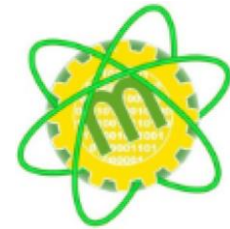




ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de energía y mecánica

Carrera de ingeniería mecatrónica

TEMA:

Diseño y construcción de un sistema automatizado de clasificación de chochos mediante visión artificial que permita reducir el tiempo en la obtención del producto selecto para la empresa CORI.

AUTORES:

Asqui Vaca, Xavier Alejandro y Sánchez Pico, Luis Ángel

DIRECTOR:

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro

LATACUNGA - 2023



CONTENIDO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

PRUEBAS Y RESULTADOS

VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

ANÁLISIS DE COSTOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



RESUMEN

El presente trabajo de titulación se centra en el diseño y construcción de una máquina clasificadora de chochos mediante visión artificial, con el objetivo de reducir el tiempo necesario para obtener el producto selecto. Se ha desarrollado un sistema compuesto por tres etapas principales. La primera etapa consiste en una zaranda automática que clasifica los chochos por tamaño, cumpliendo con la norma NTE INEN 2 389. Luego, los chochos pasan a una banda transportadora que los organiza para ingresar a la etapa de visión artificial. En esta etapa, una computadora Jetson Nano analiza el color y tamaño de los chochos en tiempo real, determinando si son considerados como chochos buenos o no. Este trabajo representa un avance en la automatización del proceso de clasificación de chochos, mejorando la eficiencia y precisión del mismo.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las personas dedicadas al cultivo y cosecha de la semilla del chocho se encuentran con el problema de que el proceso de recolección da cabida para que pequeños residuos de basura se mezcle con el chocho, como pequeñas hojas, residuos de la vaina, tierra y piedras que deben ser separadas del producto cosechado.

La clasificación de chocho es un tema esencial para la empresa CORI y actualmente se realiza de manera manual, lo que genera riesgos de lesiones y afecta la salud de los trabajadores, además de requerir un tiempo considerablemente largo para llevar a cabo la selección adecuada.

Ante estos desafíos, surge la necesidad de automatizar el proceso de selección y clasificación mediante una máquina que mejore el proceso, reduzca los tiempos, disminuya la dependencia de mano de obra y genere ahorros económicos.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema automatizado de clasificación de chochos mediante visión artificial que permita reducir el tiempo en la obtención del producto selecto para la empresa CORI.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre las características morfológicas del chocho para determinar el mejor sistema de clasificación.
- Investigar sobre los tipos de actuadores y sensores, para seleccionar los que cumplan con las especificaciones requeridas para la aplicación.



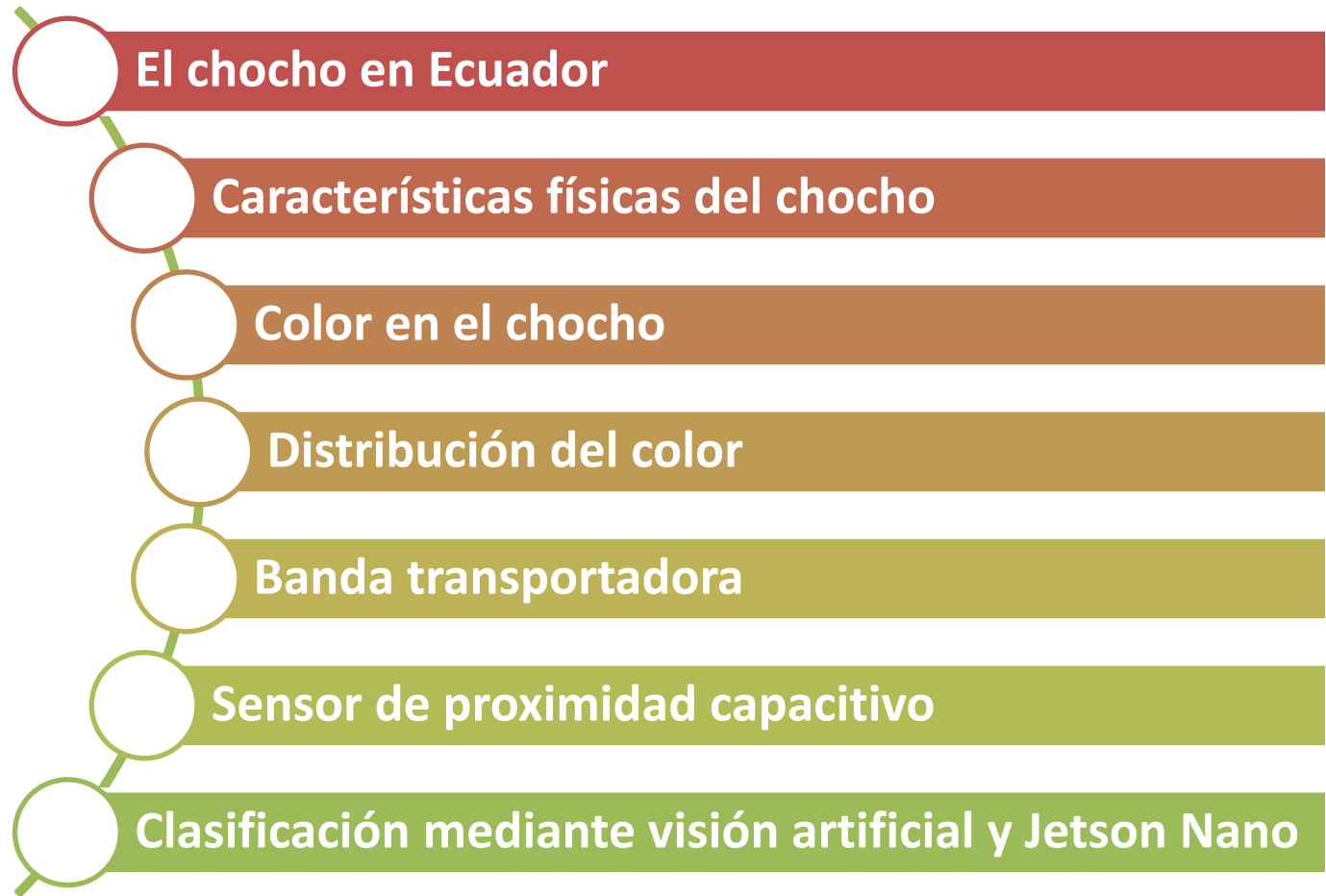
OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar elementos mecánicos del equipo en un software CAD (tolva, zaranda, banda transportadora, depósitos.) para análisis CAE.
- Validar el análisis CAE mediante cálculos de diseño mecánico.
- Fabricar cada elemento del equipo, ensamblar e implementar las conexiones necesarias para su funcionamiento.
- Realizar pruebas y verificar los resultados del funcionamiento en el proceso de clasificación del chocho.



FUNDAMENTOS TEÓRICOS



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El chocho en Ecuador



Características físicas

Características físicas del grano de chocho

Forma	Elipsoidal o Lenticular	4-15 mm
Peso	100 semillas	28-30 g
Tamaño	1era calidad	> 8 mm
	2da calidad	≤ 8 mm y > 7 mm
	3era calidad	≤ 7 mm y > 6 mm
	4ta calidad	≤ 6 mm

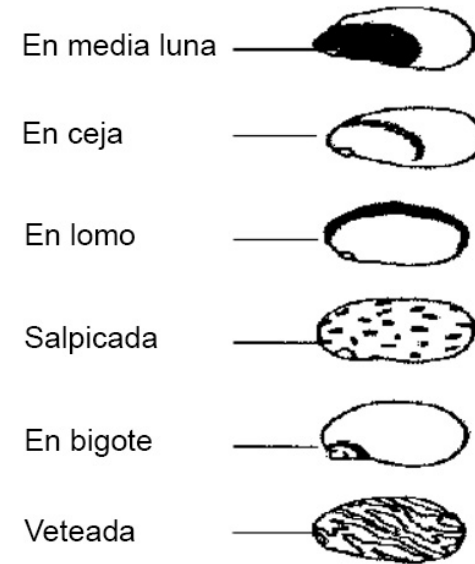


FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Color en el chocho

Color	Valoración
Ausente	0
Blanco	1
Crema	2
Amarillo	3
Café claro	4
Negro	5
Marrón	6
Gris	7
Café oscuro	8
Otros	9

