

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
EMBOTELLADORA DE CERVEZA SEMIAUTOMÁTICA
PARA LA EMPRESA SHAMAN CERVECERÍA
ARTESANAL"**

Autores: Coronado Ríos Joel Andrés
Gavilanes Miranda Jonathan Esteban

Director: Ing. Francisco Terneus

Agosto de 2023





Objetivos

Antecedentes y Justificación

Diseñar y construir una embotelladora de cerveza semiautomática

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

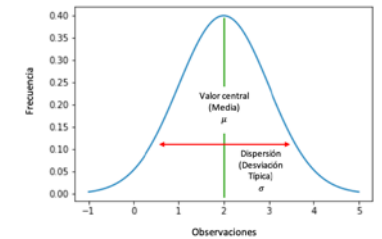
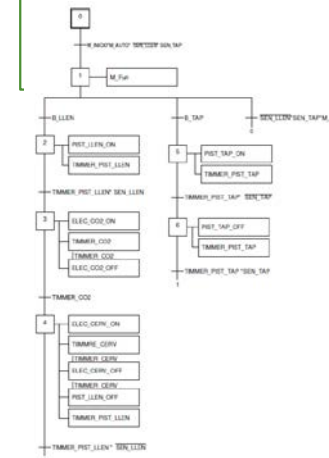
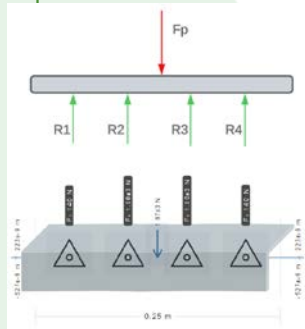
Diseño mecánico de los subsistemas

Selección de elementos para el control y accionamiento

Diseño e implementación del sistema de control

Programación de la interfaz HMI

Evaluación y pruebas de funcionamiento



Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes



Contexto del consumo de cerveza en el Ecuador



Cerveza Artesanal en el país



Crecimiento del mercado de la Cerveza Artesanal



Contexto de la empresa Shaman Cervecería Artesanal



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Justificación e Importancia

Obstáculos en a elaboración, embotellado y distribución



Aumento del volumen de producción de la empresa Shaman



Número de operadores necesarios para el embotellado





Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Principio de funcionamiento de una embotelladora

Llenado por
gravedad



Llenado por
contrapresión



Llenado por
bombeo





Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

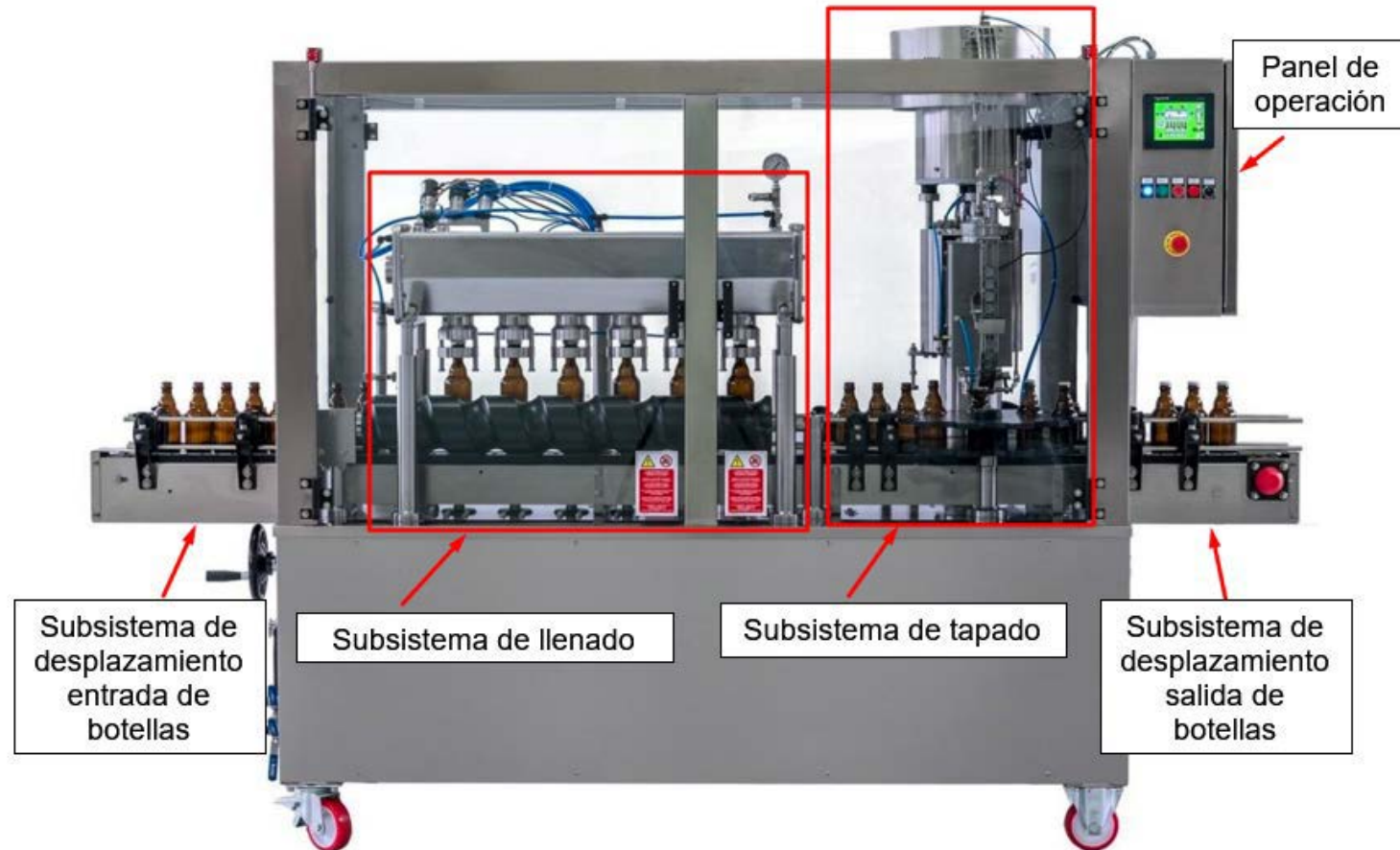
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Subsistemas que conforman una embotelladora





Antecedentes y
Justificación

Ingeniería de requisitos

Ingeniería de requisitos	Magnitud
Botellas de cristal	300ml
Uso de tillos	26mm
Alimentación a partir de barriles de	50L
Producción	60 botellas (envasadas y selladas) por hora
Adicionalmente se enumeran requerimientos deseados por parte de la empresa	
Fácil mantenimiento y limpieza	
Máquina de bajo costo	
Dimensiones mínimas posibles, ligereza y movilidad	
Fácil utilización y poco tiempo de capacitación	
Uso de conexiones estándar en la industria (Tipo CLAMP)	
Sellado y tapado simultáneo en bloques de botellas	

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Concepto a desarrollar

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

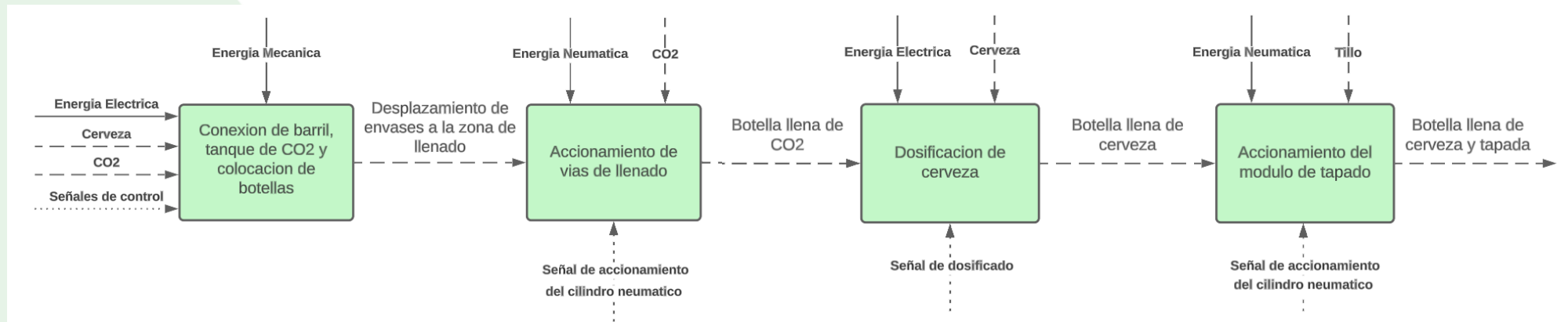
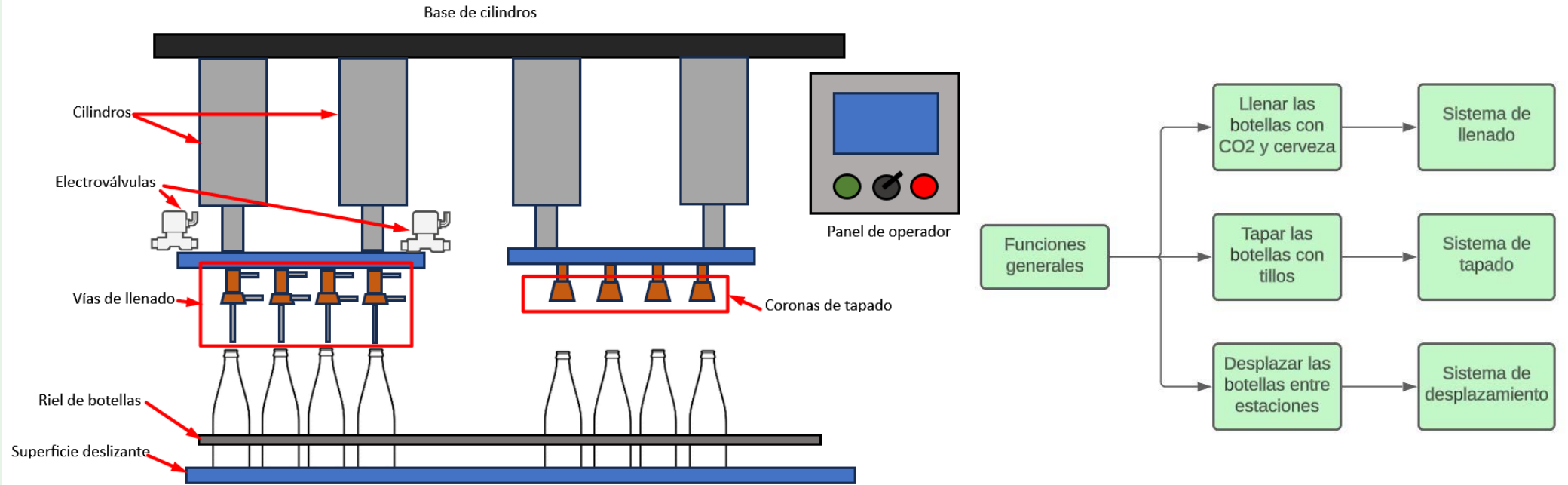
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

