

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Mecatrónica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Tema: Diseño y construcción un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal

Autor: Cortéz Dávalos, Jheison Iván

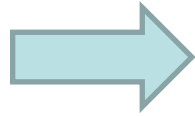
Director: Ing. Mogro Borja, María Fernanda

Latacunga, Febrero 2024

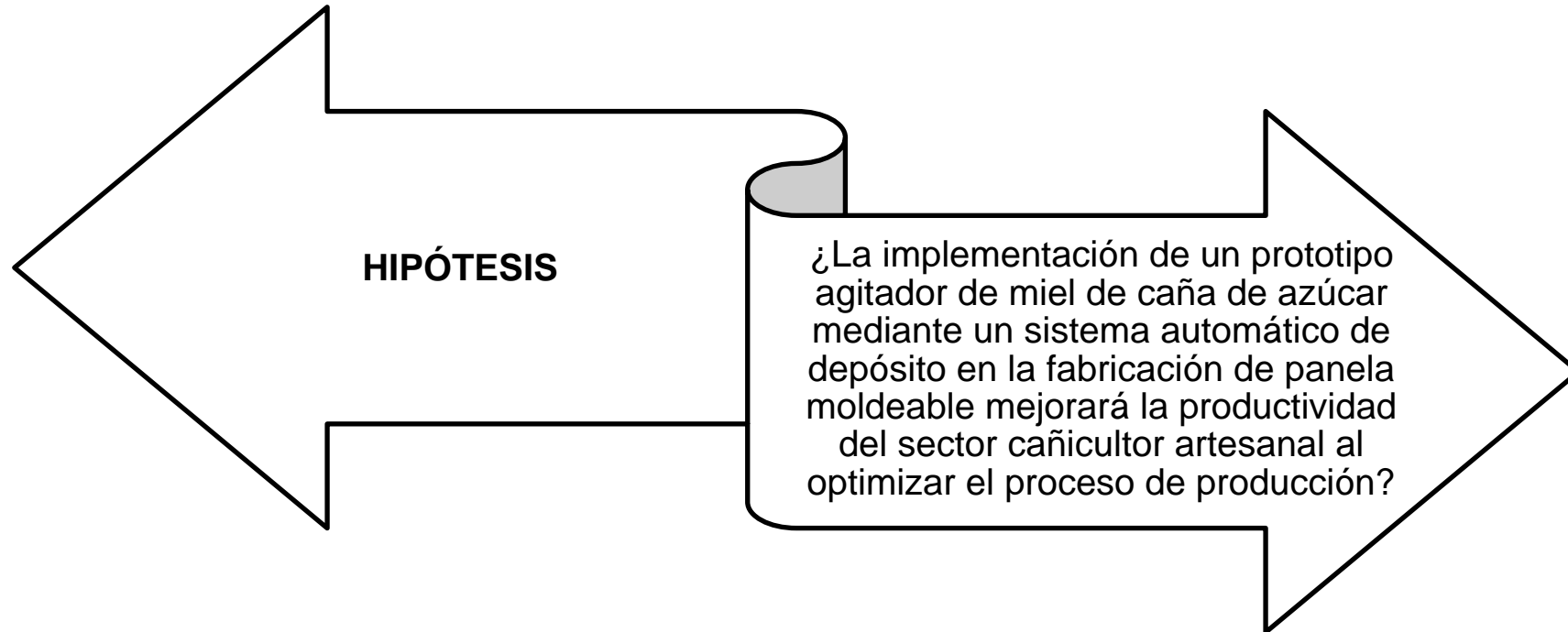




FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



OBJETIVO GENERAL



Diseñar y construir un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar el estado del arte de la miel de caña de azúcar y producción de panela para obtener información de parámetros los cuales faciliten la selección de materiales y equipos para el prototipado.

Diseñar un prototipo mecánico que albergue el sistema electrónico y de control además de la cantidad necesaria de miel de acuerdo con el número de moldes presentes en la producción.

Diseñar un sistema eléctrico-electrónico que permita obtener un funcionamiento correcto de sensores y actuadores presentes en el prototipo.

Diseñar un sistema de Automatización Industrial, permitiendo un control del sistema eléctrico-electrónico

Construir el diseño propuesto para obtener el prototipo funcional, verificando el correcto funcionamiento de cada una de las etapas integradas.

Validar experimentalmente el prototipo construido de acuerdo con las especificaciones establecidas para el proyecto, incorporando las mejoras en caso de ser necesario.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA PANELA



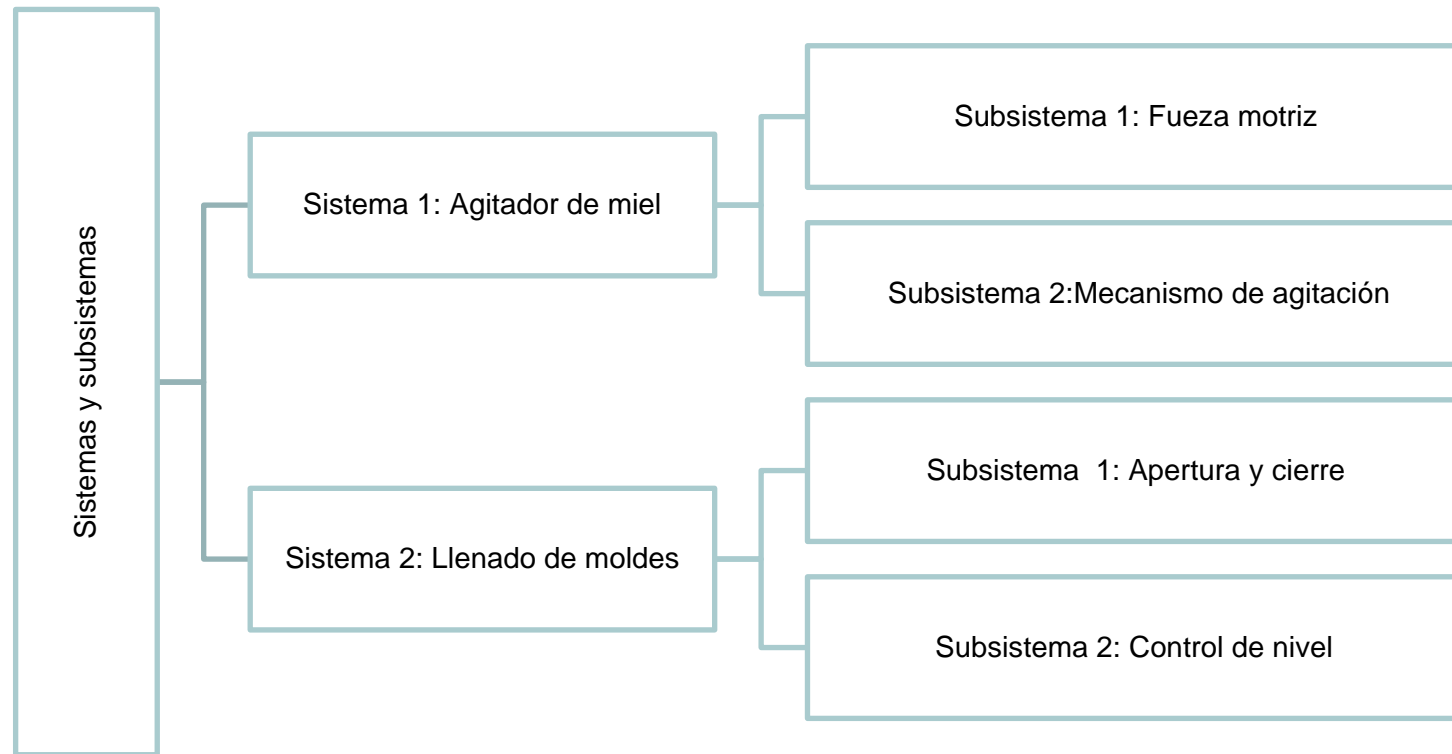
PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA PANELA



PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA PANELA



DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO



REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

Capacidad de producción de un lote de 25 unidades en un intervalo menor a 20 minutos.