Distribución del color



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Banda transportadora



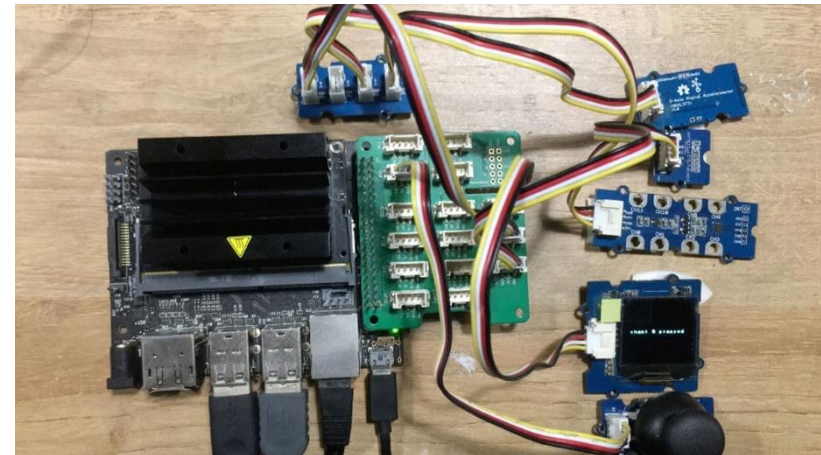
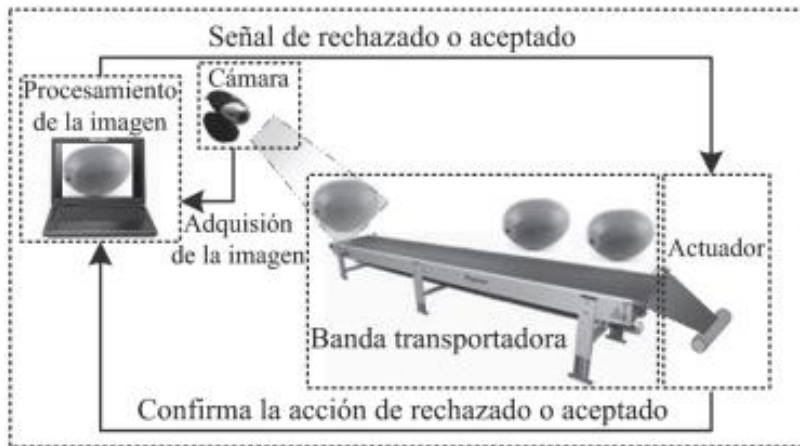
Sensor de proximidad capacitivo



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Clasificación mediante visión artificial

Jetson Nano



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES


Desarrollo de la función de calidad o QFD

Núm.	Necesidades	Métricas Núm. Imp.																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Tamaño(Limitado por la capacidad)	3	●		●		Δ			●	●	●	●	●	●	●	●	
2	Material	5				○	●	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	
3	Sistema mediante zaranda	4	●	○		●	Δ	●		●	●	○		●	○		●	
4	seguro	5	●		Δ	Δ	Δ	○	●		Δ	Δ	●		●	●	●	
5	Económico	4	●			○	○	○	●	○	Δ	●	○	○	○	○	○	
6	Automatico	5	○		●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	
7	Rapido	4	○		●	○	○	○		●	○	○	○	○	○	○	○	
8	Monitoreo del proceso	4	○	○	○	○	○	○		●	●	●	●	●	●	●	●	
9	Facilidad de operación	4	○	●		●	●			●	○	●	Δ	Δ	Δ			
10	Calidad de producto	5	●		●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
11	Repuestos accesibles dentro del mercado	4	●		●	●	●	●	●	●	●	●	Δ	○	○	○	○	
12	Integridad fisica del personal	5	●	●	○	●	●		●	●	Δ	○	●	●	●	●	●	
13	Consumo energetico	4	●		●	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	
14	Ventilacion focalizada	3	●		●	●	●	Δ	●	○	Δ	○	●	●	●	●	●	
15	Vibracion con pendulo	5	●	Δ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
16	Zaranda con malla	5	○			●	○	●		●	○	○	○	Δ	○	Δ	○	
17	Doble bandeja para clasificacion.	5	○		Δ	●	●	●		●	○	○	○	○	○	○	○	
Ponderación Absoluta			468	110	304	494	462	390	330	453	410	320	431	402	493	405	524	5996
Ponderación Relativa			7,81	1,83	5,07	8,24	7,71	6,5	5,5	7,56	6,84	5,34	7,19	6,7	8,22	6,75	8,74	100
Importancia Relativa			4	15	14	2	5	11	12	6	8	13	7	10	3	9	1	



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES


Estructura y definición de los componentes

Elemento	Imagen	Características
Jetson Nano		<ul style="list-style-type: none">• Procesador (CPU) Quad-Core ARM A57 DE 1.43 GHz• GPU Maxwell 128 core• Memoria de 4Gb a 64 Bits LPDDR4 25.6 GB/s,• Almacenamiento de 16GB eMMC• 4 puertos USB 3.2• 40 pines en el GPIO• Gigabit ethernet, M.2 Key E. Wifi en la banda dual de 2.4/5.0 GHz y bluetooth



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES


Estructura y definición de los componentes

Elemento	Imagen	Características
Waveshare Cámara IMX219-77	 A small, square camera module with a black lens in the center, four gold pins on the left side, and a blue ribbon cable connector on the right. The module is mounted on a black PCB. A watermark 'WAVESHARE' is visible on the image.	<ul style="list-style-type: none">• Sensor Cmos de ¼ de pulgada Sony IMX219 de 8MP• Apertura focal de 2.0• Longitud focal de 2.85 mm• FOV de 79.3 grados• Dimensión del lente en cuadro: 6.5mm• Compatibilidad para una Jetson nano, por medio de su conector CM3/3+/4• No cuenta con protección IP.



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES


Estructura y definición de los componentes

Elemento	Imagen	Características
Iluminación de Tira led con protector		<ul style="list-style-type: none">• Tamaño: 6 cm de diámetro• Acople: Luminaria pequeña, para acoplar en el prototipo.• Brillo: Genera un brillo ideal para la obtención de imágenes.



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Estructura y definición de los componentes

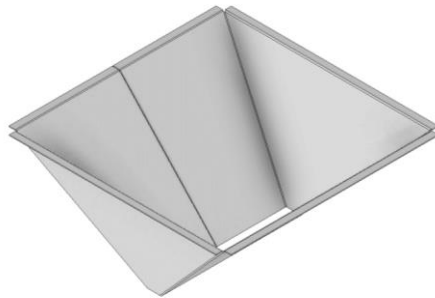
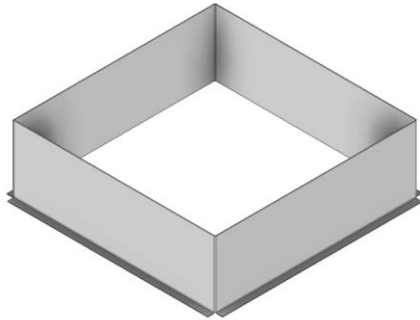
Elemento	Imagen	Características
MDF		<ul style="list-style-type: none">• Proceso de fabricación es fácil y rápido• Maquina CNC de corte laser• Fácil disponibilidad• Bajo costo• Espesor de 3 mm.• El MDF es rígido y no se pandea en la utilidad que se le dará en el proyecto investigativo.



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de tolva

Imagen



Cálculos

$$V_1 = \frac{(Ab + As + \sqrt{Ab \cdot At}) \cdot h}{3}$$
$$V_1 = 4853.29 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = b \cdot h \cdot p$$
$$V_2 = 30 \cdot 10 \cdot 30$$
$$V_2 = 9000 \text{ cm}^3$$

$$V_t = V_1 + V_2$$
$$V_t = 4853.29 + 9000$$
$$V_t = 13853.29 \text{ cm}^3$$

Sabemos que

$$1 \text{ cm}^3 = 0.00220462 \text{ lb}$$

Por lo tanto la masa total que soporta la tolva es

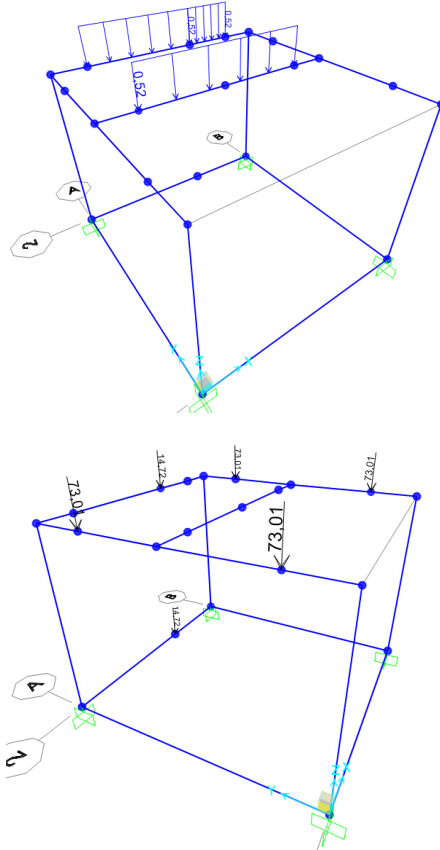
$$m = 30.5412 \text{ lb}$$



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de la estructura de soporte

Imagen



Cálculos

- El material es acero ASTM 500, con medidas de $20 \times 20 \times 1,2 \text{ mm}$ y un peso de $0,72 \text{ kg/m}$.