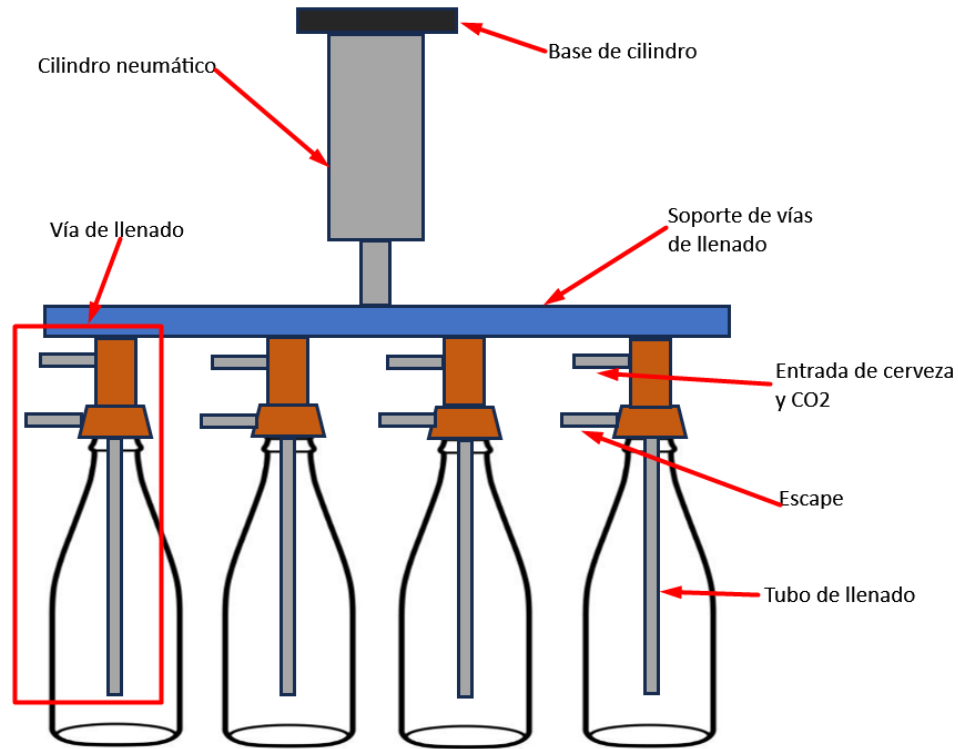
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Subsistema de llenado



Componentes principales

- Vía de llenado
- Cilindro neumático
- Electroválvulas para CO₂ y Cerveza

Electroválvula

Material: Stainless steel 304
Model: 2S040-08
Rated voltage: DC 12V
Thread: G1/4"



Especificaciones:
Material: acero inoxidable 304
Modelo: 2S040-08
Tensión nominal: 12 V DC
Tema: / 4"
Orificio: 2.5mm
medios plicable: Agua, IR, Petróleo, Gas
Modo de funcionamiento: Normalmente



Especificación

Tipo de electroválvula
Material
Voltaje de operación
Diámetro de conexiones

Valor

2/2, mecanismo de bola
Acero Inoxidable
24 VDC
1/4 de pulgada



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

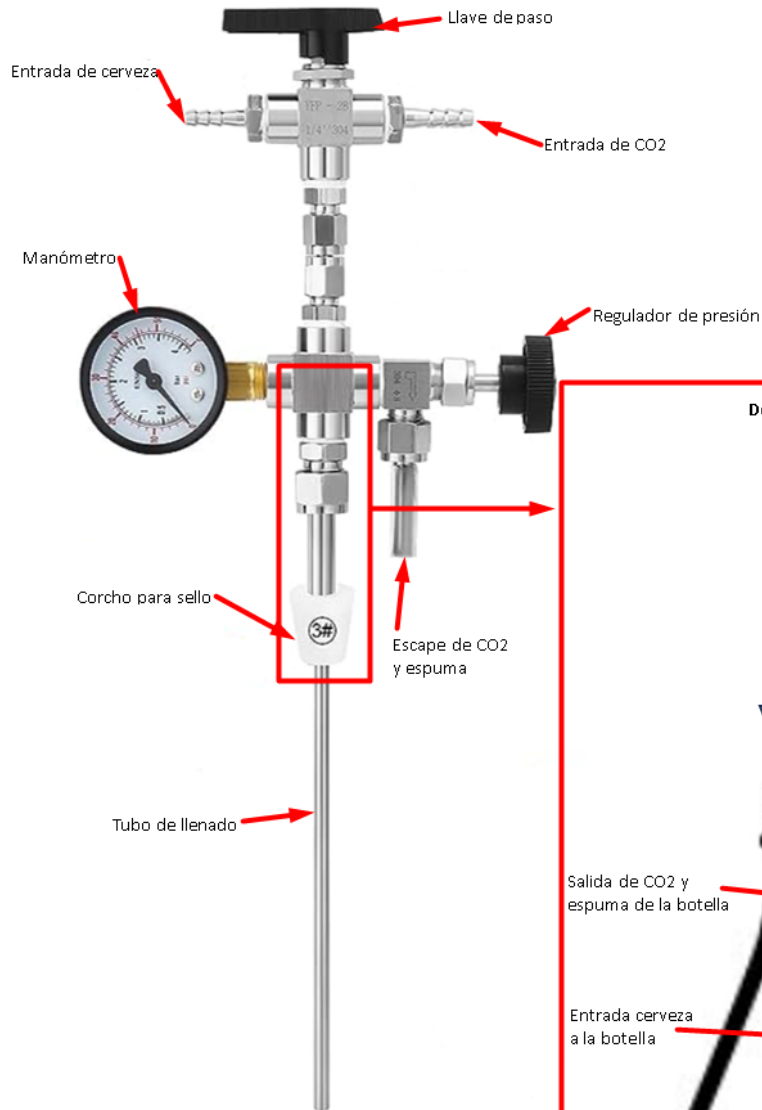
Pruebas y Resultados

Conclusiones

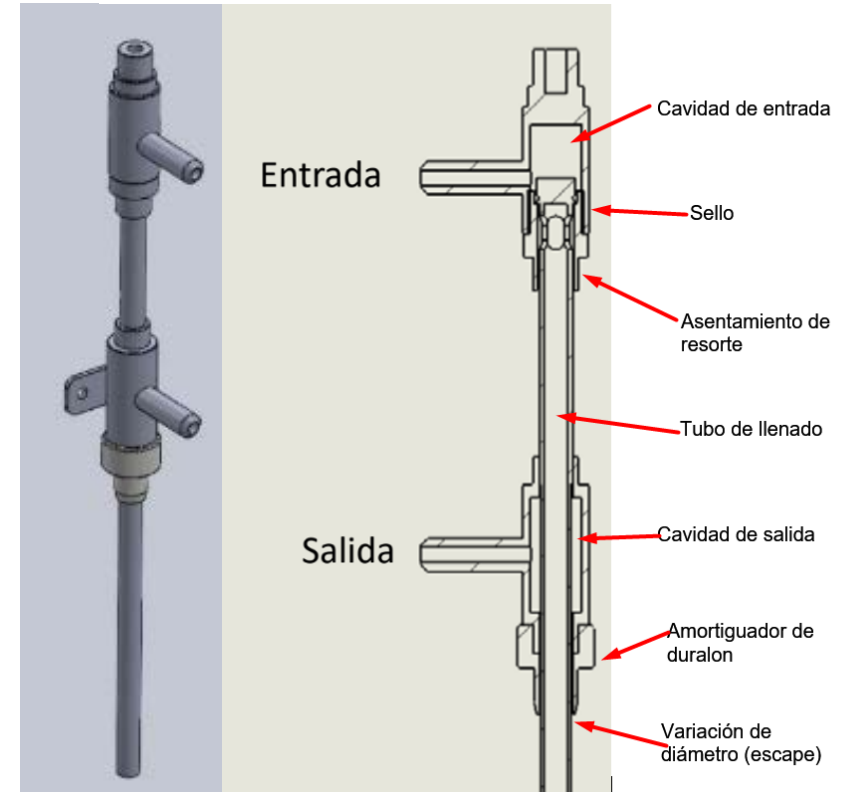
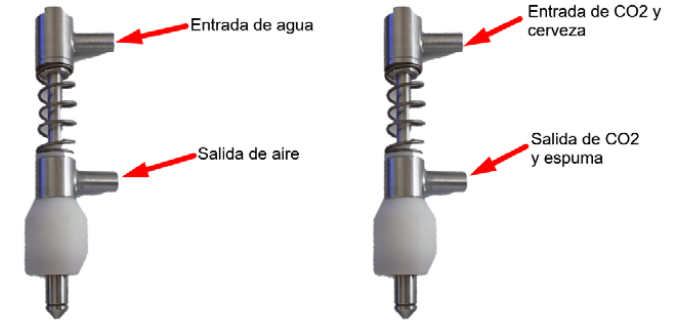
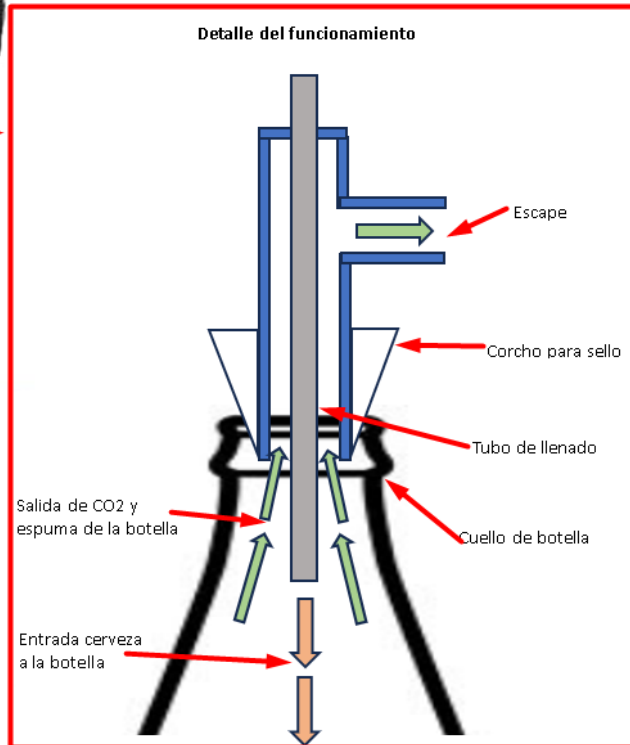
Recomendaciones

Trabajos futuros

Subsistema de llenado



Vía de llenado





Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

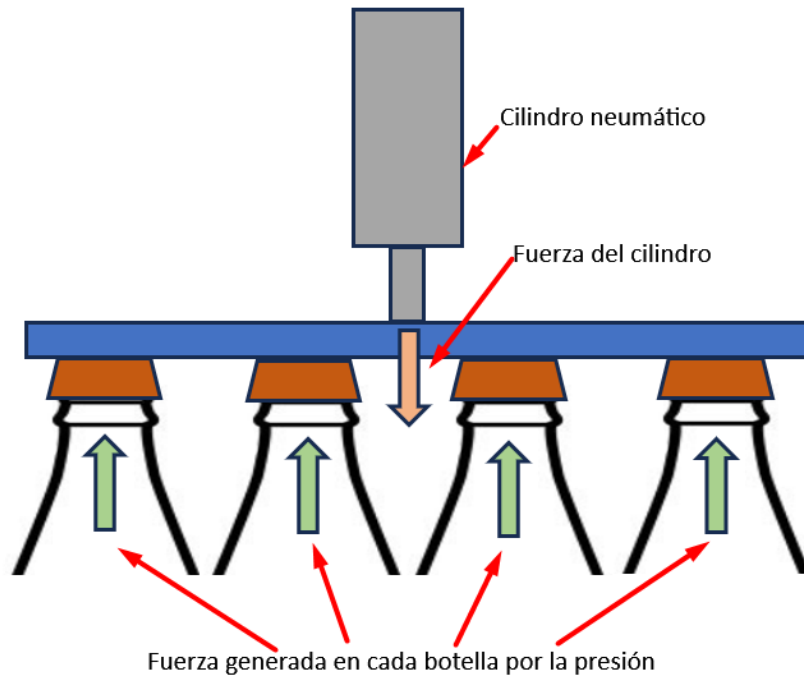
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Selección de cilindro neumático Llenado



Especificaciones del Pistón

Especificación	Valor
Longitud del vástago	400mm
Diámetro del Émbolo	63mm
Diámetro del vástago	16mm
Presión de Funcionamiento	0.4 bar ... 12 bar
Fuerza teórica con 6 bares	1870 N

Fuerza Necesaria

$$F = \frac{A}{P}$$

$$F = \frac{\pi * \frac{(0.025)^2}{4} [m]}{20 [psi]}$$

$$F = 67.569 * 4 [N]$$

$$F = 270.276 [N]$$

Fuerza Entregada

$$AreaAvanceL = \pi * \frac{(DcilindroL)^2}{4}$$

$$AreaAvanceL = 3.117 \times 10^{-3} [m^2]$$

$$FuerzaAvanceL = AreaAvanceL * Presion$$

$$FuerzaAvanceL = 1.87 \times 10^3 N$$



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

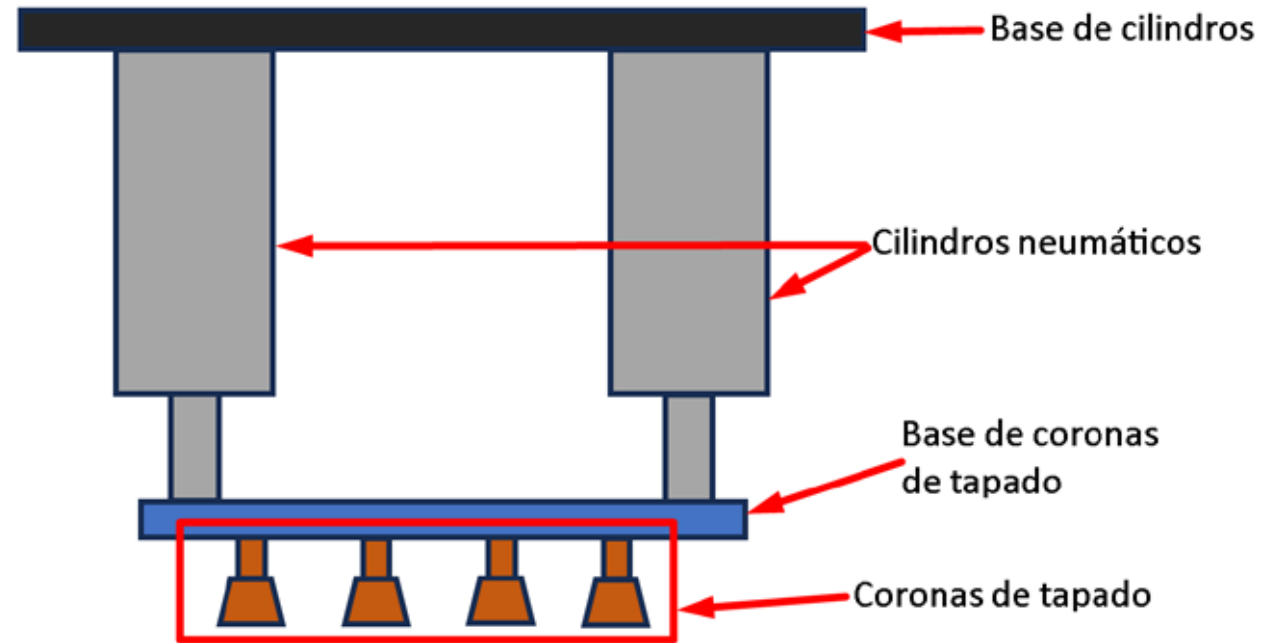
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Subsistema de tapado



Coronas de tapado



Componentes principales

- Corona de tapado
- Cilindros neumáticos



Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

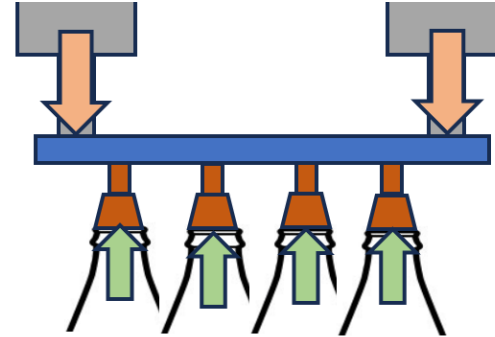
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Selección de cilindros Tapado

Determinación de Fuerza necesaria



La fuerza necesaria para tapar una botella fue de 675N por lo que para el sistema completo con cuatro botellas será necesario cumplir una fuerza mínima de 2700N

Fuerza Entregada

$$AreaAvanceT = \pi * \frac{(DcilindroT)^2}{4}$$

$$AreaAvanceT = 3.117 \times 10^{-3} [m^2]$$

$$FuerzaAvanceT = AreaAvanceT * Presion$$

$$FuerzaAvanceT = 1.87 \times 10^3 [N]$$

$$FuerzaAvanceTotal = 2 * AreaAvanceT * Presion$$

$$FuerzaAvanceTotal = 3.741 \times 10^3 [N]$$

Con 10% de pérdidas del valor total dando como resultado 3367 Newtons.



Subsistema Neumático

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

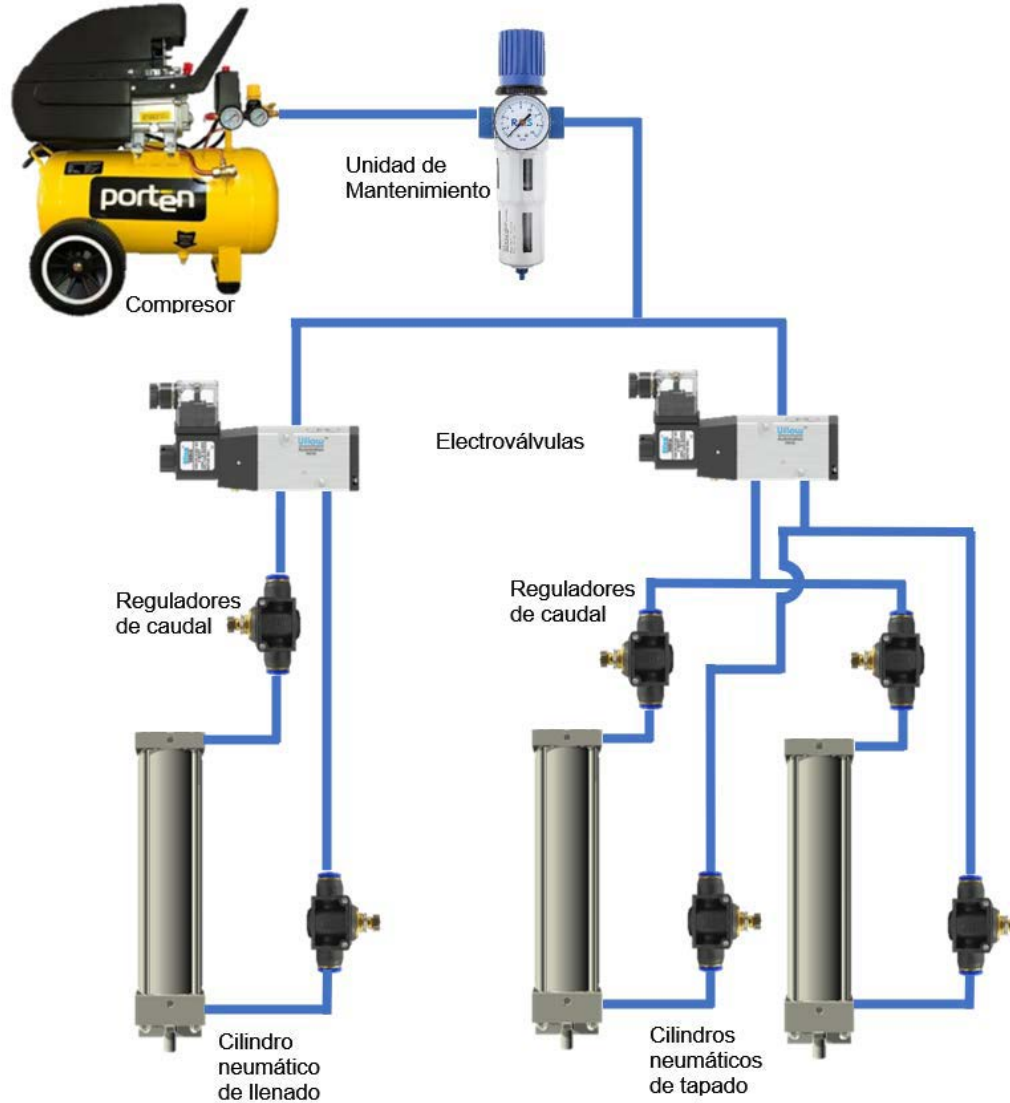
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados




Conclusiones

Recomendaciones

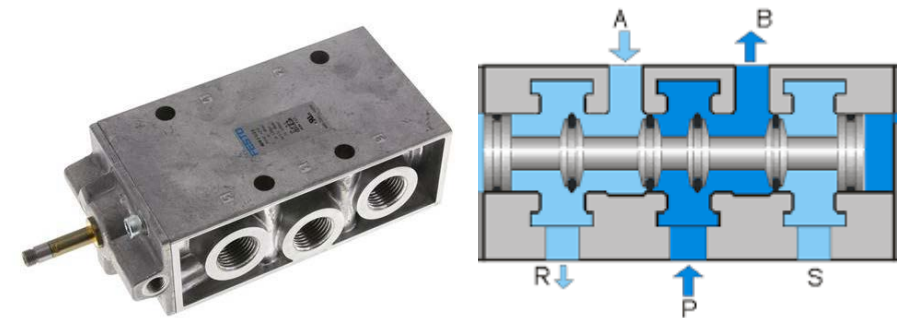
Trabajos futuros



Calidad de Aire

ISO 8573-1:2010 Clase	Partículas sólidas 			Concentración de masa mg/m ³	Agua 		Aceite 
	0,1 – 0,5 µm	0,5 – 1 µm	1 – 5 µm		Punto de condensación bajo presión Vapor °C	Líquido g/m ³	Contenido total de aceite (líquido, aerosol y niebla) mg/m ³
0	Según la definición del usuario del equipo, pureza mayor a la que se exige en la clase 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	–	≤ -70	–	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	–	≤ -40	–	0,1
3	–	≤ 90.000	≤ 1.000	–	≤ -20	–	1
4	–	–	≤ 10.000	–	≤ +3	–	5
5	–	–	≤ 100.000	–	≤ +7	–	–
6	–	–	–	≤ 5	≤ +10	–	–
7	–	–	–	5 – 10	–	≤ 0,5	–
8	–	–	–	–	–	0,5 – 5	–
9	–	–	–	–	–	5 – 10	–
X	–	–	–	> 10	–	> 10	> 10

Electroválvula 5/2





Modelo CAD de la embotelladora

Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

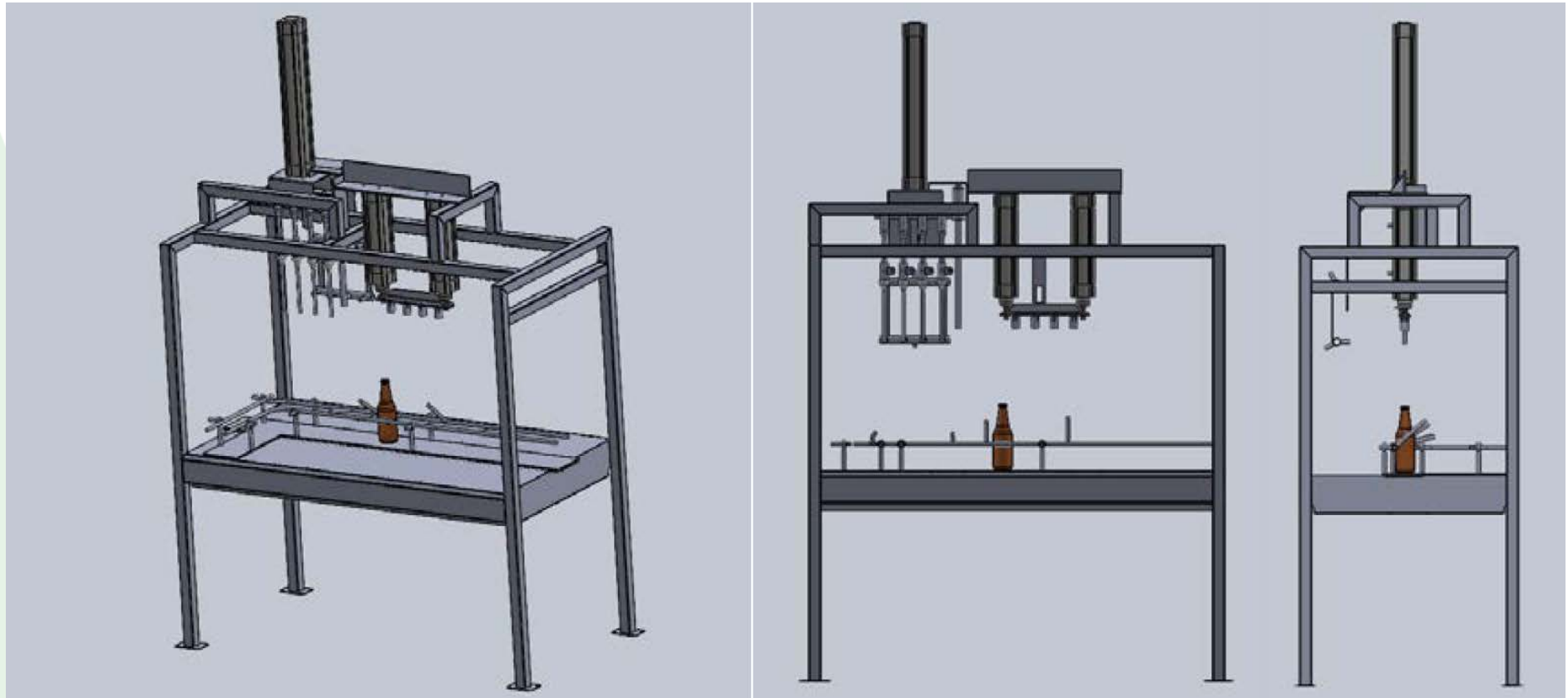
Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Bastidor

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

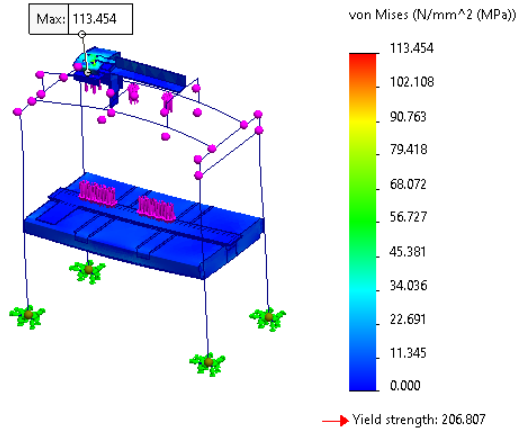
Pruebas y Resultados

Conclusiones

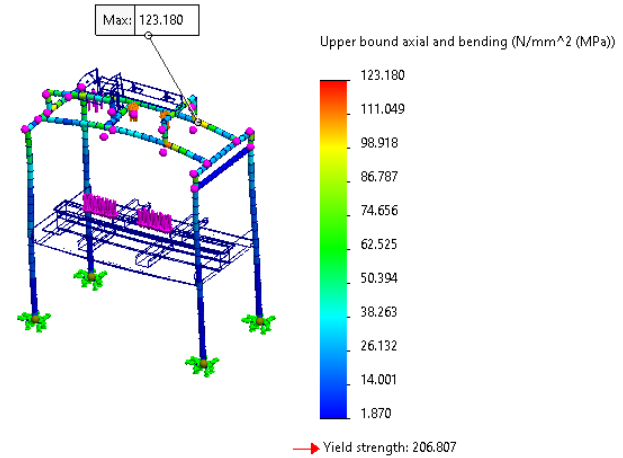
Recomendaciones

Trabajos futuros

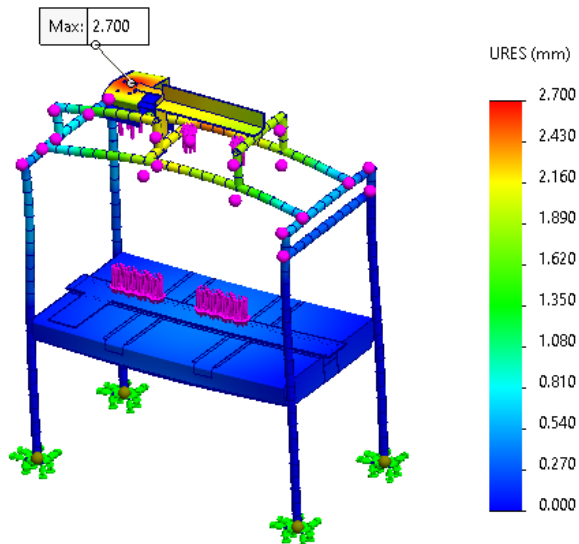
Analisis de Esfuerzos



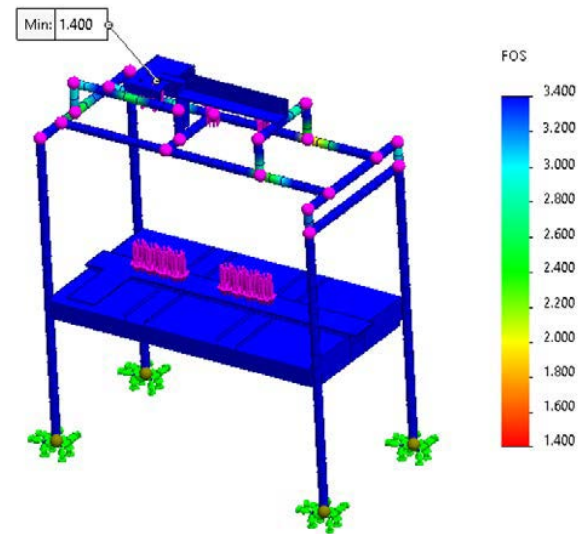
Analisis de Esfuerzo en vigas



Deflexiones



Factor de seguridad



Parámetro

Esfuerzo máximo
113.454 MPa

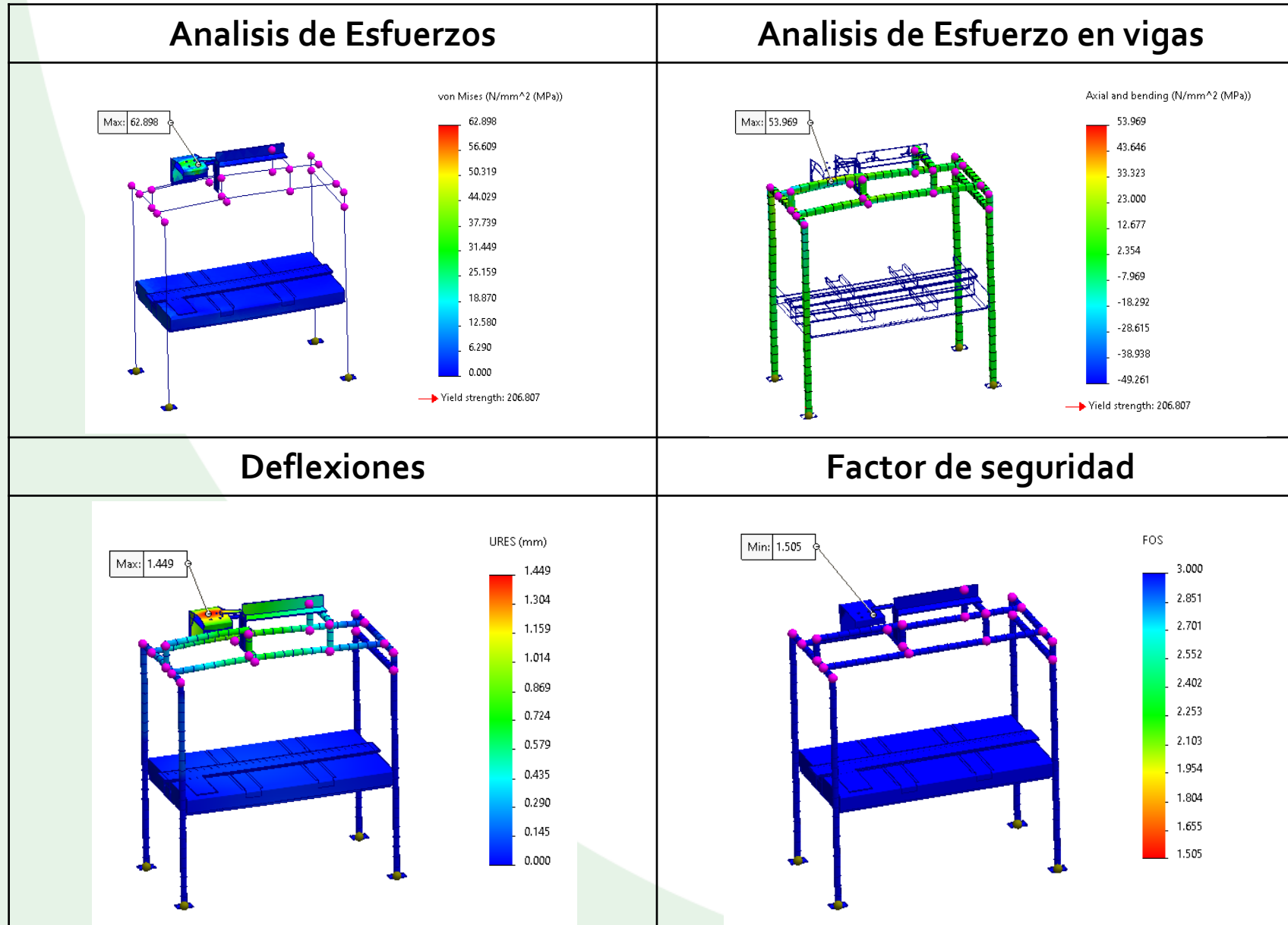
Esfuerzo en viga máximo
123.180 MPa

Deflexión máxima
2.7 mm

Factor de seguridad mínimo
1.4



Subsistema de llenado



Parámetro

Esfuerzo máximo
62,898 MPa

Esfuerzo en viga máximo
53,969 MPa

Deflexión máxima
1,449 mm

Factor de seguridad mínimo
1,505

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

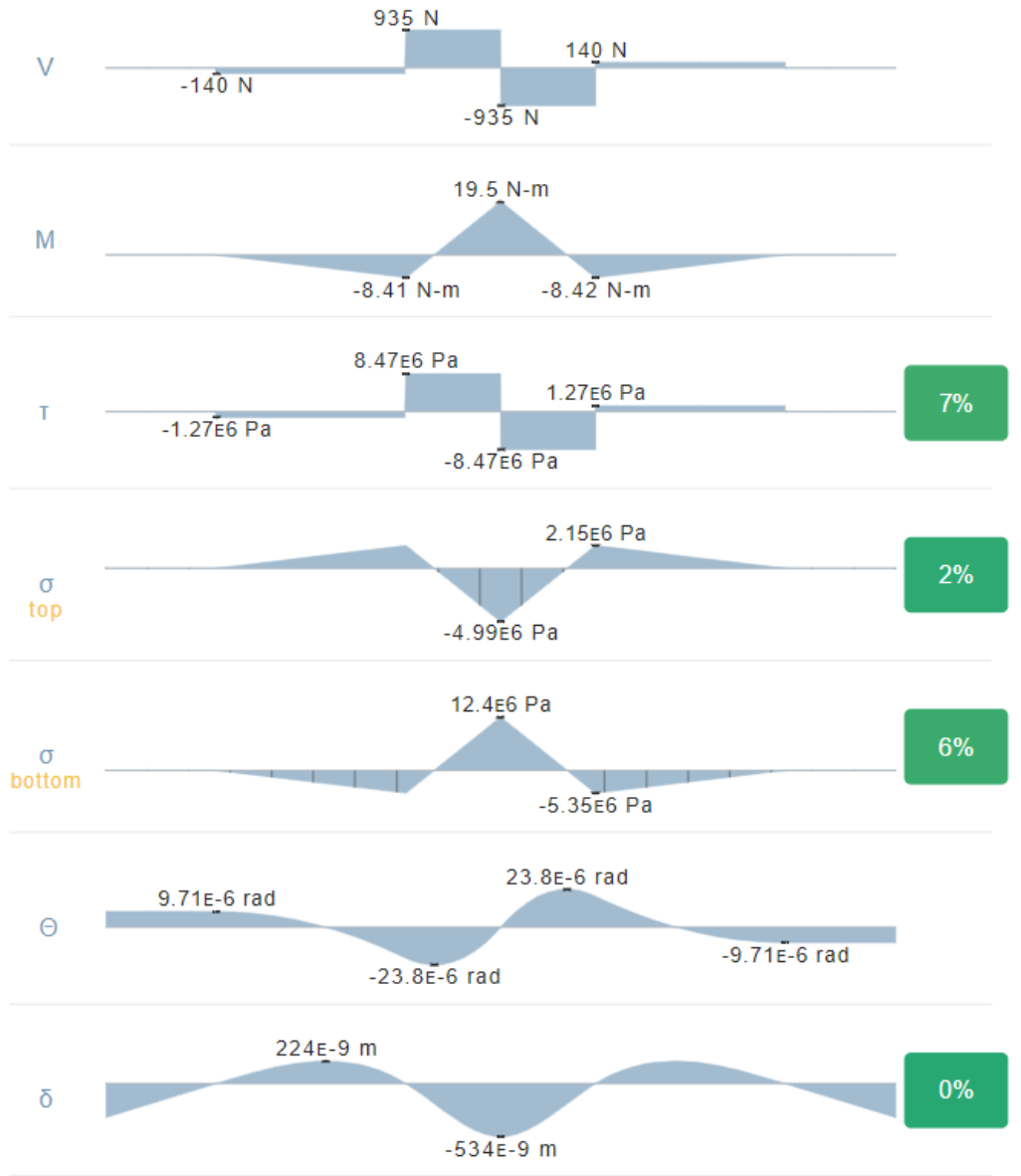
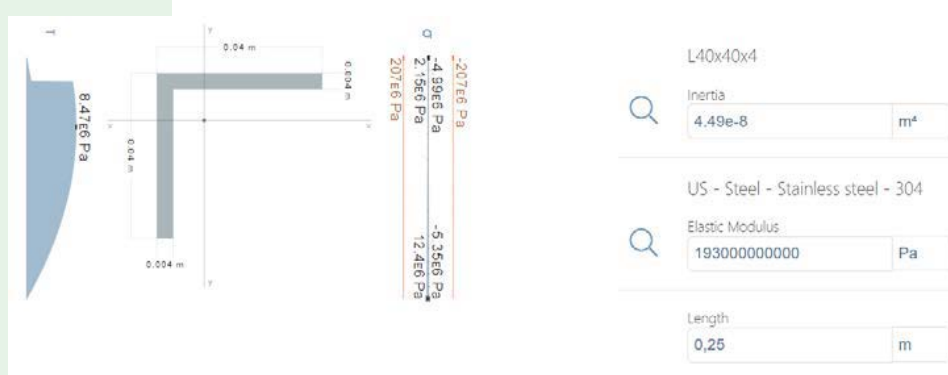
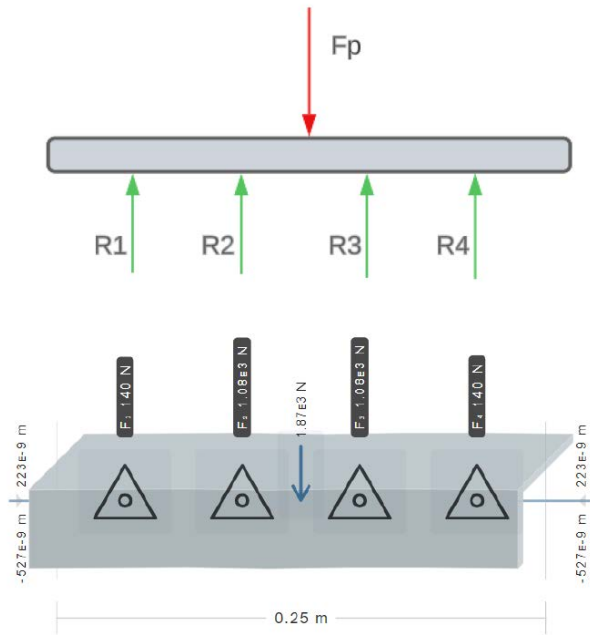
Recomendaciones

Trabajos futuros



Subsistema de llenado

Distribución de fuerzas en el soporte de las vías de llenado



- Antecedentes y Justificación
- Investigación previa
- Metodología
- Diseño y construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos futuros



Subsistema de Tapado

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

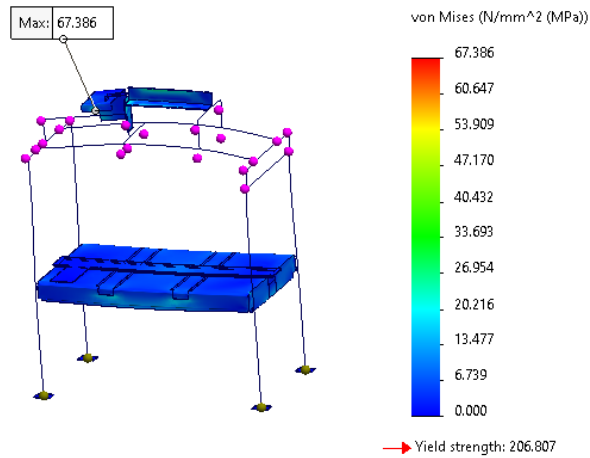
Pruebas y Resultados

Conclusiones

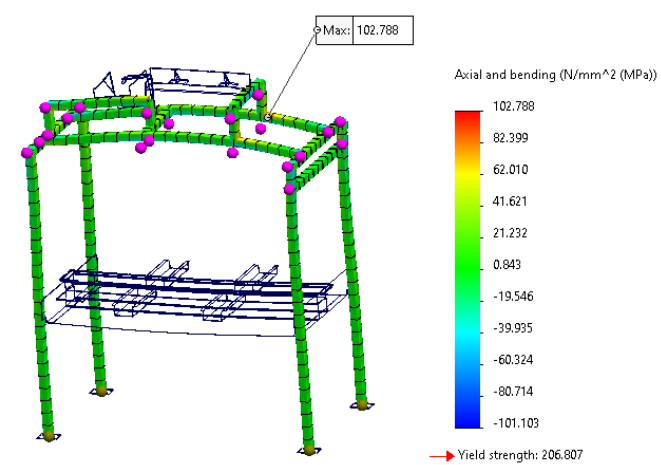
Recomendaciones

Trabajos futuros

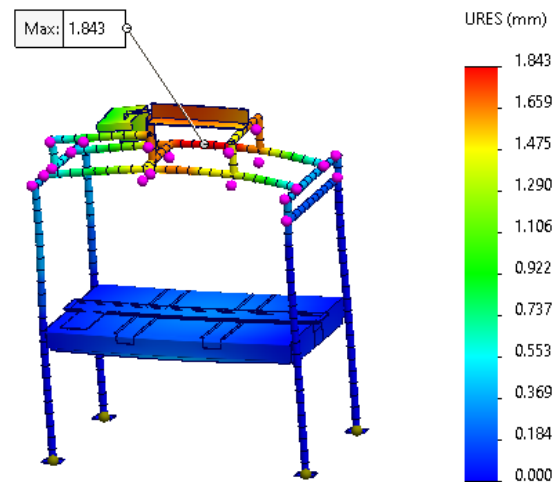
Analisis de Esfuerzos



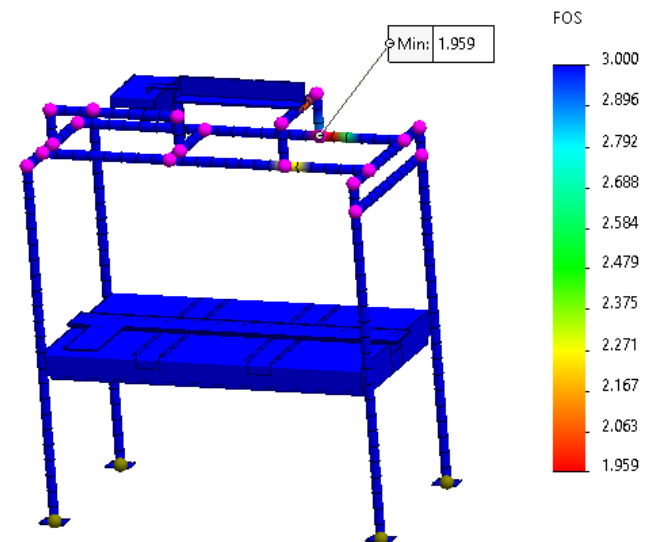
Analisis de Esfuerzo en vigas



Deflexiones



Factor de seguridad



Parámetro

Esfuerzo máximo
67,368 MPa

Esfuerzo en viga máximo
102,788 MPa

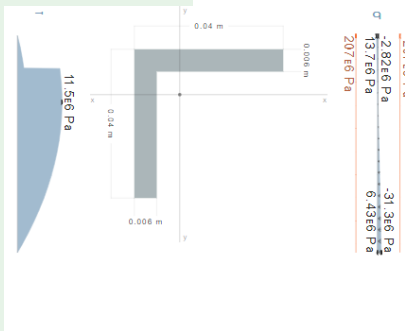
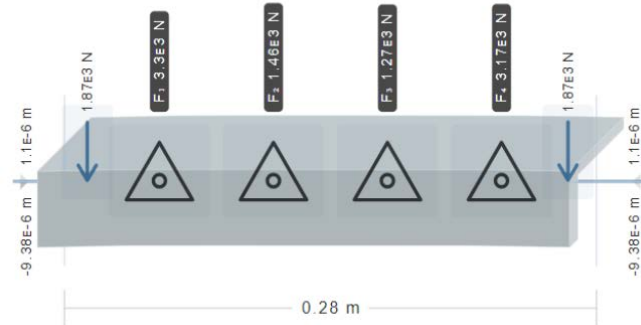
Deflexión máxima
1,843 mm

Factor de seguridad mínimo
1,959

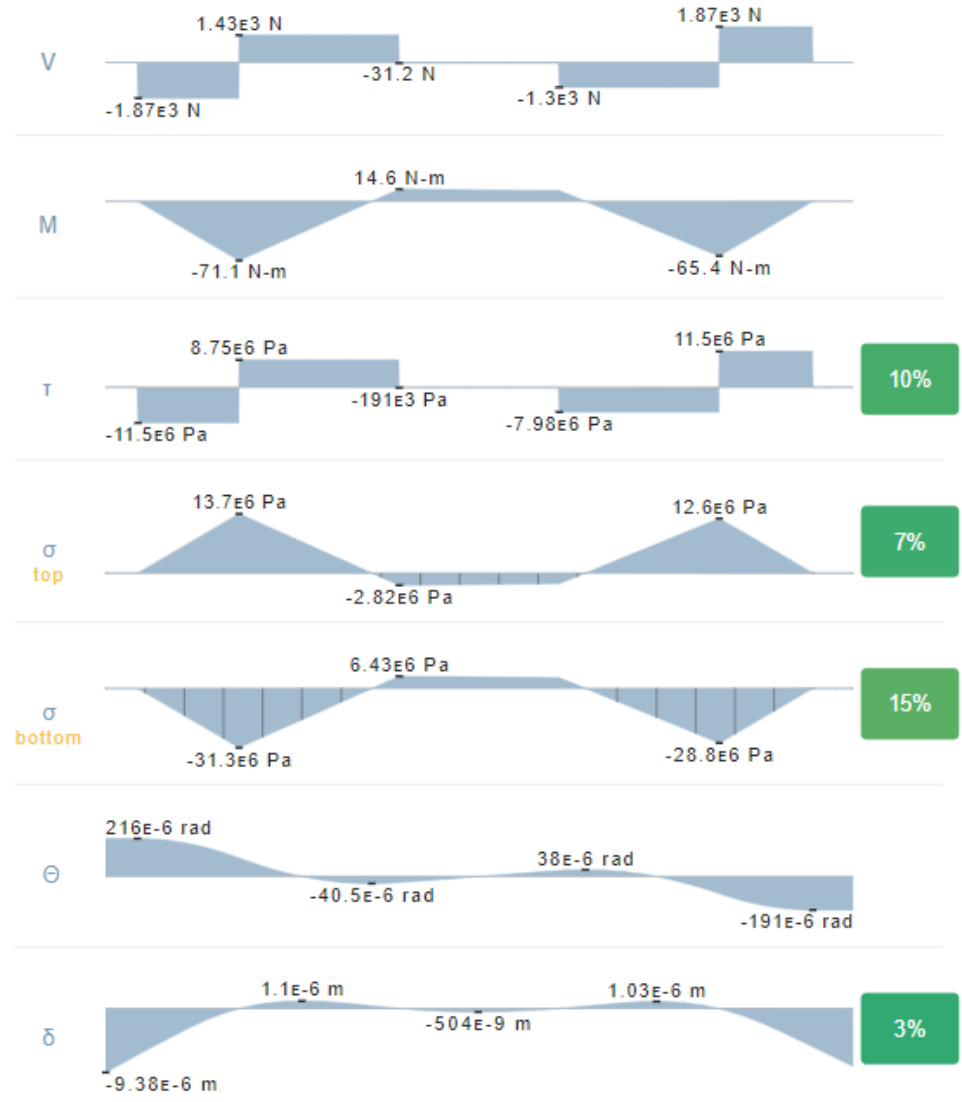


Subsistema de Tapado

Distribución de fuerzas en el soporte de las coronas de tapado



L40x40x6		
Inertia	6.31E-8	m ⁴
US - Steel - Stainless steel - 304		
Elastic Modulus	193000000000	Pa
Length	0,28	m



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

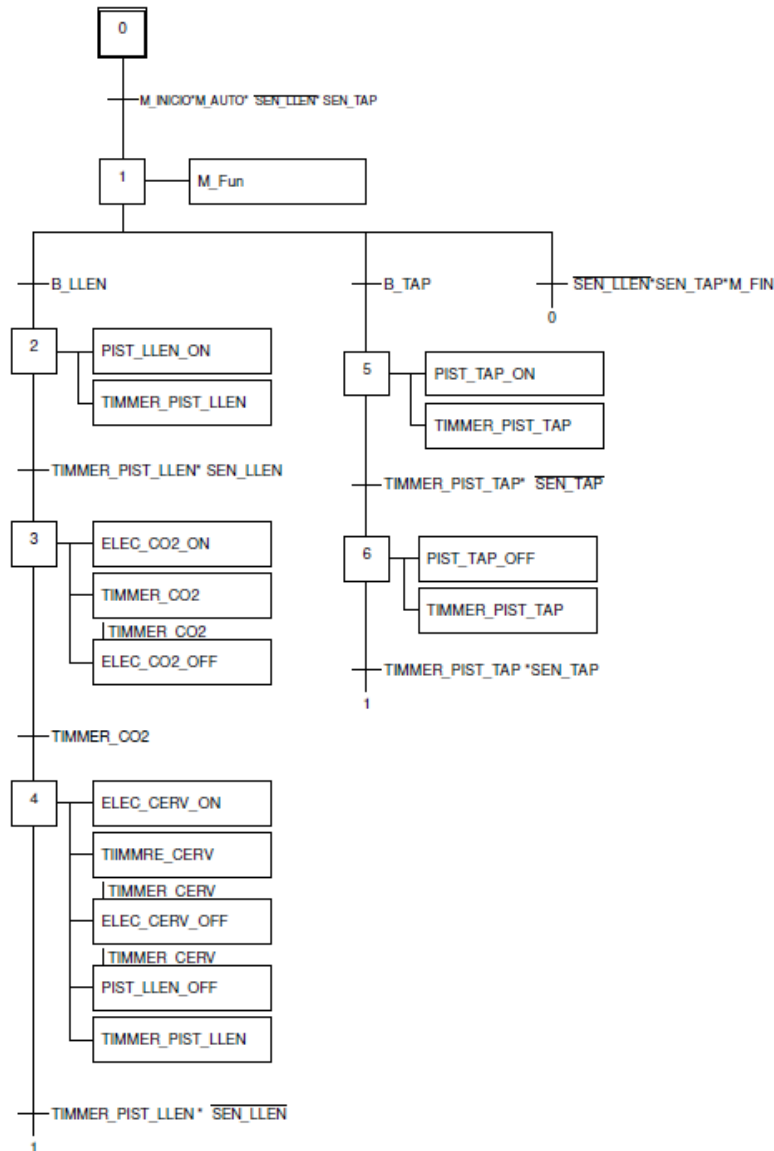
Recomendaciones

Trabajos futuros



Sistema de control

Grafcet



PLC S7-1200 y HMI Kinco GLO70E



Sensor reflectante y botonera



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Interfaz HMI

09-07-23 21:52

SHAMAN

Automático

Manual

Automático Manual

CERVECERIA ARTESANAL

Elaborado por: Coronado J., Gavilanes J.

SHAMAN

MODO MANUAL

Pistón Llenado: OFF

Pistón Tapado: OFF

Electroválvula CO2: OFF

Electroválvula Cerveza: OFF

SHAMAN

MODO AUTOMÁTICO

Tipo: SHAMAN

Inicio: [stop icon]

Fin: [start icon]

Total: 0

Tiempo: 0

VARIEDADES

POCION

ENIGMA

CONJURO

ELIXIR

RITUAL

PRESAGIO

SHAMAN,
Un Ritual de Sabor y Placer...



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

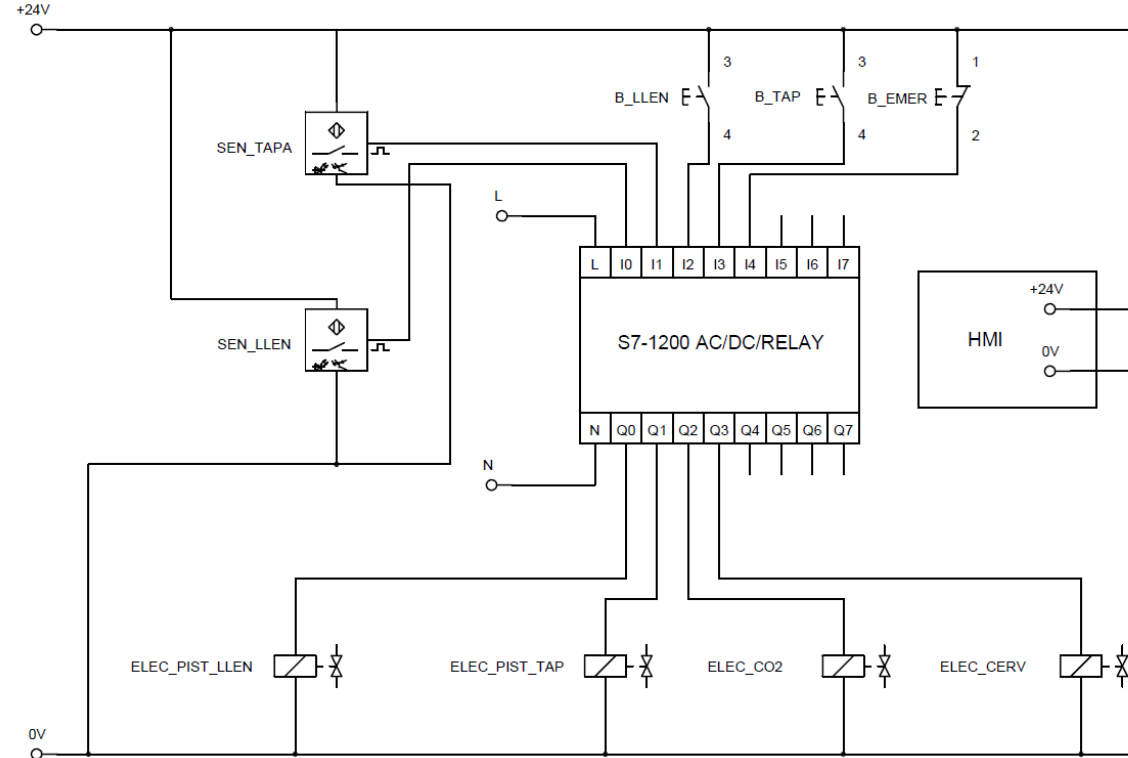
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Sistema Eléctrico





Manufactura y ensamble

Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

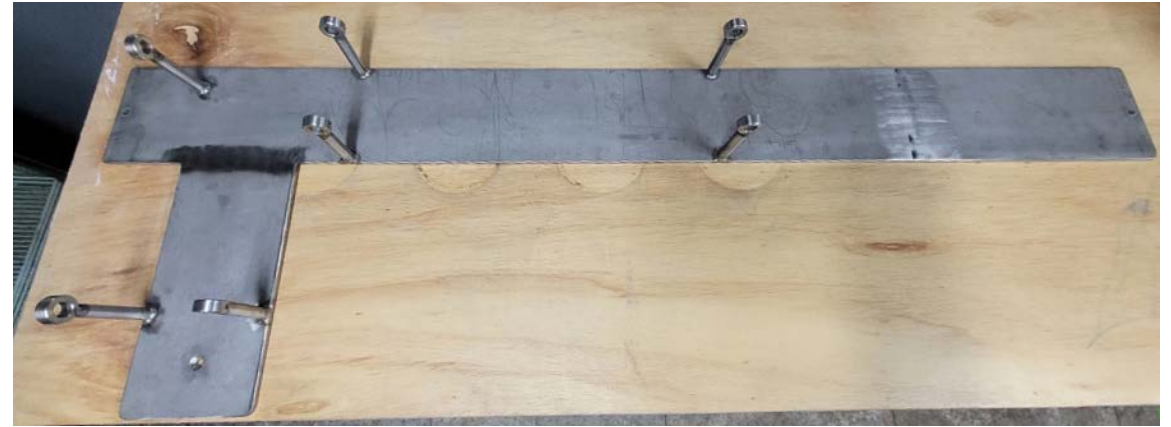
Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Manufactura y ensamble Llenado

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Manufactura y ensamble Tapado

Antecedentes y Justificación



Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción



Pruebas y Resultados

Conclusiones

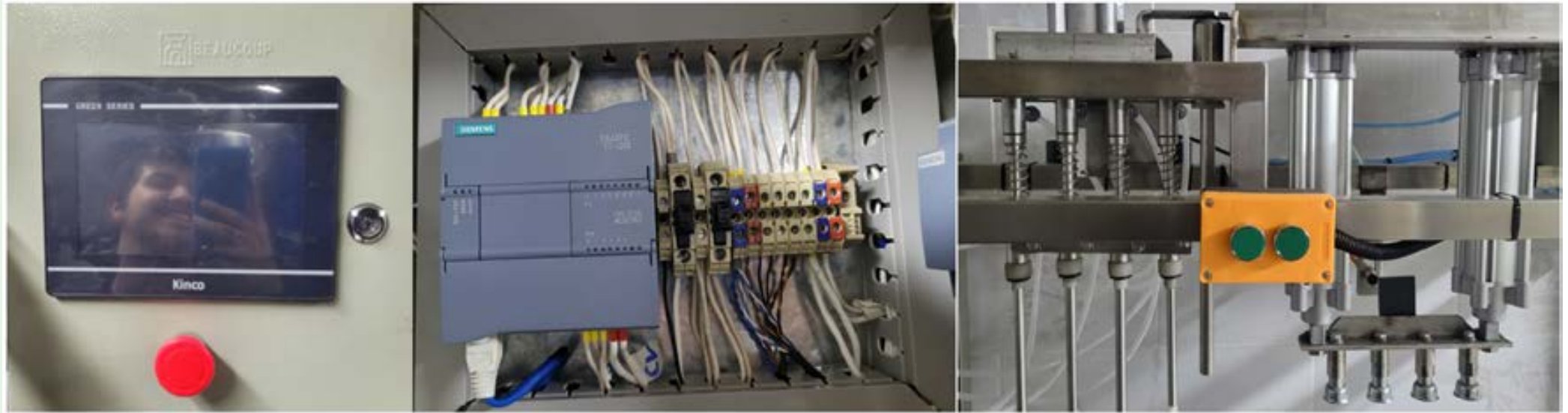
Recomendaciones

Trabajos futuros



Manufactura y ensamble eléctrico y neumático

Antecedentes y Justificación



Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

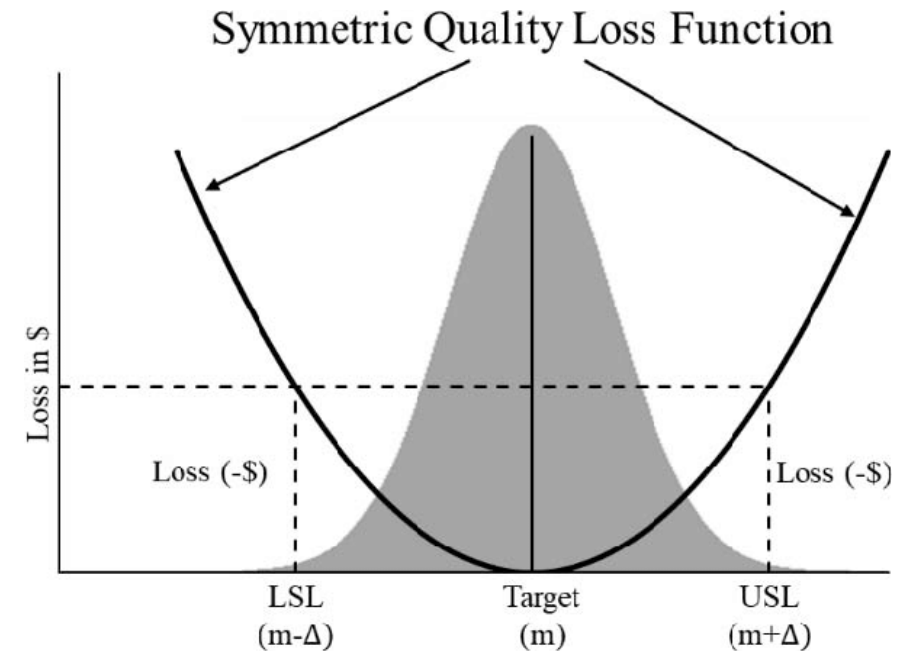
Recomendaciones

Trabajos futuros

LSL, Target, USL



A la izquierda se observa el LSL con sus 290 mililitros, en el centro se observa el target con 300 mililitros, a la derecha se observa el USL con 310 mililitros.





Calibración de la embotelladora

Medición del nivel de las botellas



Tiempo de llenado [s]	Promedio de nivel llenado de las 4 botellas [mm]
-----------------------	--

10	220
----	-----

14	268
----	-----

14,25	271
-------	-----

14,5	274
------	-----

14,75	277
-------	-----

15	280
----	-----

15,25	283
-------	-----

15,5	286
------	-----

15,75	289
-------	-----

16	292
----	-----

16,25	295
-------	-----

16,5	298
------	-----

16,75	301
-------	-----

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Pruebas de funcionamiento llenado

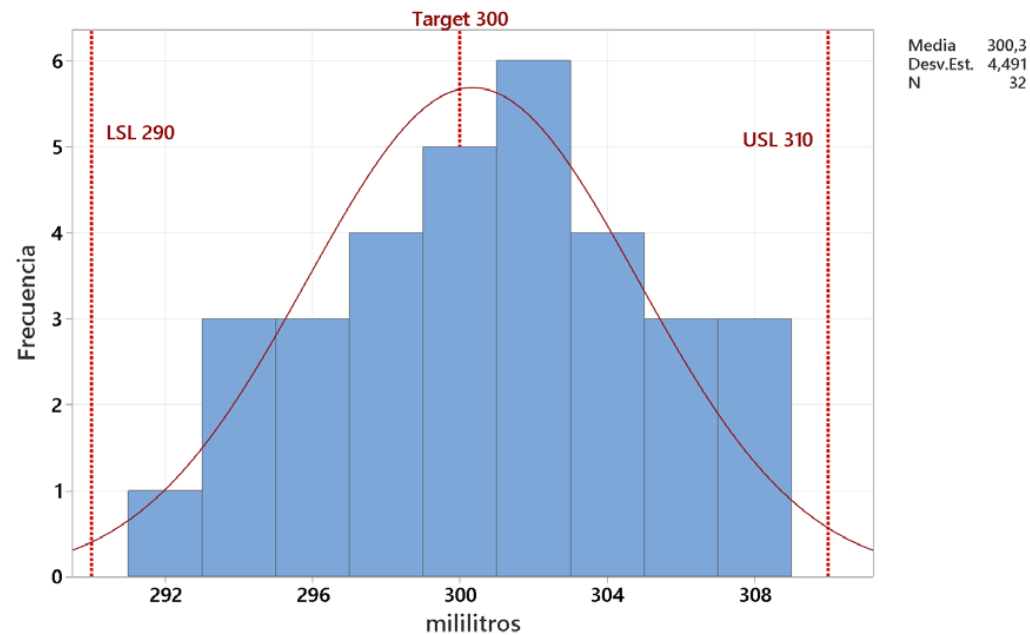
Antecedentes y Justificación

Iteraciones en el llenado de una caja de 32 cervezas

Histograma de llenado de cerveza

Llenado de Cerveza

Número de iteración	Nivel botella 1	Nivel botella 2	Nivel Botella 3	Nivel botella 4
1	305	308	301	304
2	302	300	306	298
3	294	296	302	308
4	297	304	300	298
5	301	295	299	293
6	305	295	303	298
7	302	294	304	300
8	302	299	307	291



Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Pruebas de funcionamiento tapado

Antecedentes y Justificación

Pruebas de fuga en el sistema de tapado

Prueba de fuga del tapado en sumersión

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Análisis financiero

Antecedentes y Justificación

PRODUCCIÓN

TIEMPO	PRODUCCIÓN BOTELLAS		PRODUCCIÓN CAJAS	
	OBJETIVO	ACTUAL	OBJETIVO	ACTUAL
Producción Diaria	30	90	1	1
Producción Mensual	600	360	20	12
Producción Anual	7200	4320	240	144
Botellas por caja	30	botellas		
Días laborables hábiles (1 mes de 4 semanas)	20	días		

INGRESOS

	OBJETIVO	ACTUAL
INGRESO ANUAL	\$ 18.000,00	\$ 10.800,00
INGRESO MENSUAL	\$ 1.500,00	\$ 900,00
Precio Botella de 330ml	\$ 2,50	

TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

FLUJO DE CAJA

INGRESOS 110%
EGRESOS 105%

CONCEPTO

	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 10.800,00	\$ 11.880,00	\$ 13.068,00	\$ 14.374,80	\$ 15.812,28
Gastos		\$ 2.933,70	\$ 3.080,39	\$ 3.234,40	\$ 3.396,12	\$ 3.565,93
Utilidad antes de participación e impuestos		\$ 7.866,30	\$ 8.799,62	\$ 9.833,60	\$ 10.978,68	\$ 12.246,35
15% Participación Trabajadores		\$ 1.179,95	\$ 1.319,94	\$ 1.475,04	\$ 1.646,80	\$ 1.836,95
Utilidad antes de impuestos		\$ 6.686,36	\$ 7.479,67	\$ 8.358,56	\$ 9.331,87	\$ 10.409,40
25% Imp Rta Empresarial		\$ 1.671,59	\$ 1.869,92	\$ 2.089,64	\$ 2.332,97	\$ 2.602,35
Utilidad Neta del Ejercicio		\$ 5.014,77	\$ 5.609,75	\$ 6.268,92	\$ 6.998,91	\$ 7.807,05
Inversión inicial	-\$ 3.389,40					
Flujo de caja del proyecto	-\$ 3.389,40	\$ 5.014,77	\$ 5.609,75	\$ 6.268,92	\$ 6.998,91	\$ 7.807,05
VAN		\$ 20.143,48				
TIR		157%				

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Conclusiones

Antecedentes y Justificación

Conclusiones

Diseño y construcción de una máquina embotelladora de cerveza



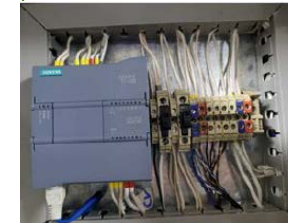
Diseño mecánico de los componentes



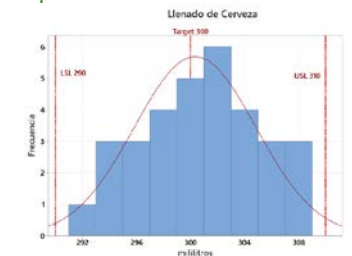
Implementación de sensores y actuadores



Programación del PLC e interfaz HMI



Análisis y pruebas de funcionamiento



Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Recomendaciones

Antecedentes y Justificación

Recomendaciones

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Integrar los sistemas mediante conexiones tri-clamp



Optimizar el sistema de transporte



Mejorar robustez del sistema de control del subsistema de llenado





Trabajos Futuros

Antecedentes y Justificación

Trabajos Futuros

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Implementar accesorios (tri-clamp) directamente a la embotelladora



Construir un sistema de transporte mediante bandas o cilindros neumáticos



Emplear un sistema de control de dosificación individual por cada vía de llenado





Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Gracias por su atención

