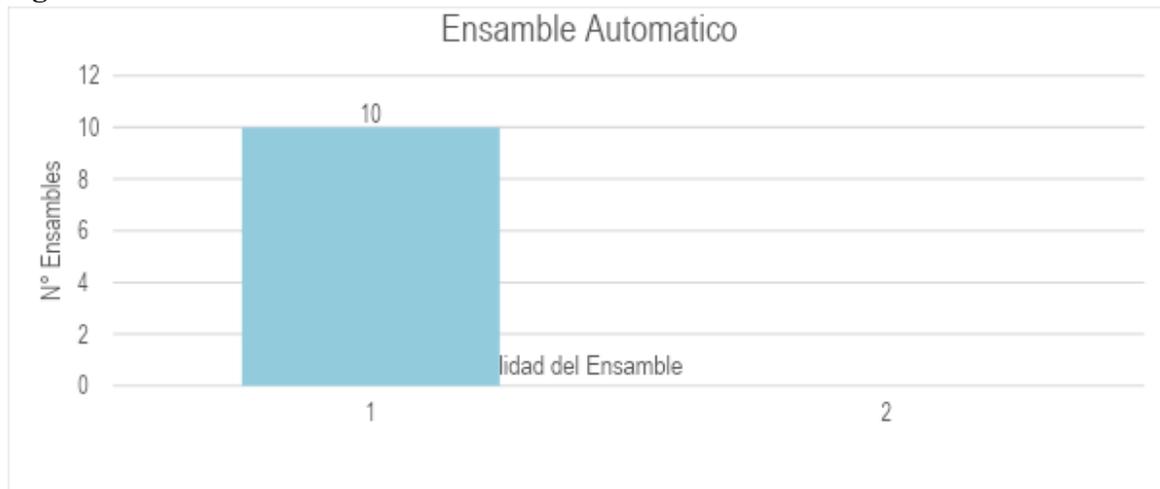
Como resultados se observa en la Figura 3-11 que el ensamble manual de un operador calificado presentó 8 unidades conformes y 2 unidades defectuosos. En términos de porcentajes se tiene que el 80% de la muestra son ensambles que cumple con la funcionalidad y el 20% del total de los ensambles presentan algún defecto.

**Figura 3-11** *Calidad ensamble manual*



*Nota: Elaboración de los autores*

Y durante el ensamble automático no se presentaron unidades defectuosas, por tanto, se obtienen 10 ensambles conformes, lo que representa un 100% de todos los ensambles, como se observa en la Figura 3-12.

**Figura 3-12** *Calidad ensamble Automático*

*Nota: Elaboración de los autores*

Para lograr la efectividad del proceso automático es necesario garantizar una calibración correcta de cada desplazador y actuador, con el fin de alcanzar la mayor precisión lo cual permite conseguir una conformidad de 100% de los ensambles.

Realizando la comparación de los dos tipos de ensamble se tiene que la calidad de los ensambles es mayor con el prototipo automático, ya que no presentó unidades defectuosas en condiciones normales de operación de la máquina.

## **0.6** Manuales de operación y mantenimiento

Este capítulo contiene los manuales de operación y mantenimiento del prototipo ensamblador de arandelas, están creados para garantizar la disponibilidad y el funcionamiento correcto de la máquina. (Ver Anexo B).

El anexo B contiene la información necesaria para un correcto uso del prototipo, en el se encuentra el paso a paso para operar el equipo considerando las mejor prácticas de seguridad, de tal forma que se mantenga la vida útil del equipo. Todas estas características del manual están encaminadas a operar el equipo adecuadamente y evitar averías, reprocesos por mala operación y disminución de la vida útil del equipo.

Dicho manual de operaciones muestra el paso a paso por medio de unas instrucciones claras del cómo se debe poner el equipo en funcionamiento, describe los aspectos importantes para la operación del equipo. Es fundamental que el operario conozca la operación del equipo, el funcionamiento de cada pieza y de esta manera tomar decisiones y actuar de manera oportuna en caso de que llegue a fallar la máquina.

