

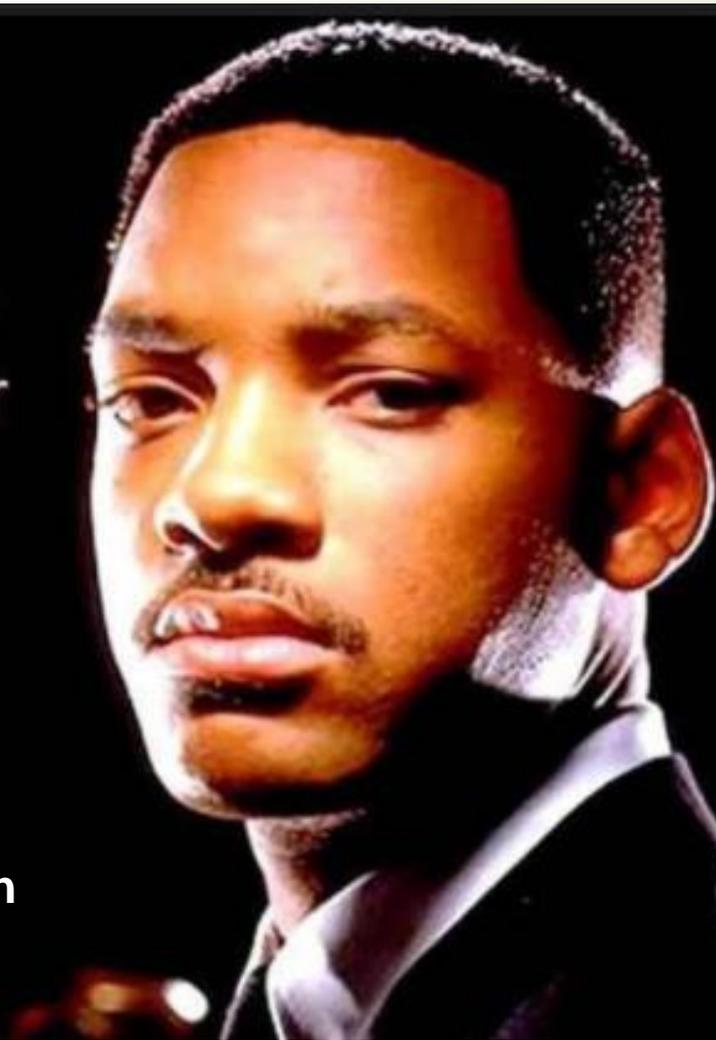


# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Solo aquellos que  
se atreven a tener  
grandes fracasos  
terminan  
consiguiendo  
grandes éxitos.

Will Smith





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA PERFORACIÓN E INSERCIÓN DE FILAMENTOS FLEXIBLES DENTRO DE DISTINTAS MATRICES EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO Y DETECCIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS, INNOVANDO EN LA PRODUCCIÓN DE LA MICROEMPRESA CEPIBRILLO-ECUADOR**

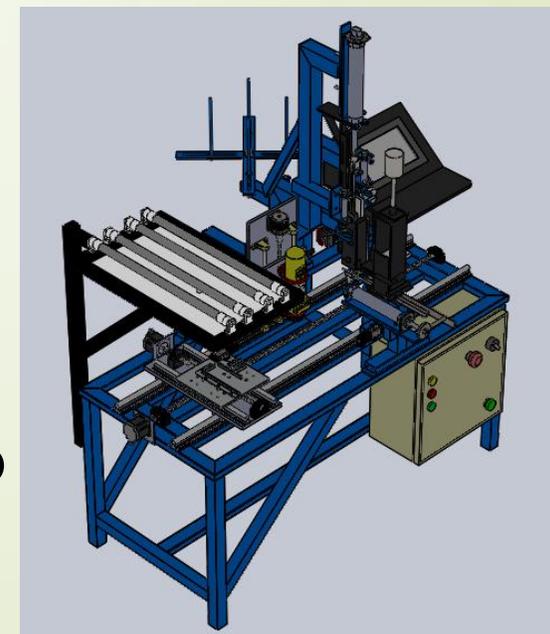
**AUTORES:**

**EDWIN FERNANDO BANDA IZA**

**RICHARD PAÚL TOASA ABATA**

**DIRECTOR:**

**ING. MENDOZA DARÍO**





# AGENDA

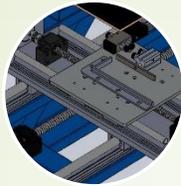
- OBJETIVO E HIPÓTESIS
- INTRODUCCIÓN
- REQUISITOS DEL DISEÑO
- ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS
- DISEÑO CAD
- CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS
- VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e Implementar un Sistema Mecatrónico para perforación e inserción de filamentos flexibles dentro de distintas matrices empleando visión artificial para el reconocimiento y detección de áreas de interés, innovando en la producción de la microempresa CEPIBRILLO-ECUADOR.

# OBJETIVOS ESPECIFICOS



Diseñar las partes mecánicas para los movimientos de todo el sistema mecatrónico



Desarrollar un algoritmo que permita el reconocimiento de dimensiones y áreas de interés de los patrones-base a emplear.



Comprobar el funcionamiento del sistema mecánico



Desarrollar la parte de control de todo el sistema mecánico.



Calibrar y ajustar el sistema mecánico conjuntamente con la parte de visión artificial.



Realizar pruebas de funcionamiento que validen el proyecto.

# HIPÓTESIS



- ¿El sistema mecatrónico de perforación e inserción de filamentos flexibles es capaz de mejorar la producción de la Microempresa CEPIBRILLO-ECUADOR en la fabricación de los tres tipos diferentes de cepillos de limpieza?

# INTRODUCCIÓN

Inserción manual



Insertadora de cepillos



insertadora para escobillas



## Maquinas perforadoras insertadoras



- Empresas fabricantes de maquinas perforadoras insertadoras



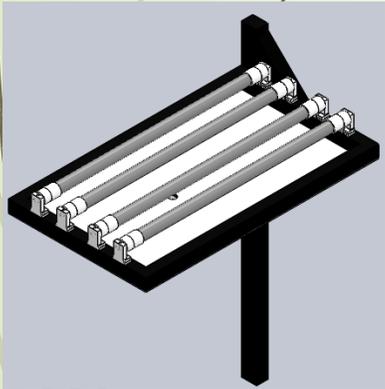
- Empresas fabricantes de artículos de limpieza



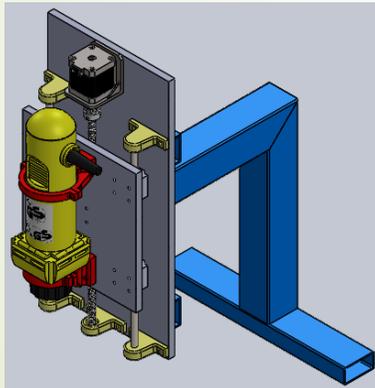
# INTRODUCCIÓN

El sistema mecatrónico se compone de tres subsistemas

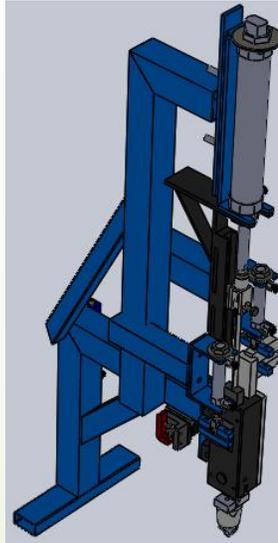
Sistema de visión artificial



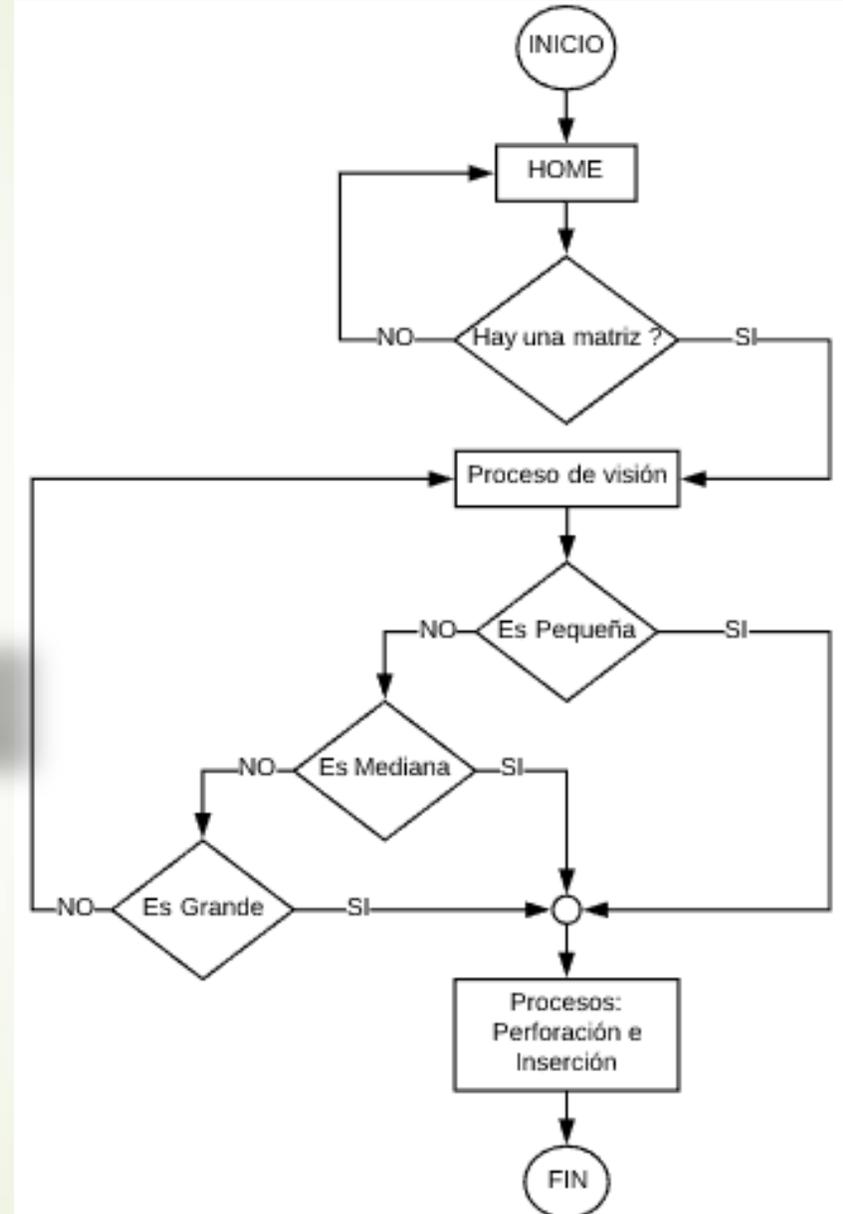
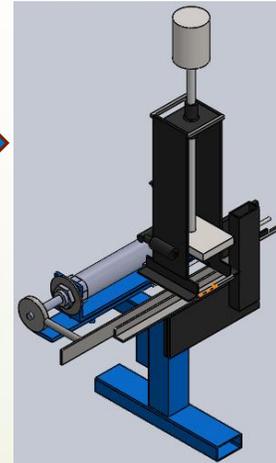
Sistema de perforación



Sistema de inserción



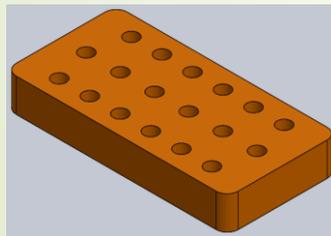
Sistema de Alimentación



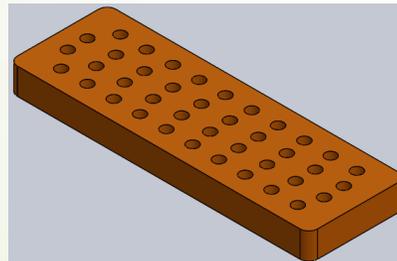
# Requisitos de diseño

## Funciones

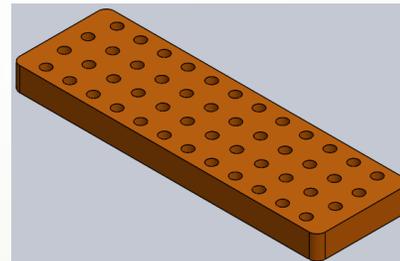
- Reconocer áreas de interés de cada tamaño de cepillo y autoconfigurar a toda la máquina.
- Sistemas de alimentación encargados de abastecer al proceso de inserción de cerdas flexibles y alambre continuo.
- Transmitir movimiento lineal a la bancada o base en los ejes X e Y.
- Perforar las bases de los cepillos.
- Insertar los filamentos flexibles en las bases perforadas.



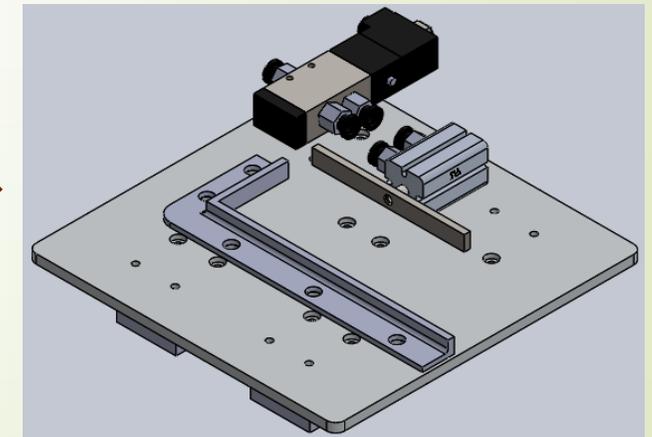
**Base pequeña**  
**80x40x12 (18)**



**Base mediana**  
**135x45x12 (40)**



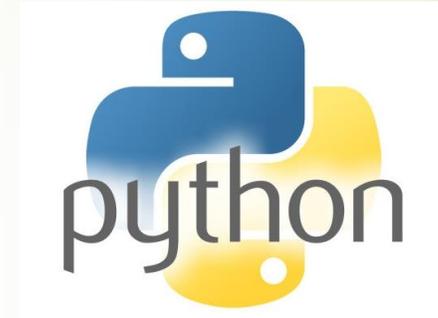
**Base grande**  
**155x48x12 (48)**



**Mesa superior**

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE VISIÓN



### SOFTWARE PAGADOS

### SOFTWARE LIBRE

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

- Costo de adquisición
- Garantía de continuidad
- Programación flexible
- Instalación

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

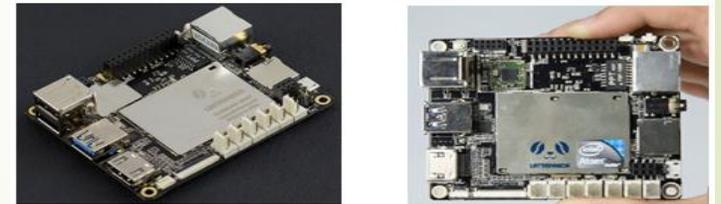
## Procesador para el sistema de visión artificial

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

- Costo de adquisición
- Sistema operativo
- Procesador
- Compatibilidad
- Puertos USB
- Dimensiones



Lenovo stick 300



LattePanda



Raspberry pi 3



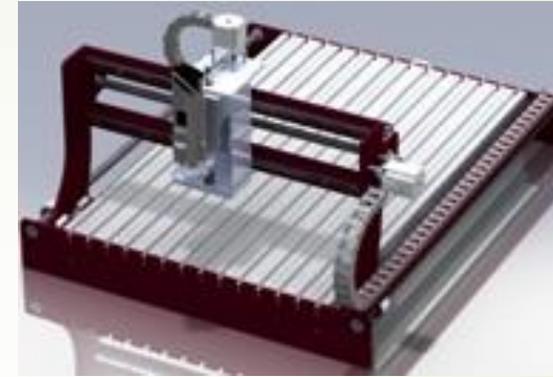
CPU compacto

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

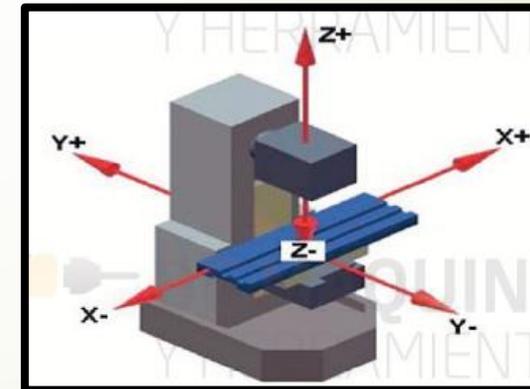
## Estructura

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

- Costo
- Estética
- Fabricación
- Montaje por el peso
- Rigidez
- Mantenimiento



Estructura tipo Router (fresadora de puente)



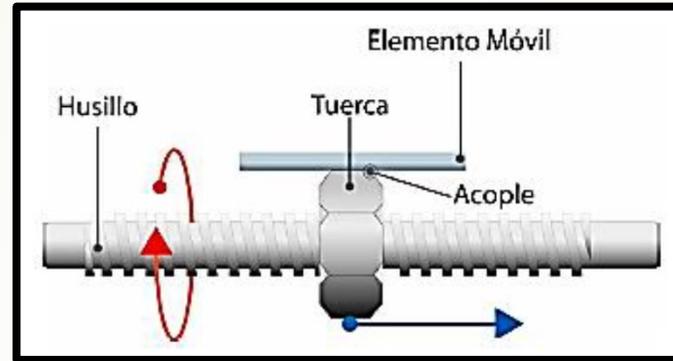
Estructura tipo fresadora de 3 ejes

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

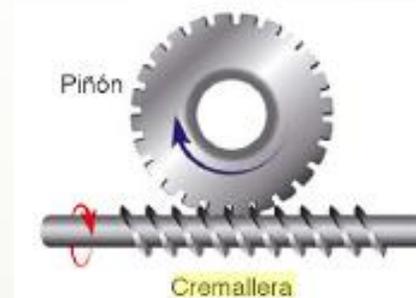
## Mecanismos de transmisión de movimientos

### Criterios de selección

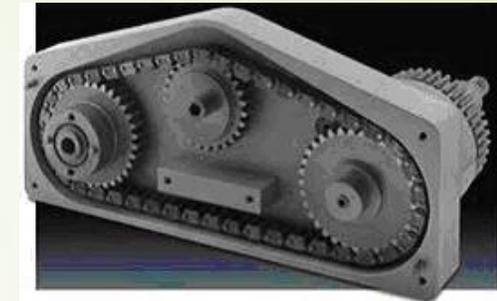
- Costo
- Precisión
- Potencia
- Velocidad
- Implementación
- Mantenimiento
- Eficiencia mecánica
- Impacto a esfuerzos permisibles
- Movimientos reversibles



Tornillo de Potencia



Piñón – Cremallera



Cadena - Catalina



Sistema de Poleas

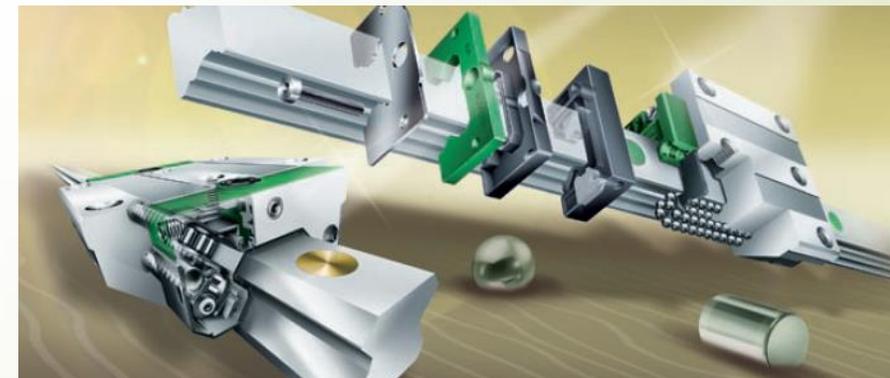
# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## Sistema de guiado

- Capacidad de carga estática y dinámica
- Fácil montaje
- Vida útil nominal
- Precisión de recorrido
- Rigidez
- Velocidad
- Costo
- Material
- Temperatura de funcionamiento



Sistemas de guiado por eje



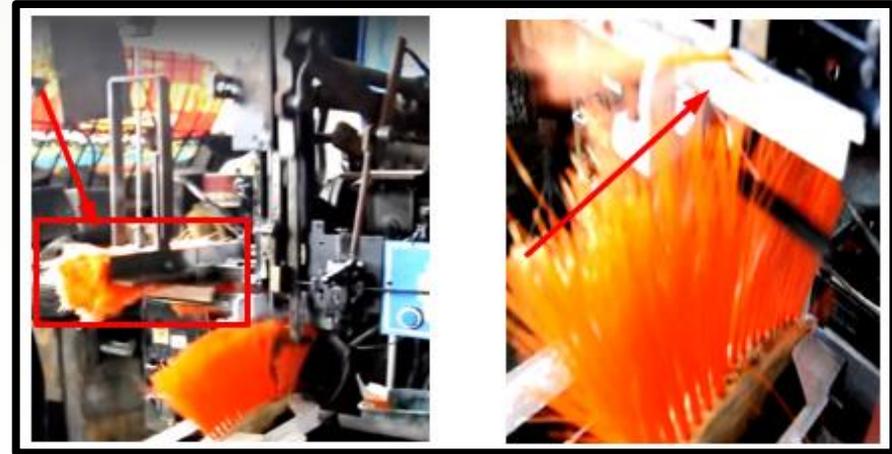
Sistemas de guiado lineal

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

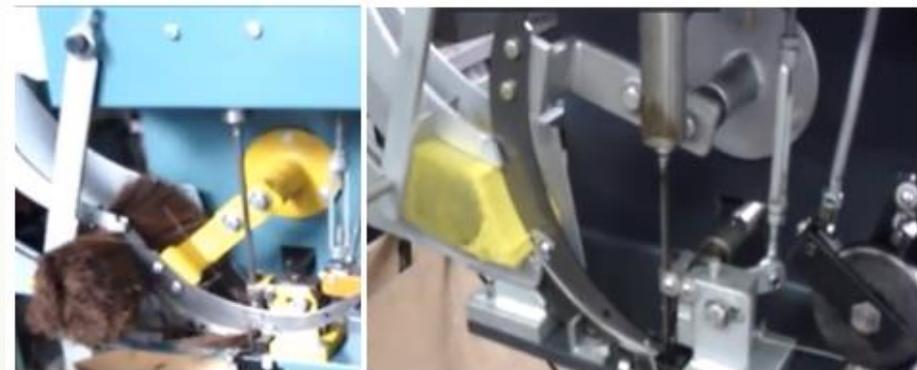
## Sistema de alimentación de cerdas flexibles

### Criterios de selección

- Costo
- Estética
- Accesibilidad de fabricación
- Precisión
- Implementación
- Rigidez
- Mantenimiento del sistema
- Mecanismo de desplazamiento



Alimentador lineal por gravedad



Alimentador circular por gravedad

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## Tarjeta de control

- Costo
- Disponibilidad
- Compatibilidad
- Robustez
- Programación



Tarjeta Arduino



PLC

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

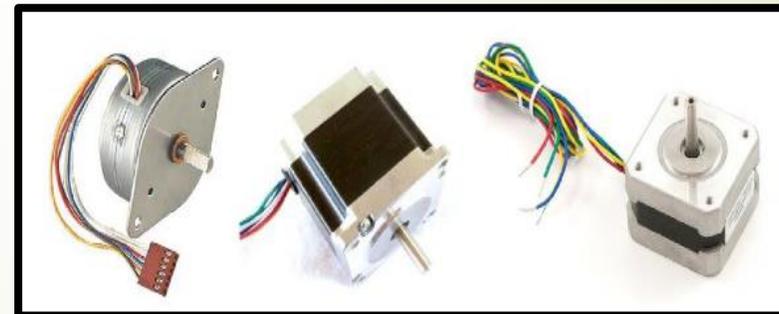
## Actuadores eléctricos

### Criterios de selección

- Costo
- Velocidad
- Torque
- Mantenimiento
- Precisión
- Disponibilidad



Izq. Servomotor Industrial.  
Der. Servomotores convencionales



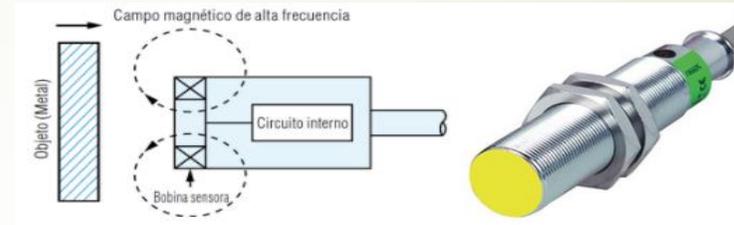
Motores PAP

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

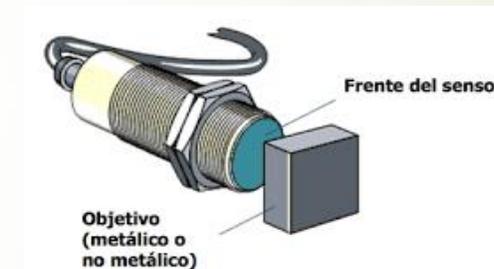
## Sensores de proximidad

### Criterios de selección

- Costo
- Disponibilidad
- Facilidad de implementación
- Acondicionamiento



Sensor inductivo



Sensores capacitivos



Sensor electromecánico

# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## Matriz de inserción para corte y embutido repotenciada

Aplicaciones para el acero XW-41 = SVERVER 21 = AISI D2

| CORTE   | ESPESOR DEL MATERIAL | DUREZA DEL MATERIAL < 180HB HRC | DUREZA DEL MATERIAL > 180HB HRC |
|---|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Herramientas para corte, corte fino, punzonado, cizallado, desbarbado | <3mm<br>3-6mm        | 60-62<br>58-60                  | 58-60<br>54-56                  |

Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para Corte en plástico, cuchillas de molinos granuladores.

Cizallas circulares

Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja en caliente 56-60

en frío 58-60

fresas para madera, escariadoras 56-58

Herramientas para: 58-60

Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estirado 56-62

Troqueles de acuñar en frío 56-60

Sufrideras para prensado en frío 56-60

Estampas para prensado en frío 56-60

Laminadores para tubos y laminado de secciones, laminadoras planas 58-62

58-62

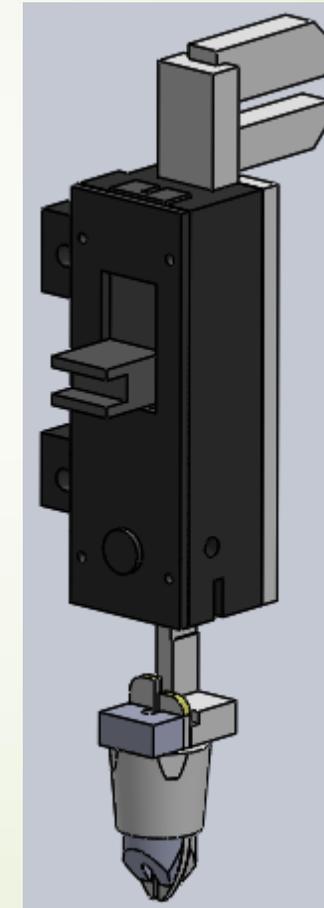
Sufrideras para el conformado de materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, 58-62

Muelas de afilado, tabletas, plásticos abrasivos. 56-60

Herramientas para el laminado de roscas

Herramientas para estampado en frío

Fuente: (BOHMAN, 2015)



# Selección de componentes mesas de trabajo

## Mecanismo eje X

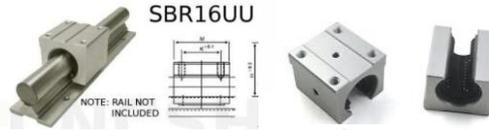
Tarjeta de control



Motor Nema 23



Ejes guías  
(SBR16UU)



Husillo  
(SF16UU 1300mm)



Juego BK 10  
y BF 10



Acople flexible  
6,35x10 mm



Final de carrera



## Mecanismo eje Y

Tarjeta de control



Motor Nema 17



Ejes guías  
(SBR12UU)



Husillo  
(SF12UU 400mm)



Juego BK 12  
y BF 12



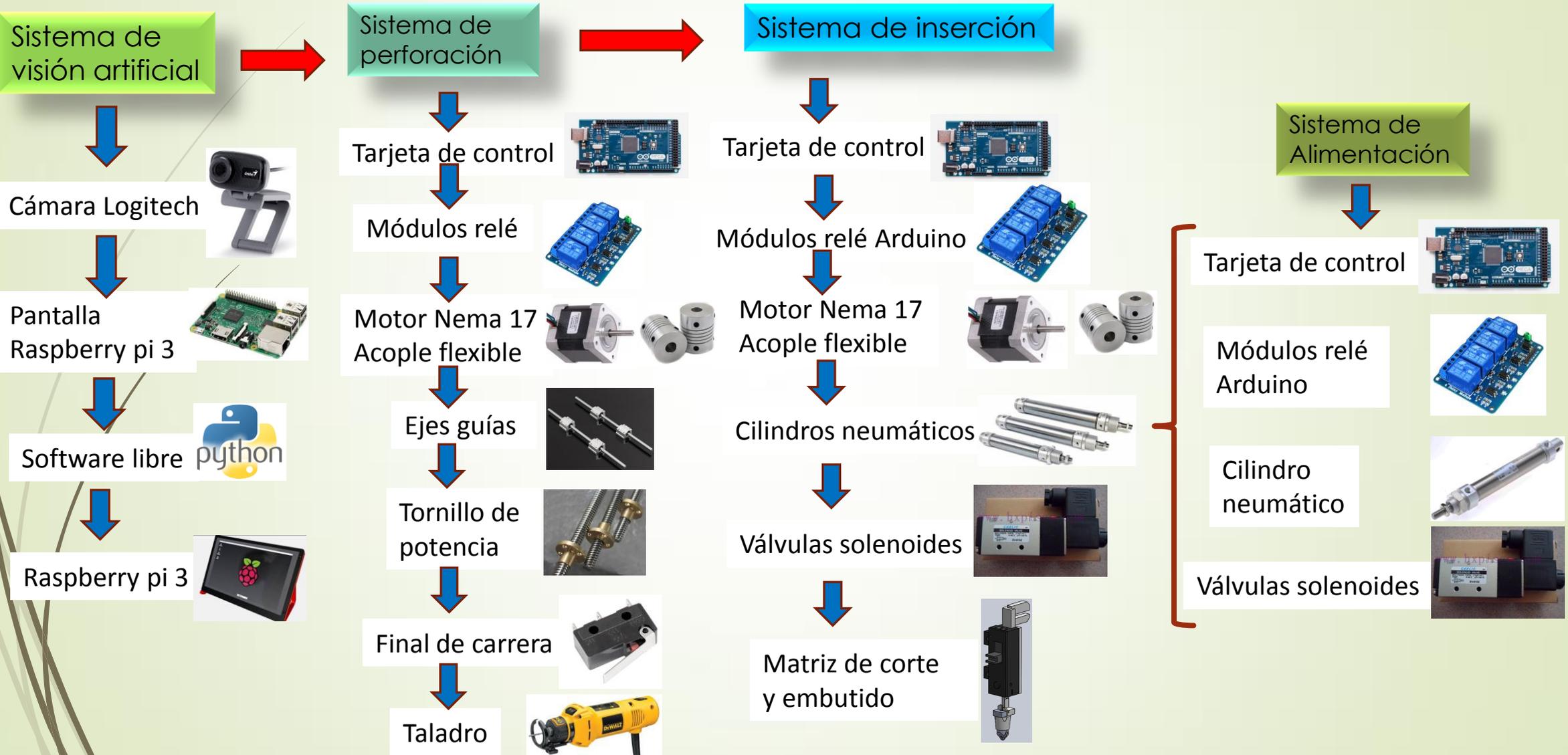
Acople flexible  
5x8



Final de carrera



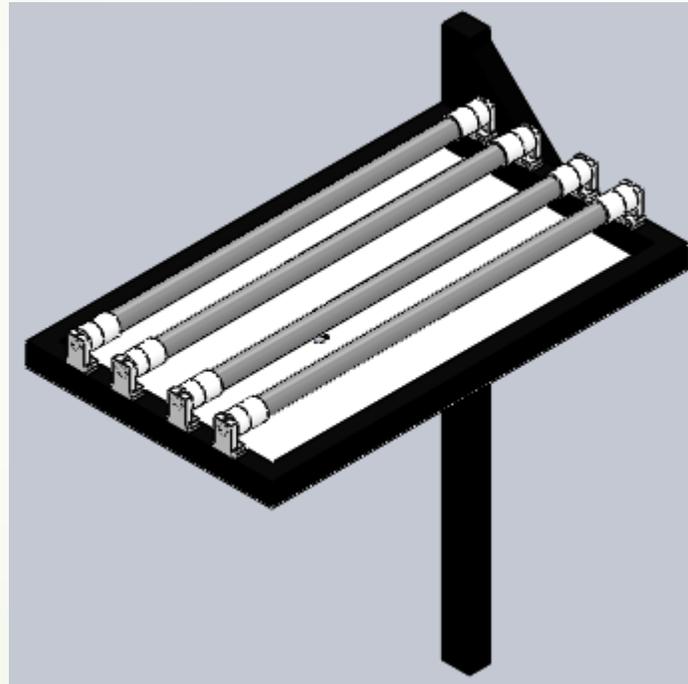
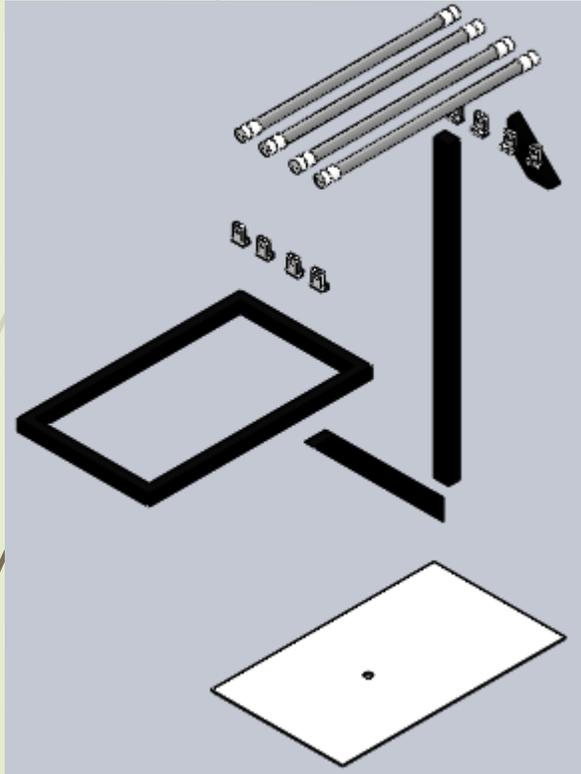
# Selección de componentes para los sistemas



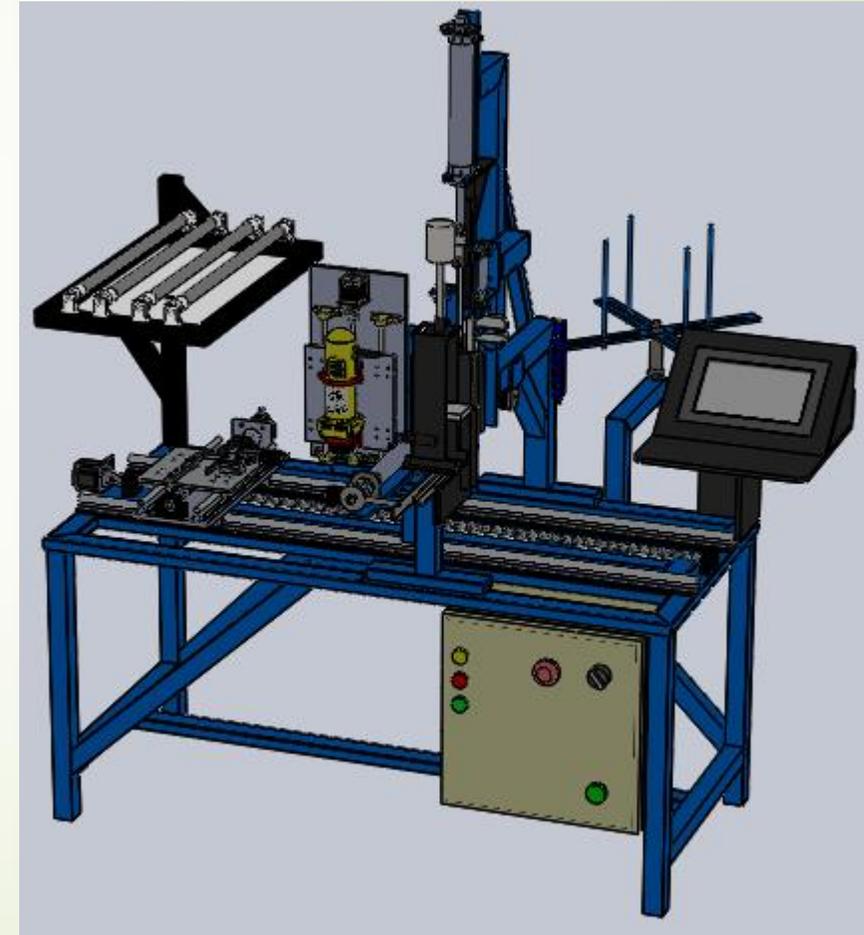
# DISEÑO CAD

# MODELADO 3D

## SISTEMA DE VISIÓN

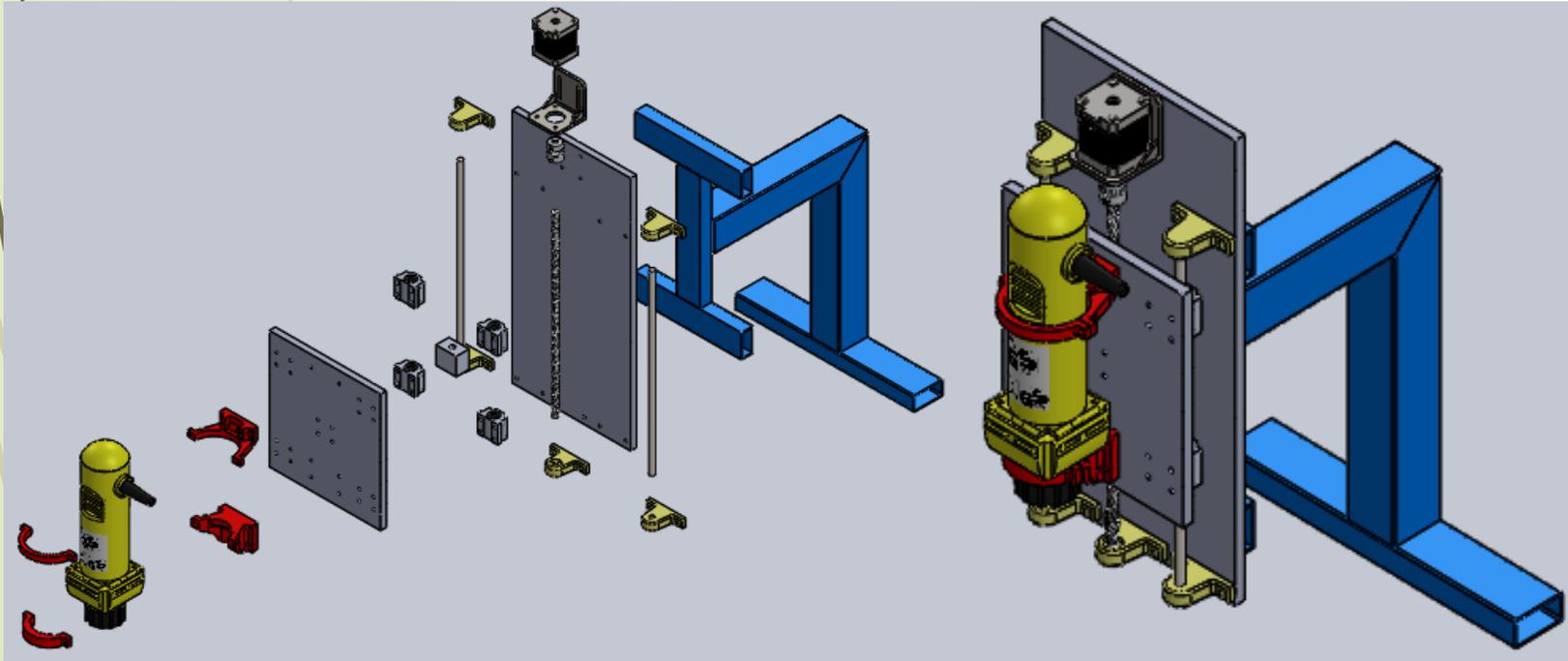


## MÁQUINA AUTOMÁTICA PERFORADORA INSERTADORA

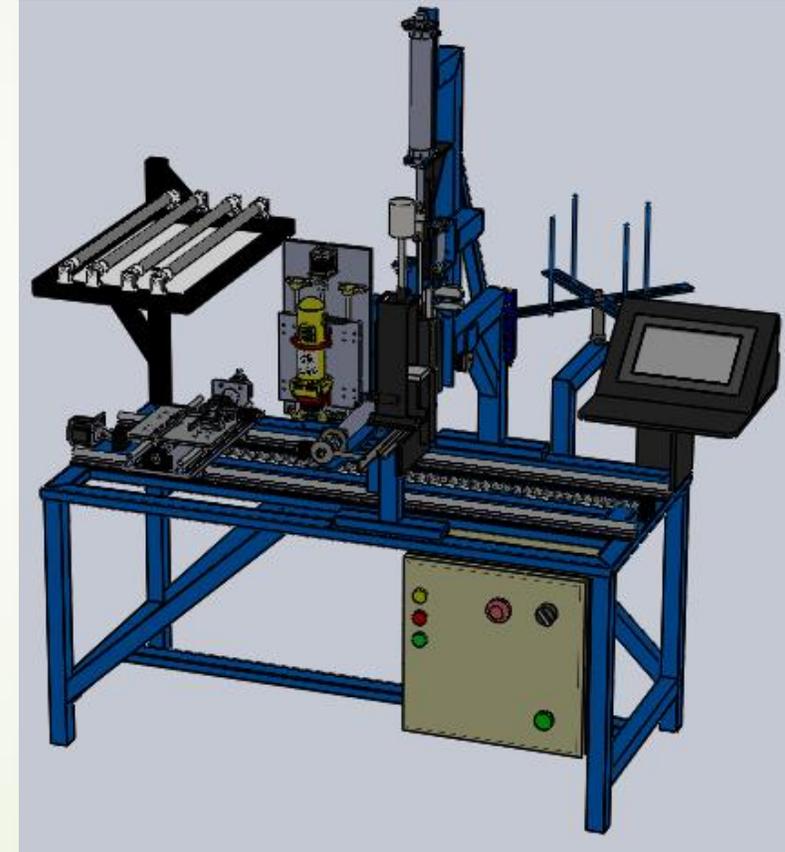


# MODELADO 3D

## SISTEMA DE PERFORACIÓN

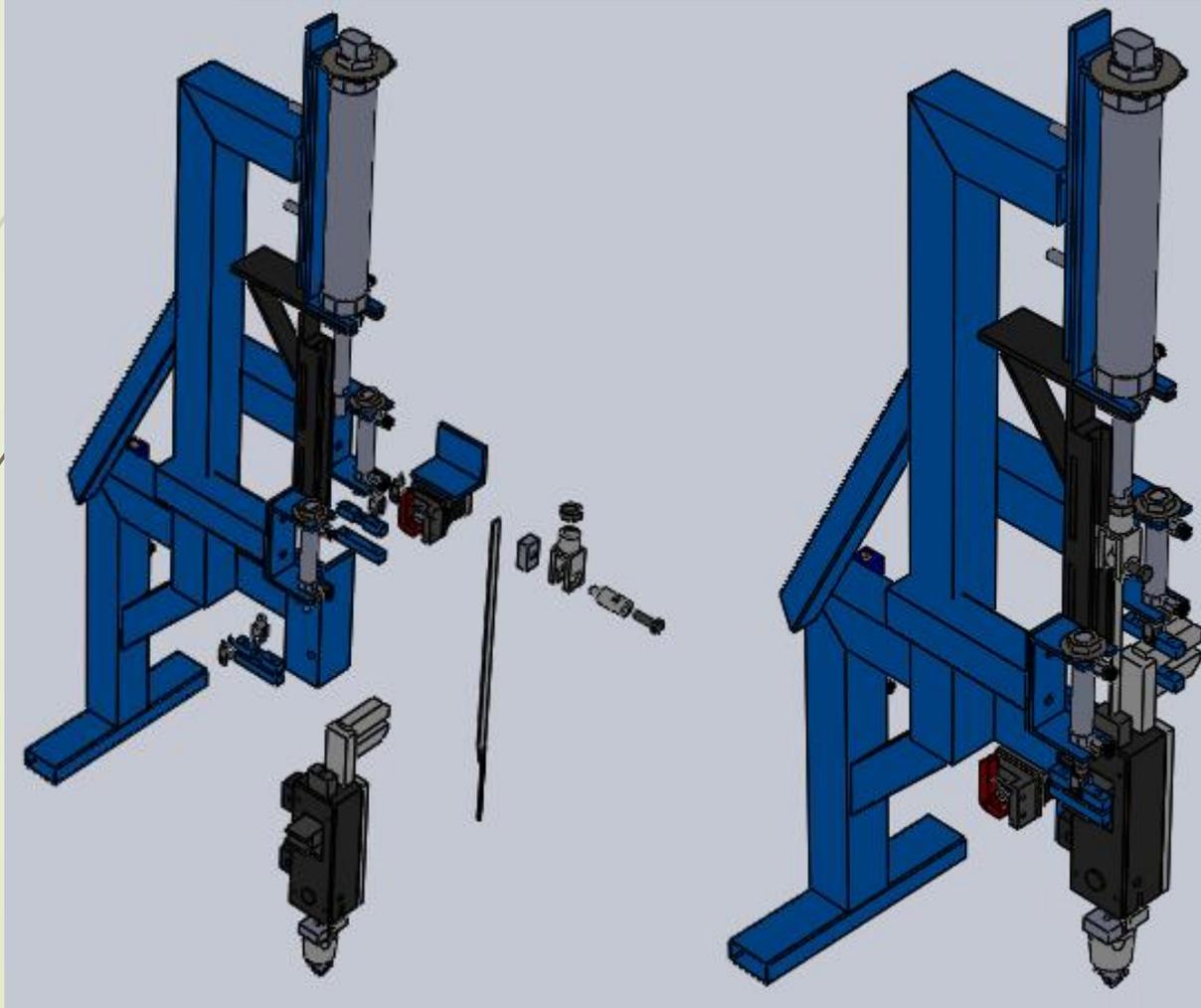


## MÁQUINA AUTOMÁTICA PERFORADORA INSERTADORA



# MODELADO 3D

## SISTEMA DE INSERCIÓN

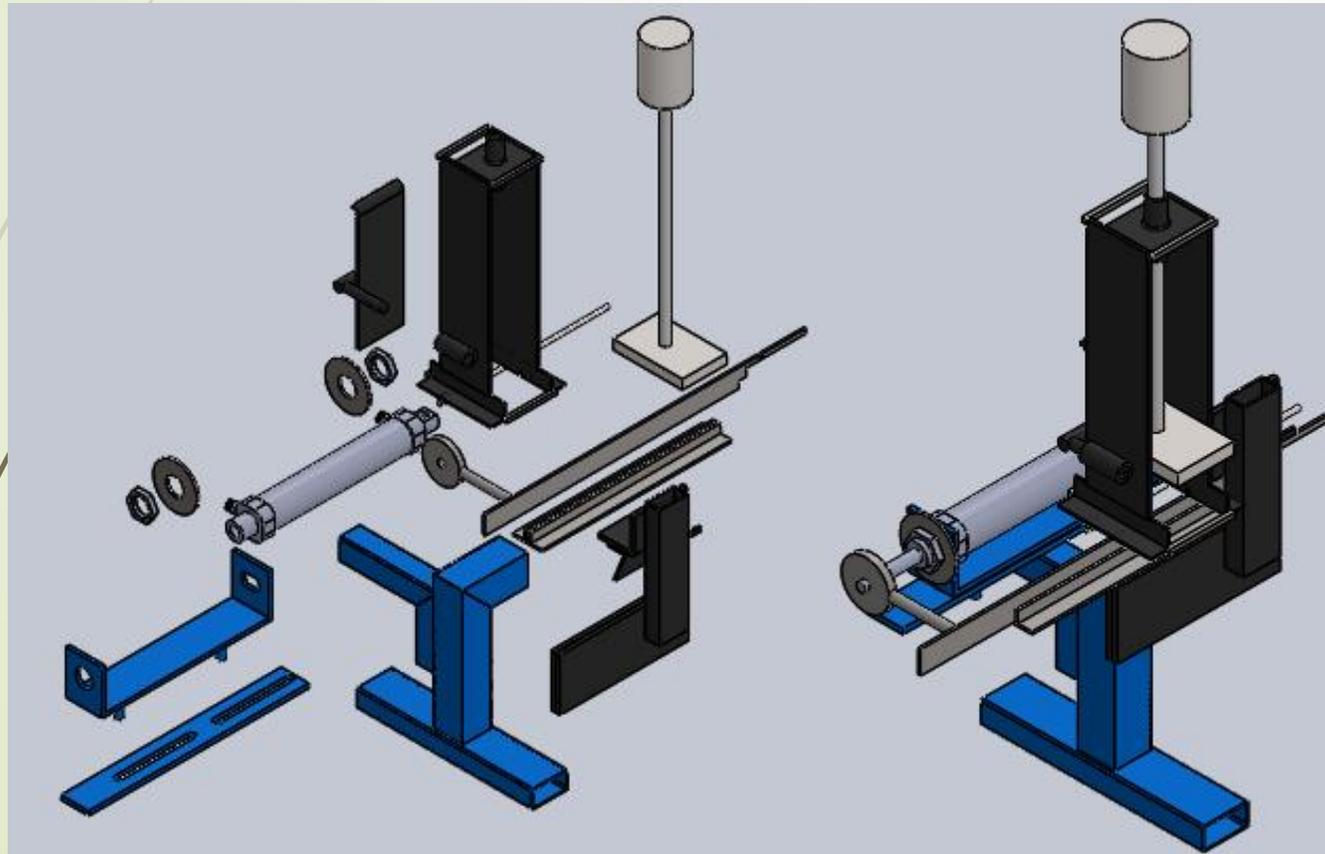


## MÁQUINA AUTOMÁTICA PERFORADORA INSERTADORA



# MODELADO 3D

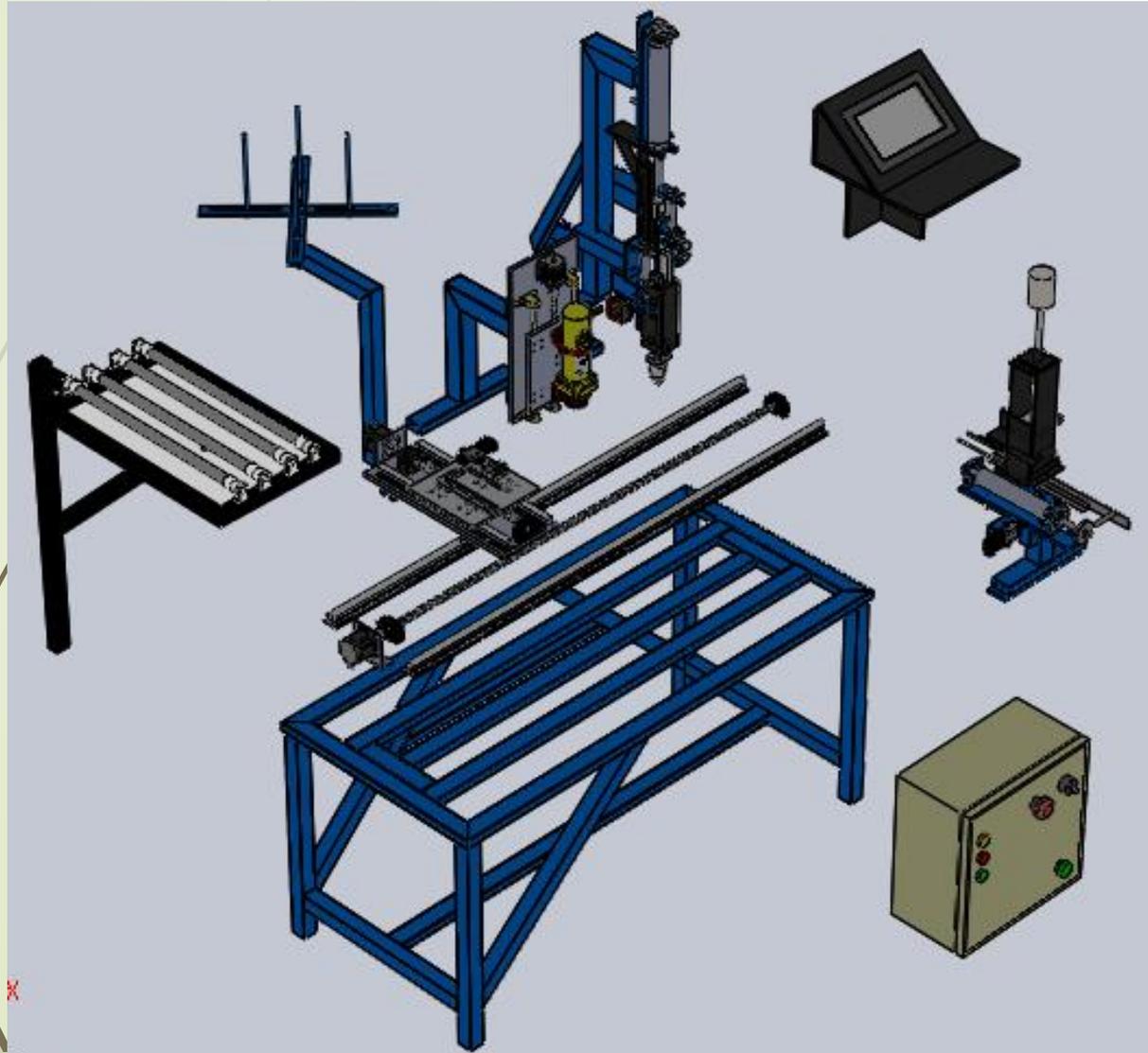
## ALIMENTADOR DE CERDA FLEXIBLE



## MÁQUINA AUTOMÁTICA PERFORADORA INSERTADORA



# MODELADO 3D



## MÁQUINA AUTOMÁTICA PERFORADORA INSERTADORA



# ANÁLISIS ESTÁTICO

Tabla 19

**Materiales tentativos**

| MATERIAL       | Resistencia a la <u>cedencia</u> (MPa) | Peso específico ( $\frac{KN}{m^3}$ ) | Módulo de elasticidad (GPa) | Disponibilidad |
|----------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| ACERO ASTM A36 | 250                                    | 76.93                                | 200                         | Si             |
| ALUMINIO 6061  | 145                                    | 26.46                                | 69                          | Si             |
| Duralón (UHMW) | 20 - 40                                | 9.1                                  | 0.7                         | Si             |
| MADERA         | 5.5                                    | 3.9                                  | 12.4                        | Si             |

Tabla 20

**Material seleccionado para la construcción de los componentes**

| Componente        | Material                   |
|-------------------|----------------------------|
| Mesa superior     | Aluminio                   |
| Mesa Inferior     | Duralón (UHMW)             |
| Brazos de soporte | Acero estructural ASTM A36 |
| Mesa Base         | Acero estructural ASTM A36 |

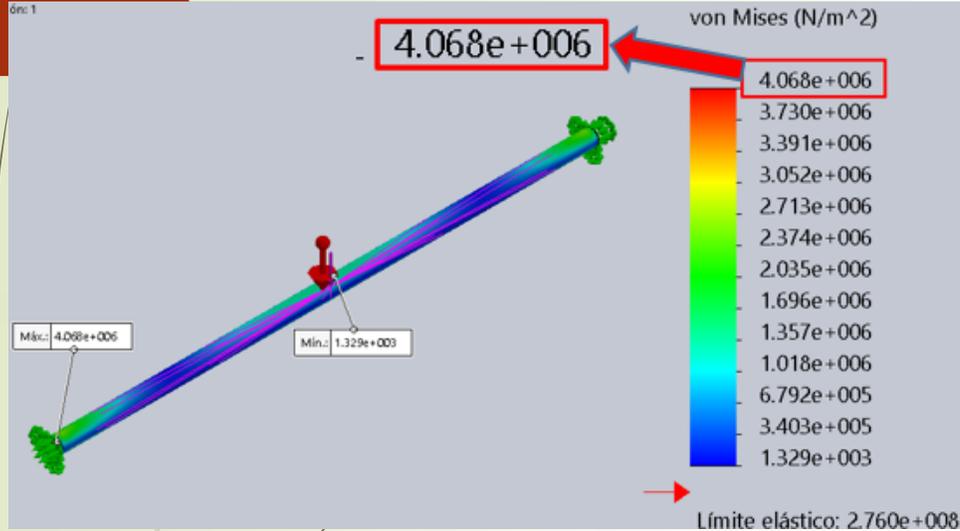
Tabla 21

**Factor de diseño para materiales dúctiles**

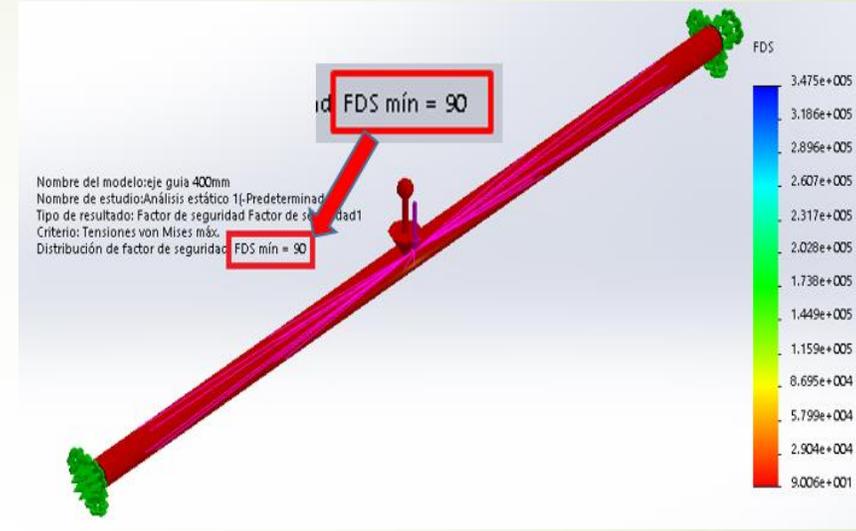
| Materiales Dúctiles                                   |                  |
|---|------------------|
| Descripción   | Factor de Diseño |
| Diseño de estructuras bajo cargas estáticas           | 1.25 – 2.0       |
| Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas | 2.0 – 2.5        |
| Diseño de estructuras estáticas bajo cargas dinámicas | 2.5 – 4.0        |

Fuente: (Mott R. L., 2009)

# ANÁLISIS ESTÁTICO



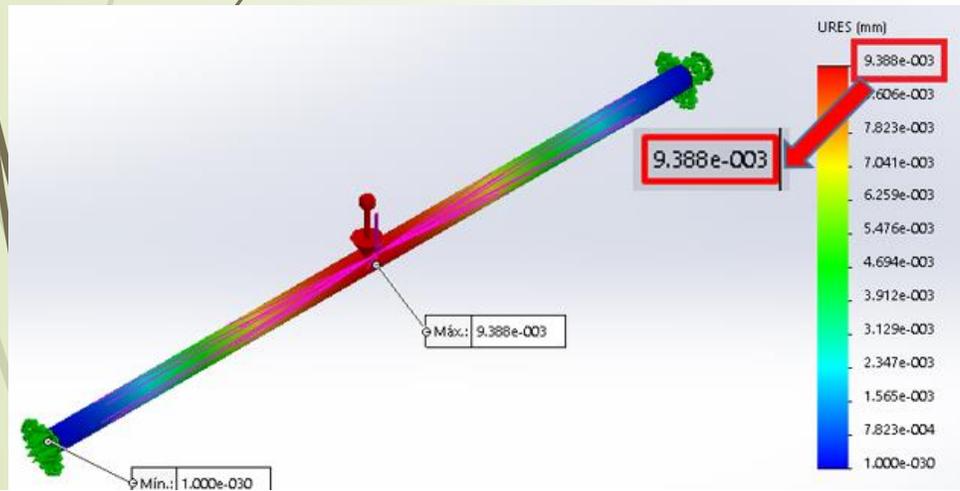
Análisis de esfuerzos en el eje Y



Análisis del factor de seguridad en el eje Y

## RESULTADOS

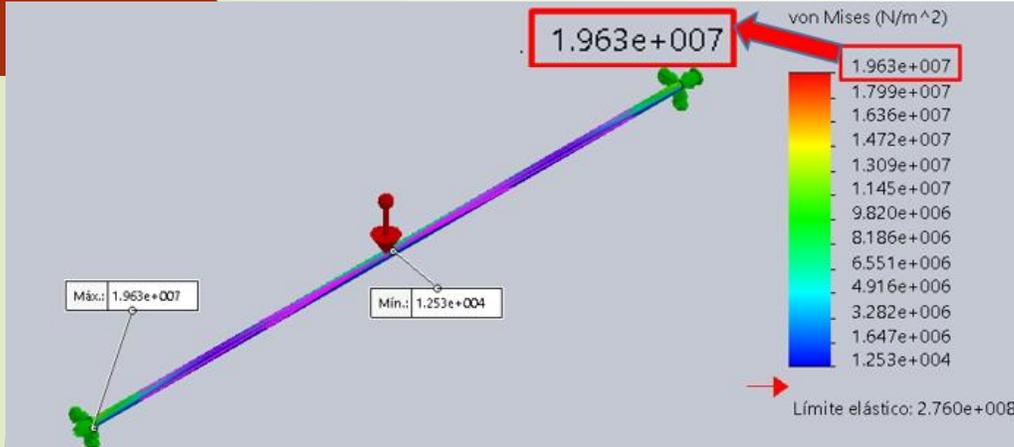
$$\sigma_d \geq \sigma_{m\acute{a}x}$$



Análisis de Desplazamiento máximo en el eje Y

| RESULTADOS   | ESFUERZO DE DISEÑO | ESFUERZO DE VON MISES<br>$\sigma_{m\acute{a}x}$                                  | DEFORMACIÓN MÁXIMA (URES – desplazamientos resultantes)<br>$y_{m\acute{a}x}$ | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|--------------|--------------------|--|--|------------------------|
| CALCULADO    | $\sigma_d = 92MPa$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 4.19 MPa$  | $y_{m\acute{a}x} = 1.20 \times 10^{-2} mm$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.01mm$     | FDS = 3                |
| SOFTWARE CAD |                    | $\sigma_{m\acute{a}x} = 4.068 \times 10^6 Pa$<br>$\sigma_{m\acute{a}x} = 4.1MPa$ | $y_{m\acute{a}x} = 9.388 \times 10^{-3} mm$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.009 mm$  | FDS = 90               |

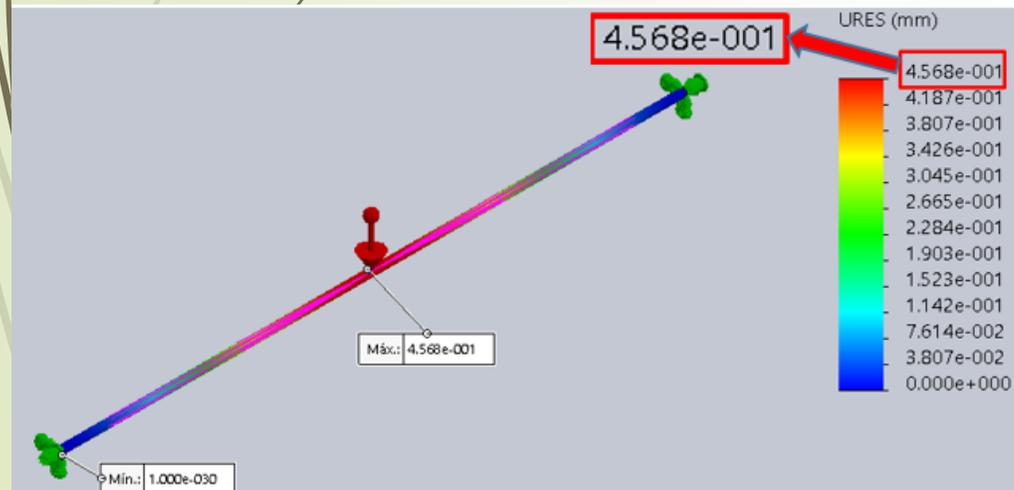
# ANÁLISIS ESTÁTICO



Análisis de esfuerzo máximo del eje X



Análisis Factor de seguridad en el eje X



Análisis de la deformación máxima en el eje X

## RESULTADOS

$$\sigma_d \geq \sigma_{m\acute{a}x}$$

| RESULTADOS          | ESFUERZO DE DISEÑO | ESFUERZO DE VON MISES<br>$\sigma_{m\acute{a}x}$                                    | DEFORMACIÓN MÁXIMA (URES – desplazamientos resultantes)<br>$y_{m\acute{a}x}$ | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|---------------------|--------------------|--|--|------------------------|
| <b>CALCULADO</b>    | $\sigma_d = 92MPa$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 20.39 MPa$   | $y_{m\acute{a}x} = 4.44 \times 10^{-1} mm$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.44mm$     | $FDS = 3$              |
| <b>SOFTWARE CAD</b> |                    | $\sigma_{m\acute{a}x} = 1.963 \times 10^7 Pa$<br>$\sigma_{m\acute{a}x} = 19.63MPa$ | $y_{m\acute{a}x} = 4.568 \times 10^{-001} mm$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.45 mm$ | $FDS = 14$             |

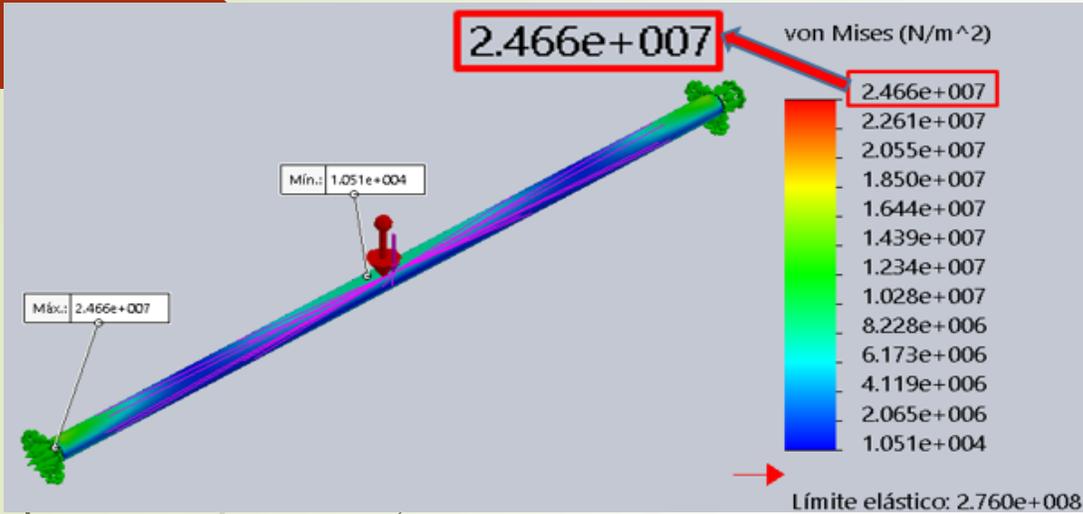
# ANÁLISIS PARA CARGAS REPETIDAS

**Tabla 22**

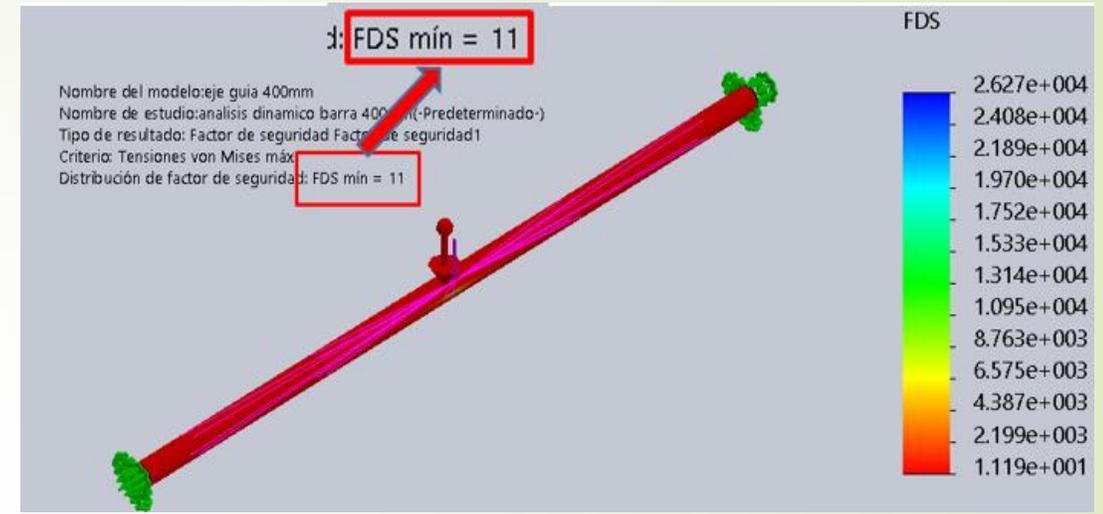
**Fórmulas para el esfuerzo de diseño**

| <b>Forma de Carga</b>   | <b>Materiales Dúctiles</b> | <b>Materiales Frágiles</b> |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Cargas estáticas</b> | $\sigma_d = S_y/8$         | $\sigma_d = S_u/6$         |
| <b>Cargas repetidas</b> | $\sigma_d = S_u/8$         | $\sigma_d = S_u/10$        |
| <b>Impacto o Choque</b> | $\sigma_d = S_u/12$        | $\sigma_d = S_u/15$        |

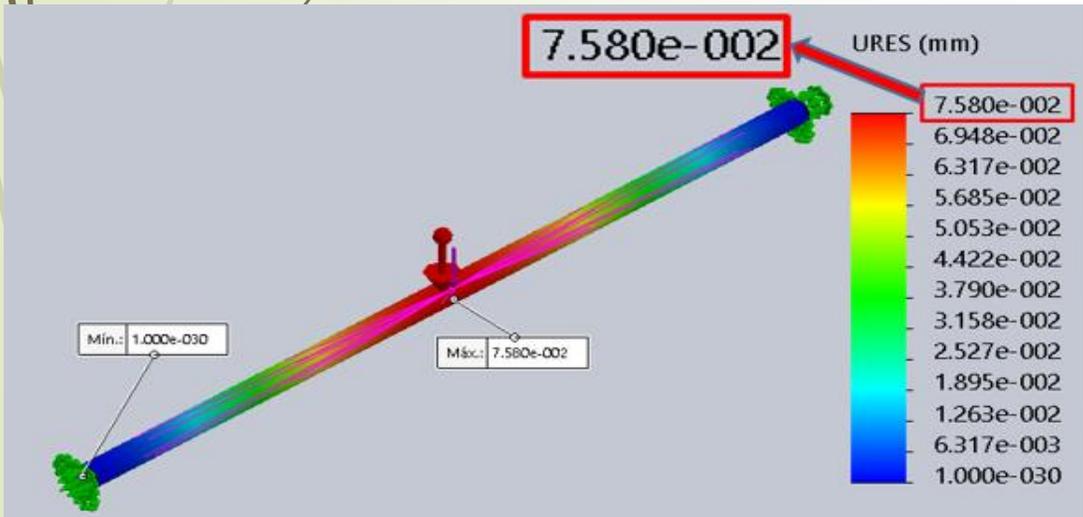
# ANÁLISIS PARA CARGAS REPETIDAS



Análisis de esfuerzos en el eje Y carga repetida



Análisis del factor de seguridad en el eje Y carga repetida



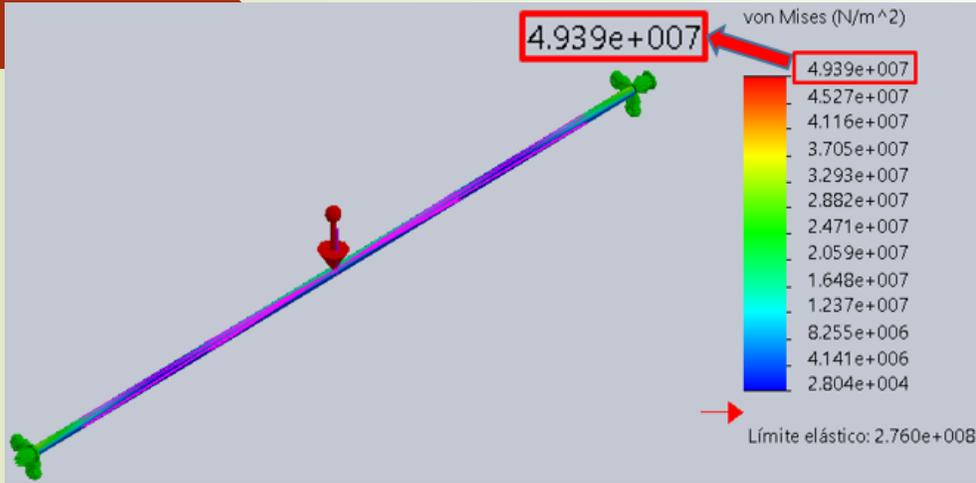
Análisis de Desplazamiento máximo en el eje Y carga repetida

## RESULTADOS

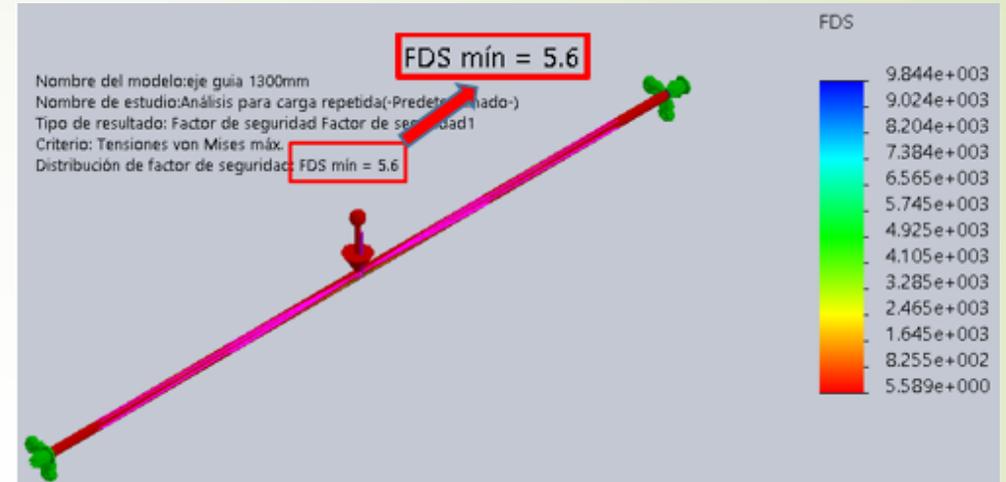
$$\sigma_d \geq \sigma_{m\acute{a}x}$$

| RESULTADOS   | ESFUERZO DE DISEÑO             | ESFUERZO DE VON MISES<br>$\sigma_{m\acute{a}x}$   | DEFORMACIÓN MÁXIMA<br>(URES – desplazamientos resultantes)<br>$y_{m\acute{a}x}$              | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|--------------|--------------------------------|---|--|------------------------|
| CALCULADO    | $\sigma_d = 94.75 \text{ MPa}$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 24.88 \text{ MPa}$  | $y_{m\acute{a}x} = 6.99 \times 10^{-002} \text{ mm}$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.069 \text{ mm}$ | FDS = 3                |
| SOFTWARE CAD |                                | $\sigma_{m\acute{a}x} = 2.466 \times 10^7 \text{ Pa}$<br>$\sigma_{m\acute{a}x} = 24.66 \text{ MPa}$ | $y_{m\acute{a}x} = 7.58 \times 10^{-002} \text{ mm}$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.07 \text{ mm}$  | FDS = 11               |

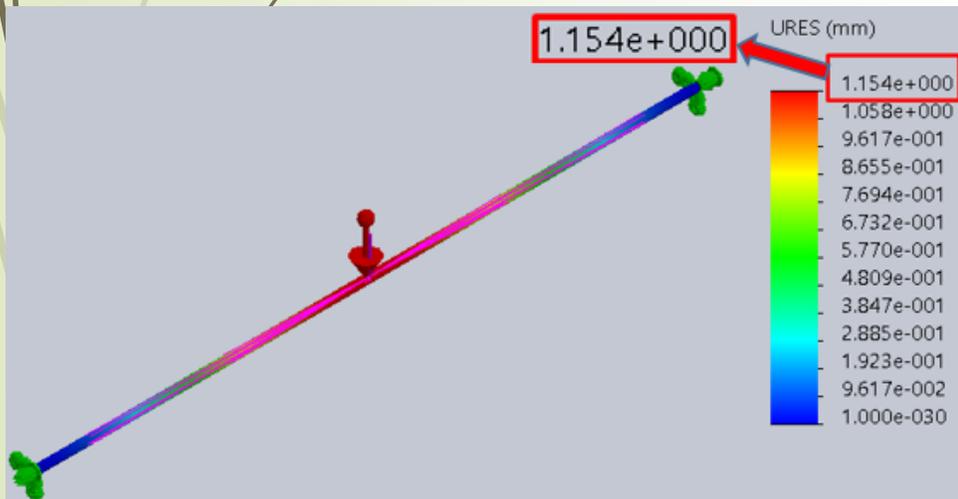
# ANÁLISIS PARA CARGAS REPETIDAS



Análisis de Esfuerzos eje X



Análisis Factor de seguridad para el eje X



Análisis de la deformación máxima en el eje X

## RESULTADOS

$$\sigma_d \geq \sigma_{m\acute{a}x}$$

| RESULTADOS   | ESFUERZO DE DISEÑO             | ESFUERZO DE VON MISES<br>$\sigma_{m\acute{a}x}$   | DEFORMACIÓN MÁXIMA (URES – desplazamientos resultantes)<br>$y_{m\acute{a}x}$ | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|--------------|--------------------------------|---|--|------------------------|
| CALCULADO    | $\sigma_d = 94.75 \text{ MPa}$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 48.66 \text{ MPa}$  | $y_{m\acute{a}x} = 0.99 \text{ m}$   | $FDS = 3$              |
| SOFTWARE CAD |                                | $\sigma_{m\acute{a}x} = 4.939 \times 10^7 \text{ Pa}$<br>$\sigma_{m\acute{a}x} = 49.39 \text{ MPa}$ | $y_{m\acute{a}x} = 1.1 \text{ mm}$   | $FDS = 5.6$            |

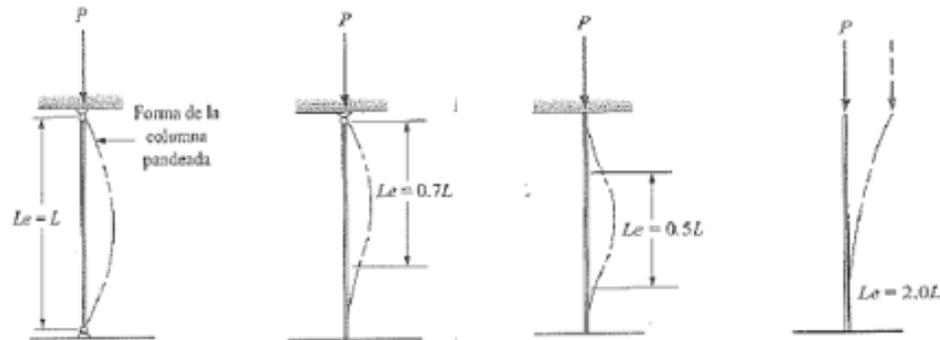
# ANÁLISIS BRAZOS DE SOPORTE

Tabla 23

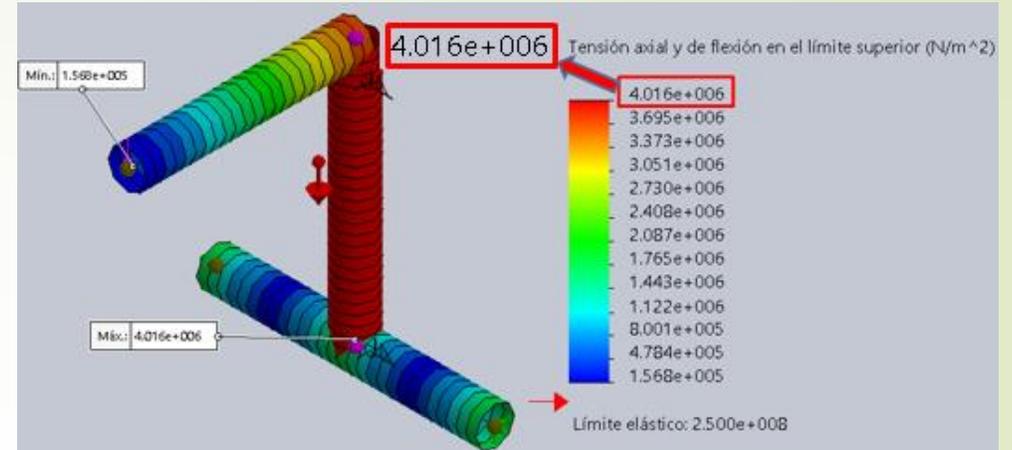
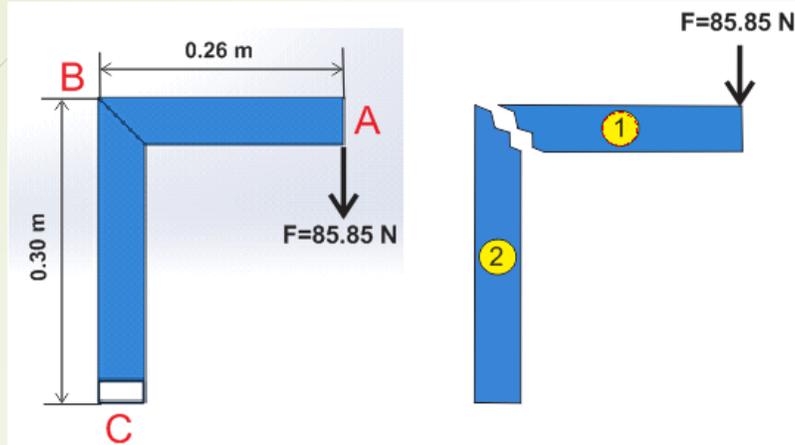
Factor de fijación para tipos de sujeción de columnas

| Tipo de sujeción | Ambos extremos de pasador       | Un extremo fijo y el otro de pasador | Ambos extremos fijos             | Un extremo fijo y el otro libre  |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Factor           | Valor Teórico<br><b>K: 1.0</b>  | Valor Teórico<br><b>K: 0.7</b>       | Valor Teórico<br><b>K: 0.5</b>   | Valor Teórico<br><b>K: 2.0</b>   |
|                  | Valor Práctico<br><b>K: 1.0</b> | Valor Práctico<br><b>K: 0.8</b>      | Valor Práctico<br><b>K: 0.65</b> | Valor Práctico<br><b>K: 2.10</b> |

Modelo de Ilustración



# ANÁLISIS BRAZO DE SOPORTE PERFORACIÓN

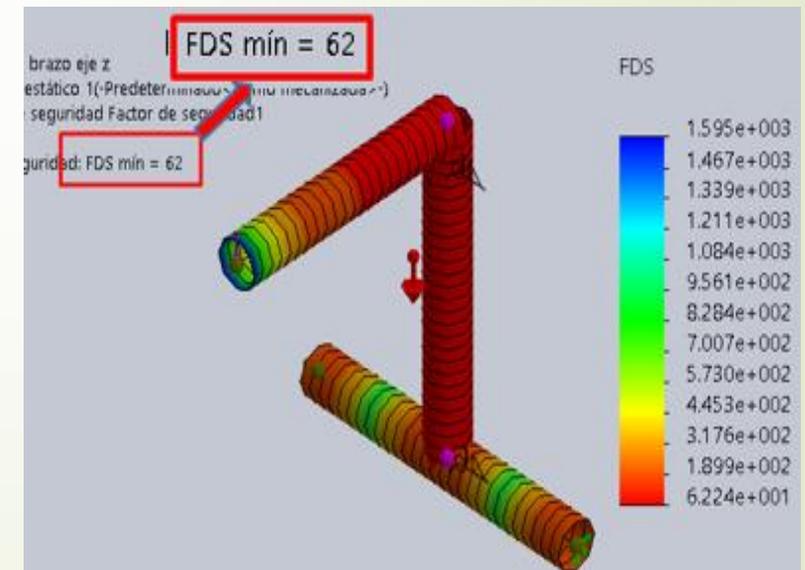


Análisis esfuerzos Brazo de perforación

## Justificación de cargas

$$P_p \geq F$$

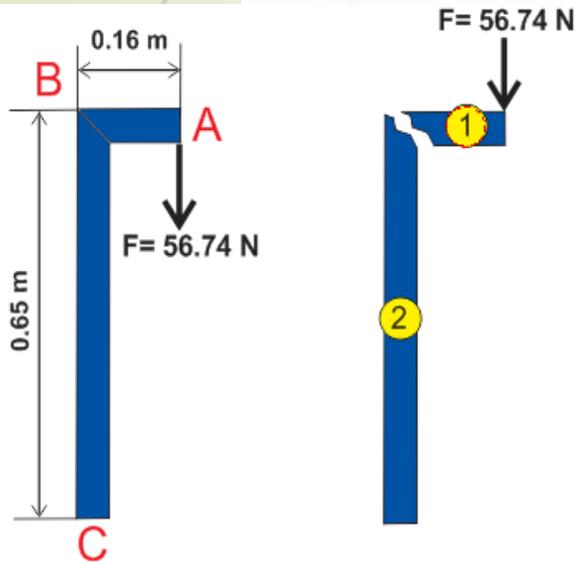
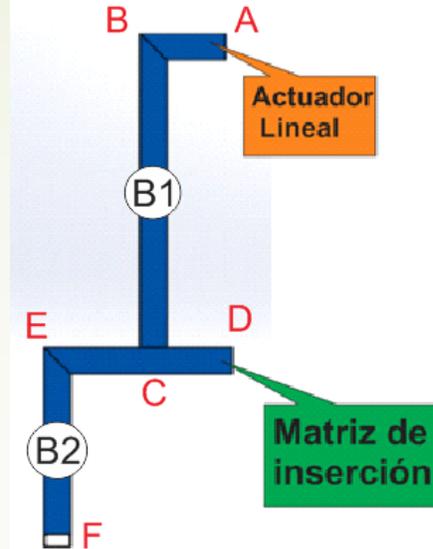
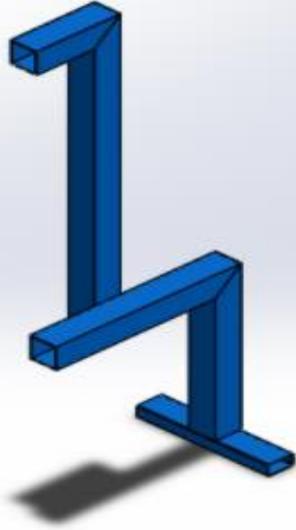
$$30.1 \text{ KN} \geq 85.85 \text{ N}$$



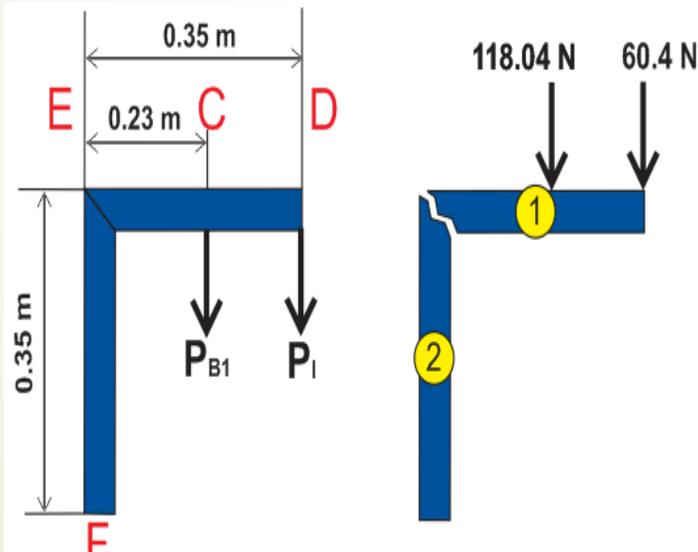
Análisis del factor de seguridad del brazo de perforación

| RESULTADOS   | ESFUERZO DE DISEÑO             | ESFUERZO DE VON MISES                      | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|--------------|--------------------------------|--|------------------------|
| CALCULADO    | $\sigma_d = 83.33 \text{ MPa}$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 3.95 \text{ MPa}$  | $FDS = 3$              |
| SOFTWARE CAD |                                | $\sigma_{m\acute{a}x} = 4.016 \text{ MPa}$ | $FDS = 62$             |

# ANÁLISIS BRAZO DE SOPORTE PARA EL PROCESO DE INSERCIÓN



Miembros independientes del brazo superior de inserción

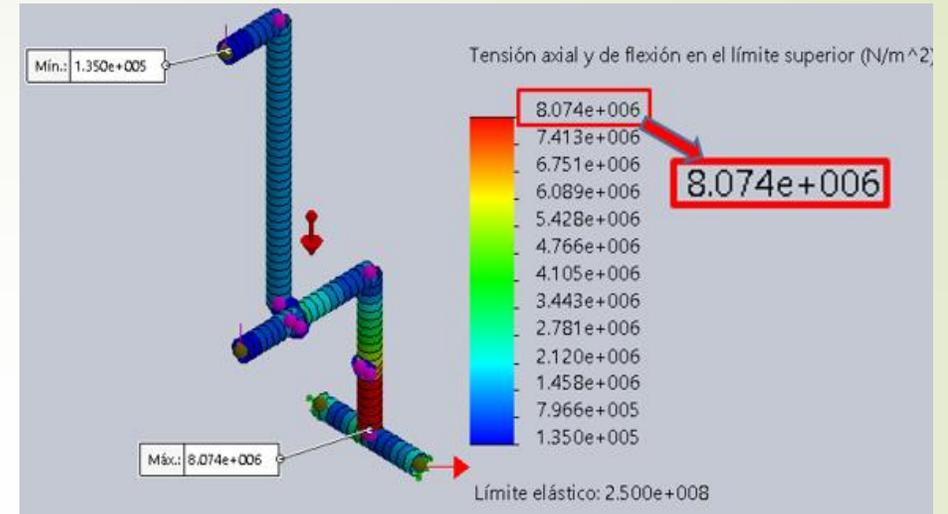
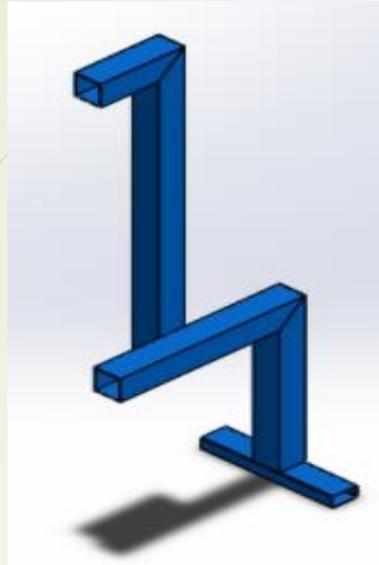


Miembros independientes del brazo inferior de inserción

## Justificación de esfuerzos y cargas permisibles

| Brazo superior (B1)  | Brazo inferior (B2)   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo máximo</li> </ul> $\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{S}$ $\sigma_{\text{máx}} = \frac{9.08 \text{ N.m}}{5.655 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}$ $\sigma_{\text{máx}} = 1.63 \text{ MPa}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo máximo</li> </ul> $\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{S}$ $\sigma_{\text{máx}} = \frac{48.29 \text{ N.m}}{5.655 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}$ $\sigma_{\text{máx}} = 8.52 \text{ MPa}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Justificación de esfuerzos</li> </ul> $\text{Esf. de diseño} \geq \text{Esf. máximo}$ $\sigma_d \geq \sigma_{\text{máx}}$ $83.33 \text{ MPa} \geq 1.63 \text{ MPa}$                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Justificación de esfuerzos</li> </ul> $\text{Esf. de diseño} \geq \text{Esf. máximo}$ $\sigma_d \geq \sigma_{\text{máx}}$ $83.33 \text{ MPa} \geq 8.52 \text{ MPa}$                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Justificación de cargas</li> </ul> $\text{Carga permisible} \geq \text{Carga}$ $P_p \geq F$ $26.28 \text{ KN} \geq 56.74 \text{ N}$   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Justificación de cargas</li> </ul> $\text{Carga permisible} \geq \text{Carga}$ $P_p \geq F$ $29.73 \text{ KN} \geq 178.44 \text{ N}$   |

# ANÁLISIS BRAZO DE SOPORTE PARA EL PROCESO DE INSERCIÓN



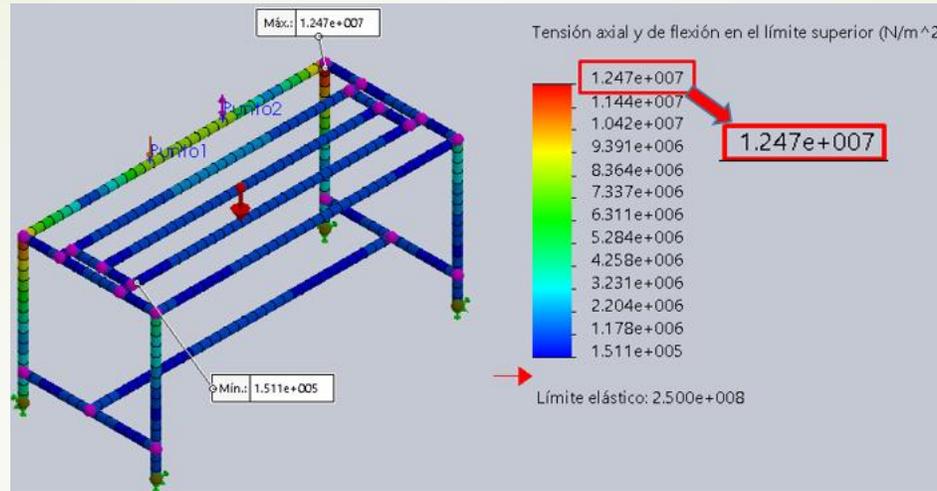
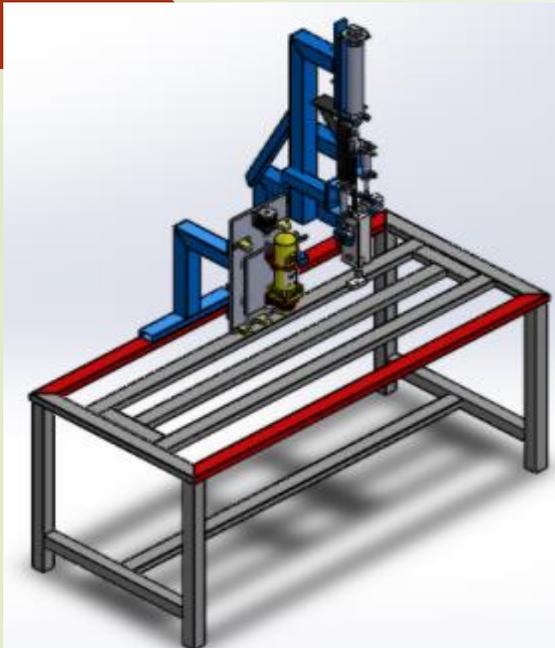
Análisis de Esfuerzos para el brazo de inserción

| RESULTADOS   | ESFUERZO DE DISEÑO    | ESFUERZO DE VON MISES<br>$\sigma_{m\acute{a}x}$ | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|--------------|-----------------------|---|------------------------|
| CALCULADO    | $\sigma_d = 83.33MPa$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 8.52MPa$                | $FDS = 3$              |
| SOFTWARE CAD |                       | $\sigma_{m\acute{a}x} = 8.074MPa$               | $FDS = 31$             |

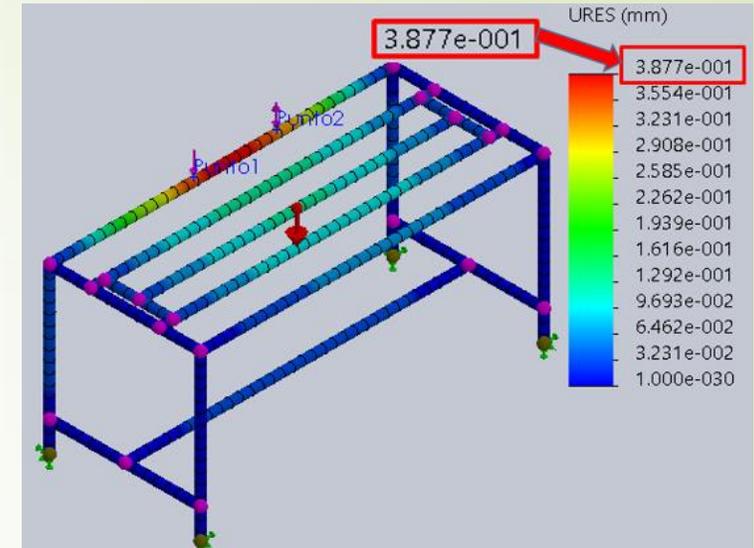


Análisis del factor de diseño del brazo de soporte de inserción

# ANÁLISIS DEL DISEÑO DE LA MESA BASE

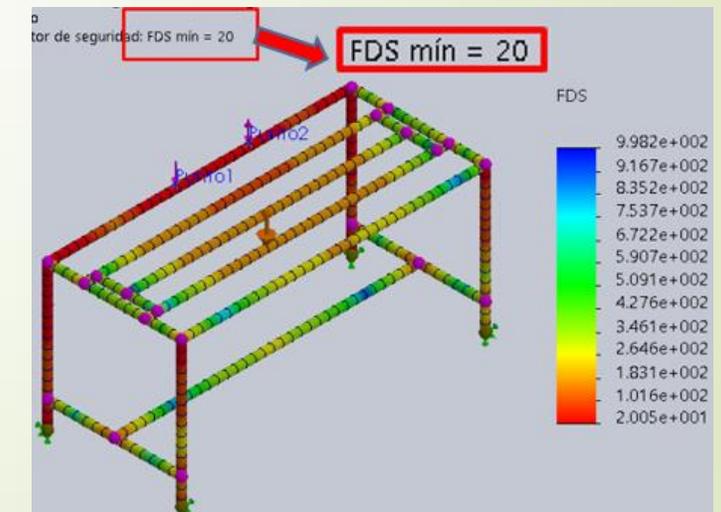


Análisis de esfuerzos Máximos de la mesa base



Análisis de deformación máxima

| RESULTADOS   | ESFUERZO DE DISEÑO     | ESFUERZO DE VON MISES<br>$\sigma_{m\acute{a}x}$ | DEFORMACIÓN MÁXIMA<br>(URES – desplazamientos resultantes)<br>$y_{m\acute{a}x}$ | FACTOR DE DISEÑO (FDS) |
|--------------|------------------------|---|---|------------------------|
| CALCULADO    | $\sigma_d = 83.33 MPa$ | $\sigma_{m\acute{a}x} = 13.77 MPa$              | $y_{m\acute{a}x} = 0.365 mm$  | FDS = 3                |
| SOFTWARE CAD |                        | $\sigma_{m\acute{a}x} = 12.47 MPa$              | $y_{m\acute{a}x} = 3.877 \times 10^{-001} mm$<br>$y_{m\acute{a}x} = 0.38 mm$    | FDS = 20               |



Análisis de factor de seguridad

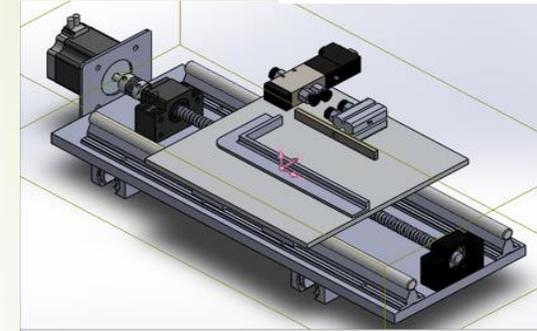
# SELECCIÓN DE MOTORES

Tabla 26

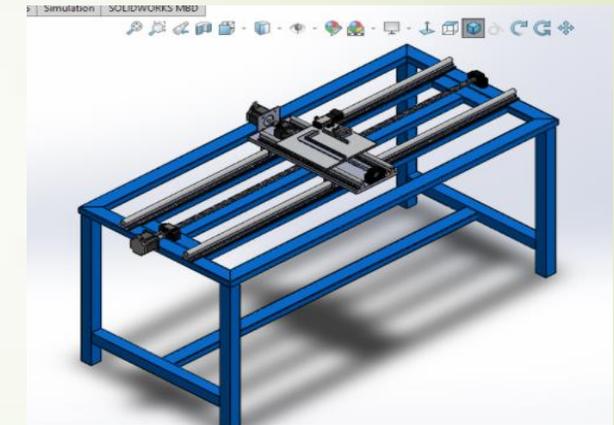
Datos técnicos de los motores NEMA

| Motor   | Corriente Nominal<br>(Amp) | Par de retención<br>(Nm) | Inercia del rotor<br>(g. cm <sup>2</sup> ) | Pasos | Peso<br>(Kg) |
|---------|----------------------------|--------------------------|--|-------|--------------|
| Nema 17 | 2                          | 0.48                     | 57   | 200   | 0.28         |
| Nema 23 | 2.2                        | 1.50                     | 220  | 200   | 0.60         |

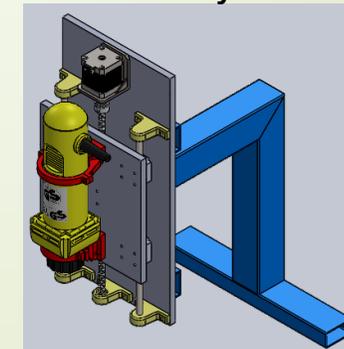
|                  | Eje x               | Eje y                | Eje z               |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Torque requerido | $T_{ex} = 0.76 N.m$ | $T_{ey} = 0.017 N.m$ | $T_{ez} = 0.14 N.m$ |
| Motor necesario  | Nema 23             | Nema 23              | Nema 17             |



Sistema Eje Y

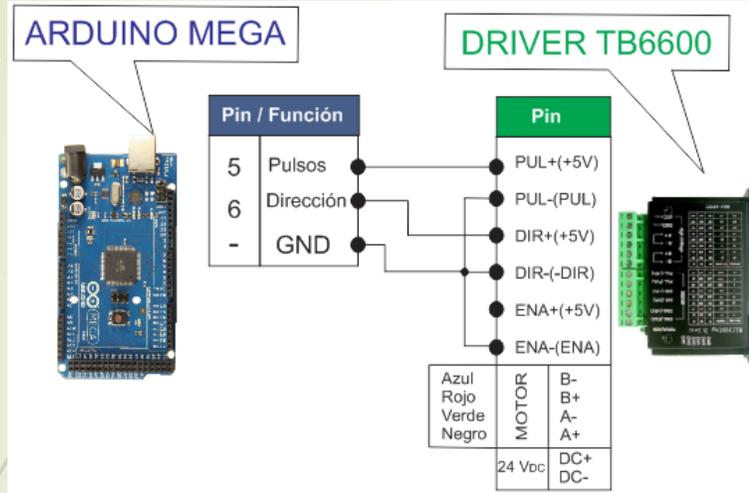


Sistema Eje X

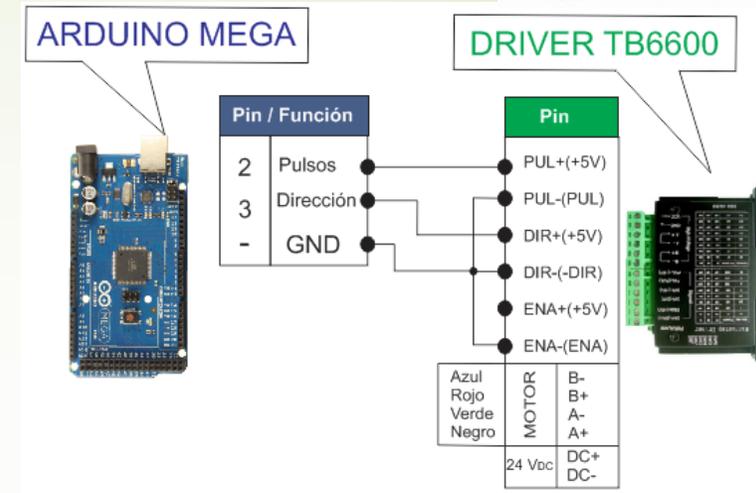


Sistema Eje Z

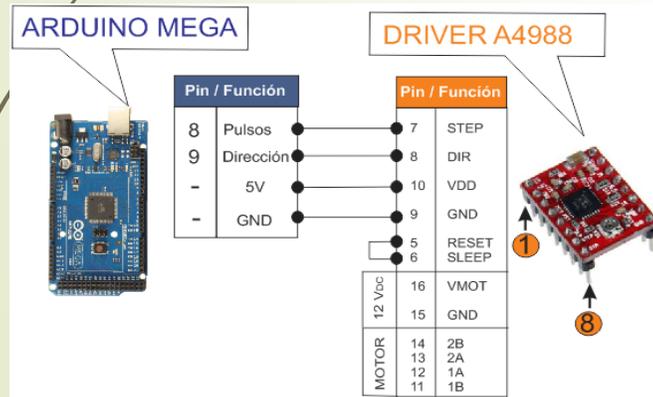
# DISEÑO ELECTRÓNICO



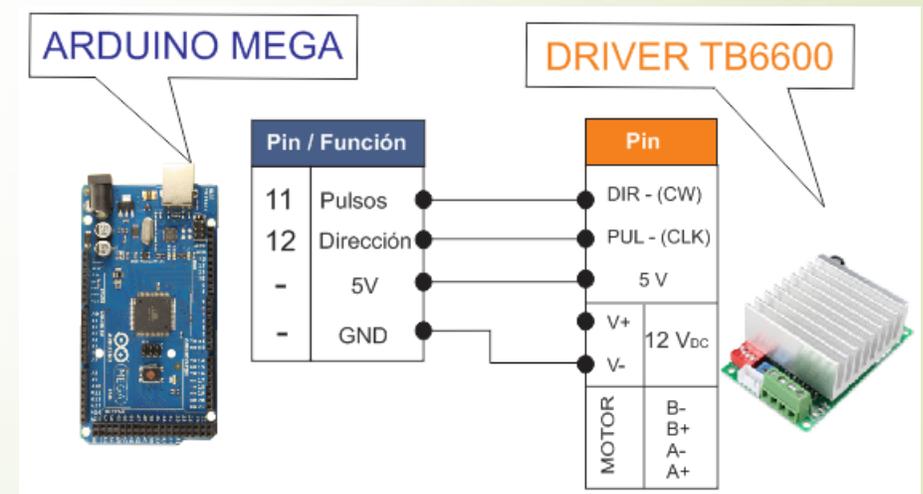
Conexión de pines Arduino Mega – NEMA 23 (EJE Y)



Conexión de pines Arduino Mega – NEMA 23 (EJE X)



Conexión de pines Arduino Mega – NEMA 17 (EJE Z)



Conexión de pines Arduino Mega – NEMA 17 (ALAMBRE)

# DISEÑO ELECTRÓNICO

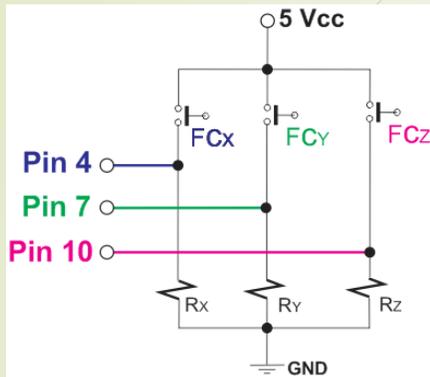


Diagrama de conexión de los finales de carrera

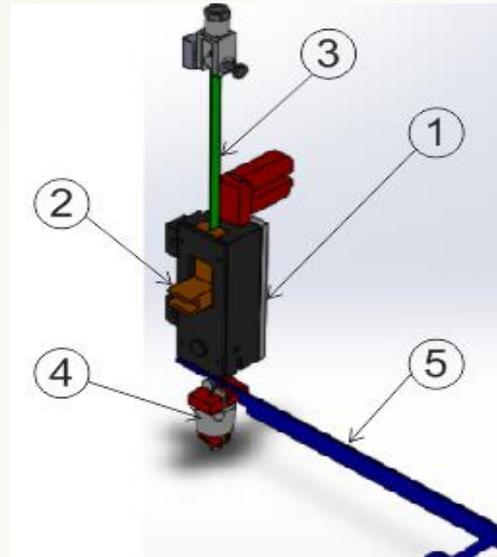
ARDUINO MEGA

FINALES DE CARRERA



| Pin Arduino |       |
|-------------|-------|
| 4           | Eje X |
| 7           | Eje Y |
| 10          | Eje Z |

Pines Arduino Mega  
Finales de carrera



Matriz del insertador con sus componentes

Elementos: (1) Marco, (2) Cortador, (3) Lengüeta, (4) Boca, (5) Dosificador de cerdas flexibles

Tabla 27

Actuadores neumáticos en el proceso de inserción

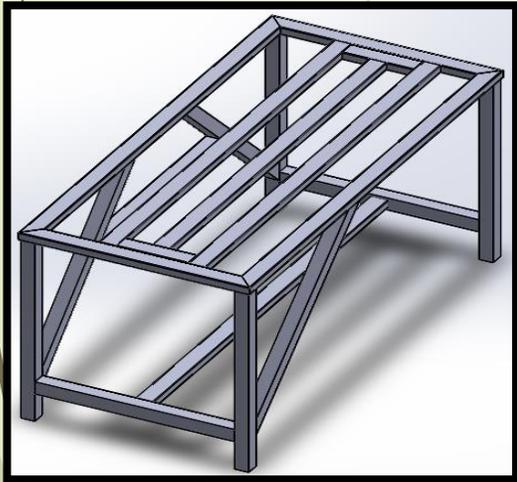
| Actuador | Pin de control (Arduino) | Designación                              | Función  |
|----------|--------------------------|--|--|
| 01       | PIN 43                   | Sujetador de matriz                      | Se encarga de presionar cada matriz pequeña, mediana y grande en la mesa superior.                               |
| 02       | PIN 45                   | Marco                                    | Su función es la de servir de molde para la forma de la grapa.   |
| 03       | PIN 47                   | Cortador                                 | Corta el alambre y conjuntamente con el marco y forma la grapa en sus cuchillas internas.                        |
| 04       | PIN 49                   | Lengüeta                                 | Se encarga de llevar en conjunto la grapa y el material a través de la matriz hacia la boca.                     |
| 05       | PIN 51                   | Boca                                     | Sirve de canal para las cerdas flexibles, aprisionándolas en su canal con la grapa.                              |
| 06       | PIN 53                   | Guía de Alimentación de cerdas flexibles | Lleva el material exacto (cerdas flexibles), mediante un destaje en su guía lineal hacia la matriz de inserción. |

# CONSTRUCCIÓN DE LA MESA BASE

## • ENSAMBLE

- IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES (MESA INFERIOR)

### ➔ DISEÑO CAD



**MATERIAL:** Acero Estructural  
ASTM A36

**DIMENSIONES:** Tubo hueco  
rectangular de 25x50 mm

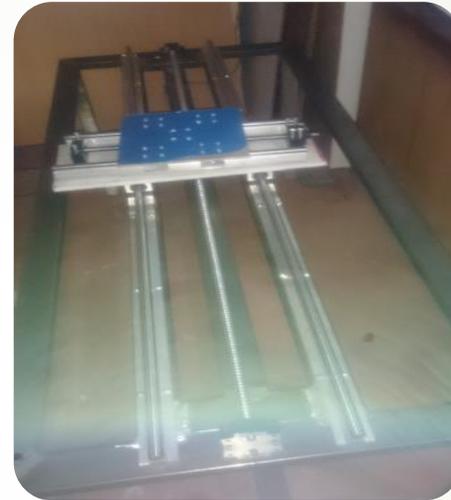
Tubo hueco cuadrangular de  
40x40 mm



# IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA BASE

- IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES (MESA SUPERIOR)

- ENSAMBLE COMPLETO DE LAS MESAS DE TRABAJO

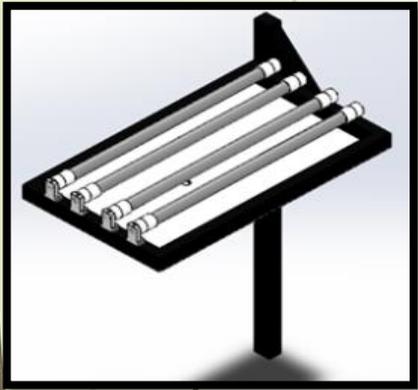


# CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE VISIÓN

## • ENSAMBLE

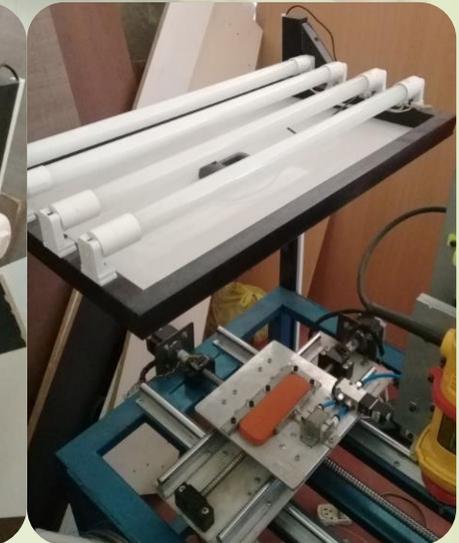
- IMPLEMENTACIÓN EN LA MESA BASE

### ➔ DISEÑO CAD



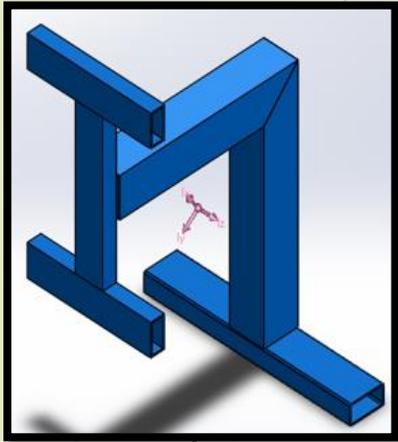
**MATERIAL:** Madera

**DIMENSIONES:** Vigas rectangulares de 40x30 mm



# CONSTRUCCIÓN DEL BRAZO DE SOPORTE PARA EL PROCESO DE PERFORACIÓN

➔ DISEÑO CAD



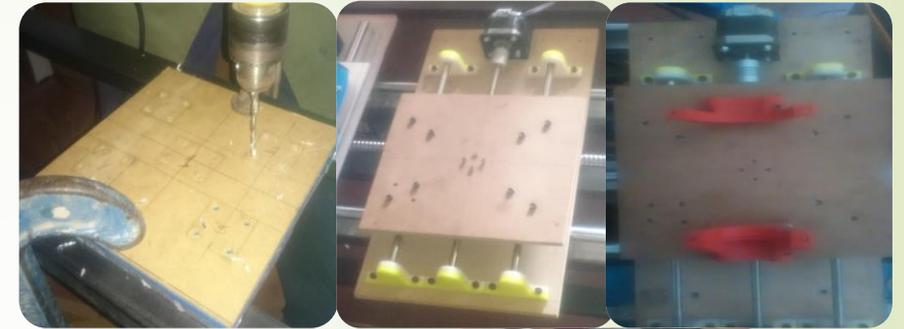
**MATERIAL:** Acero Estructural  
ASTM A36

**DIMENSIONES:** Tubo hueco  
cuadrangular de 40x40 mm  
y Tubo hueco rectangular  
de 25x50 mm

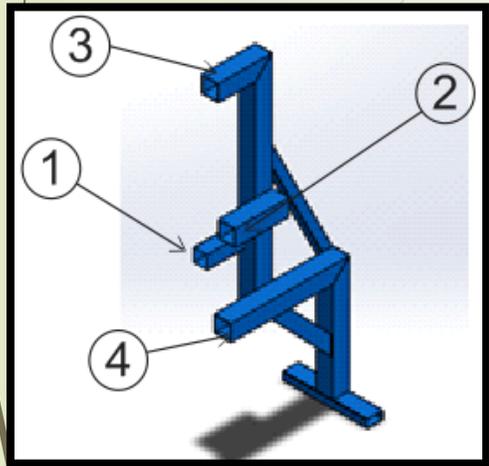
• ENSAMBLE



• IMPLEMENTACIÓN DEL EJE Z



➤ DISEÑO CAD

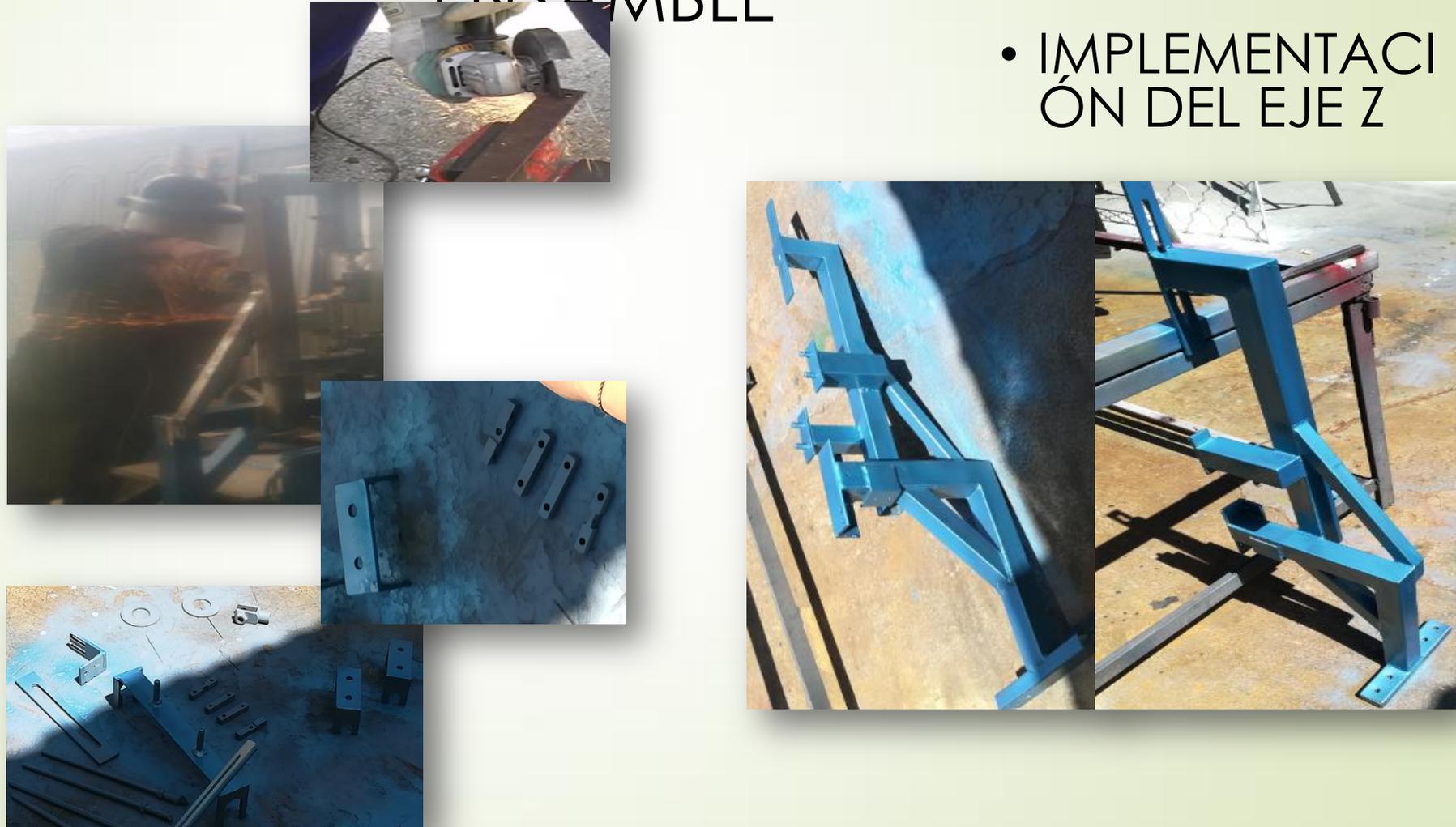


**MATERIAL:** Acero Estructural ASTM A36

**DIMENSIONES:** Tubo hueco cuadrangular de 40x40 mm y Tubo hueco rectangular de 25x50 mm

- CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

- IMPLEMENTACIÓN DEL EJE Z

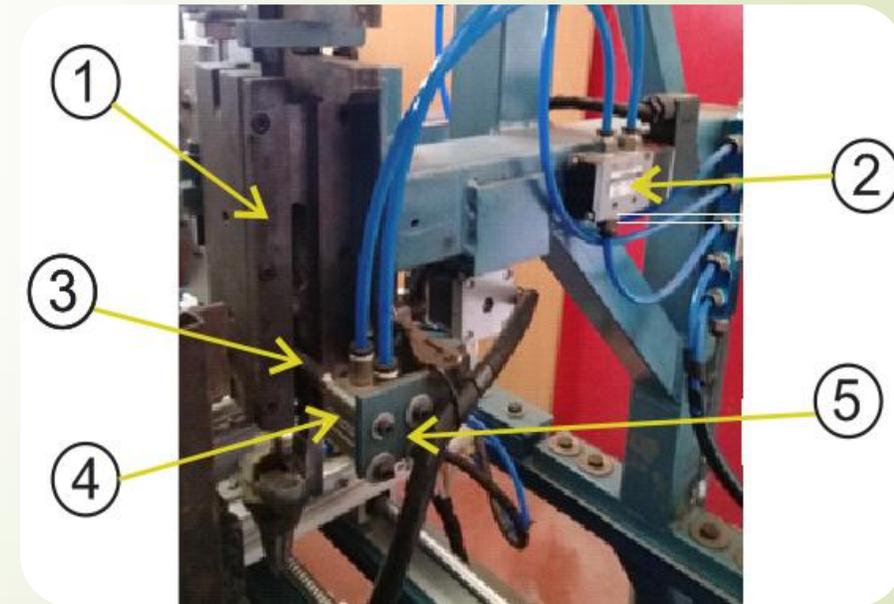
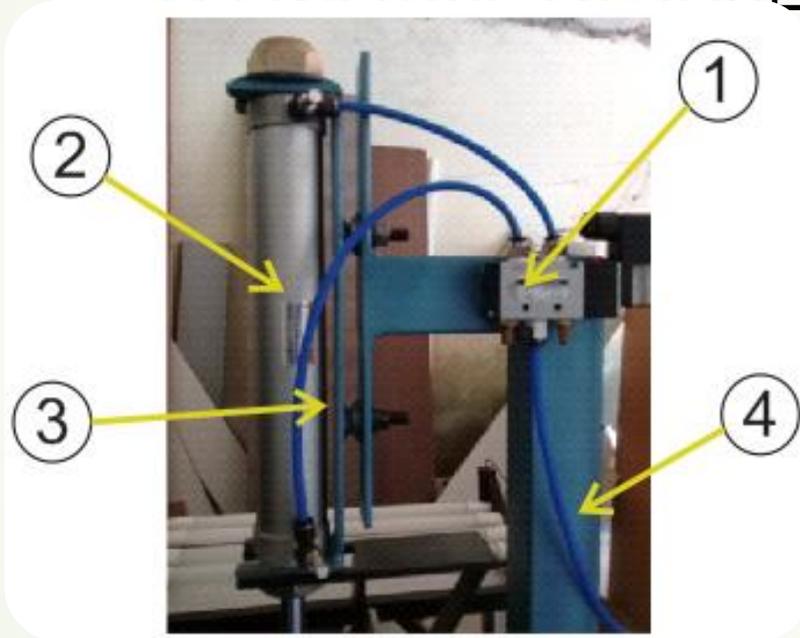


# IMPLEMENTACIÓN DEL BRAZO DE SOPORTE PARA EL PROCESO DE INSERCIÓN

- PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE ACTUADORES



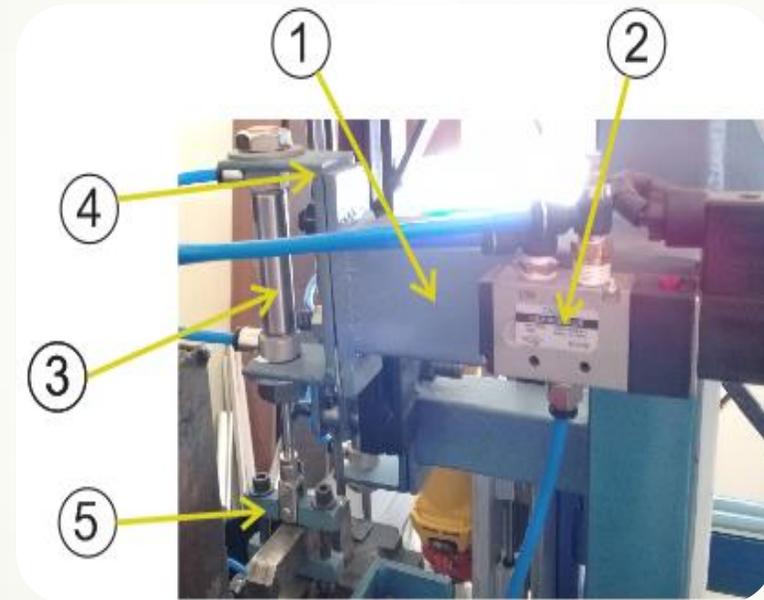
- ACOPLE DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS A LOS COMPONENTES DE LA MATRIZ DE INSERCIÓN



# IMPLEMENTACIÓN DEL BRAZO DE SOPORTE PARA EL PROCESO DE INSERCIÓN

- ACOUPLE DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS A LOS COMPONENTES DE LA MATRIZ DE INSERCIÓN

- IMPLEMENTACIÓN COMPLETA



# CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE ALIMENTADORES (CERDAS FLEXIBLES)

- DISEÑOS TENTAVIVOS

- 1ER ALIMENTADOR  
(ALIMENTADOR CIRCULAR)

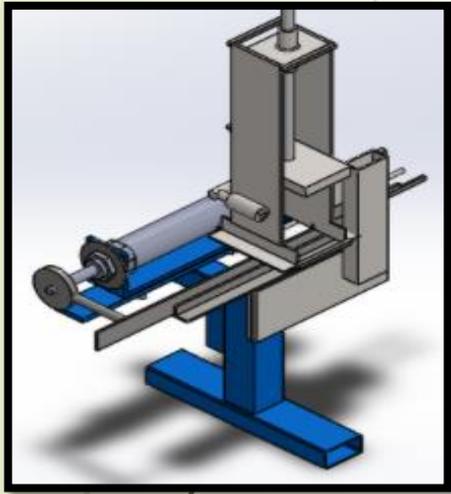


- 2DO ALIMENTADOR  
(ALIMENTADOR CIRCULAR)



# CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE ALIMENTADORES (CERDAS FLEXIBLES)

## ➤ DISEÑO CAD



**MATERIAL:** Acero Estructural  
ASTM A36

**DIMENSIONES:** Tubo hueco  
cuadrangular de 40x40 mm  
y platinas de 6 mm de espesor

## • CONSTRUCCIÓN Y IMPLEMENTACIÓN



# CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE ALIMENTADORES (CERDAS FLEXIBLES)

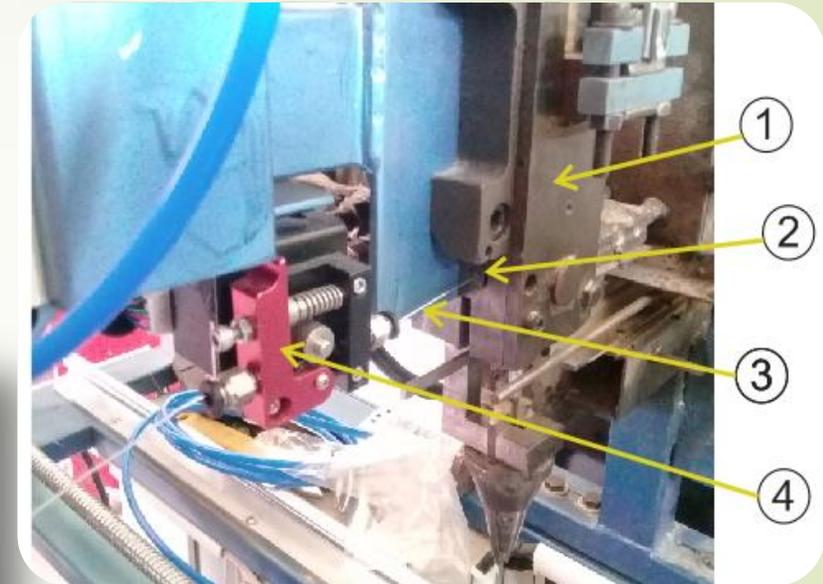
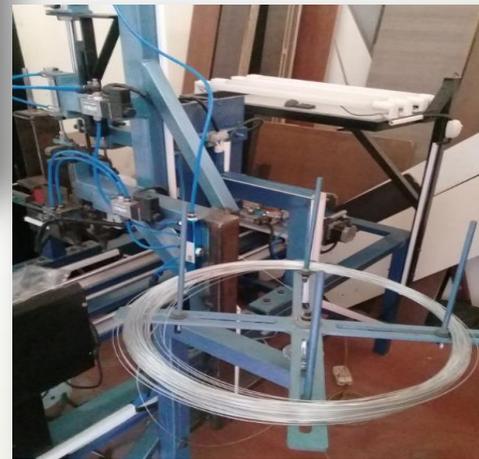
► DISEÑO CAD

- CONSTRUCCIÓN Y IMPLEMENTACIÓN



**MATERIAL:** Acero Estructural ASTM A36

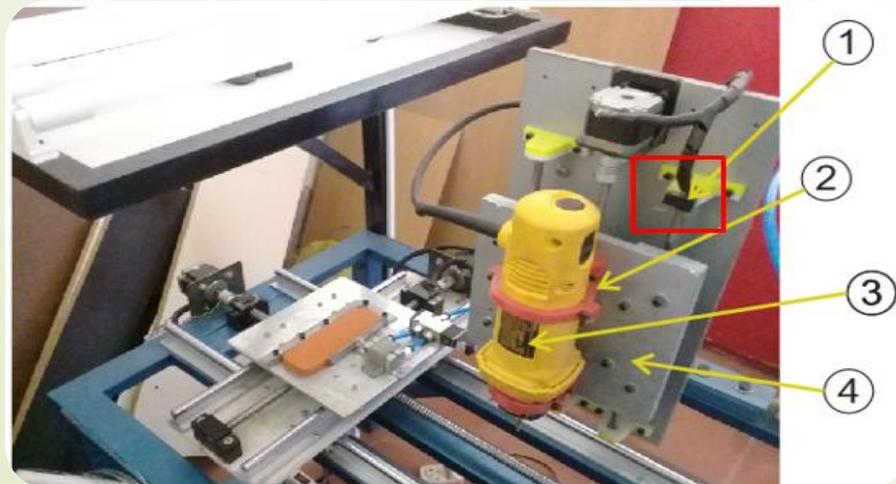
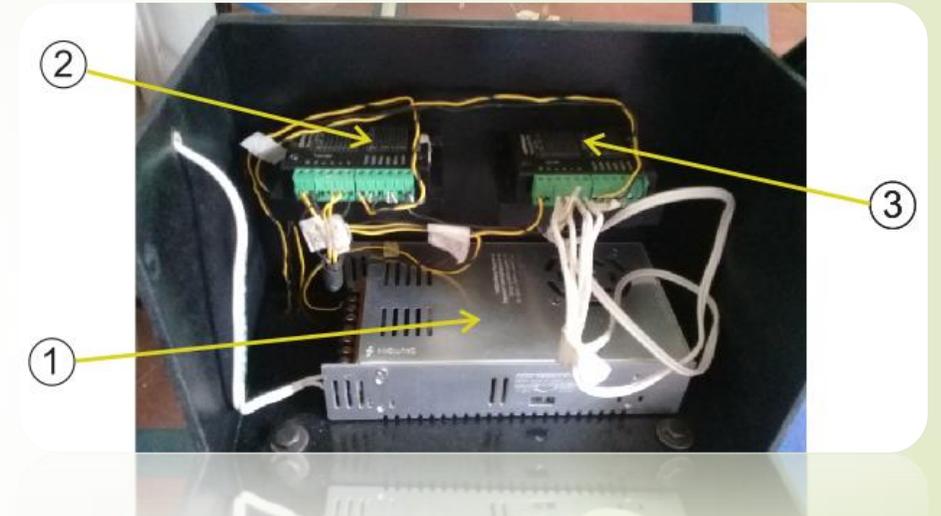
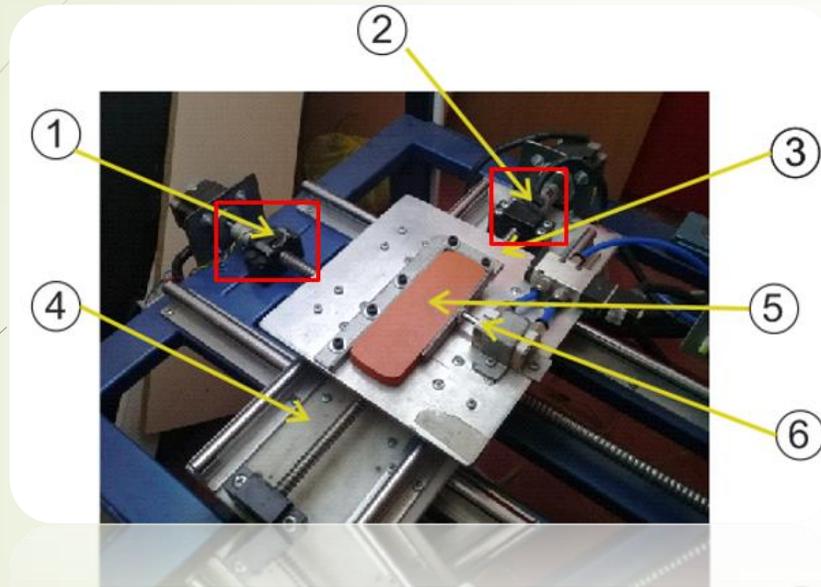
**DIMENSIONES:** Tubo hueco cuadrangular de 40x40 mm y platinas de 6 mm de espesor



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

- UBICACIÓN DE LOS FINALES DE CARRERA

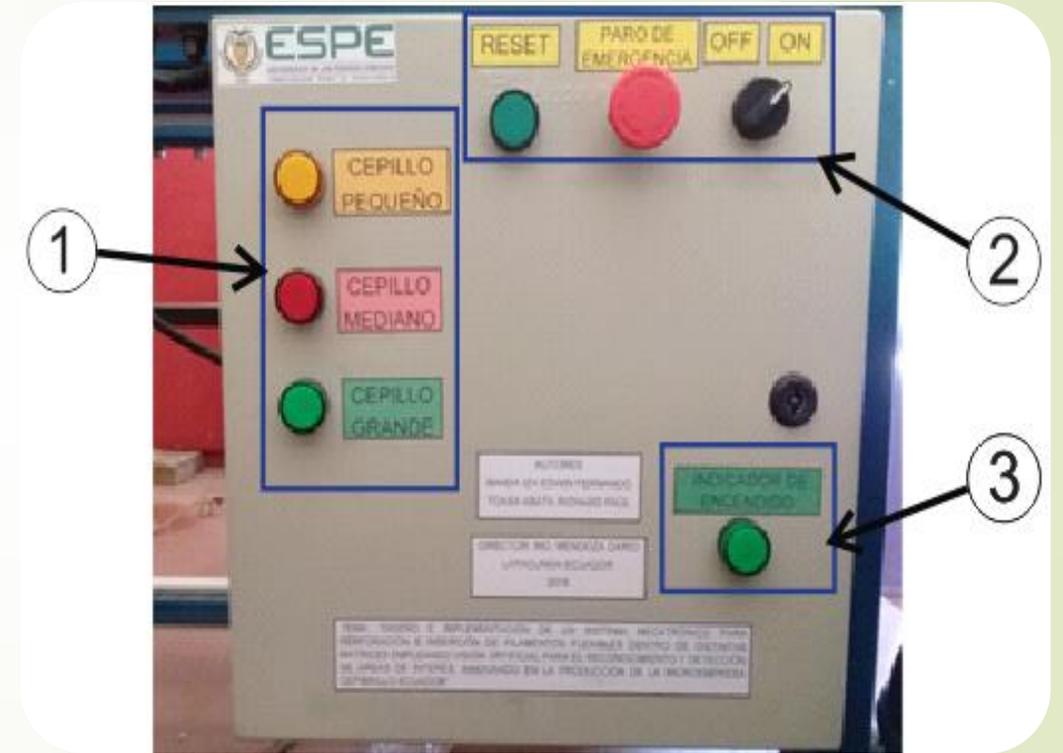
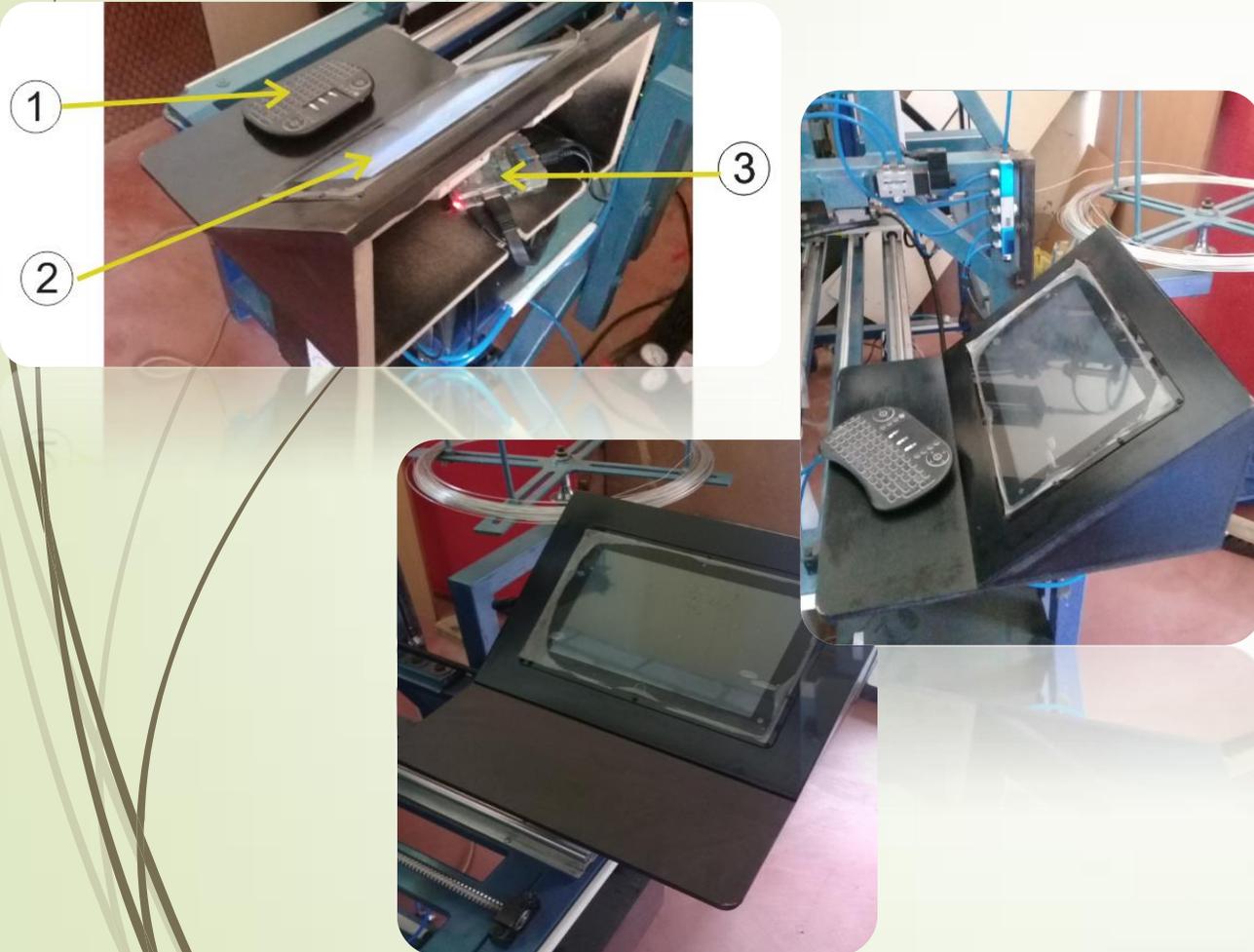
- CONEXIÓN DE MOTORES Y DRIVERS



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

➤ HMI DE LA MÁQUINA

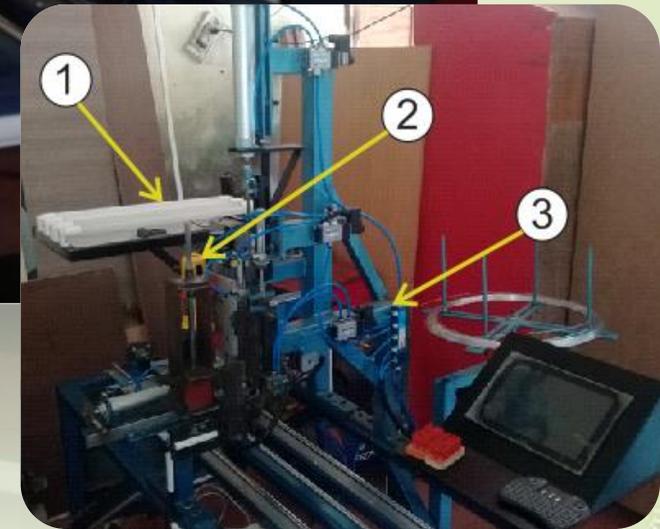
• TABLERO DE CONTROL



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

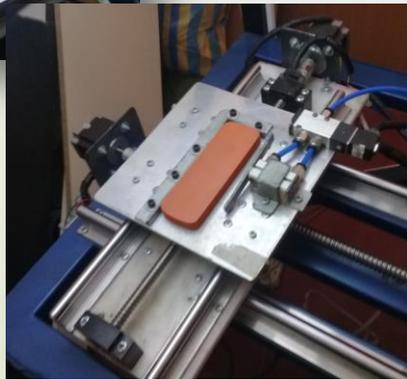
## ➤ CONEXIONES FINALES

## • ENSAMBLE FINAL DE LA MÁQUINA

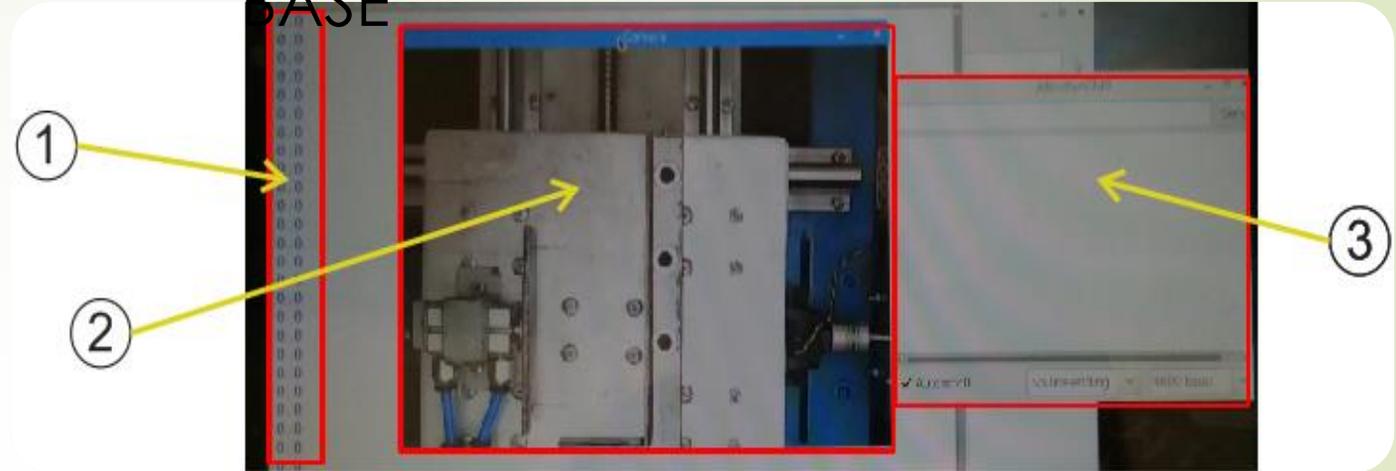


# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

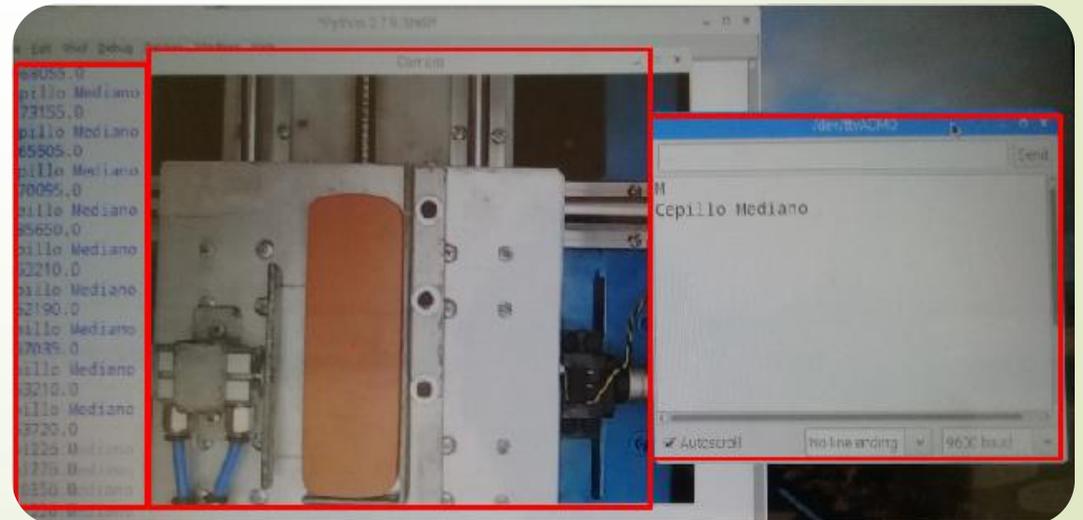
## POSICIÓN HOME



## HMI DE LA MÁQUINA SIN MATRIZ BASE

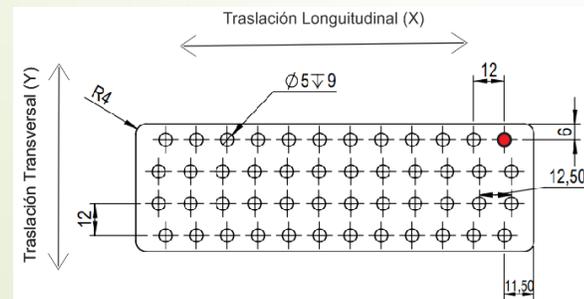
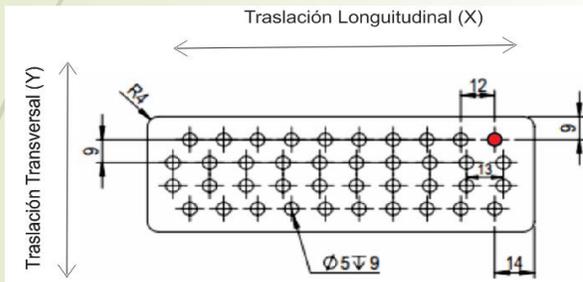
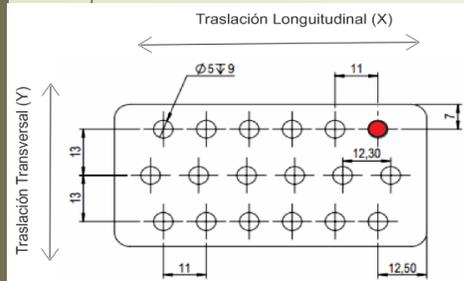


## HMI DE LA MÁQUINA CON MATRIZ BASE



## • PROCESO DE INSERCIÓN

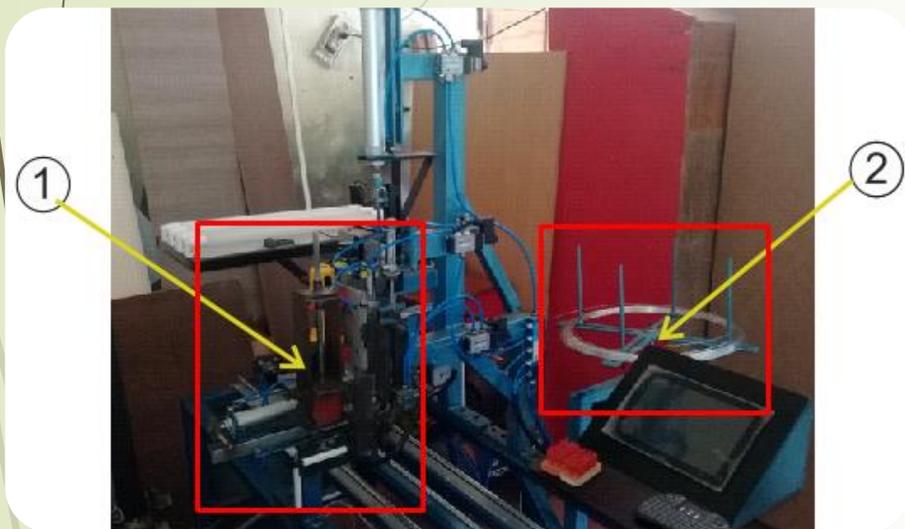
### ➤ TRASLACIÓN AL PROCESO DE PERFORACIÓN



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO PROCESO DE INSERCIÓN

- ALIMENTADORES

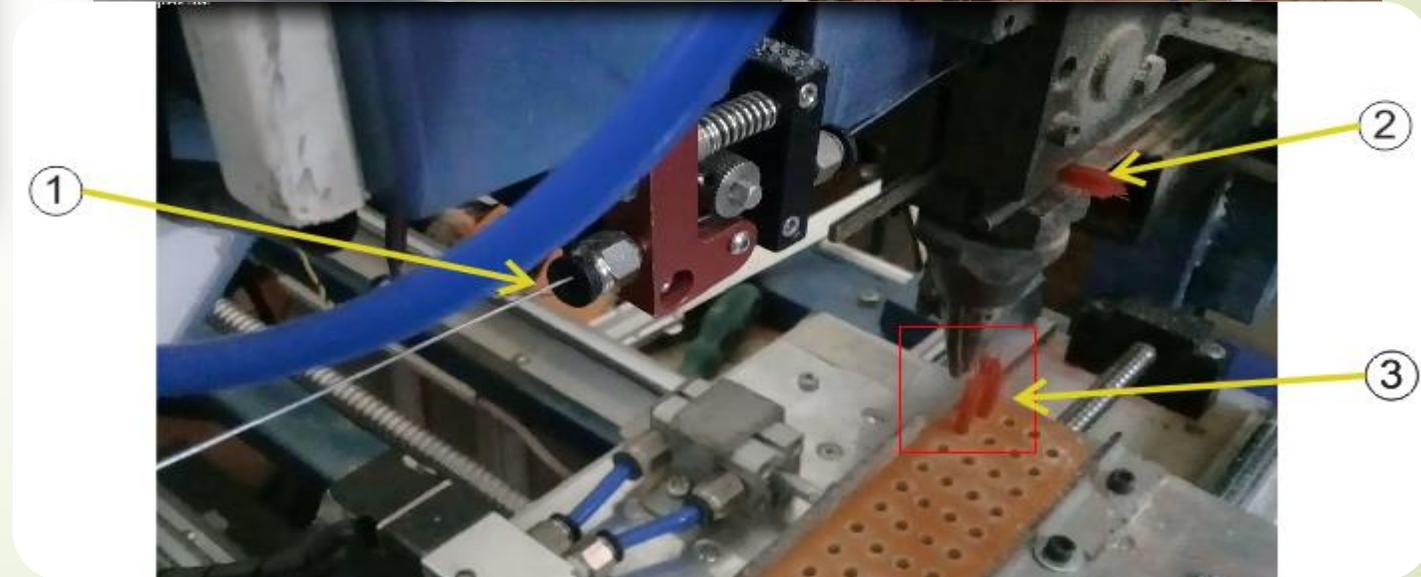
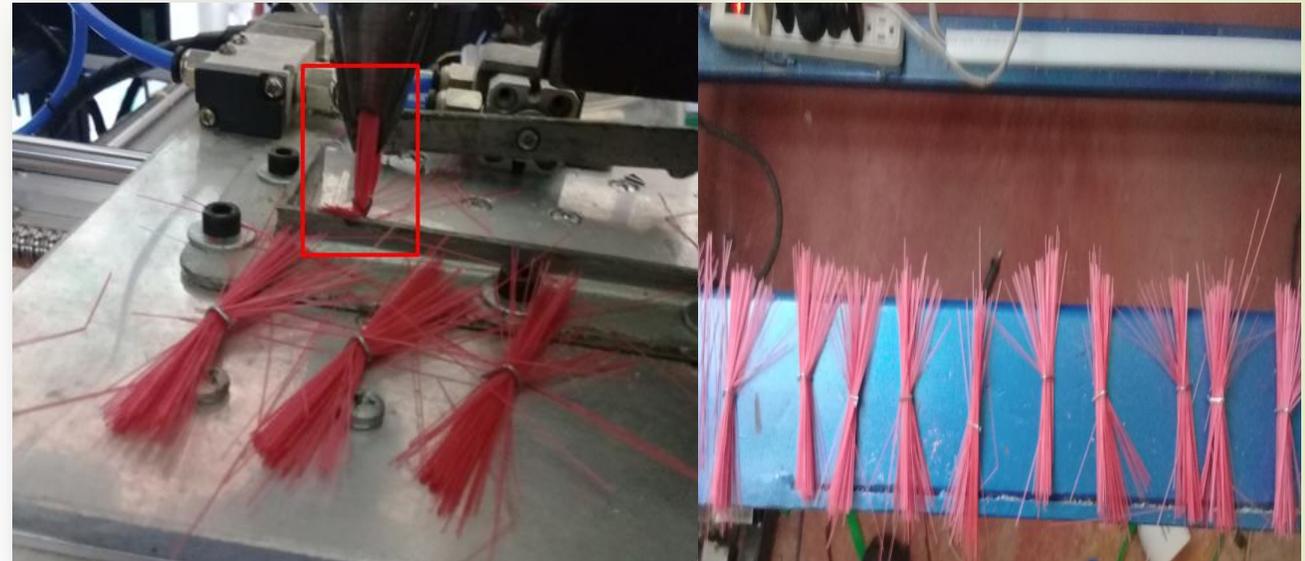
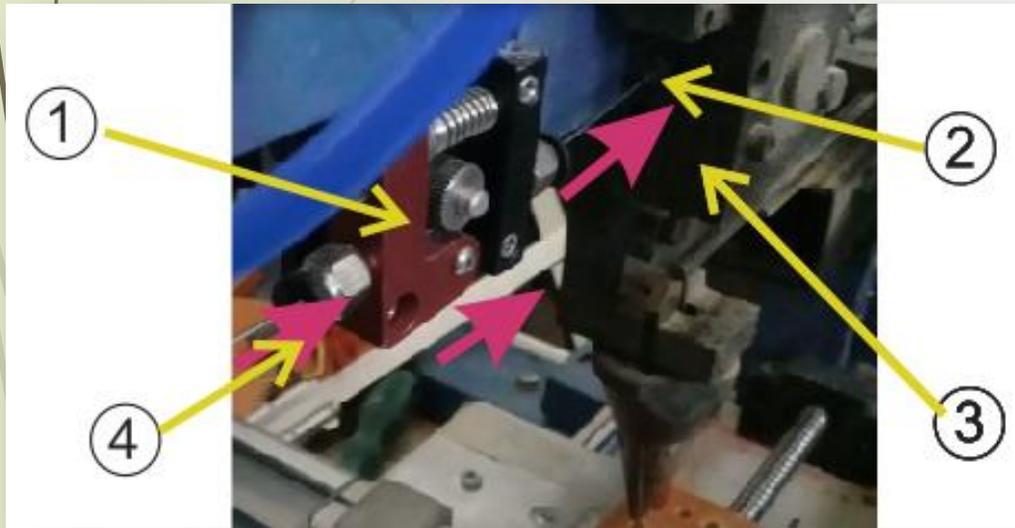
- PRUEBA DEL ALIMENTADOR DE CERDAS



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO PROCESO DE INSERCIÓN

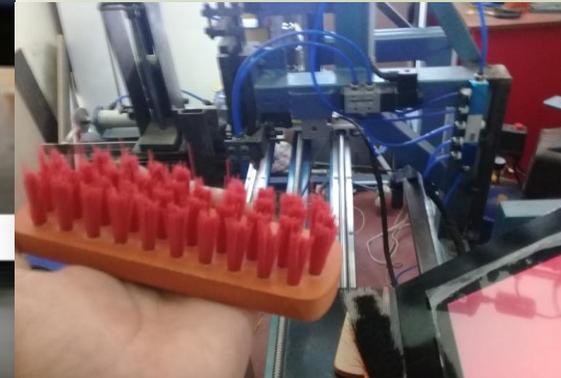
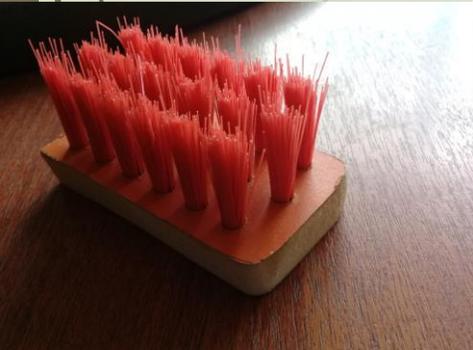
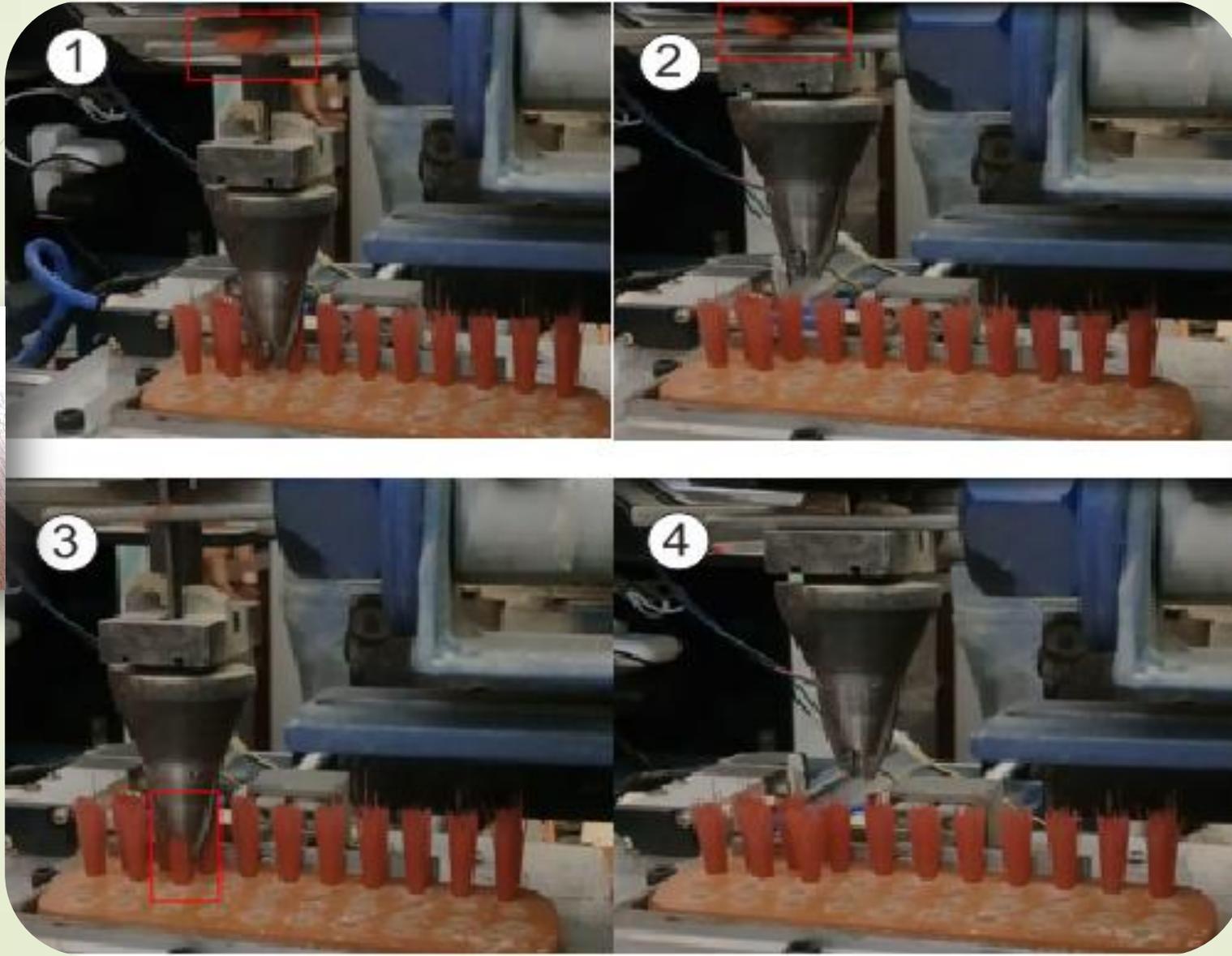
## • PROCESO DE INSERCIÓN

- PRUEBA DEL ALIMENTADOR DE ALAMBRE



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO PROCESO DE INSERCIÓN

- PROCESO DE INSERCIÓN COMPLETO



# VALIDACIÓN DE HIPOTESIS

- ¿El sistema mecatrónico de perforación e inserción de filamentos flexibles es capaz de mejorar la producción de la Microempresa CEPIBRILLO-ECUADOR en la fabricación de los tres tipos diferentes de cepillos de limpieza?

- **Variable independiente**

Sistema Mecatrónico de perforación e inserción de cerdas flexibles.

- **Variable dependiente**

Mejora en la producción de cepillos de limpieza.

**Producción de cepillos de la microempresa**

| Designación                         | Producción diaria (8 horas) | Lunes y Martes | Miércoles y Jueves | Viernes |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|---------|
| Cepillos pequeños                   | 60                          | 120            | -                  | -       |
| Cepillos medianos                   | 35                          | -              | 70                 | -       |
| Cepillos grandes                    | 30                          | -              | -                  | 30      |
| <b>Total de cepillos por semana</b> |                             |                | <b>220</b>         |         |

# VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

## Tiempos de máquina

| HOME-Proceso de Visión       | Tiempo de transición (TM1) | Proceso de Perforación | Tiempo de transición (TM2) | Proceso de Inserción | Tiempo de salida (TM3) | TOTAL                    |
|------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>CEPILLO PEQUEÑO</b>       |                            |                        |                            |                      |                        |                          |
| <b>14.67 seg</b><br>≈ 15 seg | 13.7 seg<br>≈ 14 seg       | ≈ 35 seg               | 10.2 seg<br>≈ 10 seg       | ≈ 192 seg            | ≈ 5 seg                | 271 seg<br>= 4 min 31 s  |
| <b>CEPILLO MEDIANO</b>       |                            |                        |                            |                      |                        |                          |
| ≈ 15 seg                     | 11.88 seg<br>≈ 12 seg      | ≈ 85 seg               | 7.88 seg<br>≈ 8 seg        | ≈ 434 seg            | ≈ 5 seg                | 559 seg<br>= 6 min 39 s  |
| <b>CEPILLO GRANDE</b>        |                            |                        |                            |                      |                        |                          |
| ≈ 15 seg                     | 10.62 seg<br>≈ 11 seg      | ≈ 102 seg              | 6.96 seg<br>≈ 7 seg        | ≈ 519 seg            | ≈ 5 seg                | 659 seg<br>= 10 min 59 s |

## Producción de cepillos de la máquina

| Designación                         | Tiempo de producción individual | Producción diaria (8 horas) | Lunes y Martes | Miércoles y Jueves | Viernes |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|---------|
| Cepillos pequeños                   | 5 min                           | 90                          | 180            | -                  | -       |
| Cepillos medianos                   | 7 min                           | 60                          | -              | 120                | -       |
| Cepillos grandes                    | 11 min                          | 40                          | -              | -                  | 40      |
| <b>Total de cepillos por semana</b> |                                 |                             | <b>340</b>     |                    |         |

- 50 % la producción de los cepillos pequeños
- 70 % la producción de los cepillos medianos
- 30 % la producción de los cepillos grandes.

# VALIDACIÓN DE HIPOTESIS POR EL MÉTODO DEL CHI CUADRADO

Valores de frecuencias observadas ( $f_o$ )

| PRODUCCIÓN      | TIEMPOS DE MÁQUINA (seg.) |             |             | TIEMPOS MUERTOS (seg.) |           |           | TOTAL       |
|-----------------|---------------------------|-------------|-------------|------------------------|-----------|-----------|-------------|
|                 | VISIÓN                    | PERFORACIÓN | INSERCIÓN   | (TM1)                  | (TM2)     | (TM3)     |             |
|                 |                           |             |             |                        |           |           |             |
| Cepillo Pequeño | 15                        | 35          | 192         | 14                     | 10        | 5         | 271         |
| Cepillo Mediano | 15                        | 85          | 434         | 12                     | 8         | 5         | 559         |
| Cepillo Grande  | 15                        | 102         | 519         | 11                     | 7         | 5         | 659         |
| <b>TOTAL</b>    | <b>45</b>                 | <b>222</b>  | <b>1145</b> | <b>37</b>              | <b>25</b> | <b>15</b> | <b>1489</b> |

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

| Grados de libertad | Probabilidad     |      |      |      |      |       |       |       |               |       |       |
|--------------------|------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                    | 0,95             | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,50 | 0,30  | 0,20  | 0,10  | 0,05          | 0,01  | 0,001 |
| 1                  | 0,004            | 0,02 | 0,06 | 0,15 | 0,46 | 1,07  | 1,64  | 2,71  | 3,84          | 6,64  | 10,83 |
| 2                  | 0,10             | 0,21 | 0,45 | 0,71 | 1,39 | 2,41  | 3,22  | 4,60  | 5,99          | 9,21  | 13,82 |
| 3                  | 0,35             | 0,58 | 1,01 | 1,42 | 2,37 | 3,66  | 4,64  | 6,25  | 7,82          | 11,34 | 16,27 |
| 4                  | 0,71             | 1,06 | 1,65 | 2,20 | 3,36 | 4,88  | 5,99  | 7,78  | 9,49          | 13,28 | 18,47 |
| 5                  | 1,14             | 1,61 | 2,34 | 3,00 | 4,35 | 6,06  | 7,29  | 9,24  | 11,07         | 15,09 | 20,52 |
| 6                  | 1,63             | 2,20 | 3,07 | 3,83 | 5,35 | 7,23  | 8,56  | 10,64 | 12,59         | 16,81 | 22,46 |
| 7                  | 2,17             | 2,83 | 3,82 | 4,67 | 6,35 | 8,38  | 9,80  | 12,02 | 14,07         | 18,48 | 24,32 |
| 8                  | 2,73             | 3,49 | 4,59 | 5,53 | 7,34 | 9,52  | 11,03 | 13,36 | 15,51         | 20,09 | 26,12 |
| 9                  | 3,32             | 4,17 | 5,38 | 6,39 | 8,34 | 10,66 | 12,24 | 14,68 | 16,92         | 21,67 | 27,88 |
| 10                 | 3,94             | 4,86 | 6,18 | 7,27 | 9,34 | 11,78 | 13,44 | 15,99 | 18,31         | 23,21 | 29,59 |
|                    | No significativo |      |      |      |      |       |       |       | Significativo |       |       |

•  $\chi^2$  calculado

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

→  $\chi^2$  calculado >  $\chi^2$  crítico

30.06 > 23.21

Esto representa que la implementación del sistema mecatrónico de perforación e inserción de cerdas flexibles, mejora la producción de los cepillos sean estos pequeños, medianos y grandes

# VALIDACIÓN DE HIPOTESIS POR EL MÉTODO DEL CHI CUADRADO

## Calidad del producto final

| Designación       | Cantidad de muestras | Cantidad de huecos a insertar por muestra | Cantidad de huecos a insertar | Fallos de inserción | Porcentaje de error (%) |
|-------------------|----------------------|---|-------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Cepillos pequeños | 10                   | 18  | 180                           | 2                   | 1.1                     |
| Cepillos medianos | 10                   | 40  | 400                           | 13                  | 3.25                    |
| Cepillos grandes  | 10                   | 48  | 480                           | 29                  | 6.04                    |

### Valores de frecuencias observadas ( $f_o$ )

| TIPOS DE CEPILLOS | PERFORACIÓN E INSERCIÓN DE LA MÁQUINA |            | TOTAL |
|-------------------|---------------------------------------|------------|-------|
|                   | Correcto                              | Incorrecto |       |
| Cepillo Pequeño   | 178                                   | 2          | 180   |
| Cepillo Mediano   | 387                                   | 13         | 400   |
| Cepillo Grande    | 451                                   | 29         | 480   |
| TOTAL             | 1016                                  | 44         | 1060  |

- $x^2$  calculado

$$x^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

$$\rightarrow x^2_{\text{calculado}} > x^2_{\text{crítico}}$$

$$9.310 > 9.21$$

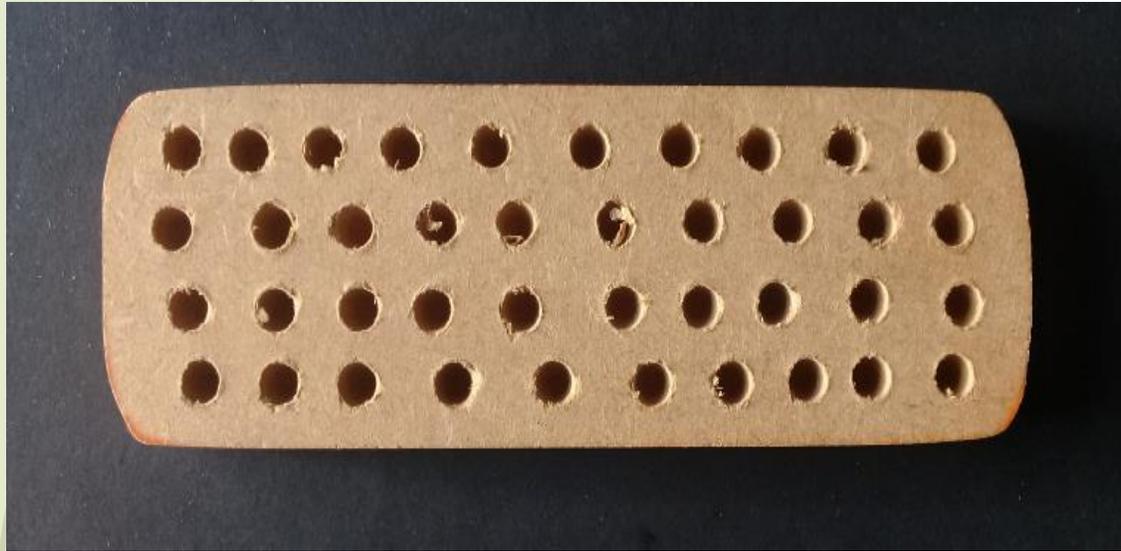
### DISTRIBUCION DE $\chi^2$

| Grados de libertad | Probabilidad     |      |      |      |      |       |       |       |               |       |       |
|--------------------|------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                    | 0,95             | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,50 | 0,30  | 0,20  | 0,10  | 0,05          | 0,01  | 0,001 |
| 1                  | 0,004            | 0,02 | 0,06 | 0,15 | 0,46 | 1,07  | 1,64  | 2,71  | 3,84          | 6,64  | 10,83 |
| 2                  | 0,10             | 0,21 | 0,45 | 0,71 | 1,39 | 2,41  | 3,22  | 4,60  | 5,99          | 9,21  | 13,82 |
| 3                  | 0,35             | 0,58 | 1,01 | 1,42 | 2,37 | 3,66  | 4,64  | 6,25  | 7,82          | 11,34 | 16,27 |
| 4                  | 0,71             | 1,06 | 1,65 | 2,20 | 3,36 | 4,88  | 5,99  | 7,78  | 9,49          | 13,28 | 18,47 |
| 5                  | 1,14             | 1,61 | 2,34 | 3,00 | 4,35 | 6,06  | 7,29  | 9,24  | 11,07         | 15,09 | 20,52 |
| 6                  | 1,63             | 2,20 | 3,07 | 3,83 | 5,35 | 7,23  | 8,56  | 10,64 | 12,59         | 16,81 | 22,46 |
| 7                  | 2,17             | 2,83 | 3,82 | 4,67 | 6,35 | 8,38  | 9,80  | 12,02 | 14,07         | 18,48 | 24,32 |
| 8                  | 2,73             | 3,49 | 4,59 | 5,53 | 7,34 | 9,52  | 11,03 | 13,36 | 15,51         | 20,09 | 26,12 |
| 9                  | 3,32             | 4,17 | 5,38 | 6,39 | 8,34 | 10,66 | 12,24 | 14,68 | 16,92         | 21,67 | 27,88 |
| 10                 | 3,94             | 4,86 | 6,18 | 7,27 | 9,34 | 11,78 | 13,44 | 15,99 | 18,31         | 23,21 | 29,59 |
|                    | No significativo |      |      |      |      |       |       |       | Significativo |       |       |

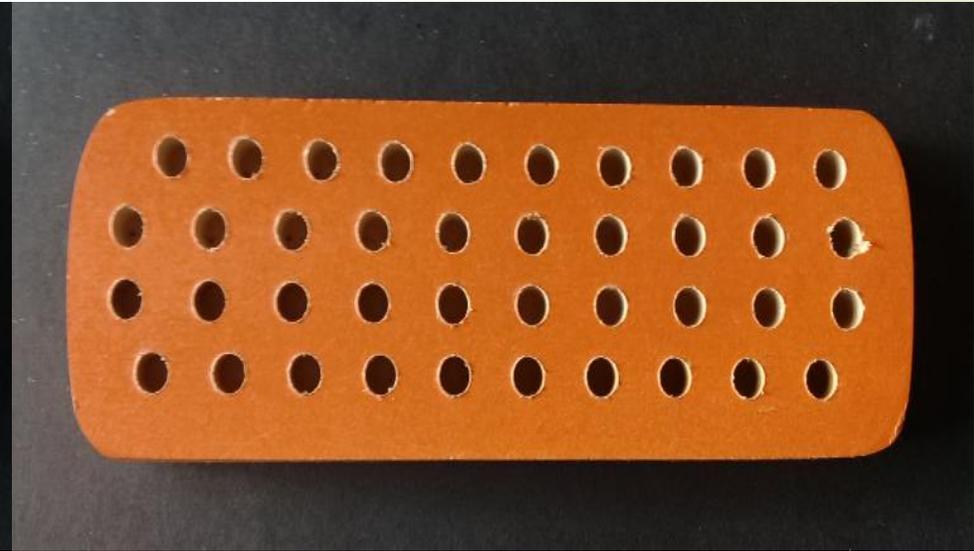
La calidad del producto final (cepillos de limpieza) mejora al emplear el sistema mecatrónico de perforación e inserción de filamentos flexibles.

# COMPARACIÓN DE PRODUCTOS

- PERFORACIÓN MANUAL



- PERFORACIÓN EN MÁQUINA

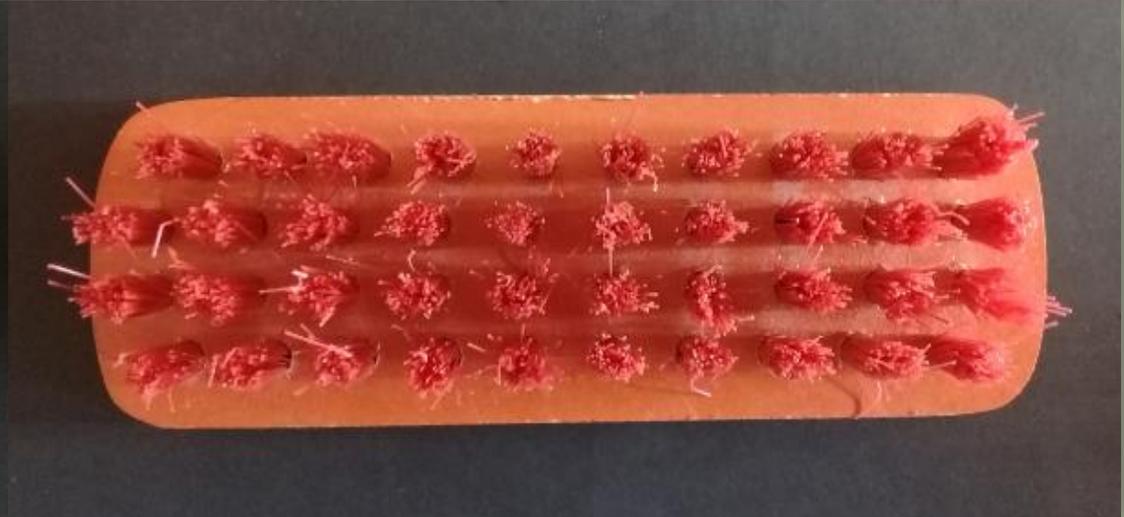
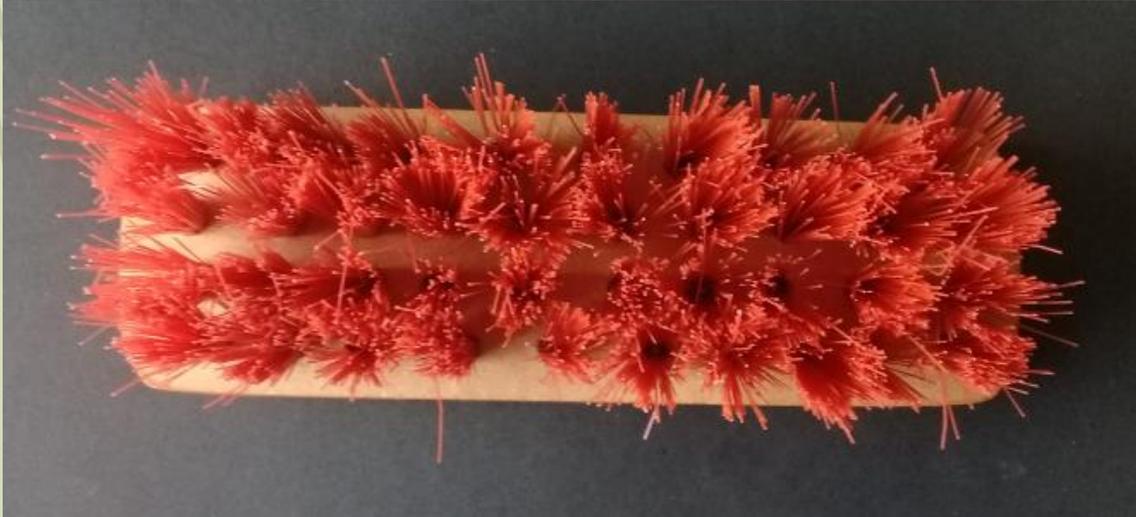


# COMPARACIÓN DE PRODUCTOS

- INSERCIÓN MANUAL



- INSERCIÓN EN MÁQUINA



# CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema mecatrónico auto configurable, que dentro de su funcionalidad dispone de tres procesos: el primer proceso de visión artificial se encarga de la categorización de 3 tipos de matrices, siendo estas las bases de madera para los cepillos pequeños, medianos y grandes; el segundo proceso se encarga de la perforación completa de la matriz dependiendo del diseño del cepillo preclasificado, y el tercer proceso se encarga del corte y embutido del alambre para posteriormente realizar la inserción de los filamentos flexibles.
- La indagación de información acerca de este tipo de maquinaria, no se la encuentra con facilidad, ya que las empresas y microempresas que se dedican a la actividad de ensamblarlas, no proporcionan ni detallan información alguna para el desarrollo de estos tipos de máquina, por ser posibles competencias para las mismas.
- Las piezas y mecanismos para el sistema de inserción, específicamente para la matriz de inserción que es el núcleo de este proceso, son muy complicadas de replicar, ya que no existe la apertura por parte de empresas en el país que disponen de esta maquinaria y es posible solo adquirir la matriz de inserción de empresas extranjeras, que se dedican netamente a la construcción de este tipo de máquinas, además representa un costo demasiado elevado solo para este componente.

# CONCLUSIONES

- ▶ Para el proyecto se partió de una matriz ya obsoleta de la empresa “La hogareña”, a dicha matriz fue necesario realizarle un proceso de repotenciación, para que pueda obtener su funcionalidad inicial y pueda servir al desarrollo del proyecto.
- ▶ La implementación del sistema mecatrónico, logra reducir en un 85% el costo en la adquisición de una máquina semiautomática similar, y tomando en cuenta que en el país existe maquinaria netamente mecánica, se reduce el costo en un 28 %, logrando un costo de implementación muy competitivo a nivel nacional.
- ▶ A diferencia de las máquinas electromecánicas disponibles en el país, que simplemente pueden realizar de uno a tres modelos de cepillos por máquina, todo esto debido a que es muy complejo configurar sus sistemas de movimientos mecánicos; la máquina implementada puede realizar el diseño de cualquier tipo de cepillo de limpieza, no solo de formas rectangulares sino también con formas libres dependiendo del fabricante, debido a que la máquina es un sistema mecatrónico completamente flexible.
- ▶ A pesar de que existen empresas consolidadas en el país dedicadas a la producción de cepillos y escobas, esta actividad no se encuentra definida como una actividad económica, posiblemente porque dicha actividad se encuentra relacionada a generar una expectativa solo de trabajo u ocupación en sectores rurales, como en la parroquia San Juan de Pastocalle.

# CONCLUSIONES

- ▶ En el país no existe alguna empresa que se dedique a la construcción e implementación de maquinaria de este tipo, maquinaria enfocada a la elaboración de cepillos de limpieza, por ende el proyecto desarrollado representa un gran paso en este campo y puede servir de base para futuras mejoras.
- ▶ Para todo el ensamble de la máquina se empleó tornillos y pernos de grado 8, tomando en cuenta que toda la estructura se encontrará sometida a cargas externas, evitando que el sistema mecatrónico falle en cualquier momento.
- ▶ La tarjeta Raspberry Pi 3 al disponer de puertos USB, se encarga de energizar a la tarjeta Arduino Mega y permite la comunicación serial entre sí, y como la detección de las áreas de interés es en tiempo real, no genera tiempos muertos entre el proceso de visión y los procesos subsiguientes.

# CONCLUSIONES

- ▶ La implementación del proceso de visión al inicio del sistema mecatrónico, cumple una función muy positiva, no solo para el autoajuste de los procesos posteriores de acuerdo a la matriz dispuesta, sino que también cuida de la integridad de la máquina, al asegurar que el proceso a desarrollarse sea específicamente para la matriz dada, de esta manera no desperdicia material al realizar un proceso inadecuado para una matriz errónea.
- ▶ La producción diaria de cepillos, al implementar la máquina es de aproximadamente 90, 60 y 40 en cepillos pequeños, medianos y grandes respectivamente, es decir se mejora en un 50 % la producción de los cepillos pequeños, en un 70 % la producción de los cepillos medianos y en un 30 % la producción de los cepillos grandes, dicha producción se encuentra comparada con la producción manual de la microempresa CEPIBRILLO-ECUADOR.
- ▶ Se diseñó 3 tipos de alimentadores de cerdas flexibles, tomando en consideración la disponibilidad de las partes mecánicas y eléctricas, por lo que se optó por un alimentador lineal y un actuador neumático, por la facilidad de acople. Dicho sistema es inventiva propia, y al ser un complemento de la matriz de inserción, su estructura general es robusta y simplificada, además de ser muy precisa en llevar la cantidad exacta de cerdas flexibles hacia la matriz,

# CONCLUSIONES

- ▶ El manejo de la máquina es muy amigable con el operador, debido a que al ser autónoma y disponer del proceso de visión artificial, sólo requiere que se disponga o se coloque la matriz base a fabricar en la mesa superior y los procesos posteriores lo realiza la máquina.
- ▶ Por cualquier motivo de inseguridad por parte del operador, la máquina cuenta con botoneras de fácil acceso en su área de operación, dichas botoneras son Inicio, Paro de emergencia y Reset.
- ▶ En cada oportunidad que el operador presione el paro de emergencia, se debe accionar el botón Reset para que la máquina excluya todos los procesos que en el momento se encuentran corriendo y reinicie todo el funcionamiento, es decir cortará todo tipo de proceso actual y volverá a la posición HOME.
- ▶ La velocidad del sistema de movimiento referido a las mesas de trabajo, se encuentran directamente ligadas a los pasos de los husillo de bolas y también a la programación en el control de sus motores, por medio de pruebas se obtuvo que el tiempo máximo entre la activación y desactivación de los pasos del motor, en la programación es de 800 microsegundos.

# CONCLUSIONES

- ▶ Las carreras de los actuadores deben ser exactas al momento de acoplarlos a los componentes independientes de la matriz de inserción, por lo que se ubicaron topes mecánicos para ajustar las carreras en los actuadores neumáticos no disponibles en el país.
- ▶ Todas las fuentes de poder deben estar aisladas unas de otras, evitando que los ruidos eléctricos que afecten la funcionalidad de los drivers y tarjetas de control.
- ▶ Se debe considerar el tiempo de importación de todos los materiales a emplearse en el proyecto, para evitar retardos innecesarios en su desarrollo.

# RECOMENDACIONES

- ▶ Una buena lubricación es esencial para el funcionamiento adecuado de los tornillos de potencia y ejes guía, un lubricante de calidad ayuda a prolongar la vida útil de los mismos.
- ▶ Es recomendable comprobar en cada arranque de la máquina, la calidad de la lubricación, es decir una revisión regularmente mensual, por si la grasa o lubricación de los husillos puede optar por un color más oscuro, siendo un indicio de oxidación o suciedad en el entorno por lo que se debe volver a lubricar.
- ▶ Si el sistema de inserción falla en el embutido del alambre para la formación de la grapa, es decir no arroja la grapa de manera constante en pruebas al vacío (ver manual de operación), se debe calibrar la carrera del marco que se encuentra acoplado al vástago del actuador neumático.

# RECOMENDACIONES

- ▶ La punta del alambre debe posicionarse exactamente en la entrada lateral de la perforación que tiene la matriz de inserción, para así evitar posibles choques del alambre en el momento de traslación a su interior.
- ▶ Para aumentar la velocidad de la máquina se recomienda cambiar los husillos de bolas, por una designación de husillos de cuatro hilos de entrada.
- ▶ Es recomendable emplear para el sistema de inserción una alimentación de aire igual o mayor a 70 bares, evitando así posibles problemas de corte del alambre o procesos de inserción.
- ▶ Para el manejo óptimo de la máquina, se recomienda capacitarse con el manual de usuario y de esta manera prevenir cualquier fallo innecesario.
- ▶ Para el sistema de inserción, al seleccionar las carreras de los actuadores, se debe tomar en cuenta el desplazamiento exacto de los componentes independientes de la matriz de inserción.

# RECOMENDACIONES

- ▶ Al terminar de calibrar las velocidades de cada actuador neumático, se deben ajustar completamente las contra tuercas de las válvulas de velocidad, para evitar posibles cambios o alteraciones en su velocidad de funcionamiento.
- ▶ El dosificador de cerdas flexibles debe estar siempre al 25 % o más de su contenedor, de la misma manera debe estar ubicado el contrapeso para evitar fallos en la cantidad exacta que debe llevar el eje guía lineal del alimentador.