La distribución del sistema de automatización

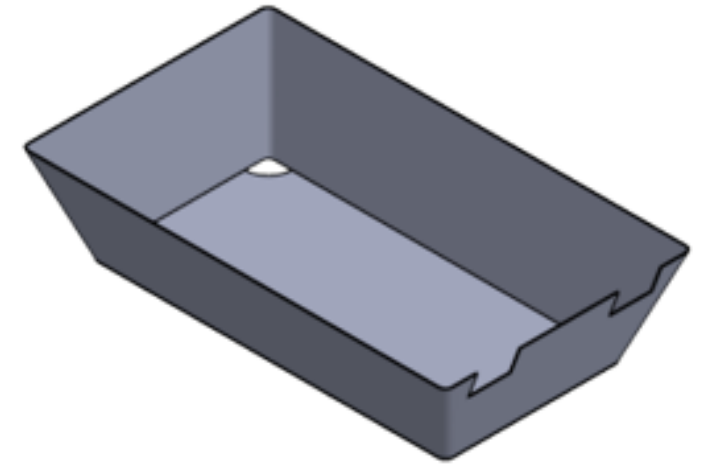
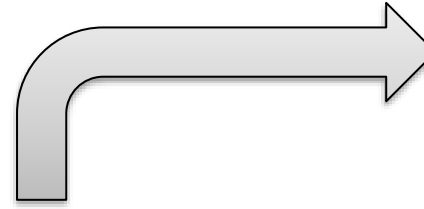
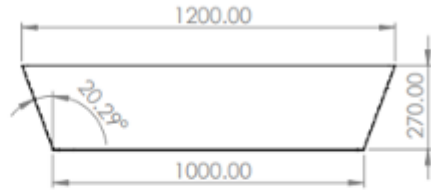
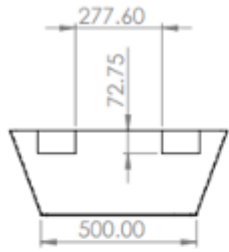
Adaptabilidad a la cantidad de producto obtenido del proceso de cocción de la miel

Dimensiones que se acoplen a los equipos existentes del proceso

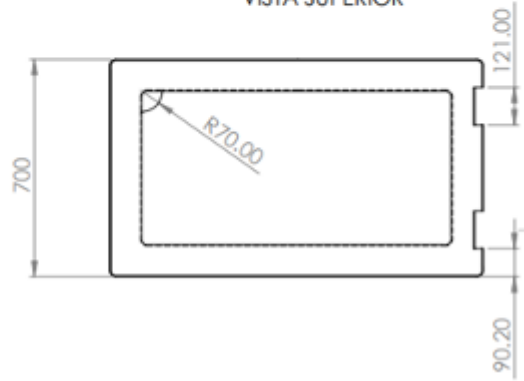
Repuestos de fácil adquisición y reposición



DISEÑO MECÁNICO



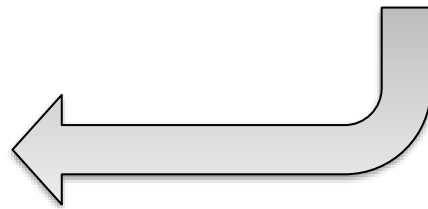
VISTA SUPERIOR



$$V = \left(\frac{B + b}{2} * \frac{L + l}{2} * h \right)$$

$$V = \left(\frac{0.7m + 0.5m}{2} * \frac{1.2m + 1m}{2} * 0.27m \right)$$

$$V = 0.01782 \text{ m}^3$$



Para considerar el espesor de la plancha a ocupar se considera que la miel tiene un comportamiento liquido por lo cual ejercerá una presión sobre todas las caras de la batidora provocando esfuerzos tangenciales, longitudinales y presiones

Esfuerzos tangenciales.

$$\sigma_t = \frac{p_i(d_i + t)}{2 * t}$$

Donde:

$\sigma_t =$ Esfuerzo tangencial

$p_i =$ Presión interna $\frac{kg}{m * s^2}$

$d_i =$ diámetro interno m

$t =$ Espesor m

Esfuerzos longitudinales.

$$\sigma_l = \frac{p_i(d_i)}{4 * t}$$

Donde:

$p_i =$ Presión interna $\frac{kg}{m * s^2}$

$d_i =$ diámetro interno m

$t =$ Espesor m



Presión interna.

$$P_i = p * g * r_i$$

Donde:

$$p_i = \text{Presión interna } \frac{kg}{m * s^2}$$

$$p = \text{Densidad relativa promedio de la carga } \frac{kg}{m^3}$$

$$r_i = \text{Radio interno } m$$

$$g = \text{Constante de la gravedad } \frac{m}{s^2}$$

$$P_i = p * g * r_i$$

$$P_i = 1300 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 1.2m$$

$$P_i = 1300 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 1.2m$$

$$P_i = 21168 \frac{kg}{m * s^2}$$

$$P_i = 21.168KPa$$

$$P_i = 0.021168MPa$$



DISEÑO MECÁNICO

Para el cálculo del esfuerzo cortante consideramos la siguiente ecuación aplicando factor de seguridad

$$\tau_{max} = \frac{S_{S_y}}{\eta}$$

Donde:

- S_{S_y} = Resistencia de fluencia al corte
- η = Factor de corte

$$\tau_{max} = \frac{205MPa}{8}$$

$$\tau_{max} = 25.63MPa$$

Para el diseño de la tolva de según el criterio de seguridad de máquinas es de 4.0 ya que estará sometido a cargas a presión:

$$S_{S_y} = 0.5 * S_y$$

Donde:

- S_{S_y} = Resistencia de fluencia al corte
- S_y =

Resistencia a la fluencia del material a utilizar 205MPa



Para determinar el espesor mediante el despeje de las ecuaciones

$$2 * \tau_{max} = \frac{p_i(d_i + t)}{2 * t} - \frac{p_i(d_i)}{4 * t}$$

$$t = \frac{p_i * Dc}{4\tau_{max} - P_i}$$

$$t = \frac{p_i * r_i}{4\tau_{max} - P_i}$$

$$t = \frac{0.021168MPa * 0.5m}{4 * 25.63MPa - 0.021168MPa}$$

$$t = 1.03 * 10^{-3}m$$

$$t = 1mm$$

De acuerdo al cálculo se seleccionó una plancha de 1.9 mm



DISEÑO MECÁNICO

Cant. Volumen	25 lts	Miel	120°C	80°Brix
$F = \rho \cdot \eta \cdot V \cdot A$	$\rho =$ Densidad	$\eta =$ Viscosidad	$V =$ Velocidad	$A =$ Área

Datos:

$$F = \rho \cdot \eta \cdot V \cdot A$$

$$\tau = \frac{Hp(746)}{\omega}$$

$$\rho = 1300 \frac{Kg}{m^3}$$

$$F = (1300)(2000)(0.105)(0.081)$$

$$\eta = 2000 Pa.s$$

$$F = 682.5 N$$

$$V = 0.105 \frac{m}{s}$$

$$\tau = F \cdot d$$

$$A = 0.081 m^2$$

$$\tau = (682.5)(0.2615)$$

$$\tau = 178.47 N.m$$

$$\tau = \frac{1.5(746)}{1730 \frac{rev}{min} \times 1 \frac{min}{60 seg} \times 2 \frac{rad}{1 rev}}$$

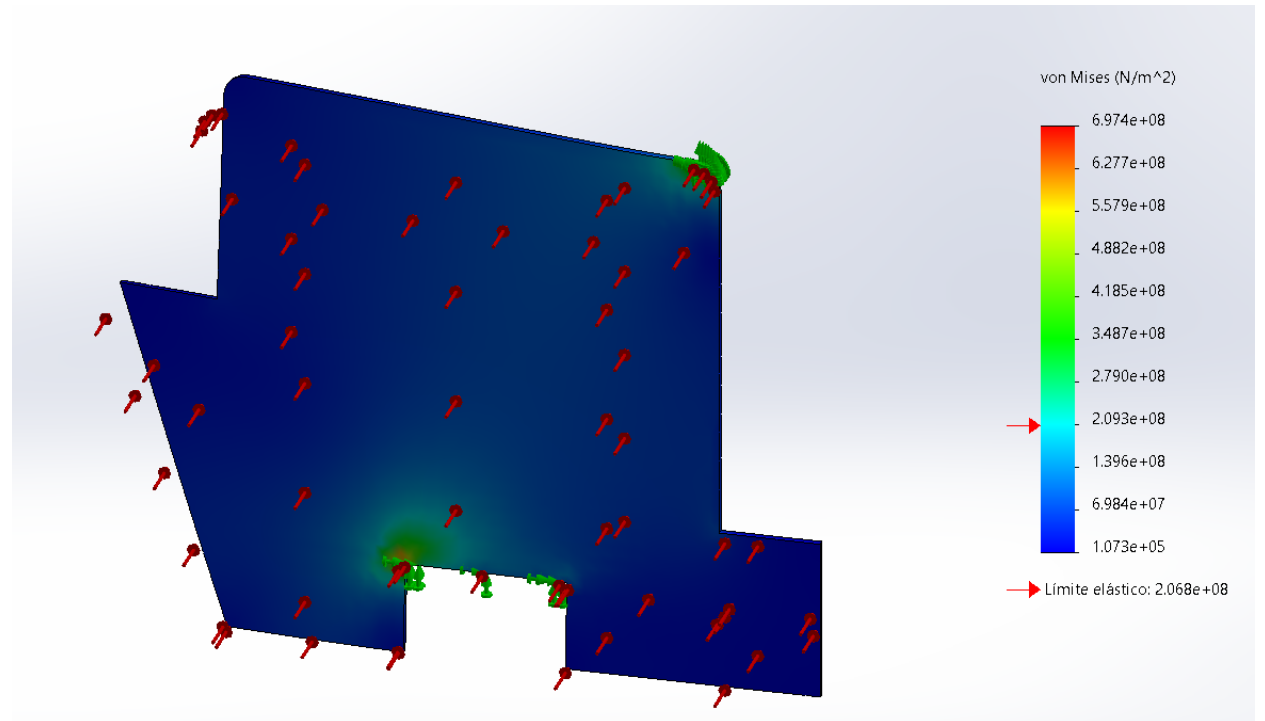
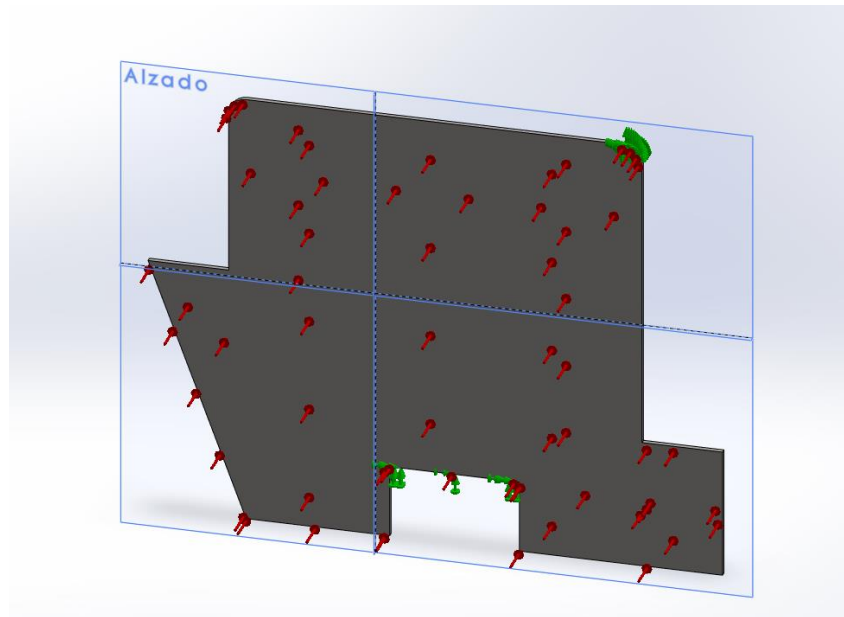
$$\tau = 6.176 N.m$$

$$\tau = 6.176 N.m (30)$$

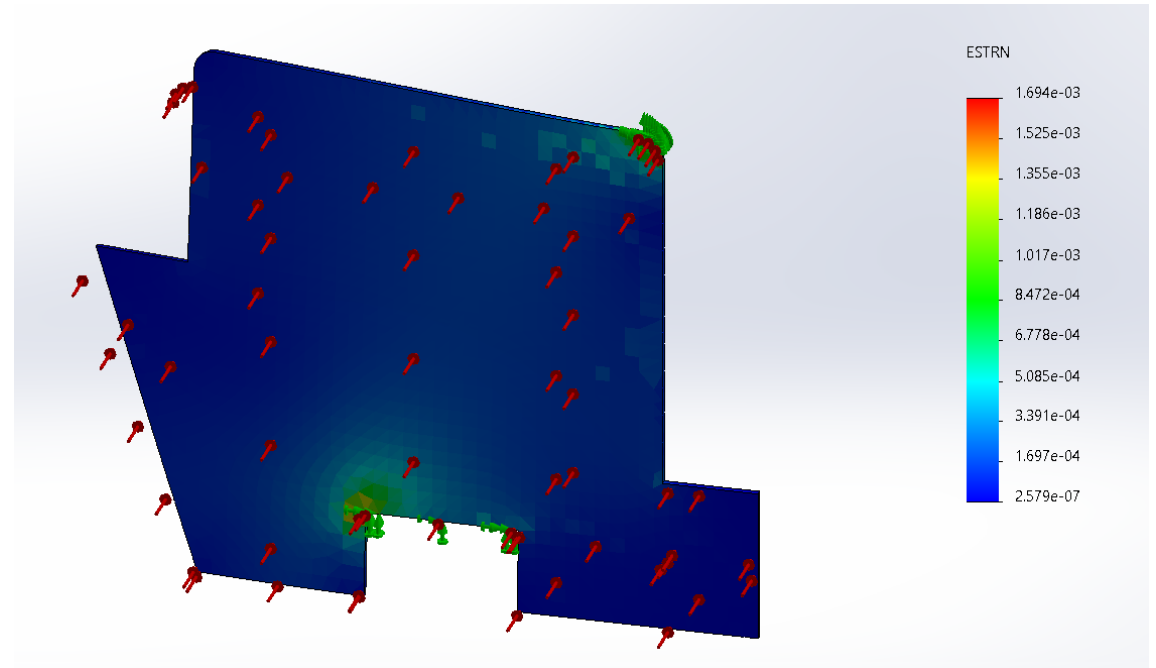
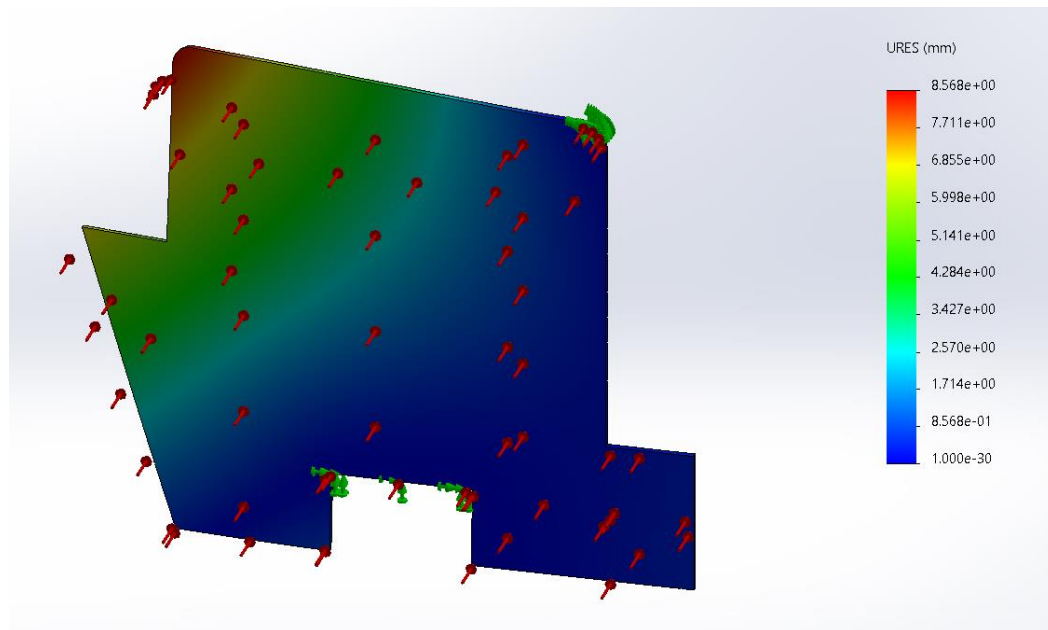
$$\tau = 185.3 N.m$$



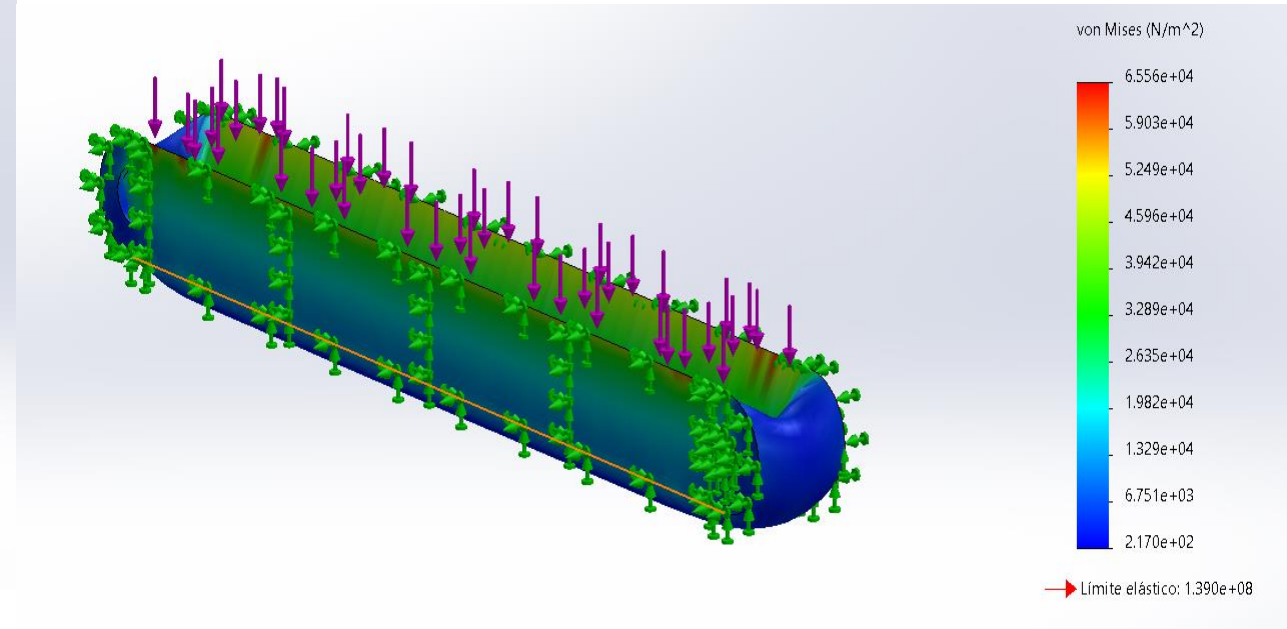
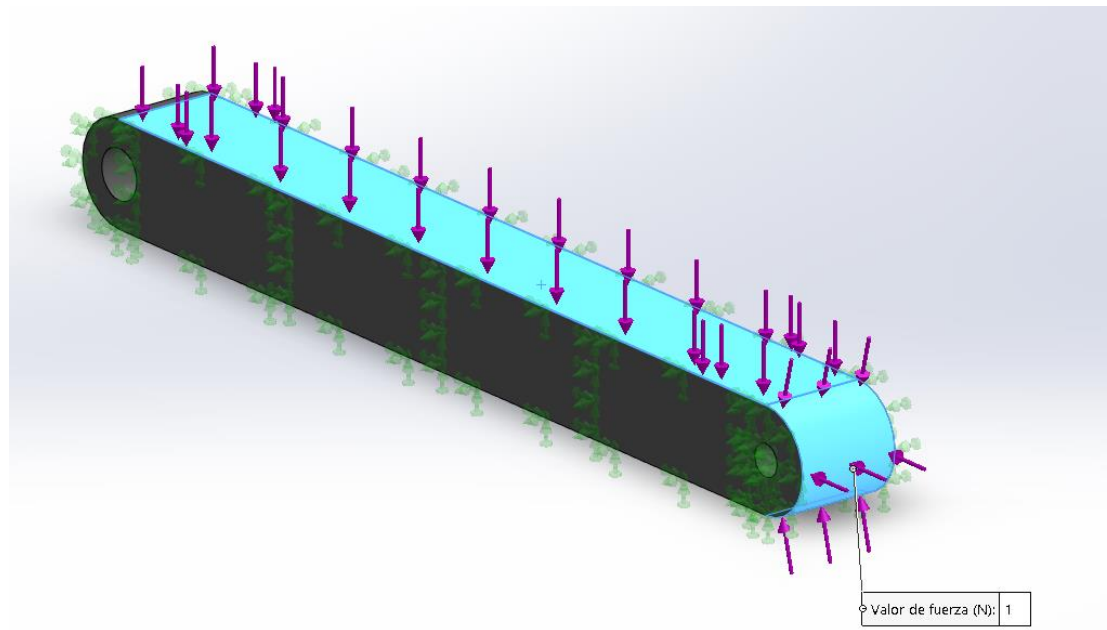
Análisis – Von Mises (Aspas)



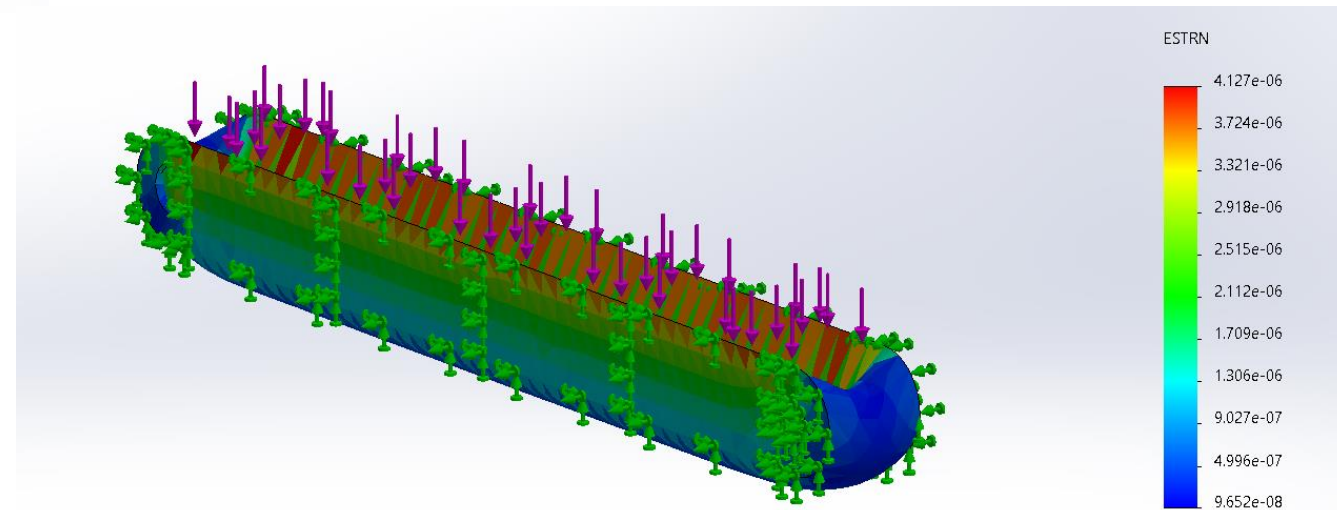
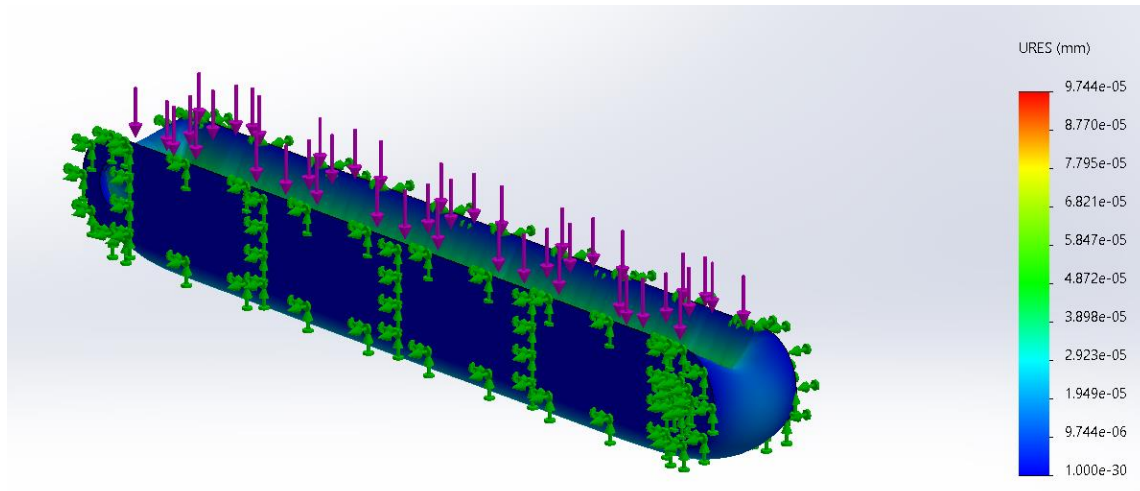
Desplazamiento – Deformación unitaria (Aspas)



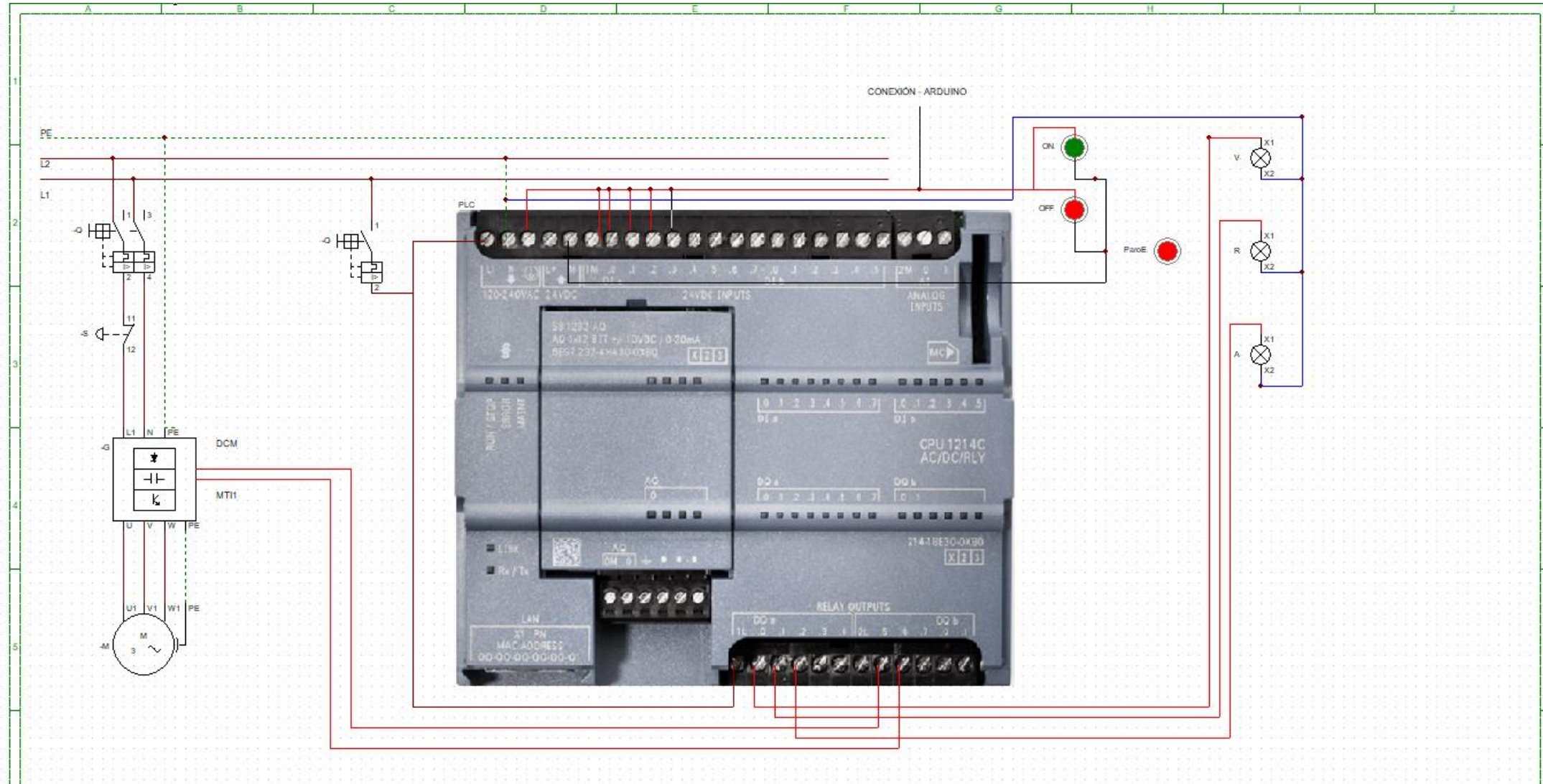
Análisis – Von Mises (B-M)



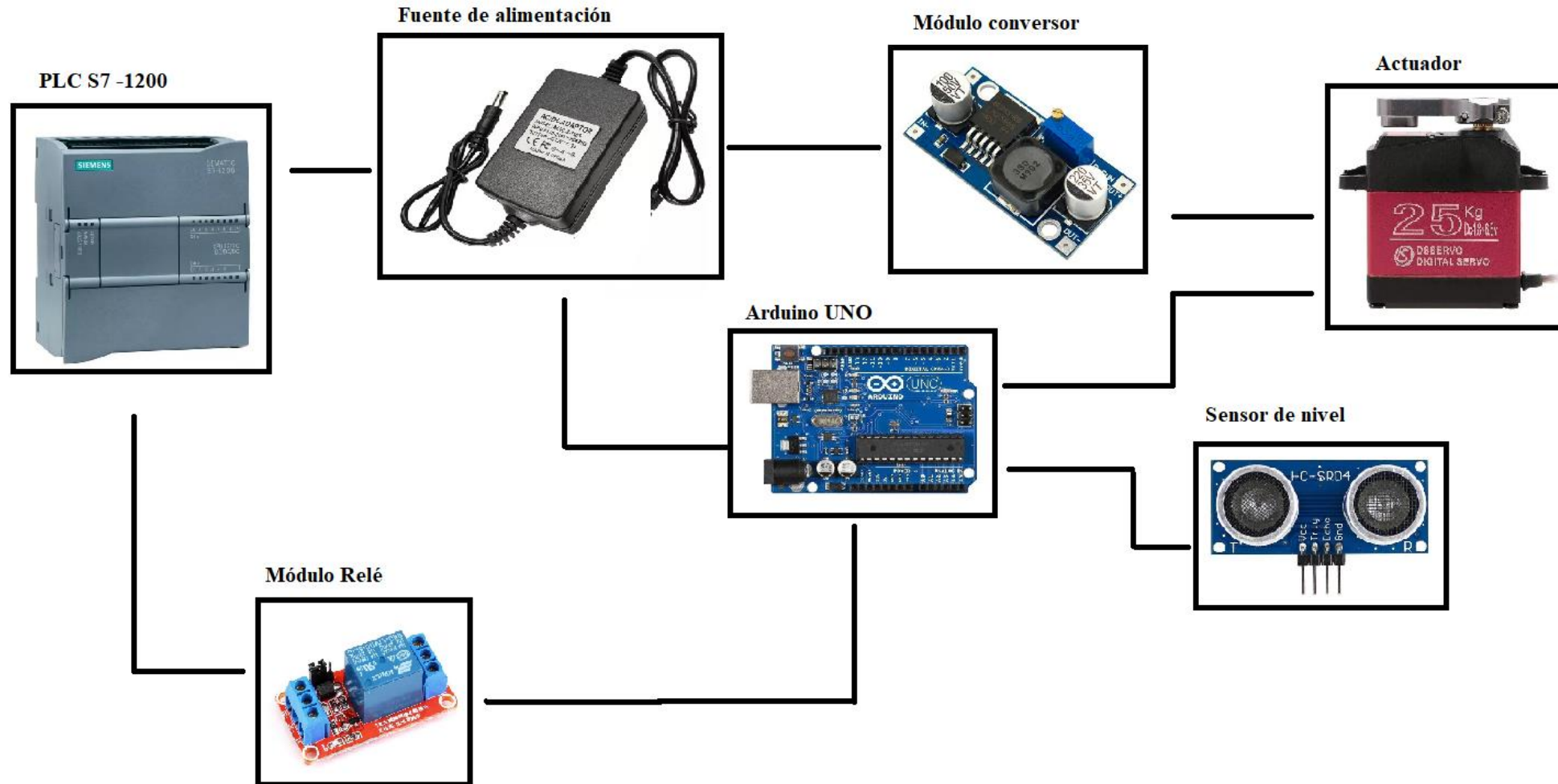
Desplazamiento – Deformación unitaria (B-M)



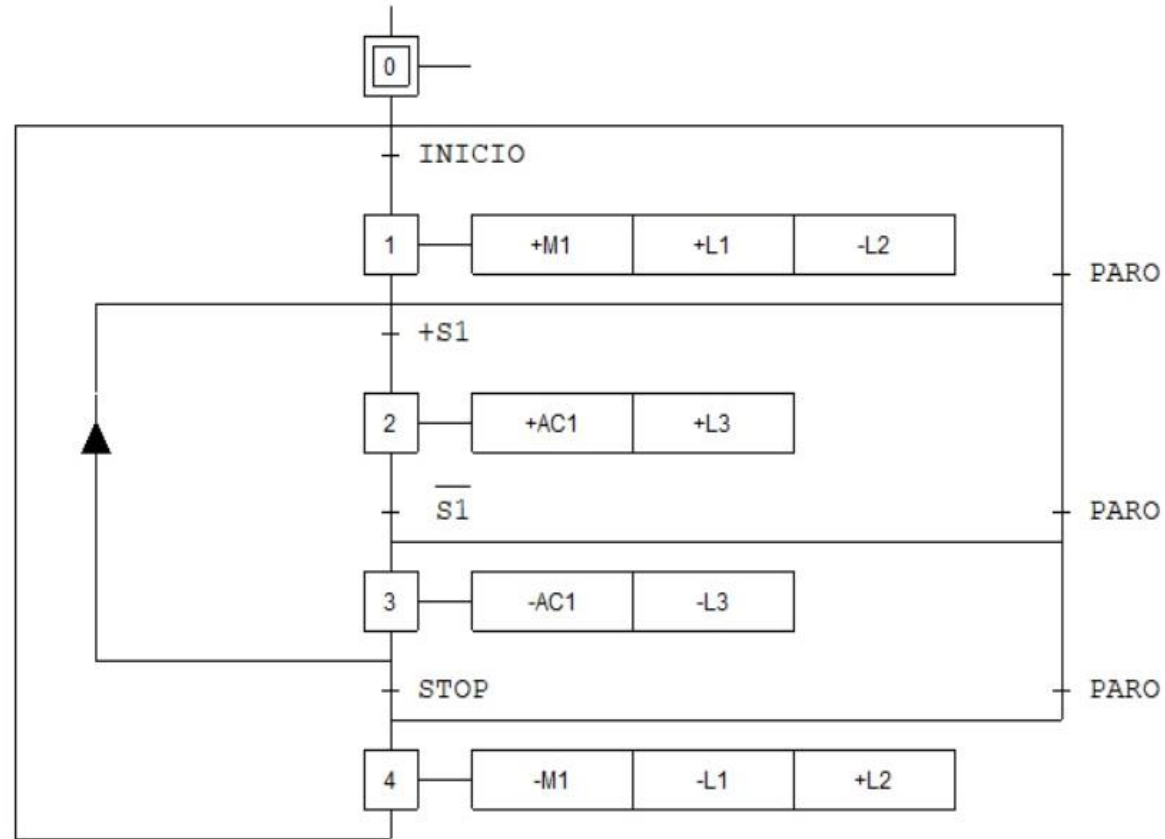
DISEÑO ELÉCTRICO



DISEÑO ELÉCTRICO



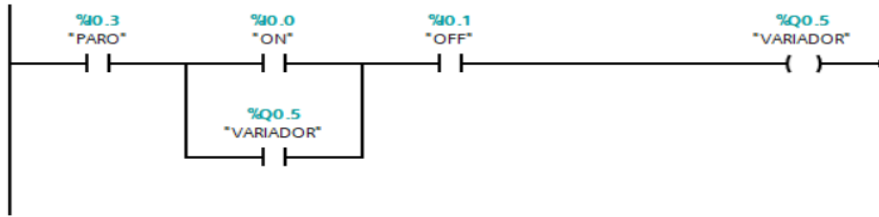
DISEÑO DE PROGRAMACIÓN



PROGRAMACIÓN LADDER

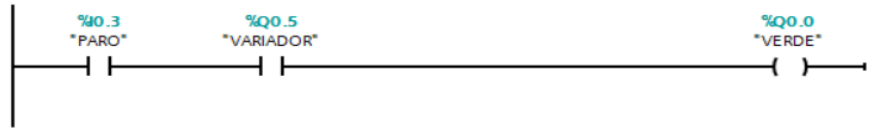
Network 1:

Comment



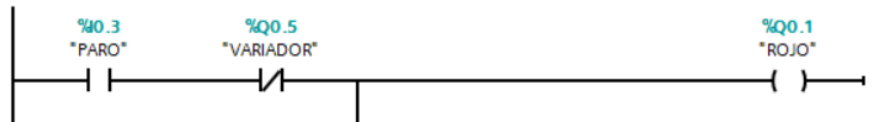
Network 2:

Comment



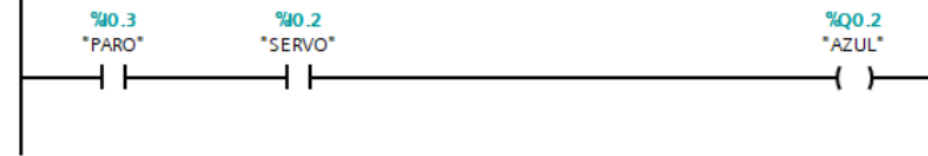
Network 3:

Comment



Network 4:

Comment



Network 4:

Comment



PROGRAMACIÓN ARDUINO – COMANDOS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

CODIFICACIÓN ARDUINO.ino

```
1  #include <Servo.h>
2
3  #define Pecho 8
4  #define Ptrig 7
5  #define servo 9
6  #define rele 13
7
8  long duracion, pre_millis;
9  long distancia = 0;
10
11 long dist = 0;
12 int count = 0;
13
14 bool con_soporte = false;
15
16
17 // Declaramos la variable para controlar el servo
18 Servo servoMotor;
19
20 void setup()
21 {
22
23     Serial.begin(9600);
24     pinMode(rele, OUTPUT);
25     digitalWrite(rele, HIGH);
26     pre_millis = millis();
27     servoMotor.attach(servo);
28     servoMotor.write(0);
29
30     // ultrasonico
31     pinMode(Pecho, INPUT);
32     pinMode(Ptrig, OUTPUT);
```

F2-01	Rated motor power	1.5HP
F2-02	Rated motor voltage	220
F2-03	Rated motor current	4.40
F2-04	Rated motor frequency	60
F2-05	Rated rotation speed of motor	1730
F2.11	Auto tuning	2
F0-02	1	-
F0-03	2	-
F5-01	2	-
F0-00	1	-
F0-01	2	-
F0-02	1	-
F0-03	2	-
F0-04	-	-
F0-05	-	-
F0-06	-	-
F0-07	-	-
F0-08	-	-
F0-09	-	-
F0-10	60hz	-
F0-11	-	-
F0-12	60hz	-
F0-13	-	-
F017	6	-
F018	3	-



Normas – Grado de protección

NTE INEN 2331 "Panela Sólida- Requisitos"

NTE INEN 2 25:2013 "Grados de protección proporcionados por las envolventes(contra polvo, contra agua, Insectos, herramientas, etc.)

CPE INEN-CODEX 1 " Principios generales de higiene de los alimentos "

NTE INEN 62262:2013 "Grados de protección proporcionados por los impactos mecánicos externos".

IP66 certifica la protección frente a chorros de agua.

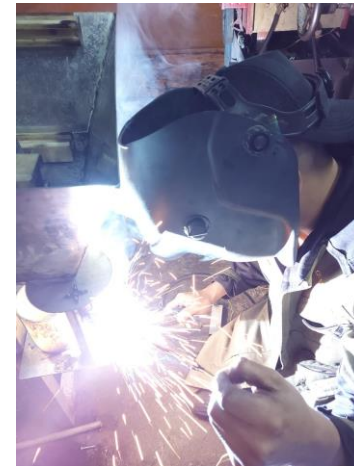
IP69k garantiza la resistencia a limpieza con vapor y a alta presión.



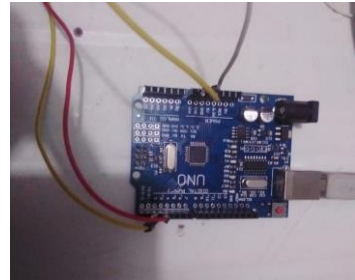
Construcción _ Tolva



Mecanismo_agitador



Sistema eléctrico - electrónico



Análisis de Pruebas y resultados



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas de calibración

Pruebas de calibración para 5 moldes de panela

Producción por lotes (5 moldes con panela)	Tempo (min: s)	Frecuencia aplicada al motor Hz	Observaciones
1	9:18	30	Batido demasiado lento, panela de aspecto reseco, inconvenientes al vaciado
2	7:35	40	Batido lento, Panela con aspecto reseco, vaciado demoroso
5	5:07	50	Batido normal, Panela con buen aspecto, vaciado adecuado
3	3:45	60	Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de muy buen aspecto, vaciado adecuado

Pruebas de calibración para 15 moldes de panela

Producción por lotes (15 moldes con panela)	Tempo (min: s)	Frecuencia aplicada al motor (Hz)	Observaciones
1	15:32	30	Batido demasiado lento, panela de aspecto arrozado, problemas al vaciado se resaca el contenido
2	13:28	40	Batido lento, Panela con aspecto granulado, vaciado con complicaciones
3	9:10	50	Batido normal, Panela con buen aspecto, vaciado adecuado
4	8:03	60	Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de muy buen aspecto, correcto vaciado



Pruebas de calibración

Pruebas de calibración para 25 moldes de panela

Producción por lotes (25 moldes con panela)	Tempo (min: s)	Frecuencia aplicada al motor (Hz)	Observaciones
1	-	30	Motor no rompe la inercia, sobre peso
2	22:15	40	Batido demasiado lento, Panela con aspecto granulado, inconvenientes al vaciado
3	11:28	50	Batido normal, Panela con un aspecto ideal, vaciado adecuado
4	9:37	60	Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de aspecto ideal, vaciado adecuado

Pruebas de calibración para 30 moldes de panela

Producción por lotes (30 moldes con panela)	Tempo (min: s)	Frecuencia aplicada al motor (Hz)	Observaciones
1	-	30	Motor no rompe la inercia, sobre peso
2	-	40	Arranque forzado con exceso de vibración
3	13 :10	50	Batido normal, Panela con un aspecto ideal, vaciado adecuado



Validación de la hipótesis

- Para la validación de la hipótesis se consideró 12 muestras con respecto a los datos obtenidos de manera manual y de manera automática, por lo cual se considera que:
 - La hipótesis nula (h_0) ; No hay diferencia significativa en la productividad del sector cañicultor artesanal antes y después de la implementación del prototipo agitador
 - La hipótesis alternativa (h_1) ; Si hay una mejora significativa en la productividad después de la implementación del prototipo agitador

Se aplicó el concepto de **T-Student** para la validación de hipótesis



PRUEBAS A 25 MOLDES DE PANELA (TRADICIONAL)

Datos obtenidos en modo manual

Producción por lotes (25 moldes por panela)	Tiempo
1	20:26
2	19:37
3	20:09
4	22:10
5	21:50
6	23:18
7	24:10
8	23:11
9	25:12

Producción por lotes (25 moldes por panela)	Tiempo
10	24:11
11	24:40
12	26:35

Tabla 22

Datos obtenidos en modo manual de producción de 25 moldes

Envasado (lote de 25 moldes por panela)	Tiempo
25	22.81
Promedio	2.17
Desviación estándar	
Muestra	12
Varianza	4.709



PRUEBAS A 25 MOLDES DE PANELA (AUTOMÁTICO)

Producción por lotes (25
moldes por panela)

Tiempo

1	12:10
2	11:50
3	12:57
4	11:01
5	12:17
6	11:41
7	12:33
8	12:07
9	11:42
10	11:09
11	12:50
12	13:45

**Envasado (lote de 25 moldes
por panela)**

Tiempo

25	11.97
Promedio	10.02
Desviación estándar	
Muestra	12
Varianza	100.400



Se aplica varianza común por medio de la ecuación

$$vc = \frac{((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2)}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$vc = \frac{((12 - 1)(4.709) + (12 - 1)(100.4))}{12 + 12 - 2}$$

$$vc = \frac{51.799 + 1104.4}{22}$$

$$vc = 52.555$$



Error estándar de las diferencias de las medias:

$$ESM = \sqrt{(vc) \frac{n_1 + n_2}{n_1 * n_2}}$$

$$ESM = \sqrt{(52.555) \frac{12 + 12}{12 * 12}}$$

$$ESM = 2.96$$



Valor de la T-test será:

$$t_{cal} = \text{diferencia de las medias}$$

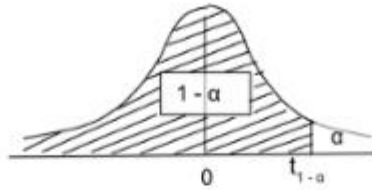
Se trabaja con un nivel de confianza de 0.05:

$$t_{cal} = \frac{0.95}{2.96}$$

$$t_{cal} = 0.321$$



Tabla T-Student



α	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001
$1-\alpha$	0,90	0,95	0,975	0,99	0,995	0,9975	0,999
ν	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$	$t_{0,9975}$	$t_{0,999}$
1	3,078	6,314	12,71	31,82	63,660	127,3	318,3
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,541	7,453	10,21
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,335	3,833	4,501
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505

- $h_o: t_{cal} > t_{0,95}$ se acepta
- $h_o: t_{cal} < t_{0,95}$ se rechaza

$$t_{cal} < t_{0,95}$$

$$0.321 < 1.717$$



Con respecto a la tabla T-Student mostrada en se puede observar que el grado de libertad obtenido es 22:

- $h_0: t_{cal} > t_{0.95}$ se acepta
- $h_0: t_{cal} < t_{0.95}$ se rechaza

$$t_{cal} < t_{0.95}$$

$$0.321 < 1.717$$

Se observa que la hipótesis nula se rechaza con la implementación de T Student por lo cual la hipótesis alternativa de acepta.



Conclusiones

- Se diseñó y se construyó un prototipo agitador de miel de caña de azúcar cuyas dimensiones 2 x 0.89 x 1.25 m, con un sistema automático de depósito de panela en moldes, obteniendo una mejora significativa en la productividad de este proceso
- Se logró realizar una investigación el estado del arte de la miel de caña de azúcar y producción de panela de esta manera se efectuó la selección de los componentes necesarios para la construcción del presente prototipo, siendo estos: Motor eléctrico siemens, Variador de frecuencia, Arduino UNO, Sensor HC-SR04, Servomotor, Pulsadores y Luces piloto, entre otros



Conclusiones

- Se diseñó un prototipo mecánico con acero inoxidable 304 de grado alimenticio que albergue tanto el sistema electrónico y de control, logrando adaptarse a la cantidad de miel requerida con una calibración de 50 Hz y establecer un lote de producción de 25 moldes.
- Se diseñó un sistema eléctrico-electrónico de tal manera que al dar marcha este prototipo, los sensores y actuadores lograron adaptarse al requerimiento de las dimensiones del producto final sin afectar al consumidor.
- El diseño eléctrico-electrónico presenta una configuración modular con el objetivo de incorporar sistemas de automatización adicionales, como una banda transportadora o sistemas automáticos de transporte de miel, siendo un diseño flexible y se adapta a las necesidades aun presentes en la fabricación de panela.



Conclusiones

- La correlación existente entre los diferentes sistemas se verificó a través de la sinergia observada en el correcto funcionamiento del sistema agitador de miel y el sistema de depósito de moldes contribuyendo al rendimiento general del proceso.
- El prototipo se validó con un lote de producción de 25 unidades en un intervalo menor a 20 minutos, también se distribuyó el sistema automatizado adaptando la cantidad de producto final con unas dimensiones que se acoplan a los equipos utilizados los cuales poseen repuestos de fácil adquisición y reposición.



Recomendaciones

- La información que se adquiriera debe provenir de fuentes bibliográficas confiables, garantizando la fiabilidad y obtener un criterio más centrado a la información previamente adquirida, estos pueden ser repositorios académicos digitales, artículos científicos, revistas científicas entre otras.
- Analizar opciones mecánicas que permitan mitigar el inconveniente de vibración para obtener un funcionamiento óptimo del sistema.
- Utilizando la configuración modular presentes en el diseño eléctrico-electrónico, se recomienda integrar sistemas y subsistemas que mejore la rentabilidad del proceso reduciendo esfuerzos físicos con la mejorar del tratado y cuidado del proceso en general



Recomendaciones

- Incorporar un sistema de suministro de energía independiente para los diferentes sistemas a integrar en caso de hacerlo, y evitar inconvenientes como caídas de tensión, control de costos, entre otros además de ayudar a la vida útil de los equipos
- Cuidar el grado de inclinación especificado en la instalación que presenta la tolva garantizando un flujo constante y uniforme de depósito de panela ya que pueden presentarse como una perturbación directa en la productividad



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA