

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de:**  
**Ingeniero en Mecatrónica**

“Diseño y construcción de una máquina para limpieza de patas de bovinos mediante la utilización de línea de fuego mejorando la calidad y uso de recursos, en la ciudad de Latacunga.”

**Autor:** Martínez Cangui, Stalyn Javier

**Director:** Ing. Mendoza Chipantasi, Darío José

**Latacunga, 2023**



## Antecedentes



Pata de res  
limpia



Caldo de pata  
de res

## Planteamiento del Problema

Patatas de ganado bovino



Proceso artesanal



Proceso industrial





## Objetivos Específicos

Recopilar información sobre las técnicas de construcción de máquinas de limpieza de patas de res.

Diseñar el mecanismo de las estaciones para remoción y cepillado con ayuda de un software CAD.

Análisis estructural para el correcto dimensionamiento de la máquina, CAE.

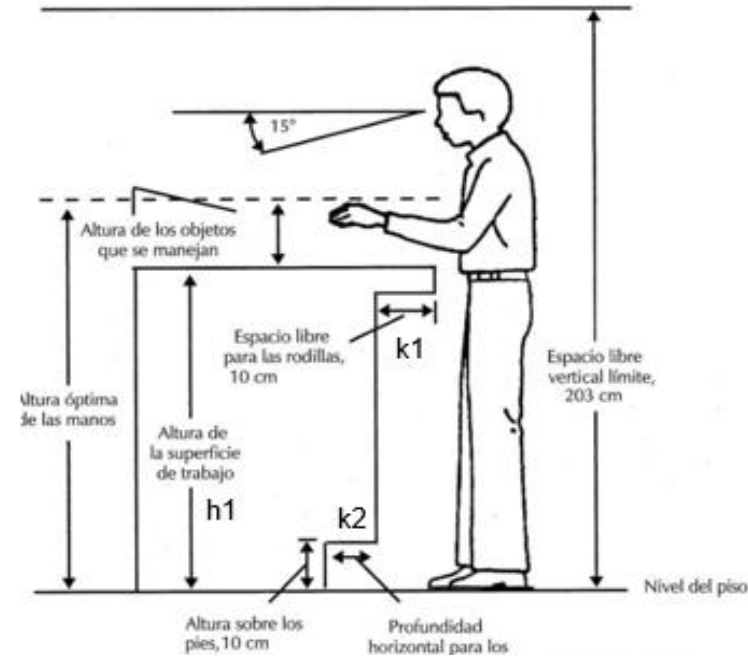
Implementar una etapa de control mediante visión artificial que identifique la calidad de la limpieza y cepillado de la pata de res.

Diseñar un control semiautomático que permita el correcto funcionamiento de la máquina.

Evaluar y validar el funcionamiento de la máquina automatizada.

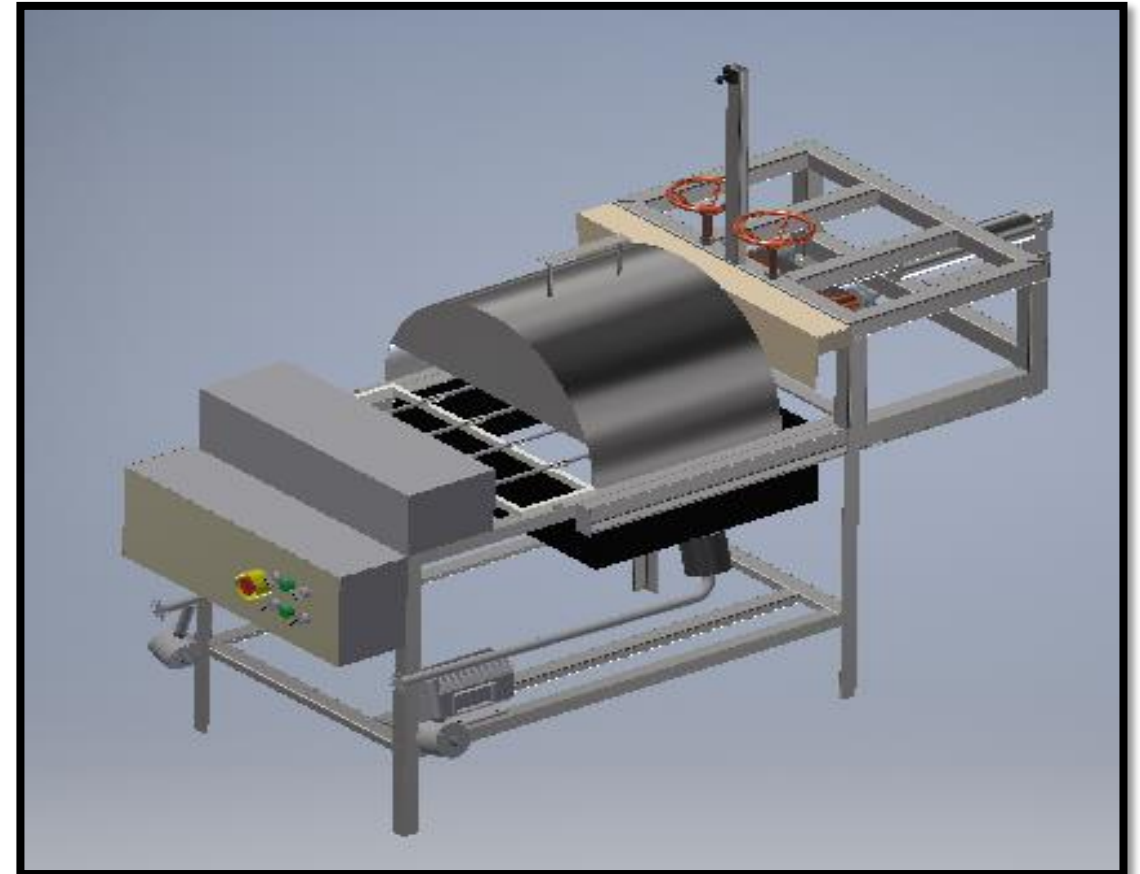
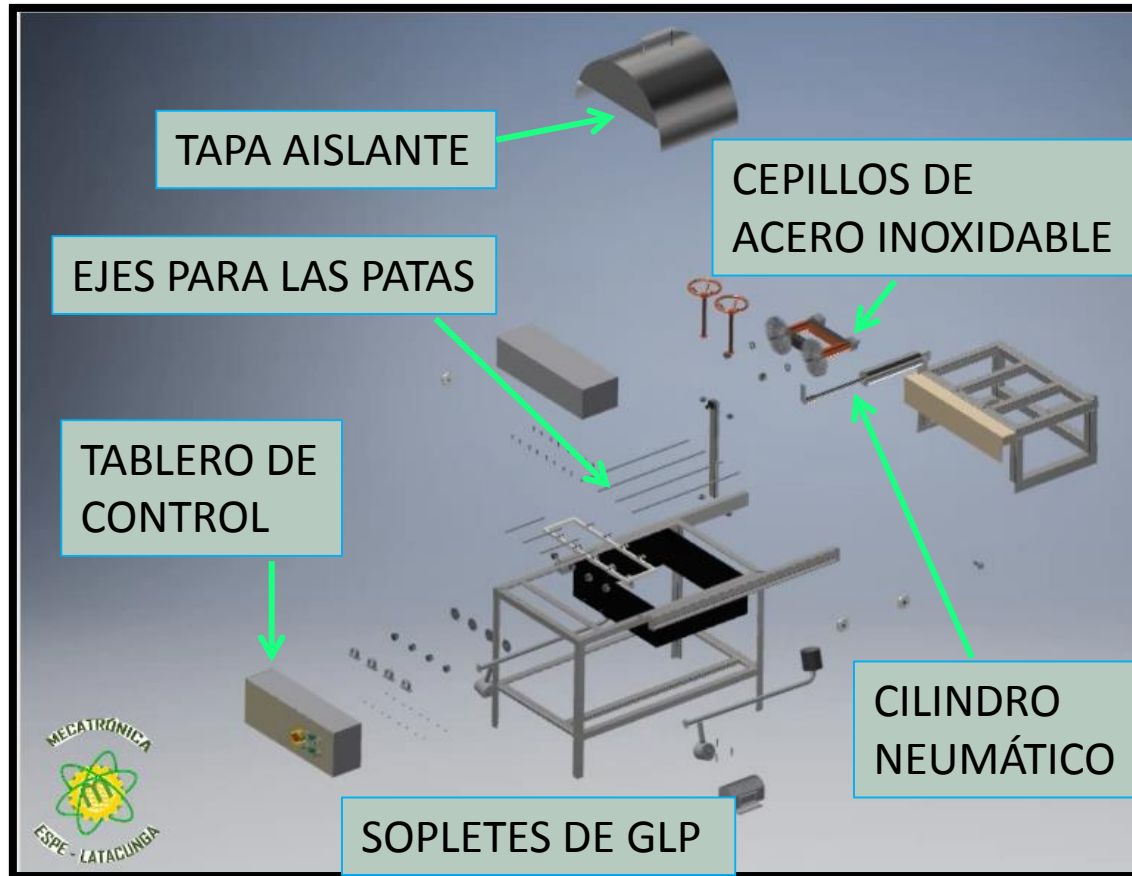
## Percentiles de mesa de trabajo

Dimensiones recomendadas para la estación de trabajo de pie

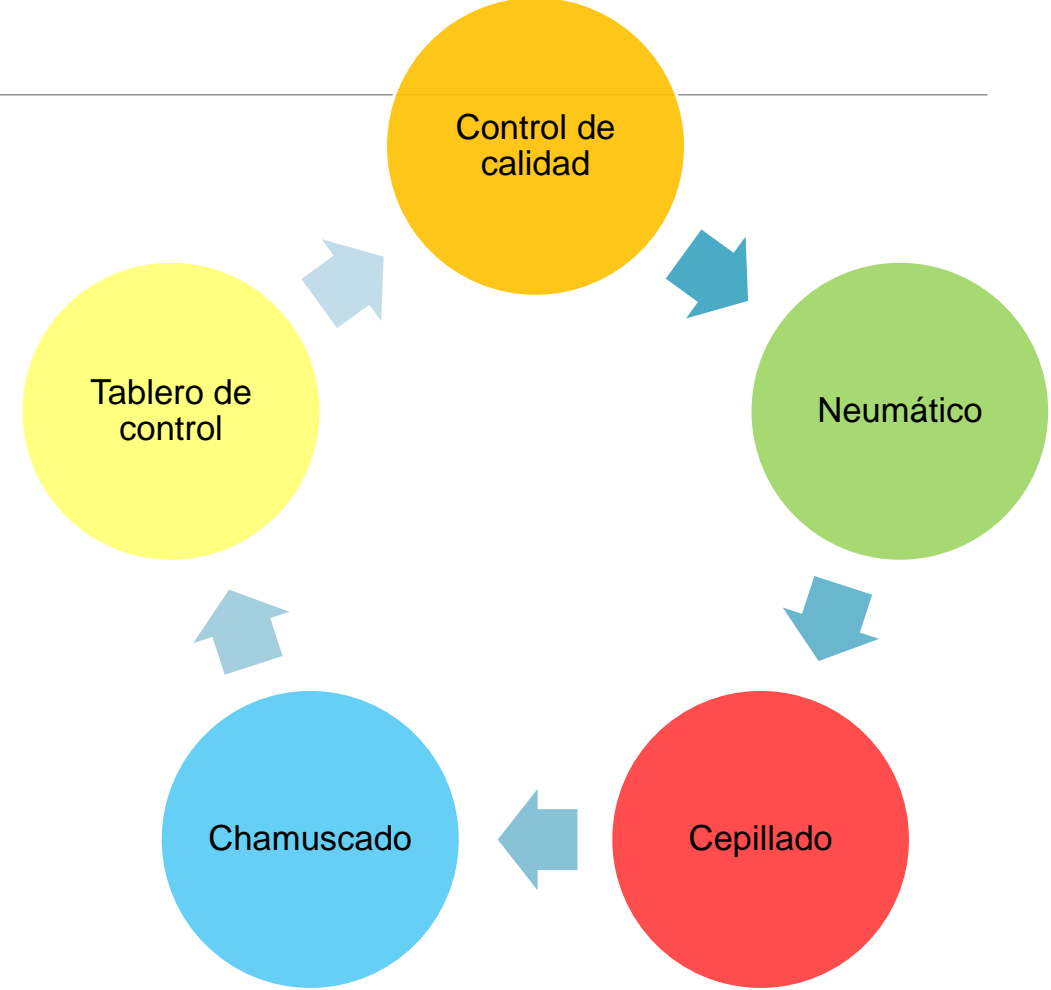
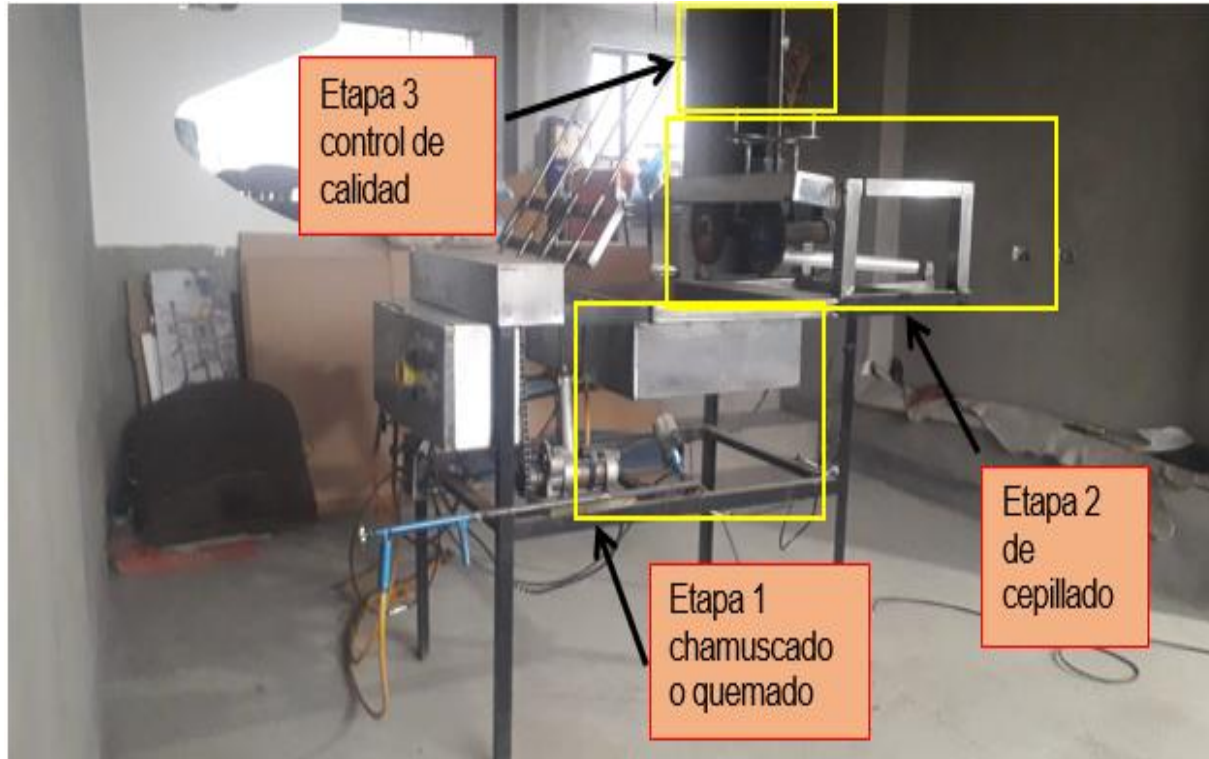


Dimensiones		Tipo de mesa de trabajo/escritorio							
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D				
		Plenamente regulable	Plenamente ajustable	Altura fija	Regulable o ajustable de forma limitada*				
h <sub>1</sub>	Altura de la superficie de trabajo	Solo sentado	Rango mínimo 650-850	Rango mínimo 650-850 <sup>a</sup>	740±20	- tolerancia	Min. 680	Máx. 760	+tolerancia
		Solo de pie	Rango mínimo 950-1250	Rango mínimo 950-1250 <sup>a</sup>	1050±20	- tolerancia	Min. 1000	Máx. 1 180	+tolerancia
	Sentado/ de pie	Rango mínimo 650-1250	n.a	n.a	Rango mínimo 680 - 1 180				

# Despiece de la máquina de limpieza para patas de bovinos



# Sistemas que integran la máquina



## Sistema de control de calidad



### Calidad buena

- Color característico blanco



### Calidad mala

- Color característico negro

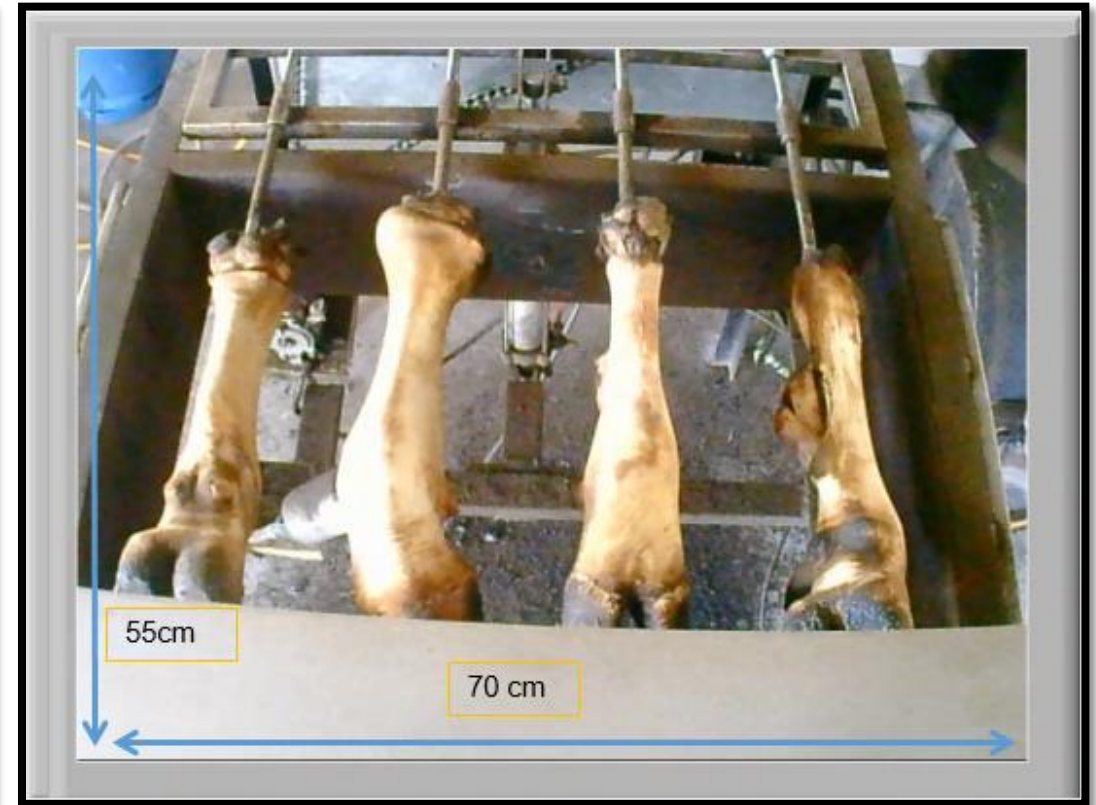
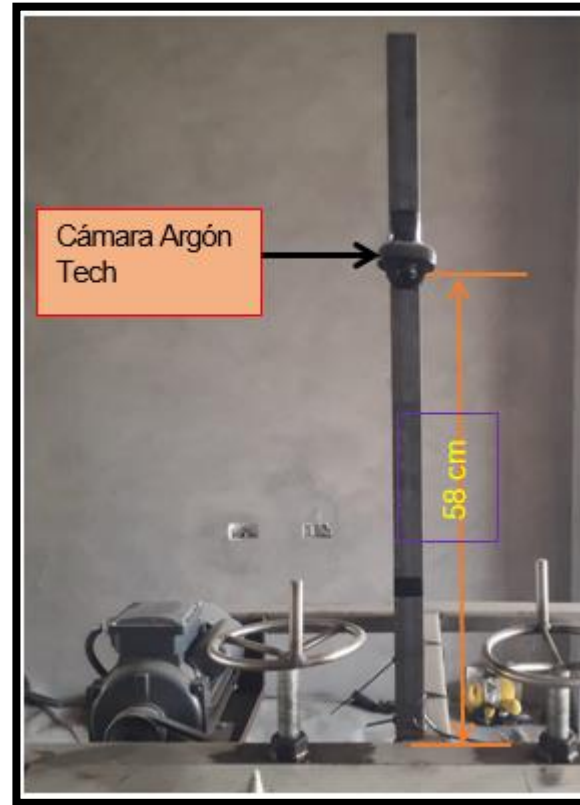




## Control de calidad - posicionamiento



- Resolución de 720 HD
- Temperatura 10 – 40° C
- Sensor CMOS 1/6"



# Control de calidad - HMI



**ESPE** DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
TRABAJO DE TITULACIÓN  
MECATRÓNICA  
ESPE - LATACUNGA

**CONTROL DE CALIDAD LIMPIEZA DE PATAS DE BOVINOS**

Luces piloto / Indicadores

DETECCION DE PATAS

ACEPTABLES

	SI	NO
PATA N°1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RESULTADO

Indicador de estado de calidad de la pata

Botones de inicio/paro del programa

Inicio Paro

# Control de calidad - HMI



Control de calidad

**ESPE** DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

MECATRÓNICA  
ESPE - LATACUNGA

**CONTROL DE CALIDAD LIMPIEZA DE PATAS DE BOVINOS**

**DETECCION DE PATAS**

	ACEPTABLES	
	SI	NO
PATA N°1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Inicio Pare

Control de calidad

**ESPE** DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

MECATRÓNICA  
ESPE - LATACUNGA

**CONTROL DE CALIDAD LIMPIEZA DE PATAS DE BOVINOS**

**DETECCION DE PATAS**

	ACEPTABLES	
	SI	NO
PATA N°1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PATA N°2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Inicio Pare



## Control de calidad - HMI

Control de calidad

**ESPE** DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA MECATRÓNICA  
TRABAJO DE TITULACIÓN

MECATRÓNICA  
ESPE - LATACUNGA

### CONTROL DE CALIDAD LIMPIEZA DE PATAS DE BOVINOS

**DETECCION DE PATAS**

	ACEPTABLES	
	SI	NO
PATA N°1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PATA N°3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Inicio Pare

Control de calidad

**ESPE** DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA MECATRÓNICA  
TRABAJO DE TITULACIÓN

MECATRÓNICA  
ESPE - LATACUNGA

### CONTROL DE CALIDAD LIMPIEZA DE PATAS DE BOVINOS

**DETECCION DE PATAS**

	ACEPTABLES	
	SI	NO
PATA N°1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PATA N°3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PATA N°4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Inicio Pare



## Cálculo de potencia para motores

El peso de la pata es de 1.78 lb o 0.807 kg,  
se multiplica por 9.81 m/s<sup>2</sup> el resultado es 7.91 N

El radio de la pata es 4.5 cm o 0.045 m

$$\tau = 7.91N * 0.045m * \text{sen}(90)$$

$$\tau = 0.35 Nm$$

Para el motor 1 de giro de patas

$$u_s = 0.56. \quad Fr = \mu * N$$
$$Fr = 0.56 * 7.91N$$

$$Fr = 4.43 N$$

Para calcular las RPM de la herramienta de  
cepillado se utiliza la siguiente fórmula

$$RPM = \frac{Vc * 1000}{\pi * D}$$

$$RPM = \frac{1200 \frac{m}{min} * 1000}{\pi * 150 mm}$$

$RPM = 2546.47$  para el motor 2 de cepillado



## Diseño de transmisión de potencia

Calificación: 1 es malo y 5 excelente.

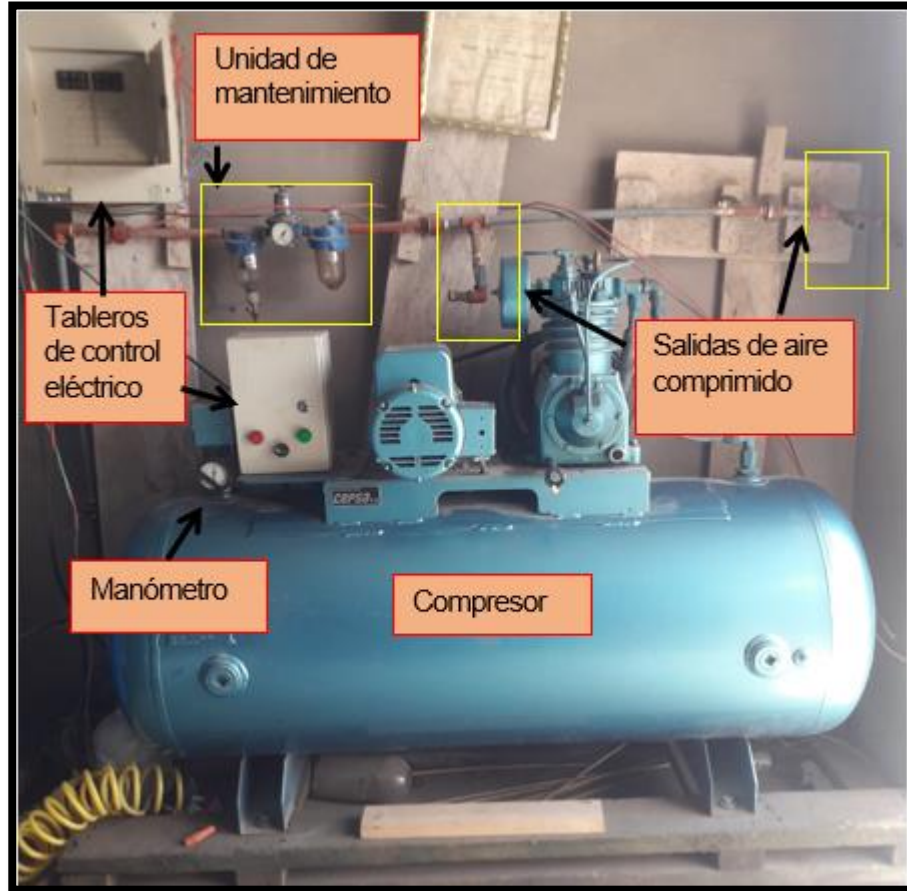
<b>Función</b>	<b>Banda plana</b>	<b>Banda en V</b>	<b>Banda sincronizada</b>	<b>Cadena rodillo</b>	<b>Engrane giratorio</b>
<b>Eficiencia a larga distancia</b>	1	1	2	4	4
<b>Antichoque</b>	4	4	3	2	1
<b>Alta velocidad/baja carga</b>	2	3	3	1	3
<b>Baja velocidad/alta carga</b>	1	1	2	4	2
<b>Lubricación</b>	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Requiere	Requiere
<b>Soporte de cargas</b>	2	1	2	4	4



## Selección de cepillo

Criterios de selección	Conceptos				
	Cepillos de limpieza				
		Alambre W3		Nylon Abrasivo NA3	
	Peso	Calif.	Evaluación ponderada	Calif.	Evaluación ponderada
Acabado	15%	3	0,45	4	0,6
Flexibilidad de la cerda	55%	2	1,1	4	2,2
Duración de cepillo	5%	5	0,25	4	0,2
Capacidad de arranque	10%	4	0,4	3	0,3
Adquisición	10%	5	0,5	3	0,3
Costo	5%	2	0,1	4	0,2
<b>Total, Puntos</b>	100%		2,8		3,8
Lugar			2		1
Resultado			No		Desarrollar

## Sistema neumático



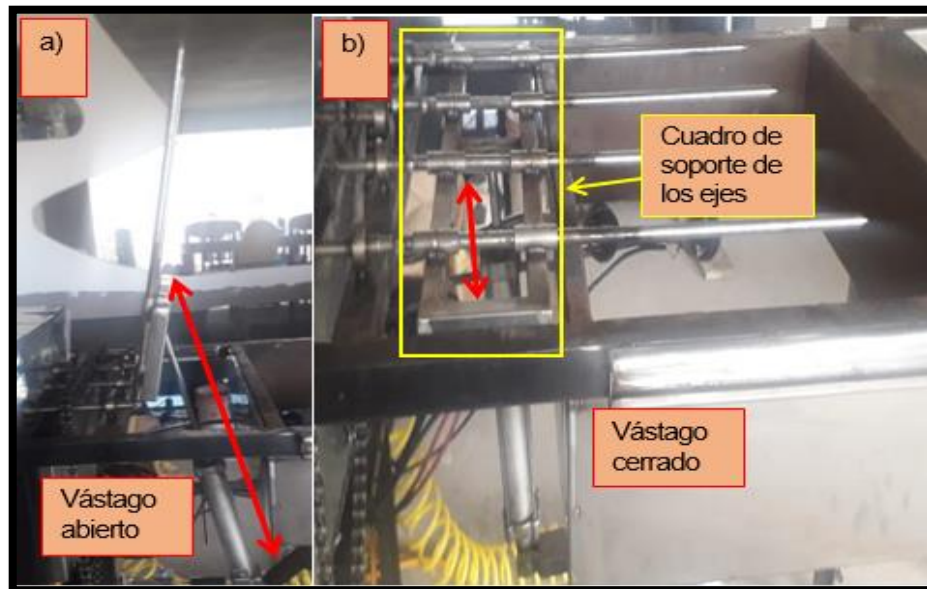
- El compresor genera 90 – 120 psi para todo el sistema neumático.
- Funciona con 42 psi
- Luego del regulador de presión utiliza 5 psi.



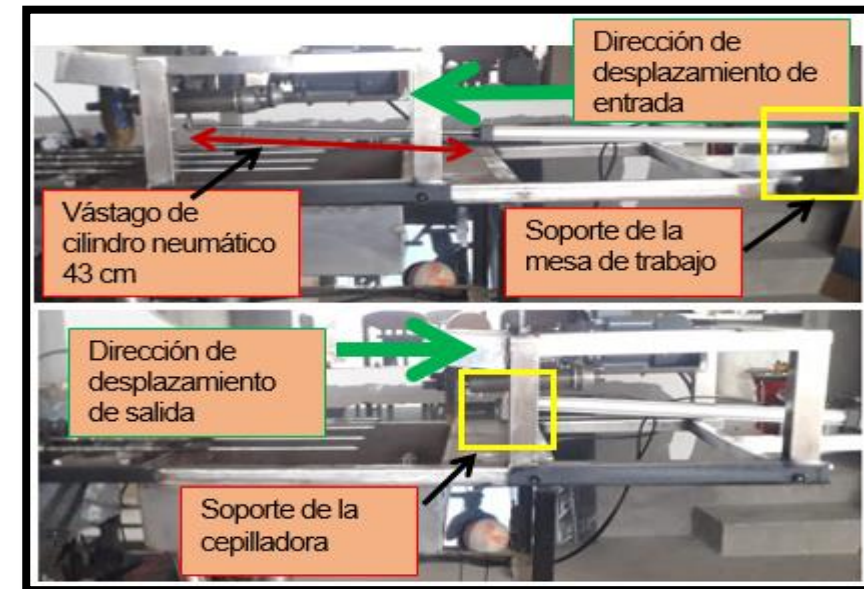


## Sistema neumático

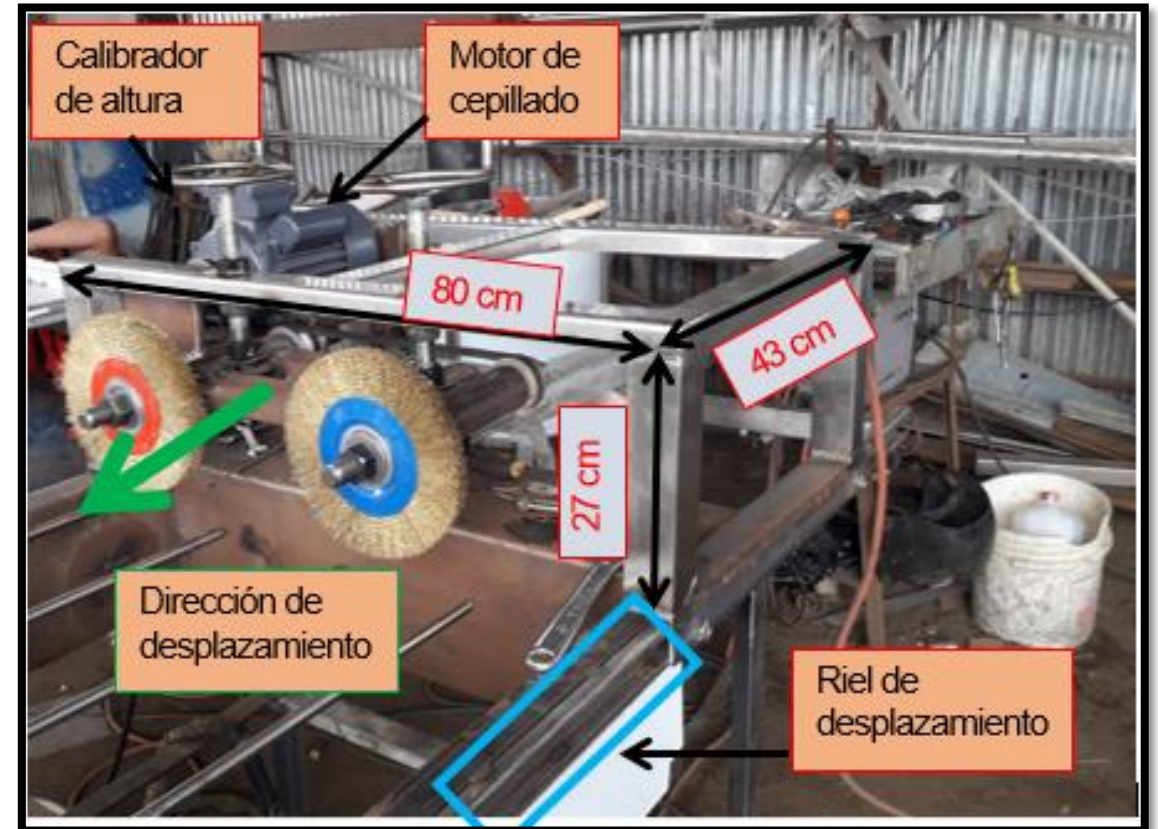
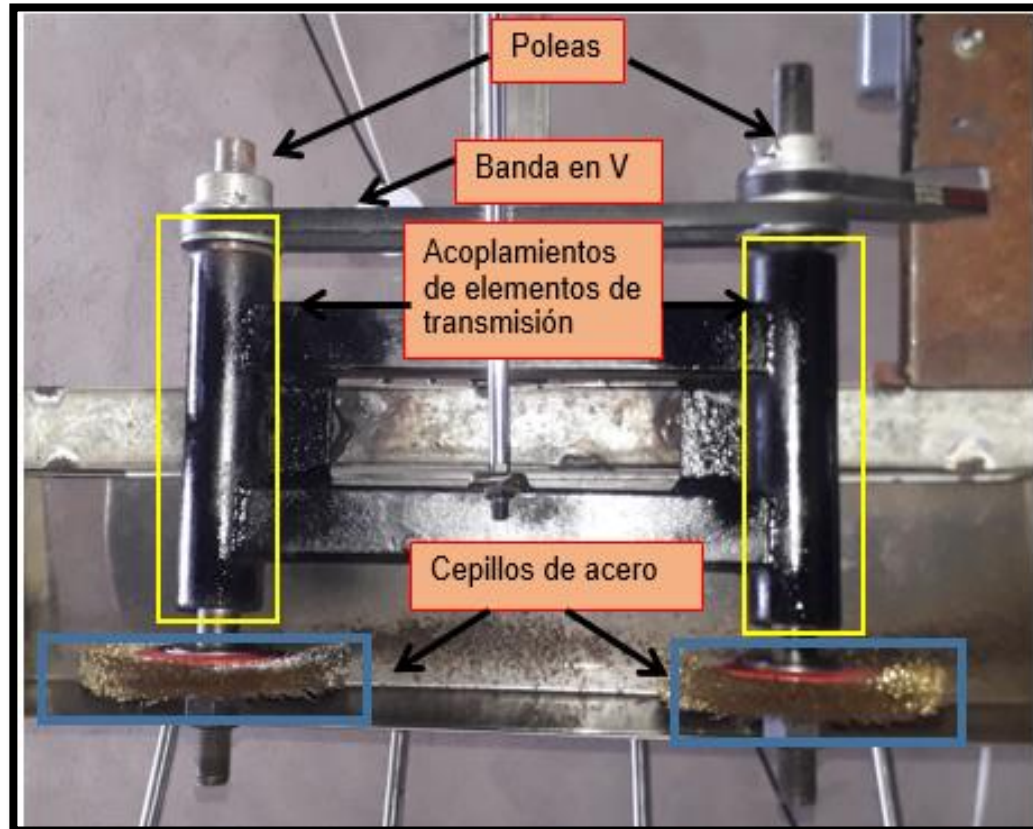
Cilindro neumático 1  
Movimiento de ejes