Dimensiones: $375 \times 355 \times 275 \text{ mm}$

Fuerza de tolva con chochos: $F = 258 \text{ N}$

Carga distribuida en los miembros: $q_{1D} = q_{2D} = 0,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Fuerza de conjunto harnero con chochos: $F_1 = 292,04 \text{ N}$

Fuerza repartida en los 4 puntos: $F_1 = 73,01 \text{ N}$

Fuerza de conjunto motor: $F_2 = 29,43 \text{ N}$

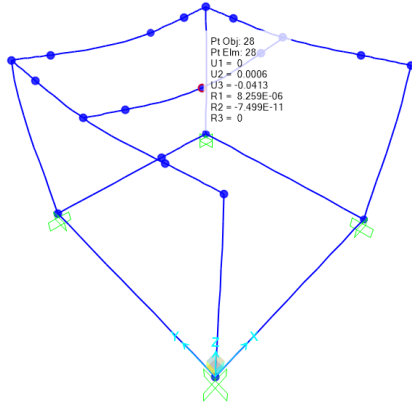
Fuerza repartida en 2 puntos: $F_2 = 14,72 \text{ N}$



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de la estructura de soporte

Imagen



Cálculos

Desplazamiento en el eje Z máximo recomendado

$$L = 355 \text{ mm}$$

$$z_{max}^R = \frac{L}{240} = \frac{355 \text{ mm}}{240}$$

$$z_{max}^R = 1,47 \text{ mm}$$

El desplazamiento máximo obtenido mediante simulación es de: $0,0413 \text{ mm}$.

$$z_{sim} = 0,0413 \text{ mm}$$

$$0,0413 \text{ mm} < 1,47 \text{ mm}$$

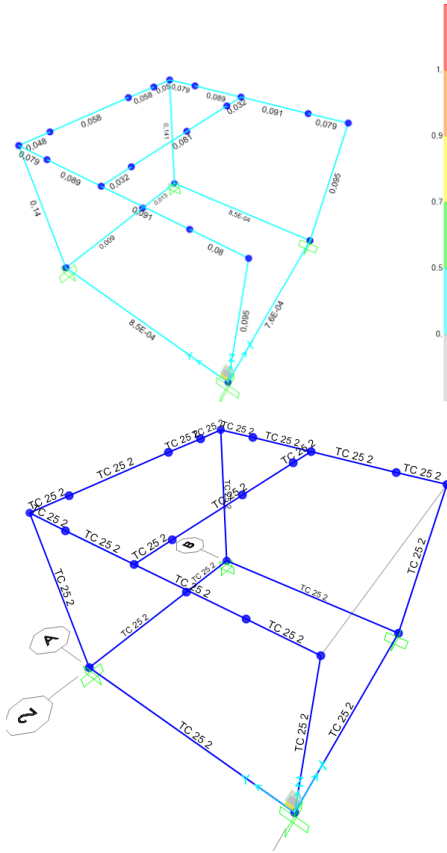
$$z_{sim} < z_{max}^R$$



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de la estructura de soporte

Imagen



Cálculos

Empleando la norma AISC 360-16 que aglutina catorce lineamientos y especificaciones de diseño. Se destaca el indicador Demanda/Capacidad.

Se trata de un indicador similar al factor de seguridad, este indicador muestra una escala entre 0 y 1. Los valores obtenidos deben estar entre 0 y 0,7 para que la estructura sea considerada como válida

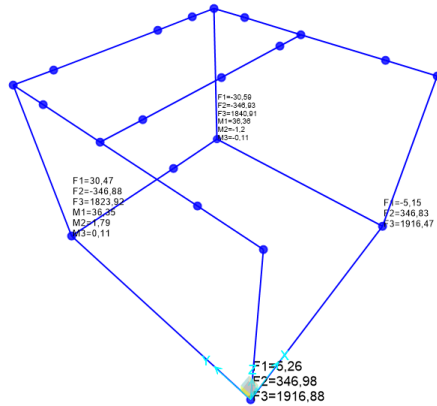
El indicador obtenido máximo es de 0,14, el mismo que es un valor admisible que le da validez a la estructura de acero. Al cumplir con la norma, la estructura cumple con el diseño con factor de carga (LRFD) con cargas vivas y cargas muertas.



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de pernos para empotramiento

Imagen



Cálculos

$F_2 = 346,98 \text{ N}$ para determinar una selección de pernos debido a esfuerzo cortante.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{S_{sy}}{n}$$
$$S_{sy} = 0,577 * S_y$$
$$S_y = 248,21 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad para pernos es $n = 8,5$

$$A = \frac{F * n}{0,577 * S_y}$$
$$\frac{\pi * d^2}{4} = \frac{F * n}{0,577 * S_y}$$
$$d = 5,12 \text{ mm}$$

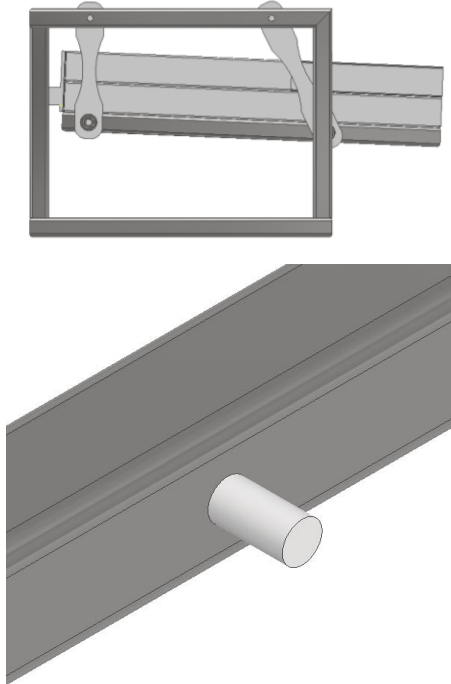
Por lo tanto, se colocarán pernos M6 en cada empotramiento de la estructura de soporte



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de soportes de estructura harnero

Imagen



Cálculos

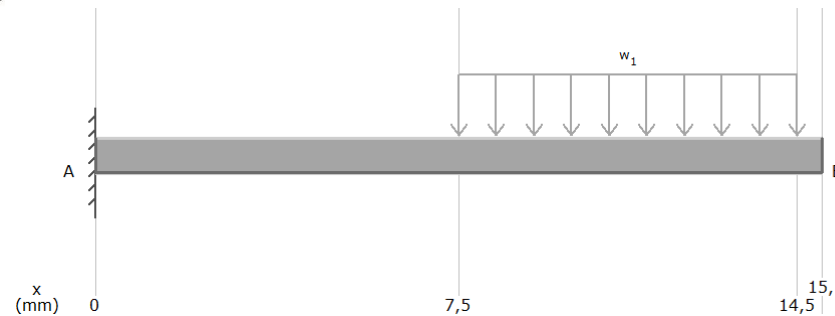
Propiedades mecánicas del Acero AISI 1018

Módulo de elasticidad (GPa): 205

Resistencia a la cedencia (MPa): 235

Elongación % mínimo: 20

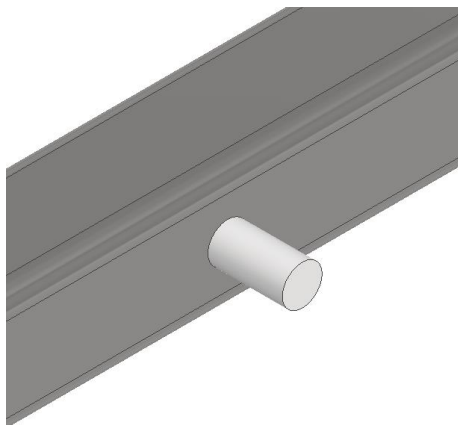
Diagrama de cuerpo libre de viga en voladizo dentro de la estructura



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de soportes de estructura harnero

Imagen



Cálculos

Diagrama de fuerza cortante

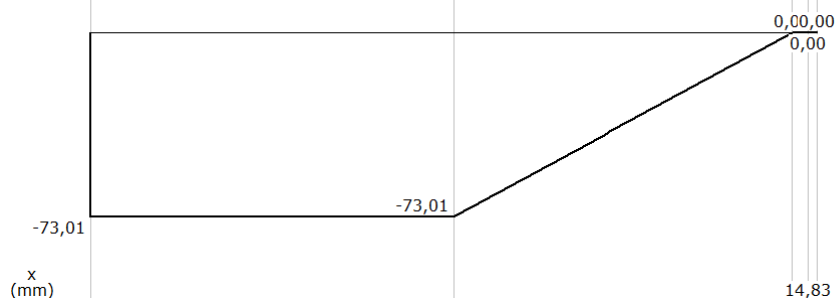
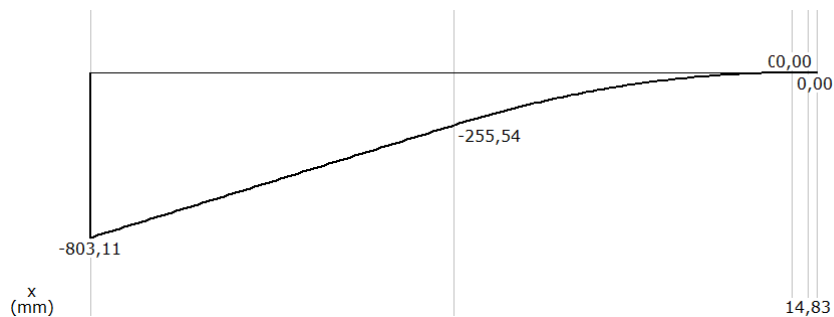