Es importante también que el operario realice la técnica “que pasa sí” de las posibles fallas del equipo, esto le ayudara a tener clara la manera de actuar para mantener la operación del equipo dentro de las ventanas operativas adecuadas, y de esta forma poder siempre entregar un producto de calidad y en los tiempos establecidos.

Para ser más explícitos se puede ver los manuales de operación y mantenimiento en la tabla 3-4, la cual le ayudaran al operario a manipular el prototipo de una manera fácil, sencilla y realizar un mantenimiento oportuno para entregar el producto deseado.

## **Conclusiones**

En esta sección se emitirán las conclusiones obtenidas de acuerdo con los resultados del proyecto.

La identificación de los requisitos ingenieriles y la comparación de los diferentes componentes permitió seleccionar elementos de bajo costo y adecuados para la funcionalidad del prototipo automático.

La construcción de la estructura liviana y portable permitió que el prototipo fuese de fácil manipulación para los usuarios y su tamaño permite ser ubicadas en un lugar no mayor a 2mtrs.

Adicionalmente el análisis de la operación del prototipo permitió realizar una serie de pruebas de ajustes para mejorar el desempeño de la máquina y dar como resultados favorables mejores tiempos de ensamblado con respecto a lo ejecutado manualmente. De acuerdo con los resultados de los muestreos realizados la producción de ensambles con el prototipo incrementa en un 51% con referencia a los ensambles manuales, logrando ensamblar 371 unidades por horas con el prototipo automático, mientras que de forma manual se obtenían 190 unidades por hora.

Y por último la creación de los manuales de operación y mantenimiento demostraron ser de gran utilidad para quien lo manipula, ya que permite operar correctamente el equipo y lograr tiempo de vida útil evitando tener altos costos por daño o averías.

### **Recomendaciones**

Se recomienda estudiar la posibilidad de aumentar el desempeño de la maquina aplicando robótica y control automático de tal forma que la máquina pueda generar mayor beneficio para el usuario.

Se recomienda hacer un mantenimiento preventivo periódico, sobre todo si entra en proceso de operación contante, de esta forma se puede identificar a tiempo el posible desgaste de componentes.

## **Anexos**

### A. ANEXO: Manuales de operación y mantenimiento

A continuación, se describen el manual de operación y mantenimiento, el objetivo de realizar estos procedimientos es brindarles a todos los usuarios instrucciones correctas para operar la máquina de manera segura.

02/08/2021	 <p><b>Operación prototipo ensamblador de clavos en arandelas</b></p>	página 1 de 1
------------	--	---------------

## **Operación prototipo ensamblador de clavos en arandelas**

### **TABLA DE CONTENIDO.**

1. Objetivo
  2. Alcance
  3. Pasos a seguir
1. Objetivo: Explicar la forma de operar el prototipo ensamblador de clavos en arandelas.
  2. Alcance: Prototipo Ensamblador de clavos en arandelas.
  3. Pasos a seguir: Actividades que se deben llevar a cabo para el funcionamiento del equipo. En la Tabla 3-5 se explica de manera ordenada las actividades a realizar para la puesta en marcha del prototipo.

**Tabla 3-5 Paso a paso para la puesta en servicio del prototipo ensamblador de clavo en arandelas**

<b>Paso a paso para la puesta en servicio del proto tipo ensamblador de calvo en arandelas</b>		
<b>No</b>	<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>

1	La máquina debe estar en una parte plana y nivelada para iniciar su operación.	Operador mantenimiento
2	Disponer de arandelas y clavos en el sistema portador. Este paso se debe verificar luego del paso N-6	Operador mantenimiento
3	Tener disponibilidad de anergia eléctrica (110VAC).	Operador mantenimiento
4	Verificar que todos los actuadores se encuentren en la posición inicial.	Operador mantenimiento
5	Encender el equipo.	Operador mantenimiento
6	Verificar el recorrido de cada actuador antes iniciar el ciclo de producción de clavos. Presione Start	Operador mantenimiento
7	Presione start desde la pantalla HMI para iniciar el ciclo de operación y producción de Clavos según la cantidad requerida.	Operador mantenimiento
8	Realice seguimiento de acuerdo con la cantidad de clavos que se requieran procesar.	Operador mantenimiento
9	Empaque las puntillas una vez el sistema notifique el conteo de puntillas para lo cual fue programado.	Operador mantenimiento
10	Finalizada la operación presione stop desde la pantalla HMI.	Operador mantenimiento
11	Desconectar el prototipo de la red al finalizar la operación.	Operador mantenimiento

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

Recomendaciones generales para hacerle mantenimiento preventivo al equipo.

**Tabla 3-6 Paso a paso para el mantenimiento preventivo del prototipo**

<b>Paso a paso para el mantenimiento preventivo del prototipo</b>		
<b>No</b>	<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>
1	Contar con juegos de llaves mixtas y multímetro.	Operador mantenimiento
2	Desenergizar el prototipo.	Operador mantenimiento
3	Marcar e identificar partes de acuerdo con los planos de diseño	Operador mantenimiento
4	Es necesario desacoplar las partes mecánicas del chasis.	Operador mantenimiento
5	Retirar todo tipo de suciedad y polvo del chasis para mantener la vida útil del prototipo.	Operador mantenimiento
6	Lubricar tornillo sin fin del mini actuador lineal.	Operador mantenimiento
7	Lubricar la cremallera que ubica las arandelas al punto central de la base de perforación.	Operador mantenimiento
8	Desacoplar actuador lineal de la base para lubricar el vástago y piñones internos.	Operador mantenimiento
9	Armar prototipo según los planos de diseño.	Operador mantenimiento
10	Realizar pruebas funcionales del prototipo antes de entrar en operación.	Operador mantenimiento
11	Observado un correcto funcionamiento del prototipo este puede entrar en operación nuevamente	Operador mantenimiento

*Nota: Elaborado por los autores 2021.*

- B. ANEXO: Programación de la placa microcontrolador Arduino Mega UNO ATmega168

En este anexo se encuentran las variables que hacen parte del software de programación compuestas por las rutinas de tiempo:

```

5 // Código Máquina_Puntilla //
41
24 #include <Servo.h>
25 Servo SacarPuntilla ;
23 Servo Checa ;
iséis int SERVOPUNTILLA = 2 ;
12 int SERVOCHECA = 3 ;
11
22 int in1 = 47 ; // Pin que controla el sentido de giro Motor A
31 int in2 = 49 ; // Pin que controla el sentido de giro Motor A
30 int EnA = 10 ; // Pin que controla la velocidad del Motor A
29
2 int in3 = 43 ; // Vibrar Motor B
1 int in4 = 45 ; // Vibrar Motor B
10
18 int PULSOPUNTILLAmx = 1000 ;
21 int PULSOPUNTILLAmn = 350 ;
17
6 int PULSOCHECAmx = 2680 ;
19 int PULSOCHECAmn = 200 ;
9
33 const int dirPin = 5 ;
34 const int stepPin = 4 ;
3 const int pasos = 200 ;
32 int stepDelay ;
27 int STOP = 1 ;
26 int INICIAR = 0 ;
28 int EMPEZAR ;
7 int PARAR ;
14
8 // Tiempos
20 sin firmar desde hace mucho tiempo ;
15 unsigned long t1 = 0 ;
35 int Dt1 = 1000 ;
37

```

También observa la configuración de los pines de entrada y salida de la tarjeta Arduino que serán los encargados de manejar los giros del actuador lineal y las señales que reposicionarán el desplazador de clavos:

```

4
5 ▾ configuración vacía ( ) {
41 pinMode ( in1 , SALIDA ) ; // Configura los pines como salida
24 pinMode ( in2 , OUTPUT ) ;
23 pinMode ( in3 , SALIDA ) ; // Configura los pines como salida
25 pinMode ( in4 , SALIDA ) ;
iséis pinMode ( 31 , SALIDA ) ;
12 pinMode ( 33 , ENTRADA ) ;
11 pinMode ( 35 , ENTRADA ) ;
22
31 // Marcar los pines como salida
30 pinMode ( dirPin , SALIDA ) ;
29 pinMode ( stepPin , SALIDA ) ;
10
2 // Reposicionar insertar puntilla
1 digitalWrite ( in1 , HIGH ) ; // GIRO DERECHA
17 digitalWrite ( in2 , LOW ) ;
21 retraso ( 2800 ) ;
6
19 // Reposicionar desplazador del clavo
18 digitalWrite ( dirPin , ALTO ) ;
34 stepDelay = 900 ;
33 ▾ para ( int x = 0 ; x < 2700 ; x ++ ) {
9 digitalWrite ( stepPin , HIGH ) ;
32 delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
3 digitalWrite ( stepPin , LOW ) ;
27 delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
26 }
28 retraso ( 1000 ) ;
7
8 digitalWrite ( dirPin , BAJO ) ;
20 stepDelay = 900 ;

```

En este código se puede observar las rutinas de empezar, parar y detener del actuador lineal:

```

15 ▾ para ( int x = 0 ; x < 50 ; x ++ ) {
14     digitalWrite ( stepPin , HIGH ) ;
35     delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
37     digitalWrite ( stepPin , LOW ) ;
13     delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
4     }
36     delay(800);
5     SacarPuntilla . adjuntar ( SERVOPUNTILLA , PULSOPUNTILLAmín , PULSOPUNTILLAmáx ) ;
41     Checa . adjuntar ( SERVOCHECA , PULSOCHECAmín , PULSOCHECAmáx ) ;
24
25 // Reposicionar servo puntilla lista
23 SacarPuntilla . escribir ( 0 ) ;
iséis SacarPuntilla . escribir ( 180 ) ;
12 retraso ( 1500 ) ; // PENDIENTE AJUSTAR EL TIEMPO CONQUE ACTUA EL SERVO BAJAR SU VELOCIDAD
11 SacarPuntilla . escribir ( 0 ) ;
22 }
31
30
29
2 ▾ bucle vacío ( ) {
1     PARAR = digitalRead ( 33 ) ;
10    EMPEZAR = digitalRead ( 35 ) ;
18 ▾ si ( EMPEZAR == ALTO ) {
21     PARADA = 0 ;
17
6     }
19 ▾ if ( PARAR == HIGH ) {
9     PARAR = 1 ;
33
34 }
3 ▾ si ( DETENER == 0 ) {
32 Vibrar ( ) ;
27 Vibrar ( ) ;
26 Vibrar ( ) ;
28 UbicarLaCheca ( ) ;

```

En este código se describe la información necesaria para el funcionamiento del servomotor, el cual se encarga de ubicar en el punto central la puntilla:

```

7  LlevarClavo ( ) ;
8  }
20 }
15
14
35
13
37 void LlevarClavo ( ) {
36
4  // IR POR EL CLAVO
5  Vibrar ( ) ;
41  digitalWrite ( dirPin , BAJO ) ;
24  stepDelay = 500 ;
25  para ( int x = 0 ; x < 2650 ; x ++ ) {
23      digitalWrite ( stepPin , HIGH ) ;
iséis      delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
12      digitalWrite ( stepPin , LOW ) ;
11      delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
22  }
30  retraso ( 800 ) ;
31
29  // REGRESA CON EL CLAVO HASTA EL CENTRO
10  Vibrar ( ) ;
2  digitalWrite ( dirPin , ALTO ) ;
1  stepDelay = 900 ;
17  para ( int x = 0 ; x < 1750 ; x ++ ) {
21      digitalWrite ( stepPin , HIGH ) ;
6      delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
19      digitalWrite ( stepPin , LOW ) ;
18      delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
33  }
34  InsertaClavoHastaPrimerTope ( ) ;
9  // SE APARTA SIN EL CLAVO PARA INSERTAR
32  Vibrar ( ) ;

```

En este código se describe la inserción del clavo en la arandelas:

```

3  para ( int x = 0 ; x < 900 ; x ++ ) {
27     digitalWrite ( stepPin , HIGH ) ;
26     delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
28     digitalWrite ( stepPin , LOW ) ;
7     delayMicroseconds ( stepDelay ) ;
8     }
20     InsertarClavo ( ) ;
15     SacarLaPuntilla ( ) ;
14     Contar ( ) ;
35 }
37
13
36
4
5  void SacarLaPuntilla ( ) {
41     SacarPuntlla . escribir ( 0 ) ;
24     SacarPuntlla . escribir ( 180 ) ;
25     retraso ( 1500 ) ; // PENDIENTE AJUSTAR EL TIEMPO CONQUE ACTUA EL SERVO BAJAR SU VELOCIDAD
23     SacarPuntlla . escribir ( 0 ) ;
iséis }
12
11 void UbicarLaCheca ( ) {
22     Checa . escribir ( 0 ) ;
30     retraso ( 1000 ) ;
31     Checa . escribir ( 190 ) ;
29 }
10
2  void InsertaClavoHastaPrimerTope ( ) {
1     digitalWrite ( in1 , LOW ) ; // GIRO DERECHA
17     digitalWrite ( in2 , ALTO ) ;
21     retraso ( 1050 ) ;
6     digitalWrite ( in1 , LOW ) ; // PARA
19     digitalWrite ( in2 , LOW ) ;
18     retraso ( 100 ) ;

```

En este código se ven las rutinas asociadas a la velocidad de los motores que componen el conjunto de mecanismo para la inserción de clavos en las arandelas:

```

33 }
34
9
3 void InsertarClavo ( ) {
32 // escritura analógica (EnA, ALTA); // Velocidad del Motor A
27 digitalWrite ( in1 , LOW ); // GIRO DERECHA
26 digitalWrite ( in2 , ALTO );
28 retraso ( 1800 );
7
8 digitalWrite ( in1 , LOW ); // PARA
20 digitalWrite ( in2 , LOW );
15 retraso ( 100 );
14 // escritura analógica (EnA, 1050);
35 digitalWrite ( in1 , HIGH ); // GIRO IZQUIERDA
37 digitalWrite ( in2 , LOW );
13 retraso ( 2800 );
36
4 digitalWrite ( in1 , LOW ); // PARA
5 digitalWrite ( in2 , LOW );
41 retraso ( 100 );
24 }
25
23 void Vibrar vacío ( ) {
iséis //analogWrite(EnA,500); //Vibrar Motor B
12 escritura digital ( in3 , ALTA );
11 digitalWrite ( in4 , LOW );
22 retraso ( 300 );
30
31 digitalWrite ( in3 , LOW );
29 digitalWrite ( in4 , LOW );
2 retraso ( 100 );
10 }

1
17 void Contar ( ) {
21 escritura digital ( 31 , ALTA );
6 retraso ( 100 );
19 digitalWrite ( 31 , BAJO );
33 retraso ( 100 );
18 }

```



## Referencias Bibliográficas

- [1] Camacol, (2021). *Tendencias de la Construcción: Economía y Coyuntura sectorial*. Ed. 19
- [2] Instituto Ecuatoriano de normalización INEM (2013) *Productos de alambres, Clavos, tachuelas, alcayatas, grapas y puntas. Terminología* (NTE INEM 611:2013) <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/611-2.pdf>
- [3] *Global Aceros*. Clavos Alambroón de propiedades muy cuidadas. <http://globalaceros.mx/producto/clavos/>
- [4] *Arandela*. (2021). Recuperado 11 de septiembre de 2021, de WIKIPEDIA website: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arandela>
- [5] Chamorro, E. T., Ceballos, H. O., & Villa, J. J. B. (2013). Política de emprendimiento en Colombia, 2002-2010. *Estudios gerenciales*, 29(128), 274-283.
- [6] Morales Hernández, O. E., Vanegas Alemán, J. A., & Coulson Romero, H. I. (2010). Reorganización del área del pulido y empaque de una línea de producción de clavo (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).
- [7] Sanchez Guailupo, V. S., & Rada Alprecht, R. E. (2002). Mejoramiento de la línea de producción de clavos negros de una planta procesadora de alambres de acero (Bachelor's thesis).
- [8] guía de laboratorio virtual para la simulación y control de movimientos de un brazo robótico
- [9] *Automatización y control de procesos*. (s. f.). LOGICBUS. <https://www.logicbus.com.mx/automatizacion-control-procesos.php>
- [10] *Procesos de ensamble de piezas: Ensamble Automatizado*. (s. f.). COURSE HERO. <https://www.coursehero.com/file/38352997/Ensamble-Automatizadopptx/>

[11] *¿Cómo se desarrolla la automatización de procesos en la industria?* (2020, 22 enero). INFAIMON.

<https://blog.infaimon.com/fases-y-desarrollo-de-la-automatizacion-de-procesos/>

[12] Quiroga, J. I. A. (2008). *Instalación de Sistemas de Automatización y Datos*. Memorias del curso Orienta

[13] KLOP. (s. f.). *Pirámide CIM de Automatización Industrial*. ATEC ENERGY.

Recuperado 17 de agosto de 2021, de

<https://www.blog.atec-energy.com/2019/04/piramide-de-automatizacion-cim.html>

[14] *Interfaz Hombre-Máquina (HMI)*. (s. f.). WONDERWARE. Recuperado 18 de julio de 2021, de <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

[15] <https://www.bejob.com/que-es-la-programacion-con-arduino-y-para-que-sirve/>

[16] *Arduino Mega 2560 el hermano mayor de Arduino UNO*. (s. f.).

PROGRAMARFACIL. Recuperado 20 de julio de 2021, de

<https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/arduino-mega-2560/>

[17] Paz, A. J. (2011). *Sistemas Automáticos de control. Fundamentos básicos de análisis y modelado*, Santa Rita, Venezuela: UNERMB.

[18] Clemente, V. Z. (2000). *Sistema de Control Automático de Velocidad de Generadores Eléctricos de Potencia*. *Electrónica-UNMSM*, (6), 1-13.

[19] *MÁQUINAS ENSAMBLADORAS*. (s. f.). TECNA MACHINES. Recuperado 5 de

abril de 2021, de [https://www.tecnamachines.com/maquinas\\_ensambladoras.php](https://www.tecnamachines.com/maquinas_ensambladoras.php)

[20] *¿Qué es una máquina ensambladora?* (2020, 21 abril). SEGURIDAD HIGIENE.

<http://www.seguridad-e-higiene.com.ar/que-es-una-maquina-ensambladora/>

- [21] Super Nail Machine (2020). la máquina de ensamble de arandela de modelo DLX-250. <https://supernailmachine.com/>
- [22] MANEK (2021). Nosotros. <https://www.maneklalexports.com/Espanol/AboutUs.htm>.
- [23] Industrial SSS-YH-ZDJ-X90 nail making machine (2021).  
[https://ssshardwaremachinery.en.alibaba.com/product/60769906670-804199709/industrial\\_SSS\\_YH\\_ZDJ\\_X90\\_nail\\_making\\_machine.html](https://ssshardwaremachinery.en.alibaba.com/product/60769906670-804199709/industrial_SSS_YH_ZDJ_X90_nail_making_machine.html).
- [24] Editorial Etecé. (2021, 15 julio). Cinemática. CONCEPTO.  
<https://concepto.de/cinematica/>.
- [25] Arduino Diecimila. (s. f.). ARDUINO. Recuperado 11 de julio de 2021, de <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDiecimila>
- [26] Micro servo motor SG90. (s. f.). DIGITAL BROADCASTING & TELECOMUNICATIONS COLOMBIA. Recuperado 11 de agosto de 2021, de <http://www.dbtctelecomunicaciones.com/producto/micro-servo-motor-sg90/>
- [27] Shield Control 16 Servos PCA9685 Modulo Pwm 12bit Driver I2C. (2021, 25 abril). YOROBOTICS.  
<https://yorobotics.co/producto/shield-control-16-servos-pca9685-modulo-pwm-12bit-driver-i2c>
- [28] Shield TFT Touch LCD Screen 2.8 PLUS. (s. f.). RAMBAL. Recuperado 11 de agosto de 2021, de <https://rambal.com/shields-arduino/799-shield-tft-touch-lcd-screen-28-r3.html>
- [29] Módulo L298n Para Control De Motores. (s. f.). VISTRÓNICA. Recuperado 11 de agosto de 2021, de <https://www.vistronica.com/robotica/modulo-l298n-para-control-de-motores-detail.html>
- [30] Int. J. Morphol. (2017). *Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio*. ART.37. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- [31] *TEORIA DEL MUESTREO*. (s. f.). INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA. Recuperado 9 de agosto de 2021, de <http://www.itchihuahua.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap01.html>