Cilindro neumático 2  
Movimiento de cepilladora



# Sistema de Cepillado



# Sistemas de chamuscado



## Sección de chamuscado

Tapa cerrada



Tapa abierta

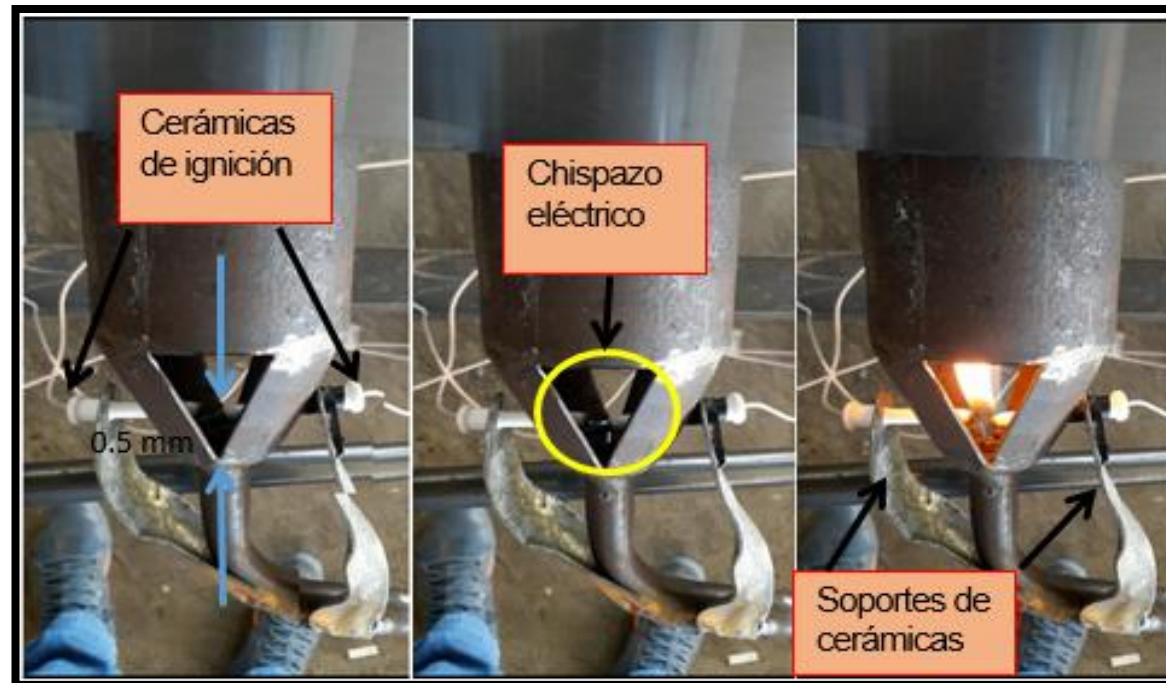


Electroválvula de gas de 1/4"



## Sistemas de chamuscado

Disposición de chisperos eléctricos

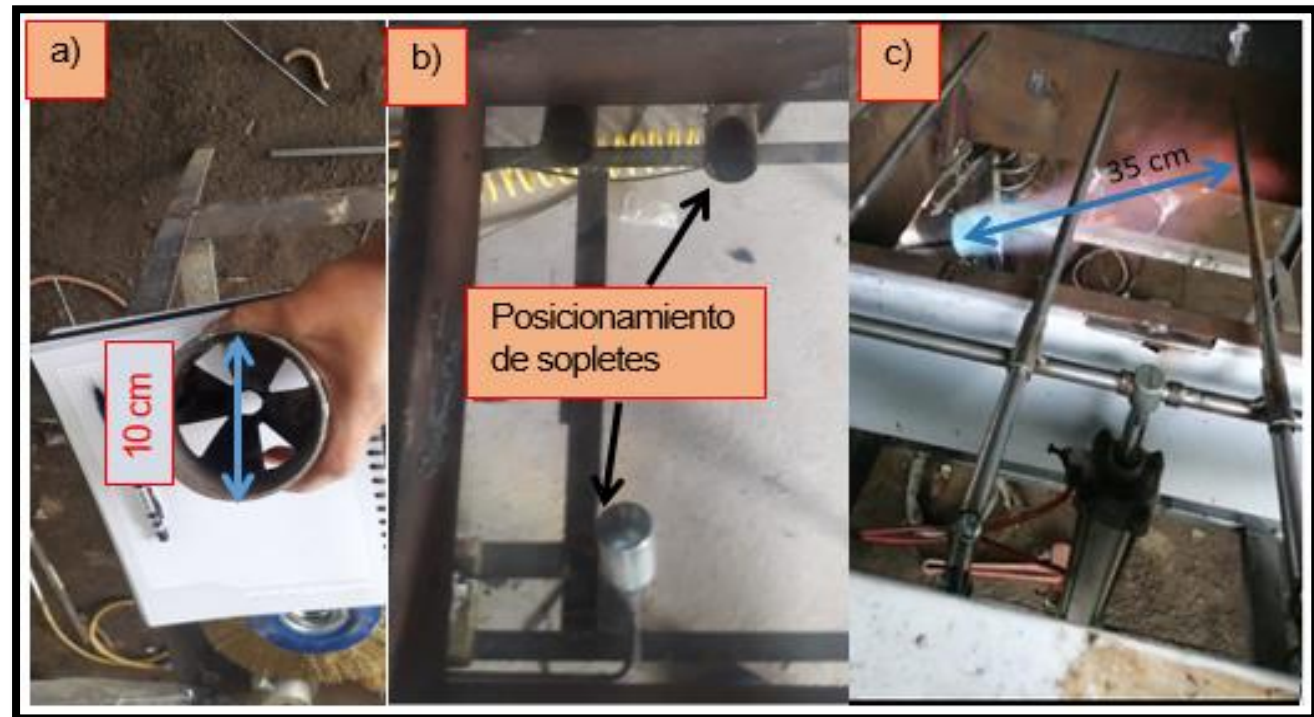


## Sistemas de chamuscado

Posición de sopletes

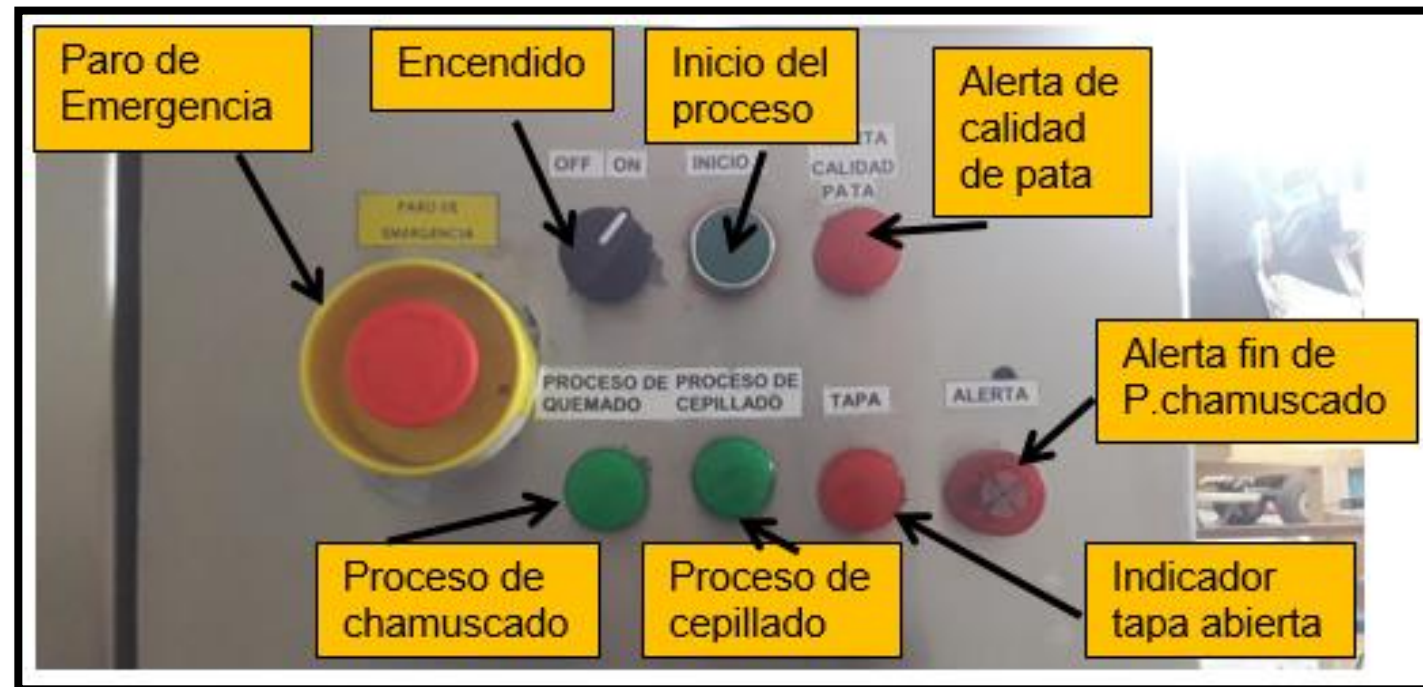
$$\dot{Q}_u = 0.52 \text{ kW/cm}^2$$

$\dot{Q}_u$  = potencia unitaria en kW/cm<sup>2</sup>



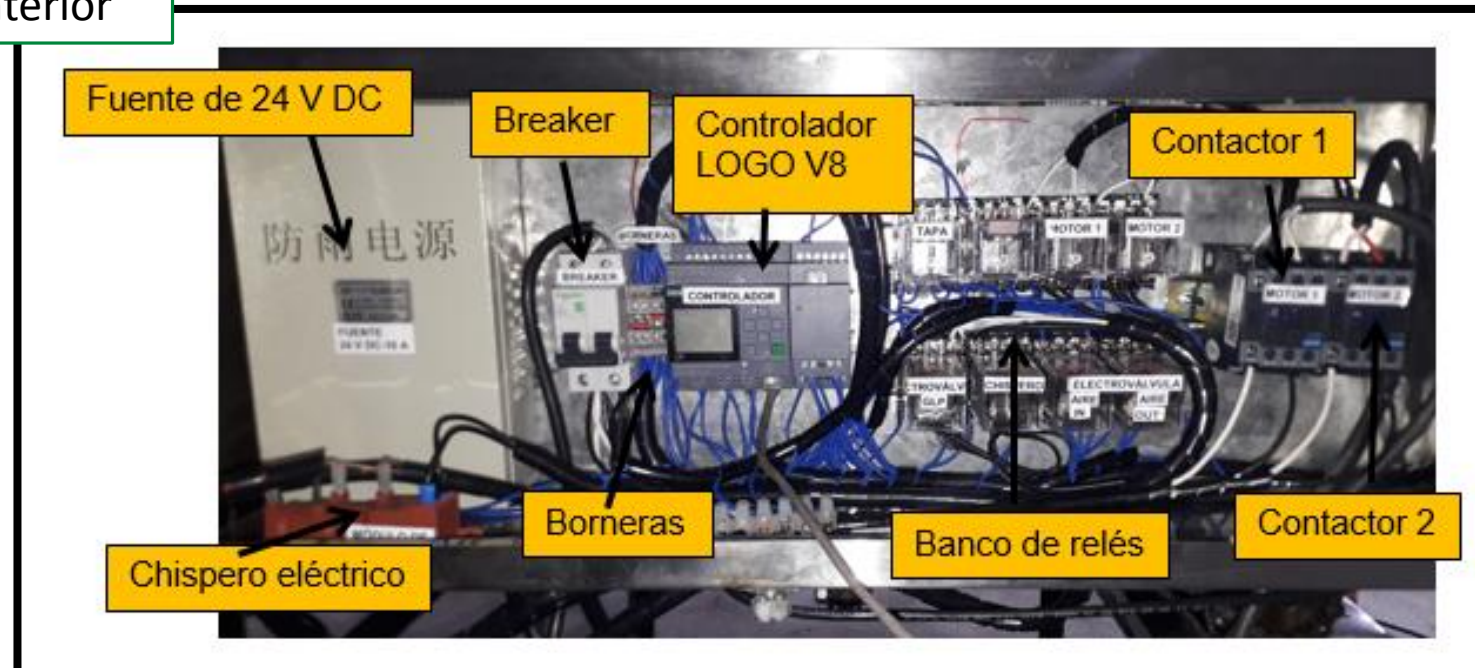
## Sistemas de control eléctrico

Tablero de control exterior



## Sistemas de control eléctrico

Tablero de control interior



## A) Análisis de factor de seguridad

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

Se calcula el factor de seguridad con el momento flector máximo

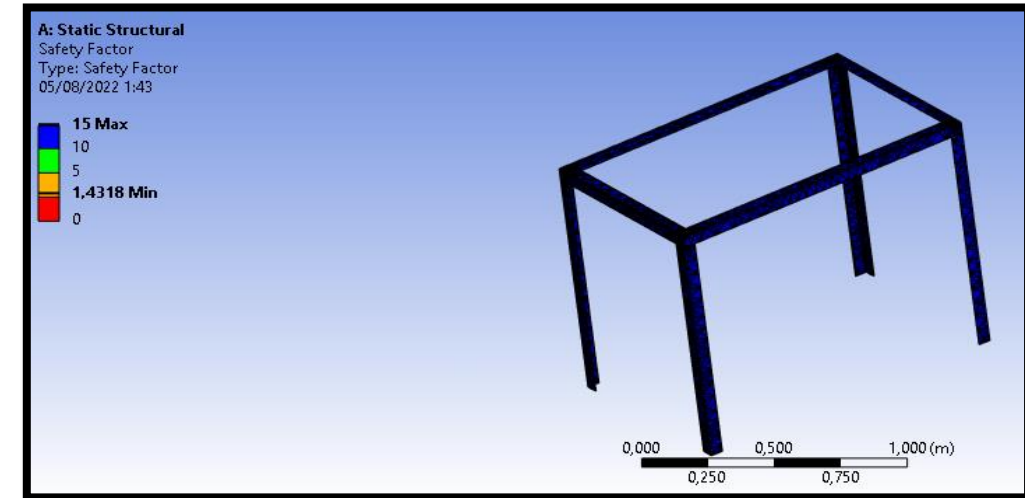
$$\sigma_{max} = \frac{96924.60 \text{ Nmm} * 6\text{mm}}{3900 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_d = \frac{Sy}{N} \quad N = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

$$\sigma_{max} = 149.114 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{Sy}{\sigma_{max}} \quad N = \frac{248 \text{ MPa}}{149.114}$$

$$N = 1.663$$



Se determina que el diseño es seguro



## Pruebas generales de la máquina para limpieza de patas de ganado



*Acomodar las patas de ganado.*



El primer paso es alzar los ejes donde se colocarán las patas de ganado por medio del cilindro neumático.



## Pruebas generales de la máquina para limpieza de patas de ganado



### Proceso de chamuscado



Una vez acomodado las patas se enciende el sistema de control, y se pulsa el botón inicio.

Porcentaje de eficiencia de chamuscado %

N proceso	Pata 1 (%)	Pata 2 (%)	Pata 3 (%)	Pata 4 (%)	Total (%)
1	95	96	98	96	96.25
2	96	98	95	97	96.5
3	94	93	96	95	94.75
4	90	95	94	99	94.5

## Pruebas generales de la máquina para limpieza de patas de ganado



### *Proceso de cepillado*



El programa continua con el proceso de cepillado, donde se enciende el motor de cepillado e ingresa hacia las patas por medio del cilindro neumático 2

Una vez terminado el proceso de cepillado se cierra nuevamente la tapa aislante para un segundo chamuscado. Para dar un acabado final a la pata.

## Pruebas generales de la máquina para limpieza de patas de ganado



### *Final del proceso*



### Porcentaje de eficiencia de cepillado %

N proceso	Pata 1 (%)	Pata 2 (%)	Pata 3 (%)	Pata 4 (%)	Total (%)
1	35	30	20	46	32.75
2	30	18	32	17	24.25
3	38	31	27	22	29.5
4	20	22	12	40	23.5

# Pruebas generales de la máquina para limpieza de patas de ganado



## Control de calidad por HMI

Una vez culminado el segundo cepillado el control de calidad determina si el proceso de limpieza fue satisfactorio con una buena calidad o mala calidad.

Porcentaje de eficiencia de control de calidad %

N proceso	Pata 1	Detec ción	Pata 2	Detec ción	Pata 3	Detec ción	Pata 4	Detec ción	% efecti vidad
1	B	+	B	+	B	+	B	+	100
2	B	+	M	+	B	+	B	-	75
3	B	-	B	+	M	+	B	+	75
4	B	+	M	+	B	+	M	-	75





### ***Validación de la Hipótesis***

---

Hipótesis:

¿El diseño y construcción de una máquina para limpieza de patas de bovinos mediante la utilización de línea de fuego mejorará la calidad y uso de recursos, en la ciudad de Latacunga?

$H_i$ : El diseño y construcción de una máquina para limpieza de patas de bovinos mediante la utilización de línea de fuego mejorará la calidad y uso de recursos, en la ciudad de Latacunga.

$H_0$ : El diseño y construcción de una máquina para limpieza de patas de bovinos mediante la utilización de línea de fuego no mejorará la calidad y uso de recursos, en la ciudad de Latacunga.



## Datos para la validación de hipótesis

N Proceso	Efectividad de la máquina general %	Efectividad Chamuscado%	Efectividad de cepillado%	Ahorro de consumo de GLP %
1	54.64	94	34.75	31.25
2	61.5	96	24.75	31.25
3	69.28	97	29.5	35.3
4	69.78	99	23.5	34.19

## Calculo chi-cuadrado

Se calcula el chi-cuadrado con la siguiente fórmula:

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

$$x_{calc}^2 = 10.73$$

Se propone un valor de efectividad del 0.95 y se obtiene el valor de

chi-cuadrado en su tabla de distribución.

$$x_{crit}^2 = 14.68$$

## Significancia:

Si el valor de chi-cuadrado cálculo es menor que el chi-cuadrado

crítico, entonces se acepta la hipótesis nula.

$$10.73 \leq 14.68, \quad \text{acepte } H_0$$





### ***Conclusiones***

---

- En conclusión la máquina para la limpieza de patas de ganado bovino con sus 3 etapas de limpieza no son aptos para mejorar la calidad y el uso de recursos pero, por los datos que se obtuvo se puede demostrar que la máquina de limpieza para patas de ganado bovino con línea de fuego si mejoró el uso de recursos como el GLP, mejor inocuidad en el alimento, se mejoró el espacio de trabajo del operario y menor cansancio físico.
- Por las pruebas realizadas individualmente en la etapa de control de calidad se indica que el control detecta si la pata tiene o no una buena calidad pero, al no tener la herramienta adecuada en el proceso de cepillado de la máquina la calidad de las patas son malas.





### **Conclusiones**

---

- La etapa de chamuscado de la máquina funciona correctamente ya que en 4 minutos se chamusca el 96.5% de las 4 patas de ganado y con este tiempo se ahorra el consumo de GLP.
- La configuración de la etapa de control de calidad identifica las 4 patas que están en el proceso y determina si tienen calidad buena o calidad mala, pero al no cumplir una correcta etapa de cepillado se limpió en forma manual dando como resultados el reconocimiento de las patas.



### **Conclusiones**

---

- Se diseñó un control semiautomático donde se colocó un controlador Logo 8, por su facilidad de manejo, programación y uso industrial, da un correcto funcionamiento a la máquina limpiadora de patas de bovinos. Los instrumentos para controlar recursos como el gas y la neumática son un factor importante al momento de considerar una máquina automática, ya que se tiene problemas en el costo de estos instrumentos y su adquisición en el mercado es muy difícil. Por tal razón la máquina es semiautomática.
- Se evaluó y validó el funcionamiento de la máquina para lo cual se ocupó el método de chi cuadrado donde se validó la hipótesis alternativa. El funcionamiento de la máquina no cumple con el objetivo de mejorar la calidad de las patas procesadas y también se demostró que la máquina mejora el uso de recurso que es el gas.



### Recomendaciones

---

- Se recomienda diseñar un mecanismo diferente para la sujeción de las patas al momento de chamuscar el pelaje, ya que se requiere de mucho esfuerzo y conocimiento al momento de ingresar la varilla por las venas medias de las patas en el mecanismo de la máquina actual.
- Se recomienda usar otro tipo de cepillos y posicionamiento de los mismos ya que las patas no tienen una forma uniforme y al momento de realizar la limpieza de patas, la cerda del cepillo no logra limpiar con efectividad lugares como las uniones de las pezuñas que son muy incómodos y de difícil accesibilidad.
- Seguir las normas técnicas de uso y adecuaciones de instrumentos donde se use recursos como gases volátiles o GLP, para precautelar la seguridad y vida del operario.



**GRACIAS**