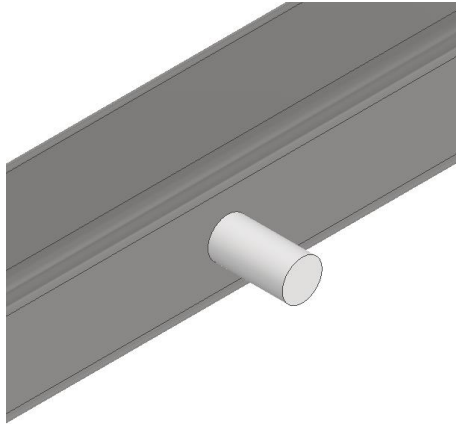
Diagrama de momento flexionante



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de soportes de estructura harnero

Imagen



Cálculos

De las gráficas obtenidas, los valores obtenidos son: $V = 73,01 \text{ N}$ y $M = 803,11 \text{ N}\cdot\text{mm}$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$
$$S = \frac{\pi D^3}{32}$$
$$\sigma_d = \frac{S_y}{8}$$

$$\sigma_d = \sigma$$
$$\frac{S_y}{8} = \frac{M}{S}$$
$$S = \frac{8M}{S_y}$$
$$\frac{\pi D^3}{32} = \frac{8M}{S_y}$$
$$D^3 = \frac{8(32)M}{(\pi)S_y}$$
$$D = 6,53 \text{ mm}$$

El tamaño preferido seleccionado será un eje con diámetro de $\frac{5}{16} \text{ in}$ equivalente a $7,938 \text{ mm}$

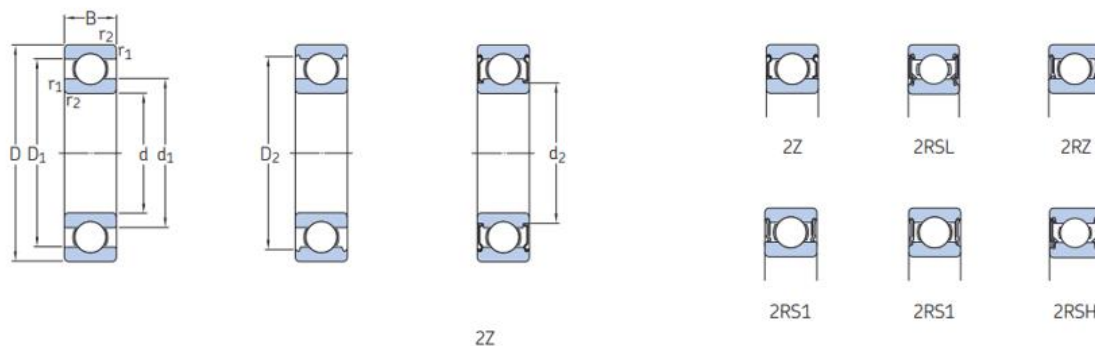


DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Selección de rodamiento

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 7-9 mm

1.1



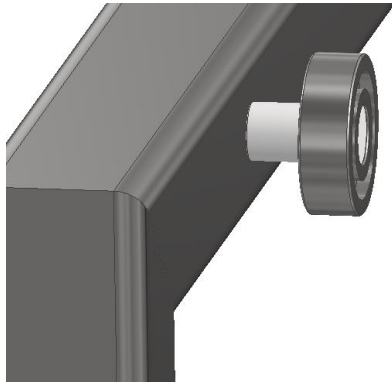
Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designaciones Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad (límite ¹⁾)			
mm			kN		kN	r. p. m.	kg	-		
8	16	4	0,819	0,3	0,012	90 000	56 000	0,003	618/8	-
	16	5	1,33	0,57	0,024	-	26 000	0,0036	▶ 628/8-2RS1	-
	16	5	1,33	0,57	0,024	90 000	45 000	0,0036	▶ 628/8-2Z	-
	16	6	1,33	0,57	0,024	90 000	45 000	0,0043	638/8-2Z	-
	19	6	1,46	0,465	0,02	-	24 000	0,0071	619/8-2RS1	-
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	43 000	0,0071	619/8-2Z	-
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000	0,0071	619/8	-
	19	6	2,34	0,95	0,04	85 000	43 000	0,0072	607/8-2Z	607/8-Z
	22	7	3,45	1,37	0,057	75 000	48 000	0,012	▶ 608	-



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Selección de rodamiento

Imagen



Cálculos

Diámetro interno de 8 *mm*

$$73,01 \text{ N} < 1,37 \text{ kN}$$

Una carga sumamente inferior a la capacidad de carga básica estática.

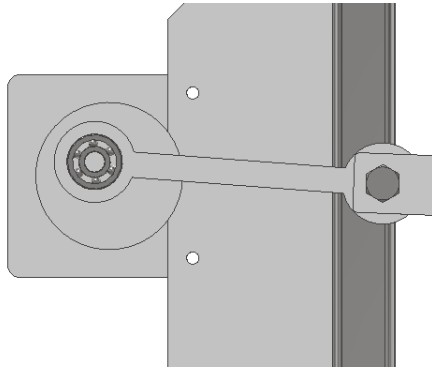
El rodamiento SKF 608 seleccionado cumple con los requisitos de la estructura de soporte y se encuentra fácilmente disponible en el mercado local.



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Selección de motor

Imagen



Cálculos

El vibrador seleccionado es de tipo eje excéntrico

Para esta aplicación, el eje excéntrico requiere de una velocidad de 25 a 500 RPM y una carrera de 15 a 30 mm.

Motor AC OM 4RJ20GB-C de 110 V y 20 W cuenta con una caja reductora 3:1, se le incorporó un eje excéntrico con una separación de 8 mm conforme al eje neutro del motor.

$$P = F \cdot r \cdot n$$

$$n = \frac{P}{F \cdot r}$$

$$n = \frac{20 \text{ W}}{(292.04 \text{ N})(0,008 \text{ m})}$$

$$n = 8,7 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}}$$

$$n \approx 83 \text{ rpm}$$

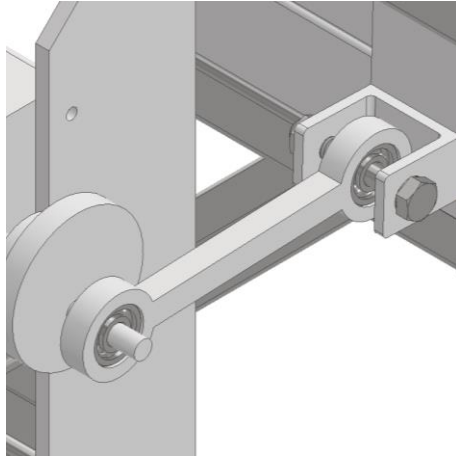
El valor de 83 rpm se encuentra en del rango establecido



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Vida nominal de los rodamientos

Imagen



Cálculos

La vida útil se puede expresar mediante horas de funcionamiento, mediante la ecuación obtenida en la página web de SKF:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$
$$L_{10} = \left(\frac{3,45 \text{ kN}}{0,29204 \text{ kN}}\right)^3 = 0,001 \times 10^6$$

Una vez determinada la vida nominal, se incorpora la velocidad constante para determinar las horas de funcionamiento.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} L_{10}$$
$$L_{10h} = 2 \times 10^5 \text{ h}$$

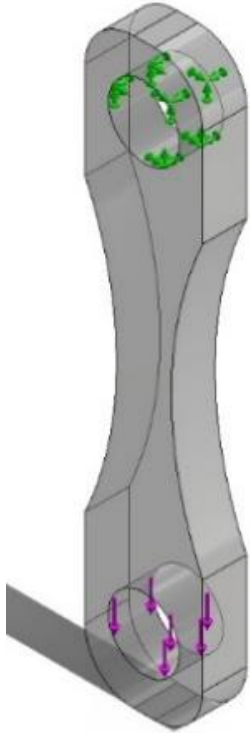
Los rodamientos poseen una vida moderada de 2×10^5 horas



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de balancines mediante FEM

Imagen



Cálculos

El material de estos componentes es Nylon 6

Límite elástico de $139,04 \text{ MPa}$.

Dos componentes con una distancia de centros de 167 mm denominados balancines frontales

Dos con una distancia de centros de 137 mm denominados balancines traseros.

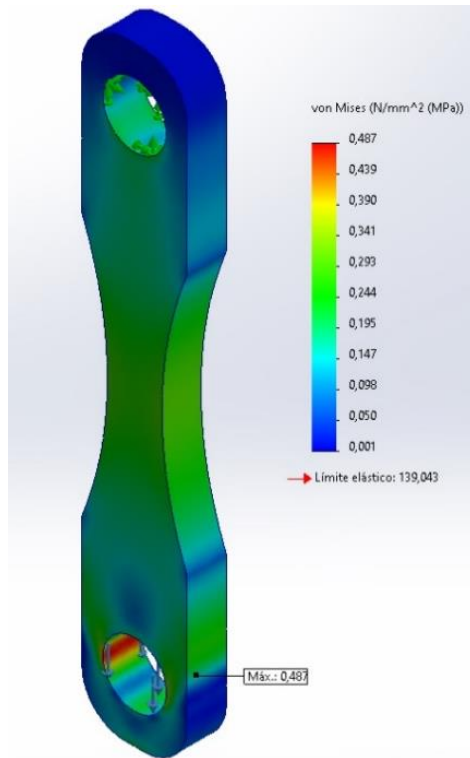
Tiene un rodamiento y la carga aplicada en la superficie cilíndrica inferior es de $73,01 \text{ N}$ en el eje -Y



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Diseño de balancines mediante FEM

Imagen



Cálculos

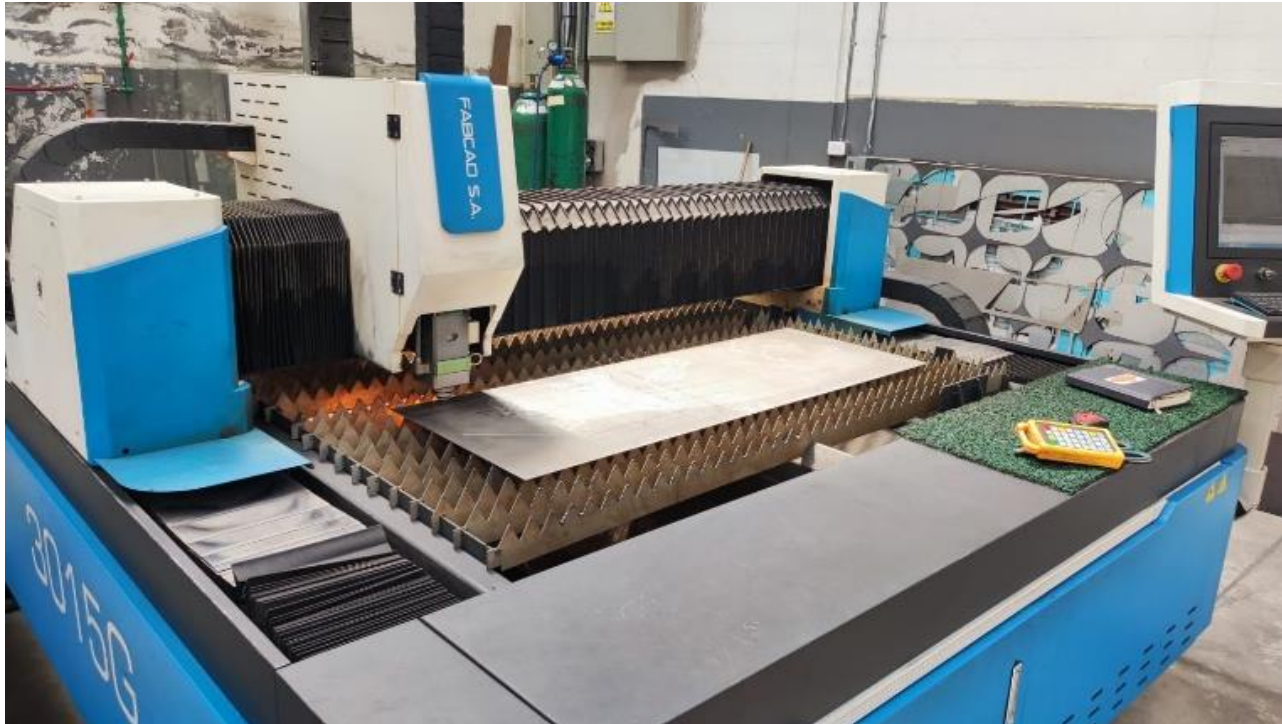
Los desplazamientos máximos son sumamente cortos en la superficie cilíndrica inferior donde, el balancín frontal manifiesta una deformación total de $0,00474 \text{ mm}$ y el balancín trasero con un desplazamiento total de $0,00445 \text{ mm}$

El diseño sometido a simulación es aceptable.



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
Ecuador
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

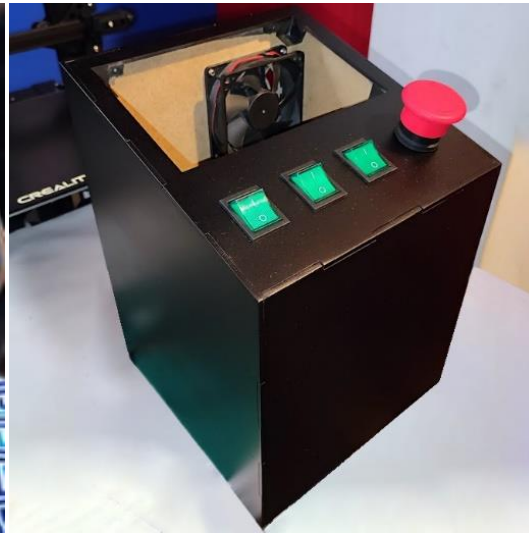
Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Fabricación de componentes



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

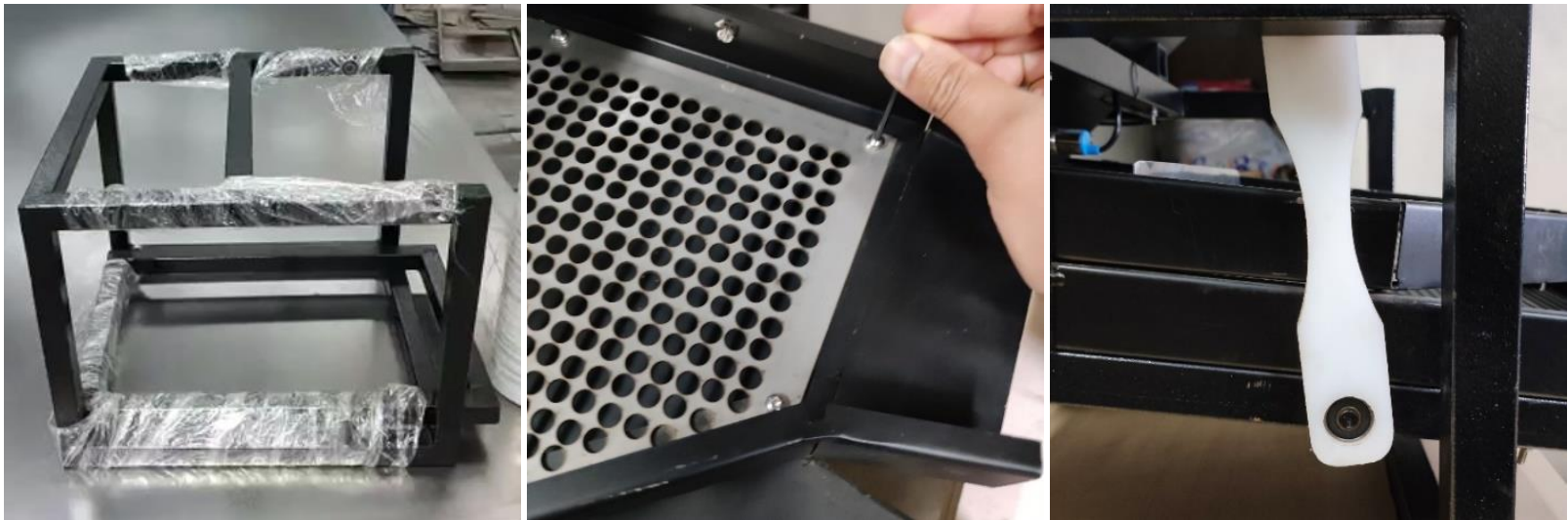
Fabricación de componentes



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Ensamble de la zaranda



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Ensamble de la zaranda



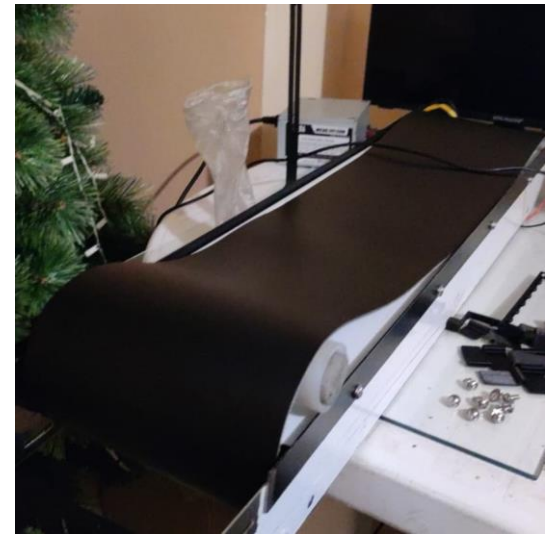
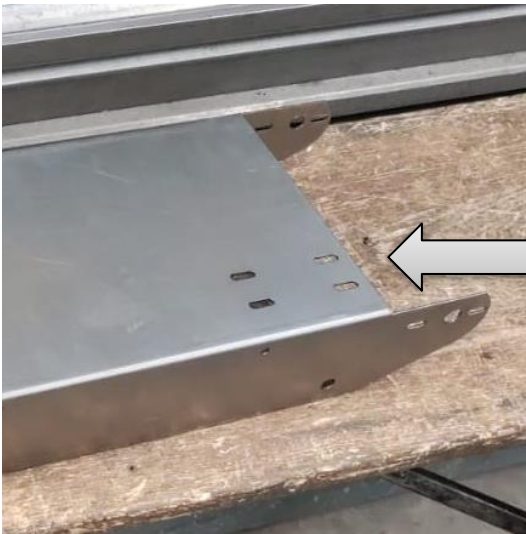
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Ensamble de la zaranda



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Ensamble de la banda transportadora



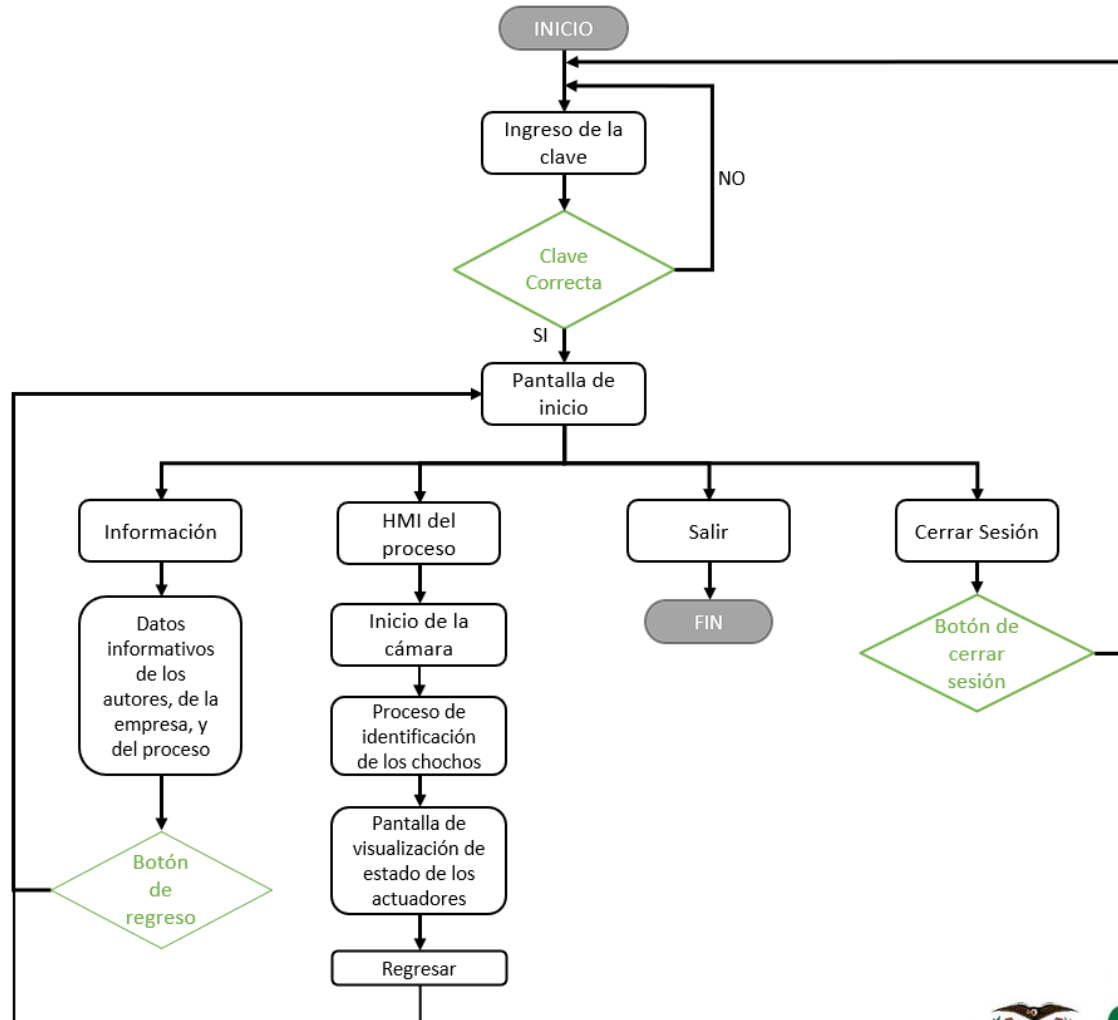
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Ensamble



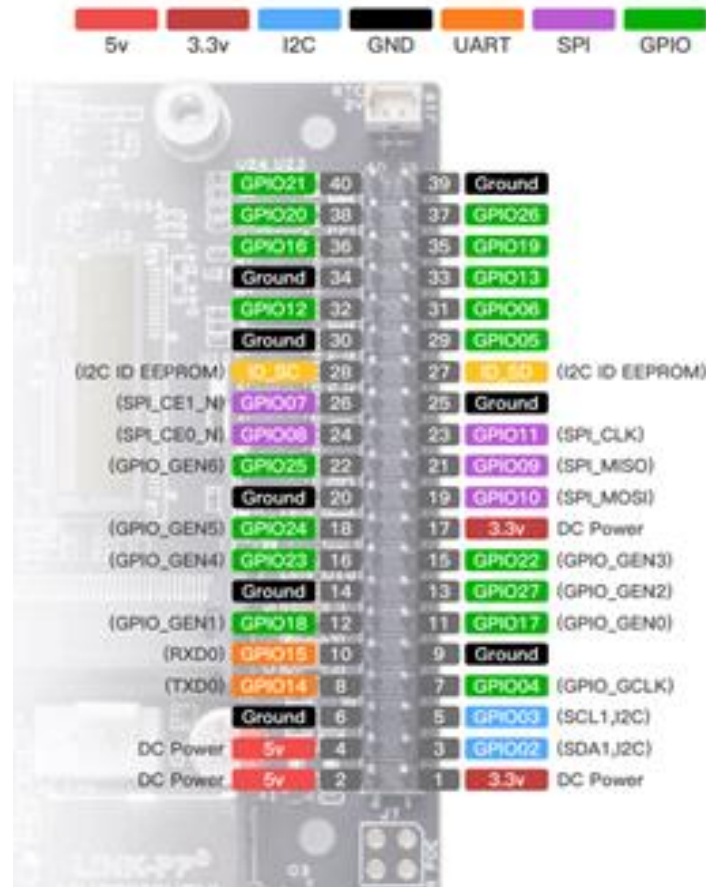
SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Diagrama de secuencia de Usuario



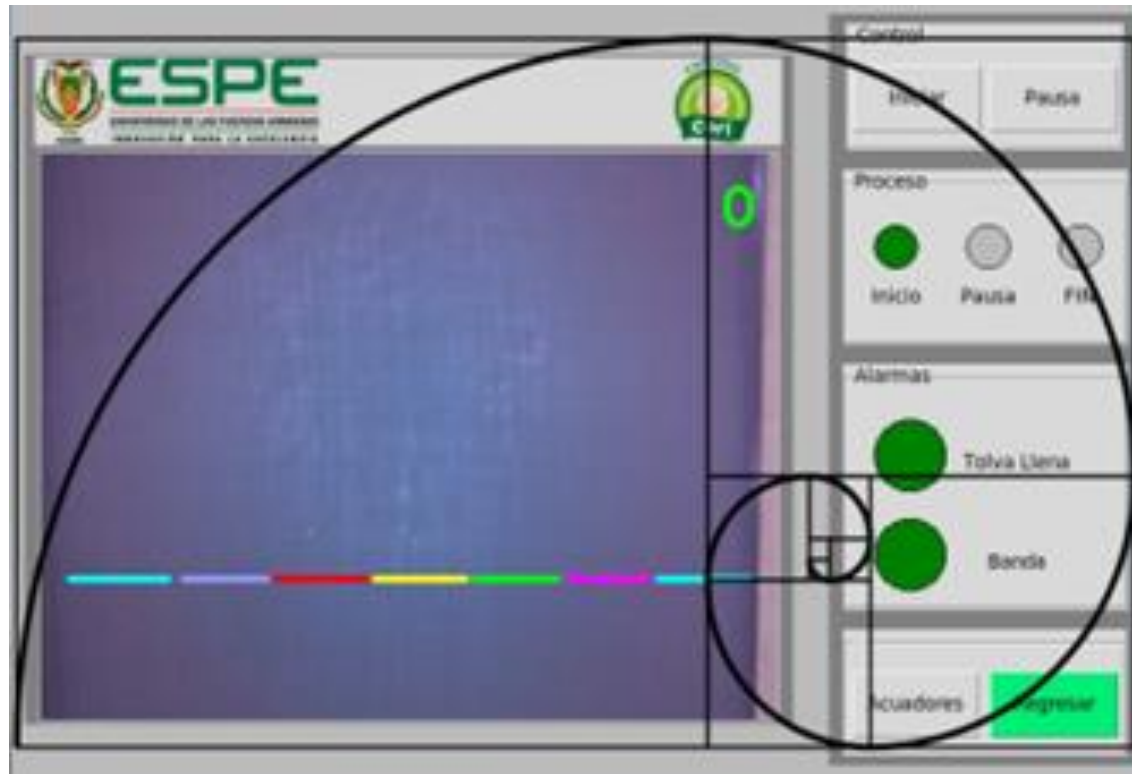
SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Entradas y Salidas GPIO Jetson Nano



SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Interfaz de usuario haciendo uso de proporción aurea



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
Ecuador
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Programación en Python

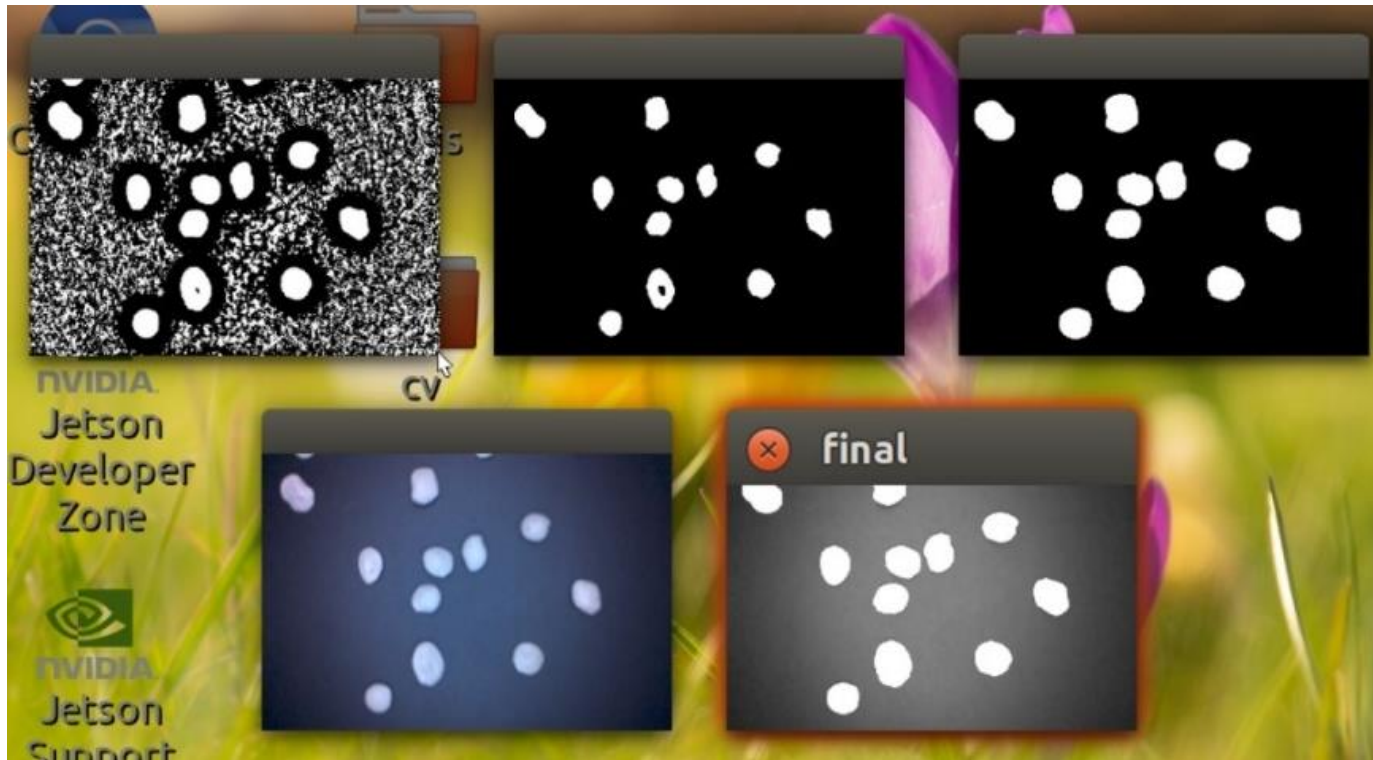
```
412 def actualizar_video(self):
413     ret, frame = self.cap.read()
414     global counter
415     previous_state1 = GPIO.input(18)
416     global fin
417     if ret:
418
419         image = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
420         frameHSV = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2HSV)
421
422         if fin == True or self.canvas0.itemcget(self.l2, "fill")=="orange":
423             self.canvas0.itemconfig(self.l2, fill="#0000")
424             #print ("Sirena On")
425         else:
426             self.canvas0.itemconfig(self.l2, fill="#0000")
427             self.canvas.itemconfig(self.l2, fill="#0000")
428             self.canvas0.itemconfig(self.l2, fill="#0000")
429             # print ("Sirena Off")
430
431         current_state1 = GPIO.input(18)
432         if current_state1 != previous_state1:
433             previous_state1 = current_state1
434
435         cnts = cv2.findContours(thresh1, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
436         cnts = cnts[0] if len(cnts) == 2 else cnts[1]
437         image_number = 0
438         for c in cnts:
439             x,y,w,h = cv2.boundingRect(c)
440             l=math.sqrt(w*h)
441             v1=abs((w/l)-1)
442             v2=abs((h/l)-1)
443             if (v1 <= 0.5 and v2 <= 0.5): # Para modificar el tamaño del chocho
444                 canvas=np.zeros(image.shape,image.dtype)
445                 cv2.rectangle(canvas,(x, y), (x + w, y + h), (255,255,255), -1)
446                 final_img =cv2.bitwise_and(final,canvas)
447
448                 ROI = final_img[y:y+h, x:x+w]
449                 maskblanco = cv2.inRange(ROI, blancoBajo, blancoAlto)
450                 Blanco = cv2.bitwise_and(ROI, ROI, mask=maskblanco)
451                 canny = cv2.Canny(Blanco, 50, 150)
452                 (contornos,_) = cv2.findContours(canny, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
453                 #area=cv2.contourArea(contornos)
454                 area=int(format(len(contornos)))
455                 perimeter = cv2.arcLength(c, True)
456                 area1 = cv2.contourArea(c)
457                 if perimeter == 0:
458                     break
459                 circularity = 4*math.pi*(area1/(perimeter*perimeter))
460                 contours_circles.append(circularity)
461                 #print(area,circularity)
```



SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Desarrollo del sistema de visión Artificial

Segmentación



SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Descripción y Reconocimiento

The interface displays a central camera feed showing a conveyor belt with various beans. Green bounding boxes are overlaid on the beans, indicating object detection. A green number '55' is visible in the top right corner of the feed. The interface includes a control panel on the right with the following sections:

- Control:** Buttons for 'Iniciar' and 'Pausa'.
- Proceso:** Three circular indicators labeled 'Inicio' (grey), 'Pausa' (orange), and 'FIN' (grey).
- Alarmas:** A green circle labeled 'Tolva Llena' and a red circle labeled 'Banda'.
- Acuadores:** A grey button labeled 'Acuadores' and a green button labeled 'Regresar'.

At the top of the interface, there are logos for 'ESPE' (Universidad de las Fuerzas Armadas - Innovación para la Excelencia) and 'CROCHOS Cori'.



SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Activación de actuadores



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por tamaño

N° Prueba	Cantidad de ingreso (g)	Cantidad de salida mayor a 8mm (g)	Cantidad de salida menor o igual a 8mm máquina (g)	Tiempo de máquina (s)	Cantidad de salida mayor a 8mm humano (g)	Cantidad de salida menor o igual a 8mm humano (g)	Tiempo Humano (s)
1	421	390	31	40	396	25	372
2	422	396	26	42	400	22	366
3	420	383	37	41	390	30	354
4	422	395	27	40	385	37	342
5	420	393	27	42	392	28	354
6	421	394	27	40	397	24	360
7	421	396	25	41	395	26	306
8	421	394	27	42	390	31	378
9	420	393	27	41	396	24	522
10	420	395	25	40	398	22	474



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por tamaño

Porcentaje de mejora entre el tiempo humano y el tiempo de máquina

N° Prueba	Tiempo de máquina (s)	Tiempo humano (s)	Porcentaje de mejora (%)
1	40	372	830
2	42	366	771.43
3	41	354	764.63
4	40	342	755
5	42	354	742.86
6	40	360	800
7	41	306	647.56
8	42	378	800
9	41	522	1178.05
10	40	474	1085



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por tamaño

Sistema de clasificación por tamaño mayores a 8mm

N° Prueba	Cantidad de ingreso (g)	Cantidad de salida mayor a 8mm (g)	Cantidad de salida menor o igual a 8mm (g)
1	390	389	1
2	396	394	2
3	383	381	2
4	395	391	4
5	393	388	5
6	394	391	3
7	396	394	2
8	394	392	2
9	393	392	1
10	395	394	1



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por tamaño

Sistema de clasificación por tamaño menores a 8mm

N° Prueba	Cantidad de ingreso (g)	Cantidad de salida menor a 8mm (g)	Cantidad de salida mayor o igual a 8mm (g)
1	31	30	1
2	26	25	1
3	37	35	2
4	27	25	2
5	27	26	1
6	27	24	3
7	25	24	1
8	27	25	2
9	27	27	0
10	25	25	0



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por visión artificial

N° Prueba	Cantidad de ingreso (g)	Cantidad de chocho bueno máquina (g)	Cantidad de chocho malo máquina (g)	Tiempo de máquina (s)	Cantidad de chocho bueno humano (g)	Cantidad de chocho malo humano (g)	Tiempo humano (s)
1	396	364	32	75	375	21	540
2	396	367	29	78	376	20	480
3	396	368	28	77	377	19	480
4	396	360	36	76	376	20	540
5	396	367	29	74	353	43	480
6	396	363	33	73	380	16	540
7	396	359	37	72	376	20	600
8	396	364	32	77	375	21	480
9	396	365	31	76	379	17	420
10	396	364	32	77	384	12	540



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por visión artificial

Porcentaje de mejora entre el tiempo humano y el tiempo de máquina

N° Prueba	Tiempo de máquina (s)	Tiempo Humano (s)	Porcentaje de mejora (%)
1	75	540	620
2	78	480	515.38
3	77	480	523.38
4	76	540	611.84
5	74	480	551.35
6	73	540	641.1
7	72	600	733.33
8	77	480	524.68
9	76	420	453.95
10	77	540	601.3



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por visión artificial

Cantidad de chochos buenos entrada versus salida

N° Prueba	Cantidad de ingreso (g)	Cantidad de salida de chocho bueno (g)	Cantidad de salida no detectada (g)
1	396	395	1
2	396	394	2
3	396	392	4
4	396	392	4
5	396	390	6
6	396	391	5
7	396	394	2
8	396	392	4
9	396	393	3
10	396	394	2



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de sistema de clasificación por visión artificial

Cantidad de chochos malos entrada versus salida

N° Prueba	Cantidad de ingreso (g)	Cantidad de salida (g)	Cantidad de salida no detectada (g)
1	30	29	1
2	30	29	1
3	30	28	2
4	30	28	2
5	30	29	1
6	30	27	3
7	30	29	1
8	30	28	2
9	30	30	0
10	30	30	0



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis de la investigación es:

¿El diseño y construcción de un sistema automatizado de clasificación de chochos mediante visión artificial, reducirá el tiempo en la obtención del producto selecto para la empresa CORI?



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa entre los tiempos de la máquina y los tiempos humanos.
- Hipótesis alternativa (H_1): Hay una diferencia significativa entre los tiempos de la máquina y los tiempos humanos.

Hipótesis	Condición de validación
$H_0: \mu \geq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ Cola a la izquierda	$t \leq -t_\alpha$: Se rechaza H_0 Caso contrario, se acepta
$H_0: \mu \leq \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ Cola a la derecha	$t \geq t_\alpha$: Se rechaza H_0 Caso contrario, se acepta
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$ Dos colas	$t \leq -t_{\alpha/2}$ o $t \geq t_{\alpha/2}$: Se rechaza H_0 Caso contrario, se acepta



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

- Con un porcentaje de aceptabilidad esperado de: $\mu_0 = 95\%$
- Nivel de significancia (α): 0.05
- Media de tiempo de máquina (\bar{x}_1): 40.9 s
- Media de tiempo humano (\bar{x}_2): 382.8 s
- Desviación estándar de tiempo de máquina (s_1): 0.9187
- Desviación estándar de tiempo humano (s_2): 64.8568
- Tamaño de muestra de tiempo de máquina (n_1): 10
- Tamaño de muestra de tiempo humano (n_2): 10



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego, calcula el estadístico t utilizando la fórmula:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)}}$$
$$t = \frac{(40.9 - 382.8)}{\sqrt{\left(\frac{0.9187^2}{10}\right) + \left(\frac{64.8568^2}{10}\right)}}$$
$$t = -14.036$$

Determina los grados de libertad:

$$gl = n_1 + n_2 - 2$$

$$gl = 10 + 10 - 2$$

$$gl = 18$$



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Distribución t Student

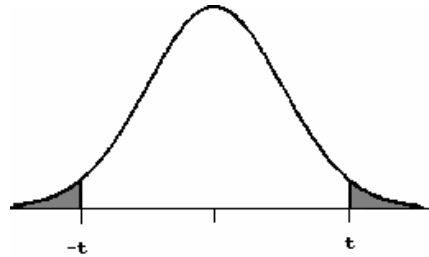


Tabla de cuantiles de la distribución t de Student de dos colas

gl \ α	0,20	0,10	0,05	0.02	0.01	0,001	0,0001
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966



VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

El valor t según tabla es 2.101 y el valor t calculado es -14.036, para efectos de comparación se utiliza el valor absoluto $t=14.036$ por lo tanto:

$$t_{calculado} \geq t_{tablas}$$

$$14.036 \geq 2.101$$

Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa que menciona: Hay una diferencia significativa entre los tiempos de la máquina y los tiempos humanos. Siendo así una diferencia de mejora de 584.73 %, es decir que esto ayuda a la disminución de recursos, tanto humano como en tiempo, con una diferencia de 338 segundos lo que equivale a 5.6 minutos entre humano y máquina.



ANÁLISIS DE COSTOS

Costos

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Zaranda automática	1	\$451.55	\$501.55
Banda transportadora	1	\$462.1	\$462.1
Caja de visión artificial	1	\$474.05	\$574.05
Caja de control	1	\$244.05	\$344.05
Energía y adicionales	1	\$29.22	\$29.22
Total			\$1,660.97

Costos indirectos

Descripción	Actividad	Costo total
Diseño mecánico y eléctrico del sistema	Ingeniería	\$1000
Construcción mecánica y eléctrica del sistema	Mano de obra	\$500
Transporte interprovincial, provincial y viáticos	Transporte	\$100
Total		\$ 1600

Total

Costo	Costo total
Costos generales	\$1,660.97
Costos indirectos	\$1,600
Total	\$ 3,260.97



CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un sistema automatizado de clasificación de chochos mediante visión artificial que permite reducir el tiempo en la obtención del producto selecto para la empresa CORI.
- Se demostró una mejora significativa del 584.73% en términos de tiempo. La implementación de este sistema permitió reducir el tiempo requerido para seleccionar el chocho por tamaño, pasando de un promedio de 6.3 minutos por persona a tan solo 40.9 segundos utilizando la máquina.



CONCLUSIONES

- Se confirma que la hipótesis planteada es favorable, evidenciando una diferencia significativa entre el tiempo requerido por la máquina y el tiempo requerido por una persona. Estos resultados respaldan la efectividad y eficiencia del sistema de clasificación implementado, proporcionando una solución beneficiosa en términos de optimización del tiempo para la empresa CORI.



CONCLUSIONES

- En comparación con el proceso de clasificación realizado por una persona, el sistema de clasificación mediante visión artificial cumple directamente con la norma INEN establecida por los algoritmos. Mientras que una persona puede pasar por alto chochos de manera subjetiva, considerándolos buenos en función de su experiencia y el temor a la pérdida de producto, el sistema de visión artificial respeta la norma, lo que garantiza una mayor precisión en el proceso. La implementación de este sistema resulta adecuada, ya que elimina el sesgo subjetivo y proporciona una clasificación objetiva y consistente en línea con los estándares establecidos.



CONCLUSIONES

- Luego del análisis del experto y representante de la empresa, el sistema de clasificación es efectivo por que ayuda a reducir el tiempo de selección de chocho entre grande y pequeño en comparación a la forma convencional, reducir el uso de personal, tener un procesamiento de un producto limpio y de calidad categorizado, reducir chocho con manchas o en el mal estado físico, reducir el tiempo de selección de chocho entre bueno y malo en relación con la forma convencional.



CONCLUSIONES

- La clasificación usada mediante el sistema de visión artificial se realiza basándose en la muestra de chocho de calidad ya que es un solo tipo de producto basado en la norma, y son los que se separa con la ayuda de la activación de actuadores, y no con los chochos malos ya que existen varios tipos de ellos.
- Se facilita la clasificación por medio de visión artificial gracias a la implementación de rieles en la banda transportadora ya que por medio de ello se obtiene un orden para la activación de los actuadores y que no exista confusiones en la salida del producto.



CONCLUSIONES

- Mediante la investigación exhaustiva de las características morfológicas del chocho, se logró determinar el mejor sistema de clasificación. Los análisis detallados de su forma, tamaño, color y textura brindados por la norma INEN permitieron identificar las variables relevantes para una clasificación eficiente y precisa. Estos hallazgos brindan una base sólida para futuras investigaciones en el campo de la clasificación de distintos productos agrícolas.
- Se diseñaron los elementos mecánicos del equipo utilizando software CAD, tales como tolva, zaranda, banda transportadora, así como elementos complementarios. Estos diseños se sometieron a análisis mediante técnicas de simulación CAE para evaluar su rendimiento.



CONCLUSIONES

- La validación del análisis CAE mediante cálculos de diseño mecánico fue un paso crucial en el proyecto. Los cálculos realizados permitieron verificar que los diseños cumplieran con los requisitos de resistencia y seguridad. Esta validación brinda confianza en la integridad estructural del equipo y garantiza su funcionamiento adecuado.
- Se fabricó cada elemento del equipo, ensamblarlos e implementar las conexiones necesarias para su funcionamiento. Se realizaron pruebas exhaustivas para verificar el correcto desempeño del equipo en el proceso de clasificación. Los resultados obtenidos en las pruebas demuestran que el sistema desarrollado es capaz de clasificar el chocho de manera eficiente y precisa.



RECOMENDACIONES

- Para mejorar el rendimiento del sistema de visión artificial en futuros trabajos, se pueden considerar diversas actualizaciones, como la implementación de un sistema de redes neuronales, esto para aprovechar al máximo el poder de computación que ofrece la Jetson Nano, potenciando así su capacidad de procesamiento y análisis de imágenes.
- Para la clasificación hay que considerar que no todos los chochos tienen la misma forma y que hay chochos de buena calidad que pueden pasar de incognito por el sistema de visión tales como son los chochos que tienen una mancha en la parte de la vaina, pero tienen el di cotiledón en un buen estado.



RECOMENDACIONES

- La etapa de clasificación por tamaño (tamizado) puede mejorarse implementando más bandejas con la malla adecuada a la norma INEN lo cual permitiría disminuir el porcentaje de chochos de menos de 8mm que pasen al sistema de visión. También se puede implementar otro método de clasificación basado en vibración del cual existe bastante documentación y está orientado a sistema de clasificación de mayor capacidad.
- La unión entre la etapa de clasificación por tamaño y clasificación por medio de visión artificial podría tener una mejora implementando un sistema de dosificación y acople entre uno y otro.



Gracias!



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA