

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
SACUDIDORA DE CAMPANAS DE FIELTRO CON SISTEMA DE
EXTRACCIÓN DE POLVO PARA LA EMPRESA YANAPI S.A.”**

AUTORES: BELTRÁN IZA ANTHONY FABRICIO

GONZÁLEZ AGUIRRE ALEXANDER ISRAEL

DIRECTOR: ING. ALEJANDRO PAUL GOMEZ REYES

2022





CONTENIDO

- Introducción
- Investigación previa
- Metodología
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos futuros



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Empresa Yanapi S.A

CONTEXTO ACTUAL





Antecedentes

PROCESO PRODUCTIVO DE YANAPI S.A

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

PREPARADO



CARDADO



AFIELTRADO



TERMINADO





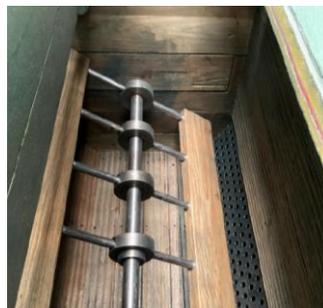
Antecedentes

PRINCIPALES PARTES DEL SACUDIDOR ACTUAL

Sacudidor



Paletas



Campana



Panel



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

PROCESO ACTUAL DE SACUDIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE POLVO

Partidas



Ingreso



Salida



Limpieza



Apilado





Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

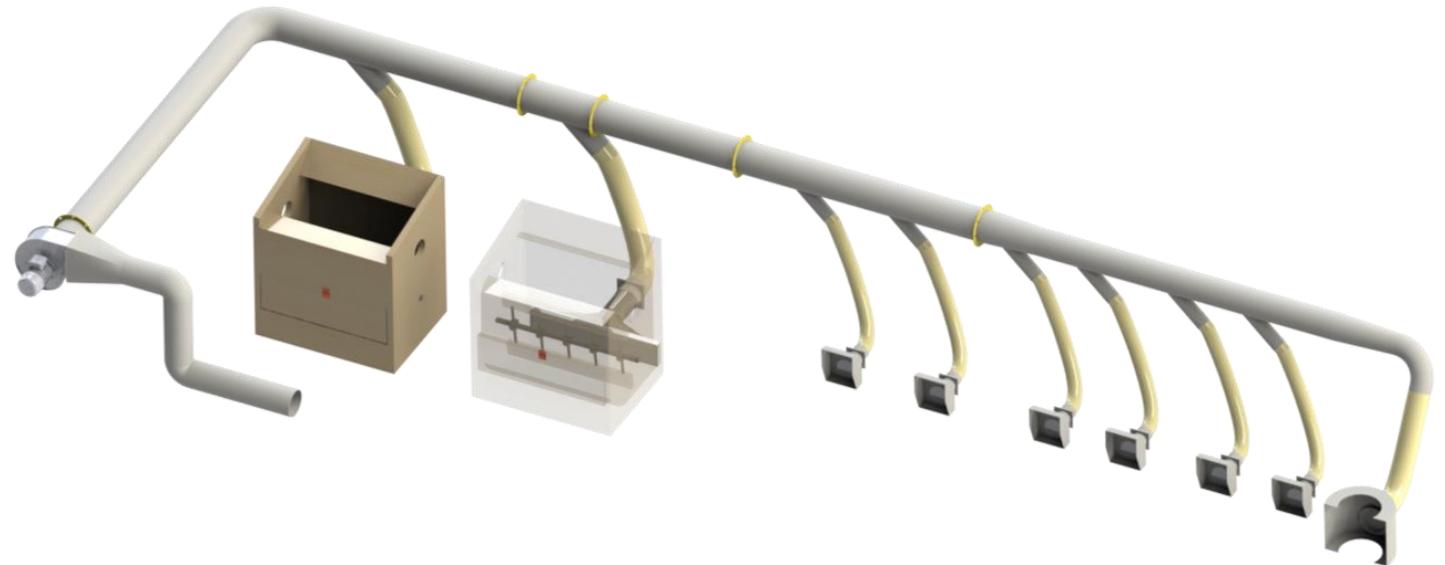
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Definición del problema

- Grado de automatización del proceso de sacudimiento
 - Proceso poco automatizado que requiere mucha intervención manual
 - Proceso poco configurable
- Niveles de extracción de polvo
 - Sistema de extracción insuficiente para múltiples procesos
- Uso de materiales poco resistentes
 - Sacudidor actuales de madera despostillada
 - Paletas de madera despostilladas





Justificación e Importancia

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

- Innovación como herramienta para mejorar los procesos ya existentes, en Yanapi S.A se busca generar mecanismos que garanticen la calidad de los productos.
- Control de calidad exhaustivo que ayude a la empresa a mantener y aumentar su mercado internacional.
- Aumentar el grado de automatización, con miras a mejorar la productividad y reducir acciones manuales que no aportan valor agregado al proceso.
- Mejoramiento del sistema de extracción para evitar fuga y sedimentación de polvo en el ambiente de trabajo.

Tamaño de partículas (μm)	Capacidad de penetración pulmonar
≥ 50	No puede inhalarse
10 – 50	Retención en nariz y garganta
≤ 5	Penetra hasta el alvéolo pulmonar

Tomado de *La Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo* (p. 2), por Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Objetivos

GENERAL

Diseñar y construir una máquina sacudidora de campanas de fieltro con un sistema de extracción de polvo para la empresa Yanapi S.A.

ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir una cámara de sacudimiento que mejore el golpeteo de las campanas de fieltro.
- Diseñar e implementar un mecanismo automático que permita el ingreso de las campanas al interior de la máquina, y su posterior salida después del sacudimiento con intervención mínima del operario.
- Dimensionar adecuadamente el sistema de extracción de polvo del área de Terminado de la empresa Yanapi S.A. que ayudará a la selección de un nuevo ventilador y al diseño de las campanas de extracción del Sacudidor.
- Realizar la selección de materiales de construcción en base a los requerimientos mecánicos y funcionales del Sacudidor.
- Realizar pruebas con el Sacudidor para determinar los parámetros de sacudimiento óptimos (velocidad y tiempo) para cada modelo de campana procesada y evaluar su eficiencia en la extracción de polvo.
- Desarrollar un programa de funcionamiento configurable para el Sacudidor de modo que se adapte a las necesidades productivas del área de Terminado de la empresa y sea fácilmente operable por los trabajadores.



Sistemas de extracción de polvo

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

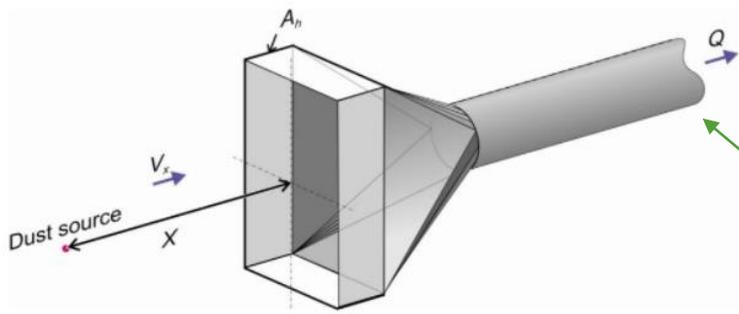
Pruebas y Resultados

Conclusiones

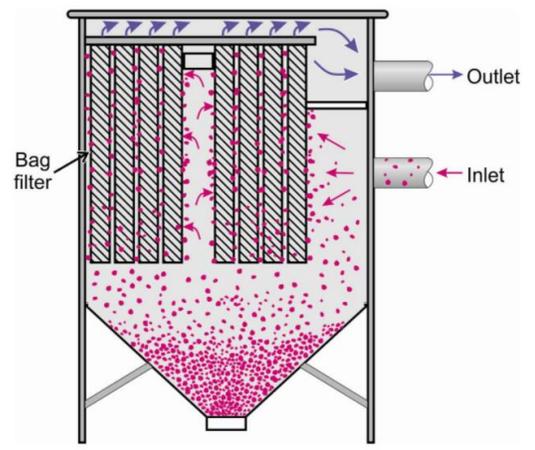
Recomendaciones

Trabajos futuros

1 Campana localizada



3 Filtro de telas



2 Sistema de ductos

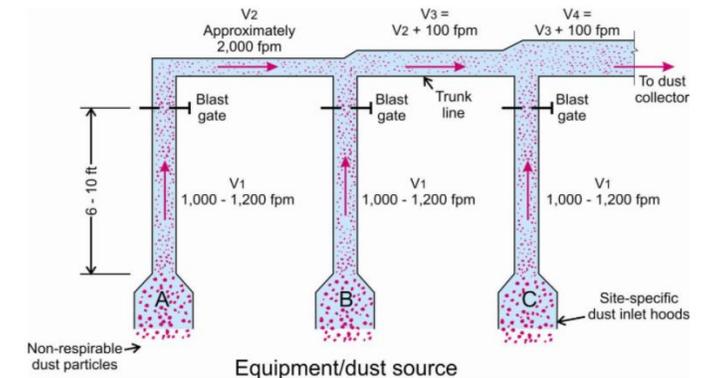
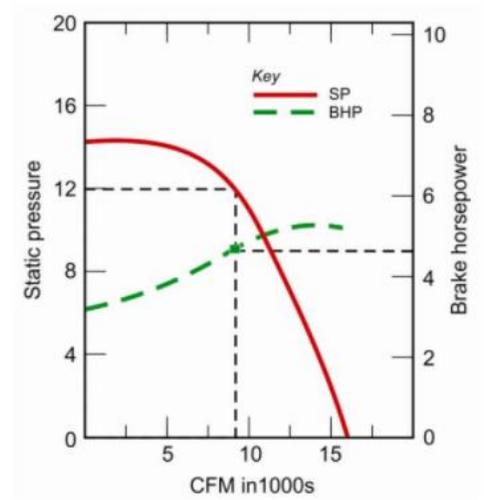


Figure 1.13. Depiction of the horizontal and vertical velocity relationship in a modified low-velocity system.

4 Ventilador





Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

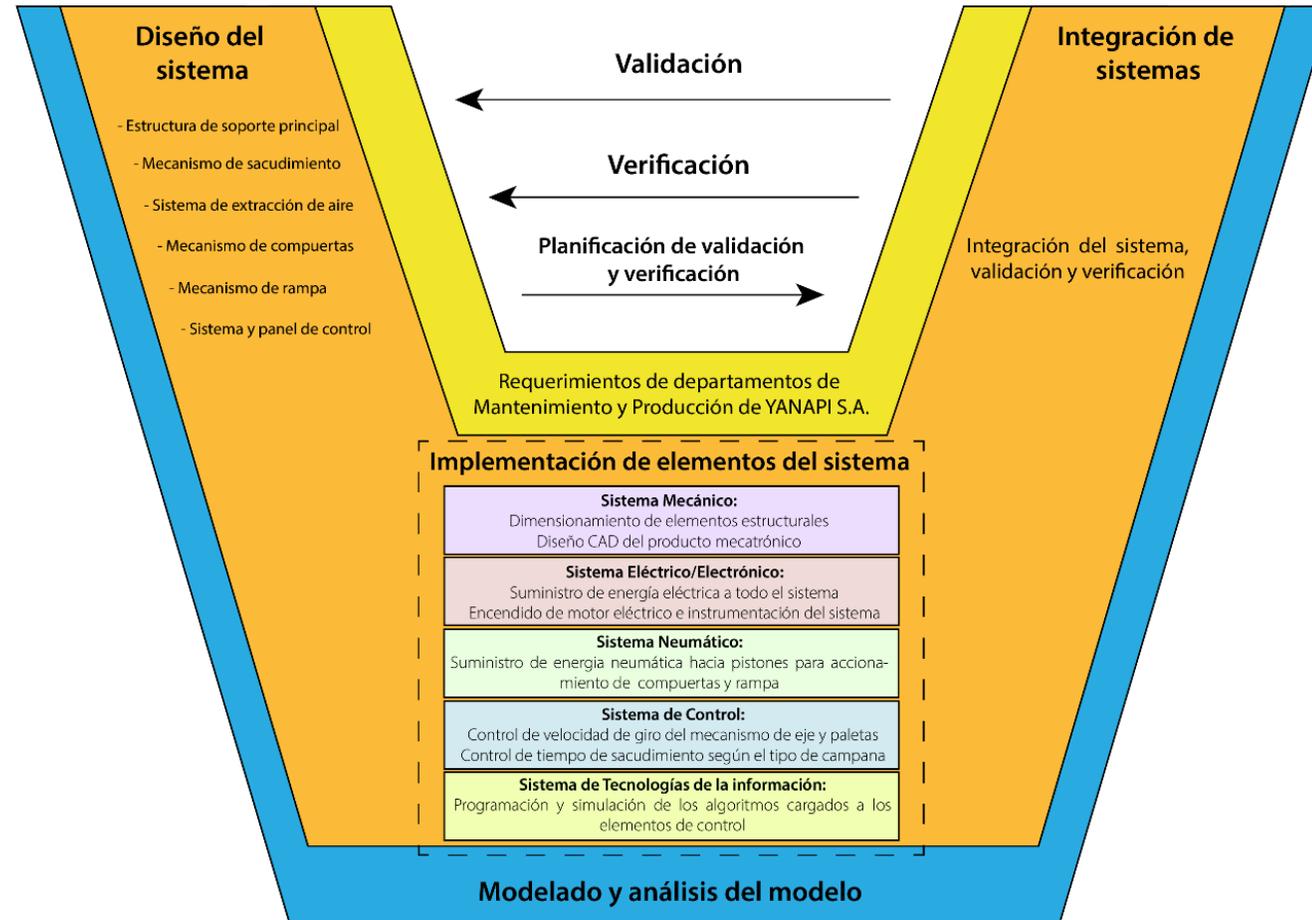
Recomendaciones

Trabajos futuros

Metodología VDI 2206

Requerimiento: sacudir campanas de fieltro para suspender partículas de polvo y pelusa y proceder a su extracción.

Producto Mecatrónico: máquina sacudidora de campanas de fieltro con sistema de extracción de polvo.





Ingeniería de Requisitos

REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO



Nº	Requerimiento
1	Mantener o aumentar la capacidad de producción actual
2	Eliminar el polvo de las campanas de manera eficaz
3	Aumento de velocidad de extracción de aire en los ductos
4	Apertura, cierre de compuertas e ingreso de campanas de forma automática
5	Configuración de parámetros de funcionamiento adaptable a las necesidades
6	Las dimensiones de la máquina deben respetar y no exceder el espacio disponible y designado en el lugar de trabajo
7	La máquina debe contar con 2 campanas de extracción para mayor rendimiento
8	La máquina debe estar constituida por partes pequeñas que puedan ingresar y ser ensambladas en la empresa
9	Requerimientos mecánicos de forma de la máquina, materiales de construcción, ubicación de los elementos
10	Que la máquina sea intuitiva y fácil de usar por el operario



Nº	Característica técnica
1	Capacidad de procesamiento: de 15 a 30 campanas
2	Porcentaje de reducción de polvo y aprobación de inspección visual
3	Velocidad de extracción de aire en ductos (entre 20 a 25 m/s)
4	Grado de automatización de la máquina
5	Sentido de giro del eje, velocidad de giro, tiempo de funcionamiento configurables
6	Volumen de espacio ocupado por la máquina
7	Eficacia en la extracción de aire, caudal extraído, velocidad de extracción
8	Modularidad en el diseño mecánico, tiempo de ensamblaje
9	Funcionalidad, mantenimiento de la máquina, tiempo de vida útil
10	Tiempo de aprendizaje de uso de interfaz, tiempo de calibración y arranque de la máquina, tiempo de resolución de problemas

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



ECUADOR

Ingeniería de Requisitos

HOUSE OF QUALITY

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Column #														
					Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (⊗)														
				Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "How's")	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
				Capacidad de procesamiento de 15 a 40 campanas															
				Porcentaje de reducción de polvo adecuado para aprobación de inspección visual	⊗	⊗	▲		▲	⊗	⊗								
				Velocidad de extracción de aire en ductos (entre 20 a 25 m/s)		⊗													
				Grado de automatización de la máquina				⊗	▲										
				Sentido de giro, del eje, velocidad de giro, tiempo de funcionamiento					⊗										
				Volumen de espacio ocupado por la máquina						⊗									
				Eficiencia en la extracción de aire, caudal extraído, velocidad de extracción							▲								
				Modularidad en el diseño mecánico, tiempo de ensamblaje								⊗							
				Funcionalidad, facilidad de uso y mantenimiento de la máquina.								⊗	▲						
				Tiempo de aprendizaje de uso de interfaz, tiempo de calibración y arranque de la máquina y tiempo de resolución de problemas										⊗					
1	9	8,9	7,0	Mantener o aumentar la capacidad de producción actual	⊗	⊗	▲		▲	⊗	⊗								
2	9	12,7	10,0	Eliminar el polvo de las campanas de manera eficaz		⊗	⊗												▲
3	9	11,4	9,0	Aumento de velocidad de extracción de aire en los ductos		⊗	⊗												
4	9	10,1	8,0	Compuertas y rampa automáticas		⊗	▲		⊗	▲									▲
5	9	11,4	9,0	Configuración de parámetros de funcionamiento adaptable a las necesidades		⊗	⊗	⊗	⊗			▲							⊗
6	9	10,1	8,0	Las dimensiones de la máquina deben respetar y no exceder el espacio de trabajo disponible		⊗					⊗			⊗	▲				
7	9	8,9	7,0	La máquina debe contar con 2 campanas de extracción para mayor rendimiento		▲	⊗	⊗			▲	⊗							
8	9	10,1	8,0	La máquina debe estar constituida por partes que puedan ser ensambladas dentro de la empresa		▲					⊗			⊗	▲				
9	9	8,9	7,0	Forma de la máquina, materiales de construcción, ubicación de los elementos		▲				▲				⊗	⊗				▲
10	9	7,6	6,0	Que la máquina sea intuitiva y fácil de usar por el operario					⊗	⊗								⊗	⊗
				Target or Limit Value															
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	0	6	1	2	0	1	2	3	4	5					
				Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9					
				Weight / Importance	210,1	265,8	220,3	157,0	191,1	157,0	200,0	145,1	164,6	134,2					
				Relative Weight	11,4	14,4	11,9	8,5	10,3	8,5	10,8	8,0	8,9	7,3					



Nº	Característica técnica	Ponderación
1	Porcentaje de reducción de polvo y aprobación de inspección visual	14,4
2	Velocidad de extracción de aire en ductos (entre 20 a 25 m/s)	11,9
3	Capacidad de procesamiento: de 15 a 30 campanas	11,4
4	Eficacia en la extracción de aire, caudal extraído, velocidad de extracción	10,8
5	Sentido de giro del eje, velocidad de giro, tiempo de funcionamiento configurables	10,3
6	Funcionalidad, mantenimiento de la máquina, tiempo de vida útil	8,9
7	Grado de automatización de la máquina	8,5
8	Volumen de espacio ocupado por la máquina	8,5
9	Modularidad en el diseño mecánico, tiempo de ensamblaje	8
10	Tiempo de aprendizaje de uso de interfaz, tiempo de calibración y arranque de la máquina, tiempo de resolución de problemas	7,3

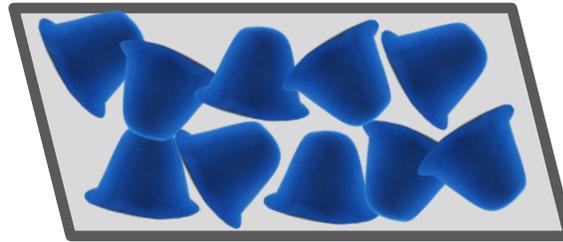


Especificación

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO PARA EL SACUDIDOR

1 PREPARAR

Partidas → Plataforma de ingreso



2 ARRANCAR

Selección de programa

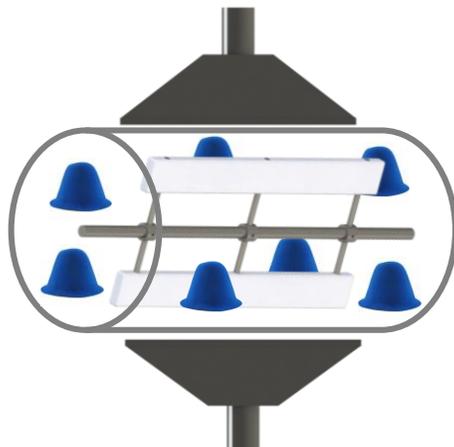


Señal de arranque

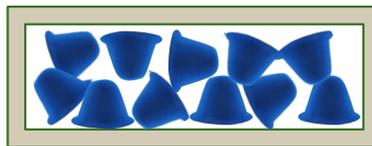


3 SACUDIR Y EXTRAER

Golpeteo de paletas

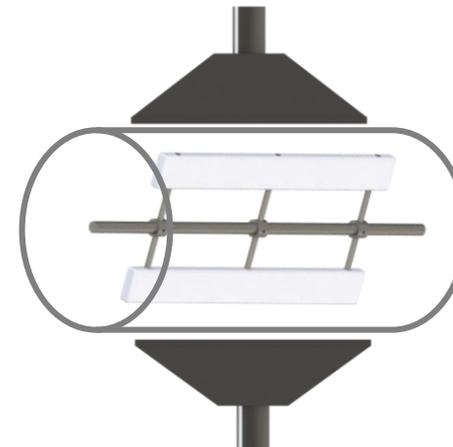


→ Cajón de recolección



4 LIMPIAR

Parada de paletas



→ Pistola neumática



Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Especificación

DIAGRAMA FUNCIONAL DEL PROCESO PROPUESTO

Introducción

Investigación
previa

Metodología

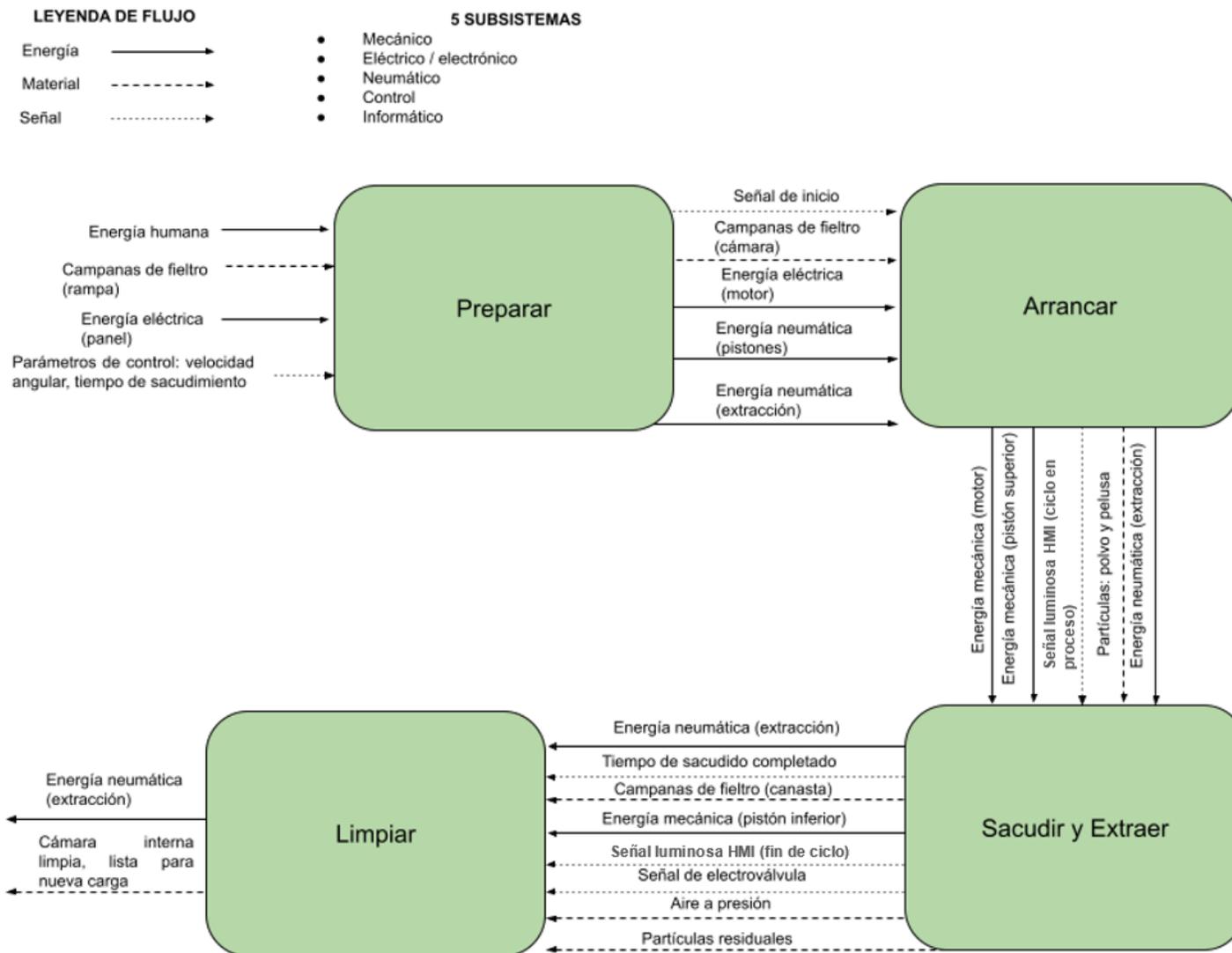
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Diseño de Paletas de Sacudimiento

Introducción

Investigación
previa

Metodología

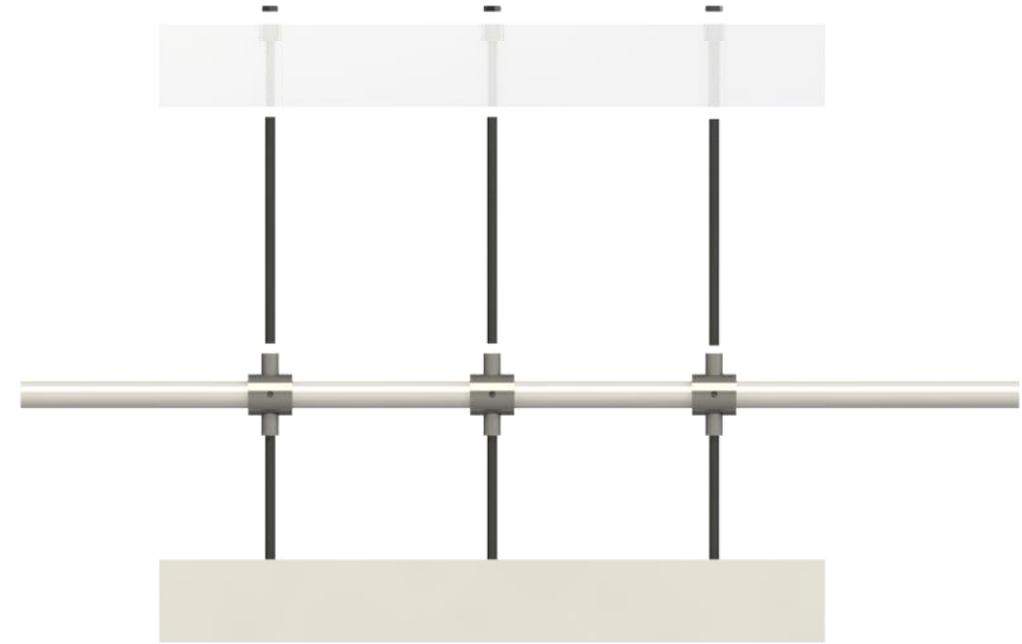
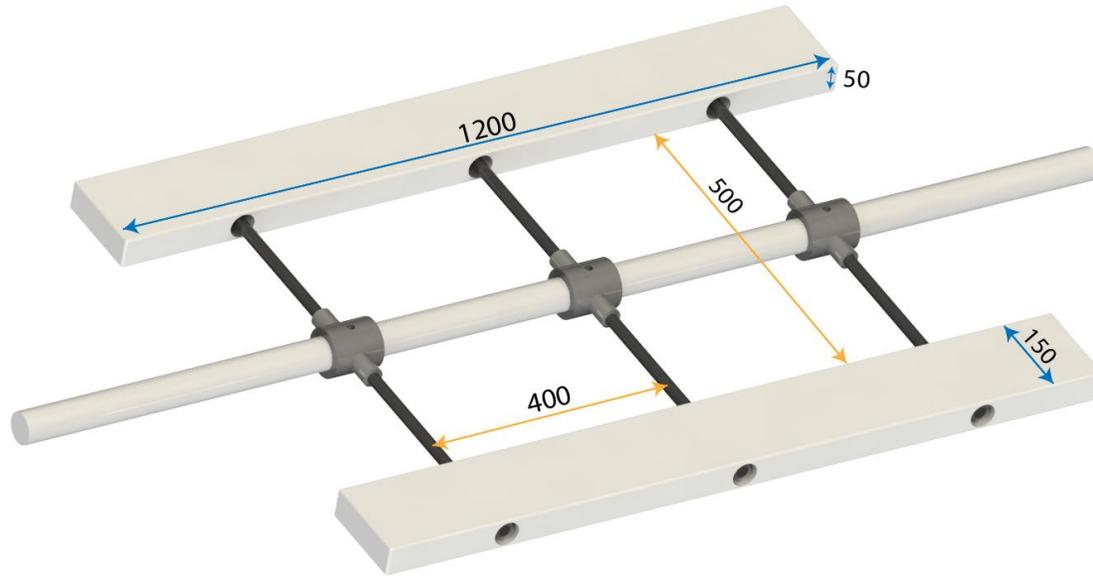
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



- Resistente a la abrasión y al impacto
- Adecuada dureza de material
- Fácil manufactura
- Ensamble sencillo

Propiedad	Valor
Familia de material	Termoplástico
Densidad	1220 kg/m ³
Módulo de Young	1.5 GPa
Resistencia a la tracción	55 MPa
Resistencia a la flexión	70,1 MPa
Elongación	29.5 %
Dureza Vickers	13 HV
Manufactura	Moldeo por inyección, Extrusión
Tenacidad a la fractura	3.59 MPa.m ^{0.5}
Resistencia al impacto	15.6 KJ/m ²



Diseño del Eje Principal

Introducción

Investigación
previa

Metodología

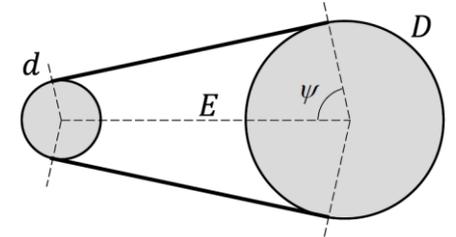
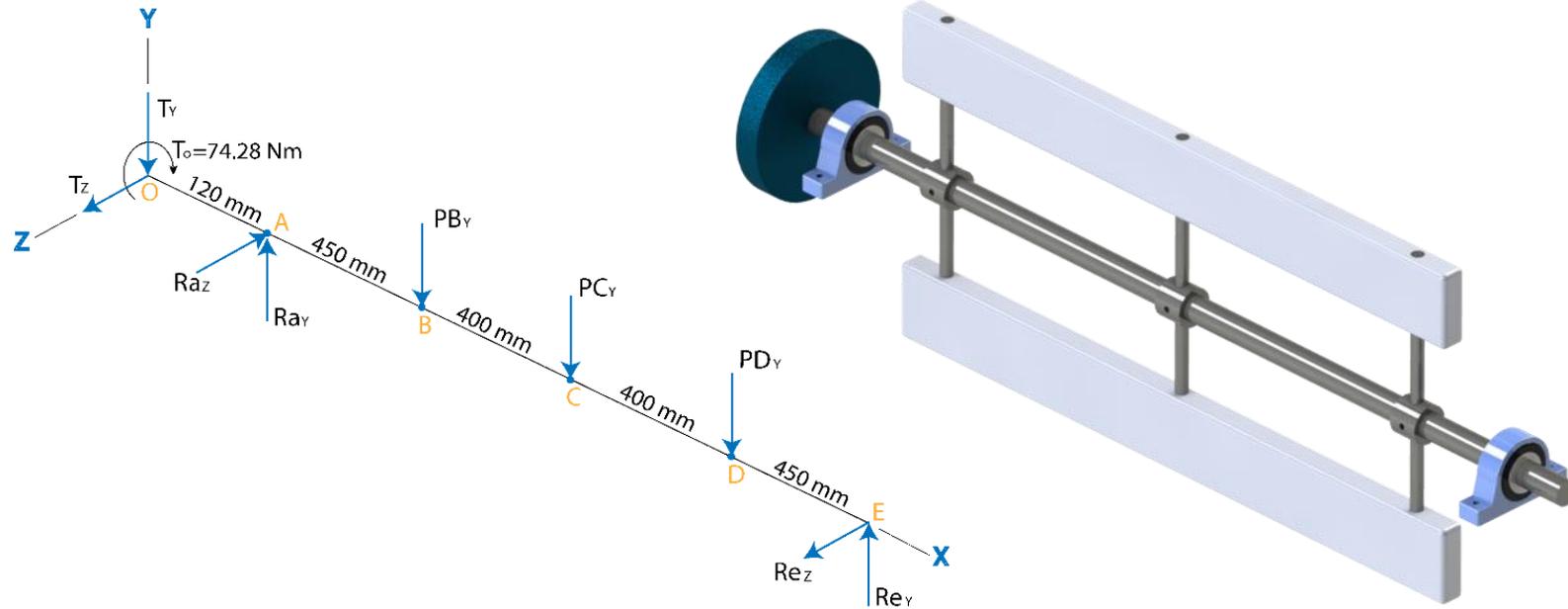
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

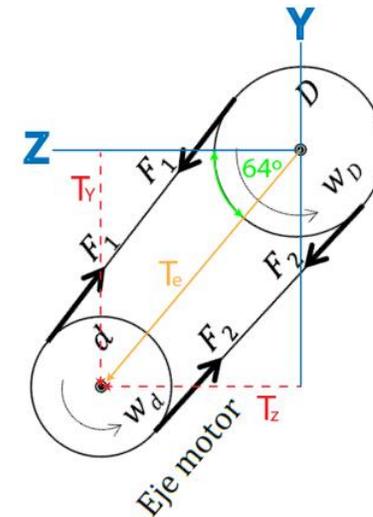
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Datos iniciales de diseño			
Masa duralón	$m_{duralon} := 12.5 \text{ Kg}$	Potencia del motor	$P_{motor} := 3.5 \text{ Kw}$
Masa eje roscado	$m_{eje_roscado} := 0.893 \text{ Kg}$	Revoluciones	$n := 450 \text{ rpm}$
Masa tubo redondo	$m_{tubo} := 0.166 \text{ Kg}$	Torque máximo transmitido	$T_o := \frac{9550 P_{motor}}{n} = 74.278 \text{ Nm}$
Masa sombreros	$m_{sombrosos} := 5 \text{ Kg}$	Tensión banda	$T_e = 2122.5 \text{ N}$
Masa total	$m_{total} = 2 * m_{duralon} + 6 * m_{eje_roscado} + 6 * m_{tubo} + m_{sombrosos} = 36,354 \text{ Kg}$	Carga total sobre el eje	$P := m_{total} * g_r = 356.633 \text{ N}$



$$\psi = \arccos\left(\frac{D - d}{2 * E}\right)$$

$$\psi = \arccos\left(\frac{203.2 - 70}{2 * 740}\right)$$

$$\psi = 80.33^\circ$$

$$R = (F_1 + F_2) * \cos(90 - \psi)$$

$$R = 2153 \text{ N} * \cos(90 - 80.33) = 2122.5 \text{ N}$$

$$T_e = R = 2122.5 \text{ N}$$



Diseño del Eje Principal

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diagrama de Fuerza Cortante Plano XY

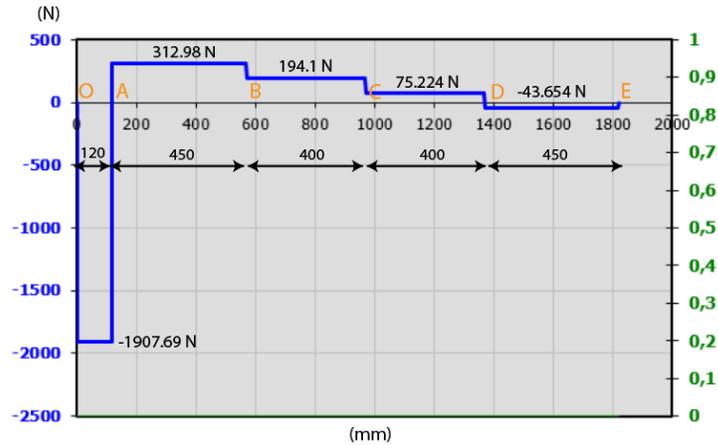


Diagrama de Momento Flector Plano XY

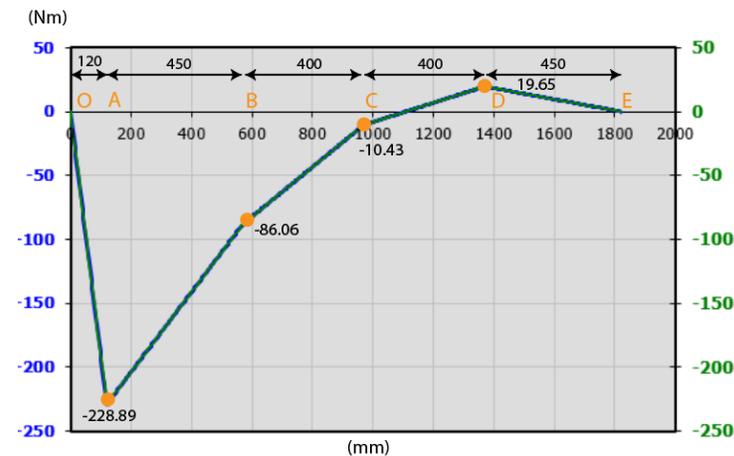
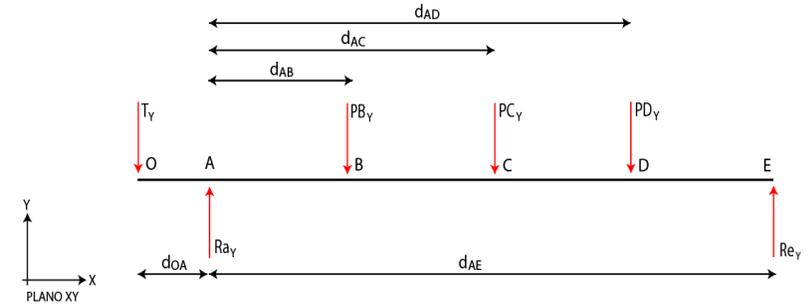


Diagrama de Cuerpo Libre Plano XY



$$P_{B_Y} = P_{C_Y} = P_{D_Y} = \frac{P}{3} = \frac{356.633}{3} = 118.878 \text{ N}$$

$$T_Y = T_e * \sin(64^\circ) = 2122.5 * \sin(64^\circ) = 1907.69 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$T_Y + P_{B_Y} + P_{C_Y} + P_{D_Y} = R_{A_Y} + R_{E_Y}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$d_{AB} * P_{B_Y} + d_{AC} * P_{C_Y} + d_{AD} * P_{D_Y} = d_{AE} * R_{E_Y} + d_{OA} * T_Y$$

Fuerzas y Reacciones Plano XY

Denominación	Fuerza
R_{A_Y}	2220.67 N
P_{B_Y}	-118.878 N
P_{C_Y}	-118.878 N
P_{D_Y}	-118.878 N
R_{E_Y}	43.673 N
T_Y	-1907.69 N



Diseño del Eje Principal

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diagrama de Fuerza Cortante Plano XZ

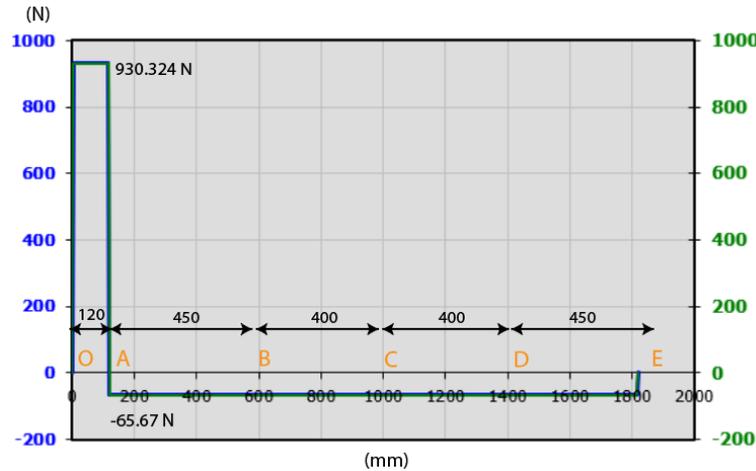


Diagrama de Momento Flector Plano XZ

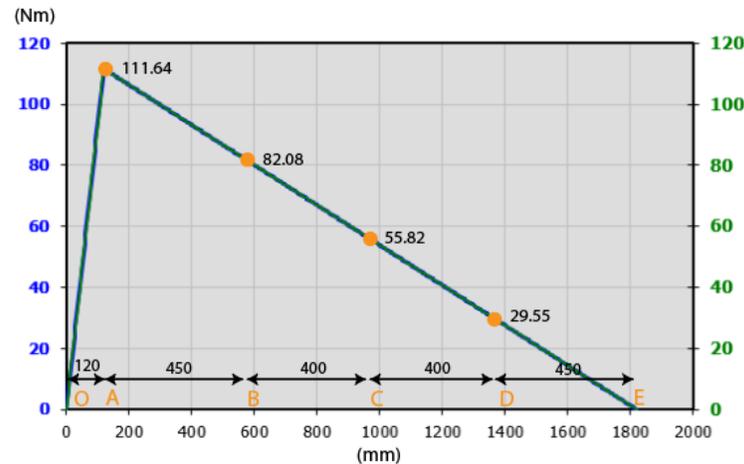
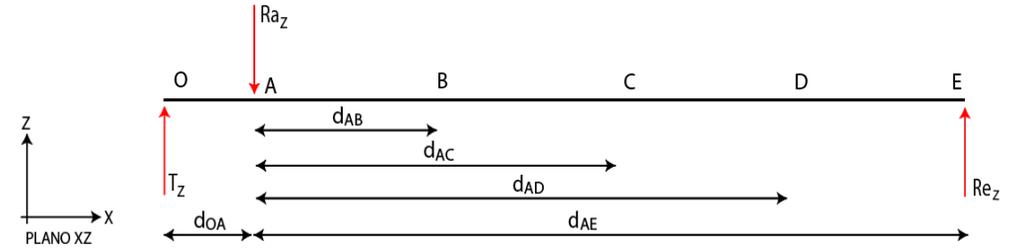


Diagrama de Cuerpo Libre Plano XZ



$$PB_Z = PC_Z = PD_Z = 0 \text{ N}$$

$$T_Z = T_e * \cos(64^\circ) = 2122.5 * \cos(64^\circ) = 930.321 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$T_Z + Re_Z = Ra_Z$$

$$\sum M_A = 0$$

$$d_{OA} * T_Z = d_{AE} * Re_Z$$

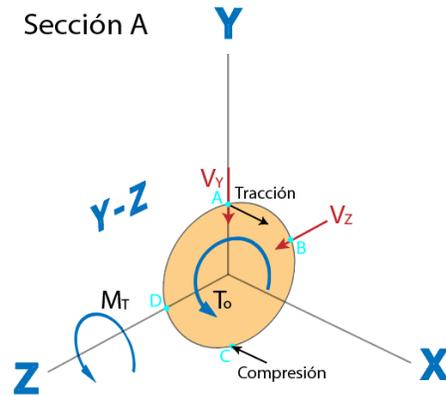
Fuerzas y Reacciones Plano XZ

Denominación	Fuerza
Ra_Z	-995.991 N
PB_Z	0 N
PC_Z	0 N
PD_Z	0 N
Re_Z	65.67 N
T_Z	930.324 N



Diseño del Eje Principal

Sección crítica – Punto A



Momentos combinados en los planos XY y XZ en Nm

$$M_{AT} := \sqrt{M_{Ay}^2 + M_{Az}^2} = 254.667$$

$$M_{BT} := \sqrt{M_{By}^2 + M_{Bz}^2} = 120.387$$

$$M_{CT} := \sqrt{M_{Cy}^2 + M_{Cz}^2} = 56.785$$

$$M_{DT} := \sqrt{M_{Dy}^2 + M_{Dz}^2} = 35.49$$

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Ecuación de Goodman modificado

$$\frac{\sigma_{aeq}}{S_e} + \frac{\sigma_{meq}}{S_{ut}} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{5188}{d^3} + \frac{1134,87}{585 * 10^6} = \frac{1}{2.5}$$

$$d = 0.04913 \text{ m} = 49.13 \text{ mm}$$

Deflexión permisible

$$\delta_{max} = \sqrt{(\delta_{XY})^2 + (\delta_{XZ})^2}$$

$$\delta_{y_{perm}} = \frac{L}{1000} = \frac{1820}{1000} = 1.820 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} < \delta_{y_{perm}}$$

$$0.6034 < 1.820$$

Parámetro	Denominación	Valor Resultante
Esfuerzo alternante por flexión	$\sigma_a = \frac{K_f * M_a * C}{I}$	$\sigma_a = \frac{2594}{d^3}$
Esfuerzo medio por flexión	$\sigma_m = \frac{K_f * M_m * C}{I}$	$\sigma_m = 0$
Distancia de la línea neutral al extremo del eje	$C = \frac{d}{2}$	$C = \frac{d}{2}$
Inercia de un eje	$I = \frac{\pi * d^4}{64}$	$I = \frac{\pi * d^4}{64}$
Esfuerzo cortante alternante por torsión	$\tau_a = \frac{K_{fs} * T_a * C}{J}$	$\tau_a = 0$
Esfuerzo cortante medio por torsión	$\tau_m = \frac{K_{fs} * T_m * C}{J}$	$\tau_m = \frac{378.29}{d^3}$
Momento polar	$J = \frac{\pi * d^4}{32}$	$J = \frac{\pi * d^4}{32}$
Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = 0.5 * S_{ut} * (k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f)$	$S_e = 114 \text{ MPa}$
Factores	$k_a = 0.48; k_b = 1; k_c = 1;$ $k_d = 0.814; k_e = k_f = 1$	-
Factor de seguridad	$FS = 2.5$	-
Resistencia última a la tracción	$S_{ut} = 585 \text{ MPa}$	-
Límite a la fluencia	$S_y = 235 \text{ MPa}$	-



Diseño Cámara de Sacudimiento

Esfuerzo de precarga para pernos M6 ($S_y = 240 \text{ MPa}$; $S_p = 225 \text{ MPa}$)

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_t} = 0.9 * S_p = 202.54 \text{ MPa}$$

Constante de rigidez de la unión

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{214229}{214229 + 3437850} = 0.059$$

$$\left\{ \begin{aligned} k_b &= \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d} \\ \frac{k_m}{E * d} &= A * \exp\left(\frac{B * d}{l}\right) \end{aligned} \right.$$

Fuerza de impacto promedio

$$F_{imp} = \frac{1}{2} * \frac{m * v^2}{s} ; v = w * r$$

$$F_{imp} = \frac{1}{2} * \frac{5Kg * \left(22.15 \frac{m}{s}\right)^2}{0.10m} = 12266 \text{ N}$$

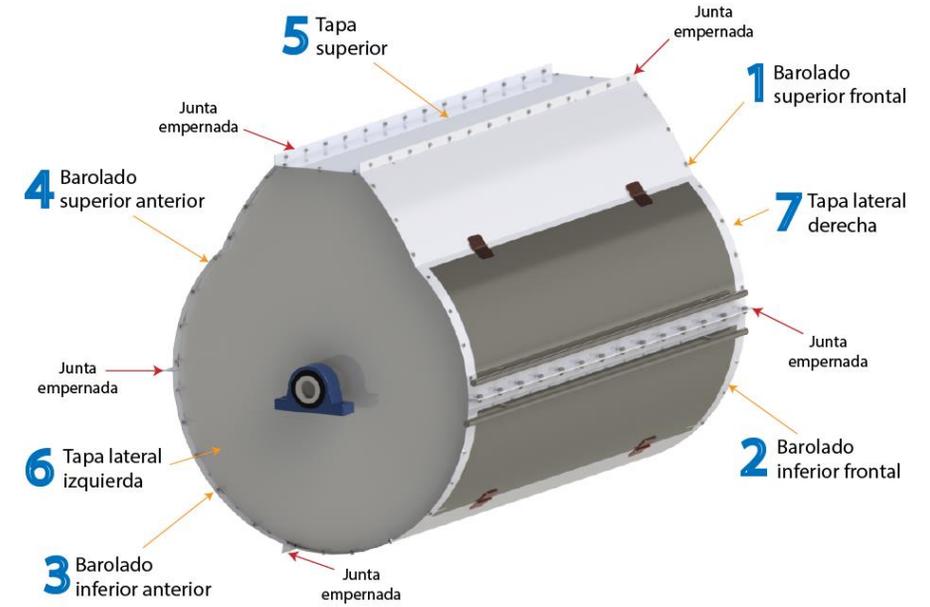
Número de pernos

$$N_p = \frac{C * F_c * F_{imp}}{S_p * A_t - \sigma_i * A_t}$$

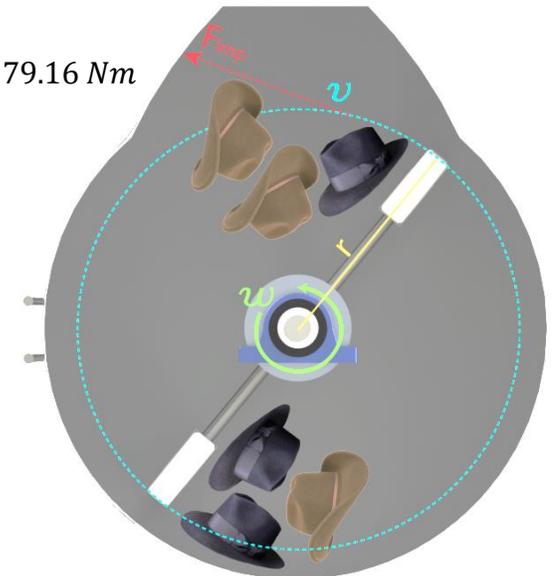
$$N_p = \frac{0.059 * 4 * 12266 \text{ N}}{225 \text{ MPa} * 20.1 \text{ mm}^2 - 4071 \text{ N}} = 6.41 \cong 7 \text{ pernos}$$

Esfuerzo bajo carga de servicio

$$\sigma_b = C * \frac{F_{imp}}{N_p * A_t} + \sigma_i = 0.059 * \frac{12266 \text{ N}}{7 * 20.1 \text{ mm}^2} + 202.54 \text{ MPa} = 207.68 \text{ MPa}$$



$$\left\{ \begin{aligned} T_o &= \frac{9550 * 3.73 \text{ kW}}{450 \text{ rpm}} = 79.16 \text{ Nm} \\ v &= \omega_{max} * r \end{aligned} \right.$$



Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Diseño Estructura de Soporte

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

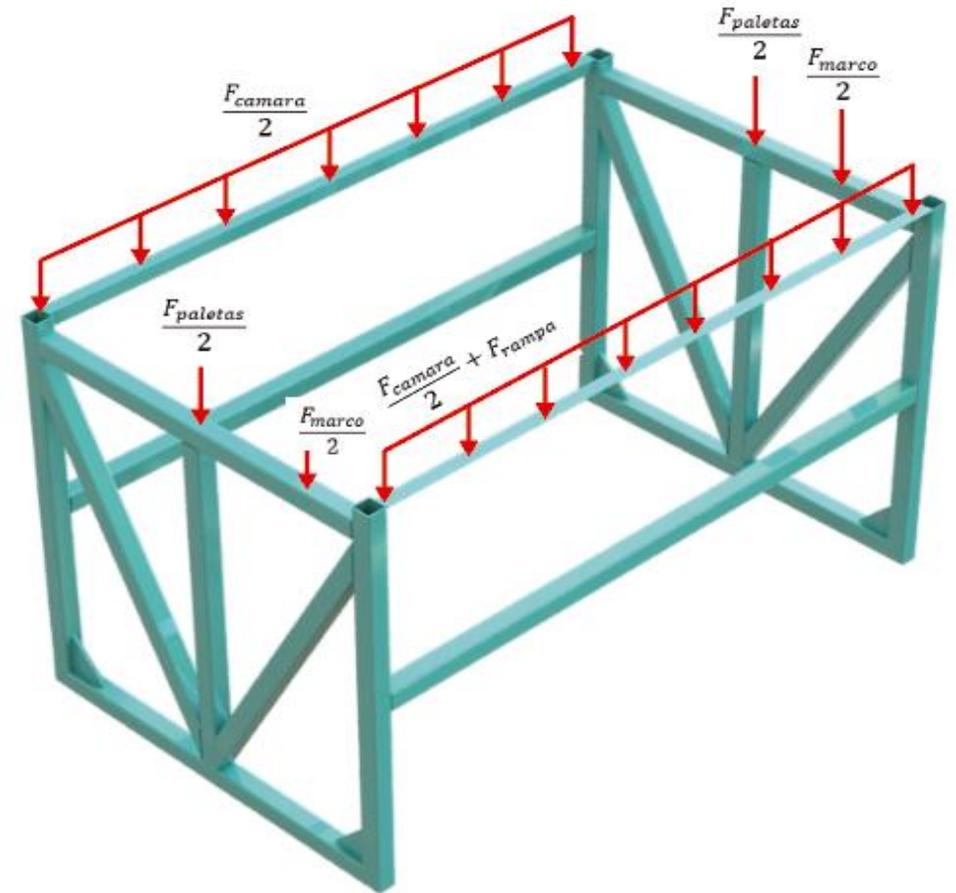
Recomendaciones

Trabajos futuros

Modelo CAD Sacudidor



Distribución de cargas en la estructura





ECUADOR

Dimensionamiento Sistema de Extracción

Introducción

Investigación
previa

Metodología

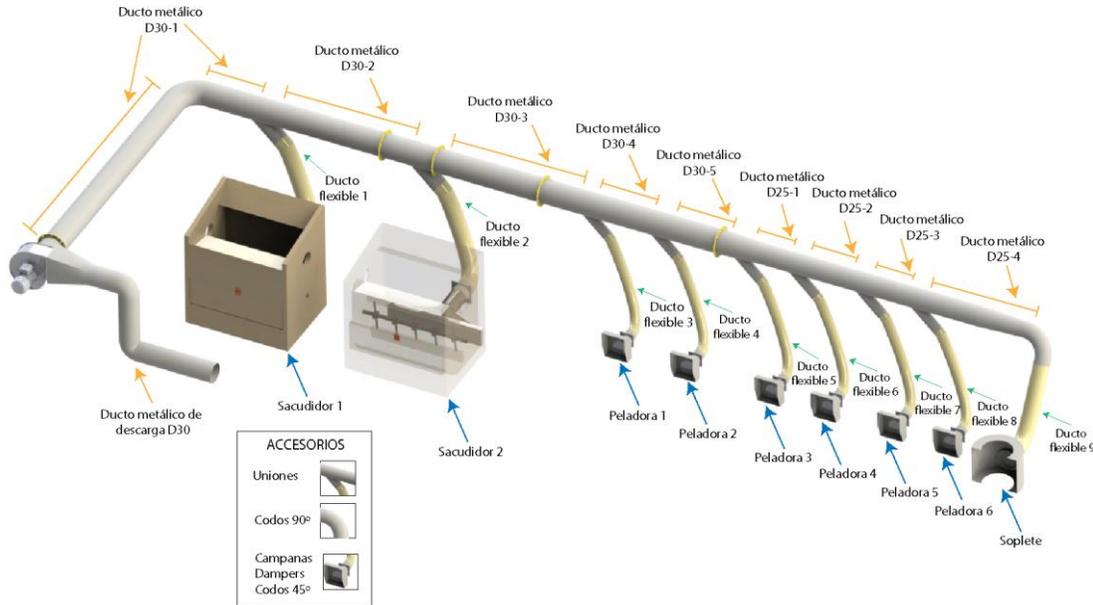
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



- Caudal

$$Q = V * A$$

- Ecuación de Darcy-Weisbach

$$H_f = f * \frac{L}{d} * VP$$

- Coeficiente de fricción

$$f = 8 * \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-3} \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$Re = \frac{\rho * d * v}{\mu}$$

$$A = \left\{ -2.457 * \ln \left[\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left(\frac{k}{3.7d} \right) \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37.53}{Re} \right)^{16}$$

Velocidad de flujo de aire deseada en los ductos flexibles

MÁQUINA	Velocidad de succión (m/s)	Velocidad (fpm)	Diámetro de ramificación (cm)	Diámetro de ramificación (ft)	Área de sección transversal (ft²)	Caudales parciales (Qp) (cfm)	Caudales parciales (m³/h)	Caudales parciales (m³/s)
SACUDIDOR 1	29	5708,65	17	0,5577	0,244	1394,73	2369,65	0,66
SACUDIDOR 2	29	5708,65	17	0,5577	0,244	1394,73	2369,65	0,66
PELADORA 1	16	3149,60	18	0,5906	0,274	862,70	1465,73	0,41
PELADORA 2	16	3149,60	18	0,5906	0,274	862,70	1465,73	0,41
PELADORA 3	13	2559,05	18	0,5906	0,274	700,94	1190,90	0,33
PELADORA 4	13	2559,05	18	0,5906	0,274	700,94	1190,90	0,33
PELADORA 5	10	1968,50	18	0,5906	0,274	539,19	916,08	0,25
PELADORA 6	10	1968,50	18	0,5906	0,274	539,19	916,08	0,25
SOPLETE	0	0,00	25	0,8202	0,528	0,00	0,00	0,00
Caudal Total						6995,13	11884,73	3,30

Pérdida de carga por rozamiento del aire en ductos

Tipo de ducto	Longitud de conducto (cm)	Longitud de conducto (ft)	Diámetro de conducto (cm)	Diámetro de conducto (ft)	Velocidad de conducto (Vc) (fps)	Re	A	B	f	Hf (inH2O) (Presión estática)
Ductos metálicos rígidos D30 descarga	333	10,925	30	0,9843	153,23	598103,87	1,53E+21	5,78E-20	0,02	0,34
Ductos metálicos rígidos D30 - 1	529	17,356	30	0,9843	153,23	598103,87	1,53E+21	5,78E-20	0,02	0,34
Ductos metálicos rígidos D30 - 2	210	6,8898	30	0,9843	122,68	478850,20	1,41E+21	2,03E-18	0,02	0,08
Ductos metálicos rígidos D30 - 3	192	6,2992	30	0,9843	92,13	359596,54	1,25E+21	1,98E-16	0,02	0,05
Ductos metálicos rígidos D30 - 4	77	2,5262	30	0,9843	73,23	285833,15	1,11E+21	7,80E-15	0,02	0,01
Ductos metálicos rígidos D30 - 5	78	2,5591	30	0,9843	54,33	212069,75	9,29E+20	9,26E-13	0,02	0,01
Ductos metálicos rígidos D25 - 1	40	1,3123	25	0,8202	56,13	182564,40	6,75E+20	1,02E-11	0,02	0,00
Ductos metálicos rígidos D25 - 2	75	2,4606	25	0,8202	34,02	110645,09	4,62E+20	3,07E-08	0,02	0,00
Ductos metálicos rígidos D25 - 3	60	1,9685	25	0,8202	17,01	55322,54	2,27E+20	2,01E-03	0,02	0,00
Ductos metálicos rígidos D25 - 4	54	1,7717	25	0,8202	0,00	-	-	-	-	-
Ducto flexible 1 - Sacudidor 1	152	4,9869	21	0,689	62,35	170362,38	2,58E+19	3,08E-11	0,03	0,06
Ducto flexible 2 - Sacudidor 2	152	4,9869	21	0,689	62,35	170362,38	2,58E+19	3,08E-11	0,03	0,16
Ducto flexible 3 - Peladora 1	108	3,5433	13	0,4265	100,64	170223,21	8,51E+18	3,12E-11	0,03	0,21
Ducto flexible 4 - Peladora 2	108	3,5433	13	0,4265	100,64	170223,21	8,51E+18	3,12E-11	0,03	0,14
Ducto flexible 5 - Peladora 3	108	3,5433	13	0,4265	81,77	138306,36	8,26E+18	8,64E-10	0,03	0,14
Ducto flexible 6 - Peladora 4	108	3,5433	13	0,4265	81,77	138306,36	8,26E+18	8,64E-10	0,03	0,16
Ducto flexible 7 - Peladora 5	108	3,5433	11	0,3609	87,85	125733,06	5,41E+18	3,97E-09	0,04	0,20
Ducto flexible 8 - Peladora 6	108	3,5433	11	0,3609	87,85	125733,06	5,41E+18	3,97E-09	0,04	0,00
Ducto flexible 9 - Soplete	127	4,1667	21	0,689	0,00	-	-	-	-	-
Pérdida total de carga por rozamiento										1,55



Dimensionamiento Sistema de Extracción

Introducción

Investigación
previa

Metodología

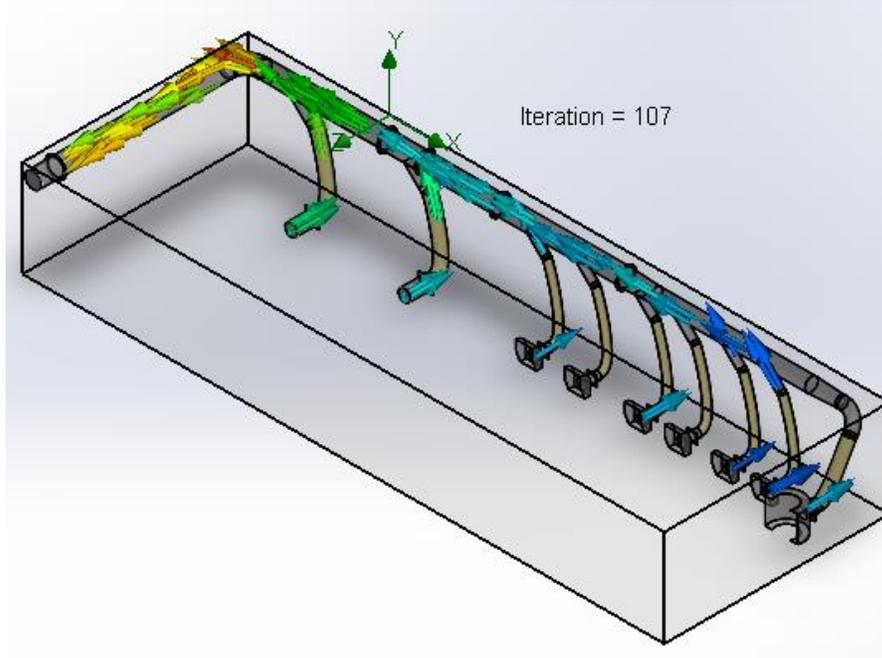
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

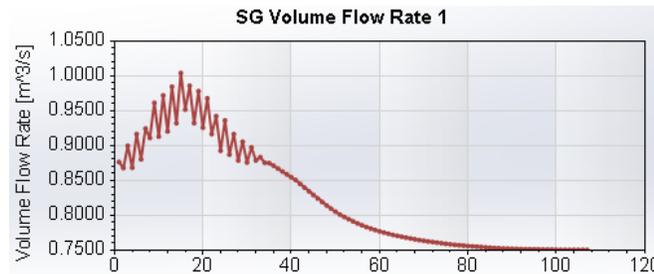
Recomendaciones

Trabajos futuros



- Presión de velocidad
- Pérdida de carga

$$VP = Pd = \rho * \left(\frac{v}{1096}\right)^2 \quad Pt = n * Pd$$



El valor medio del caudal en la tubería conectada al Sacudidor es 0.7515 m³/s y converge en 107 iteraciones. Realizando la conversión de unidades se obtiene un caudal de 1589.16 CFM. Este valor teórico de simulación tiene un error del 13.5% respecto al caudal calculado de (1400 CFM).

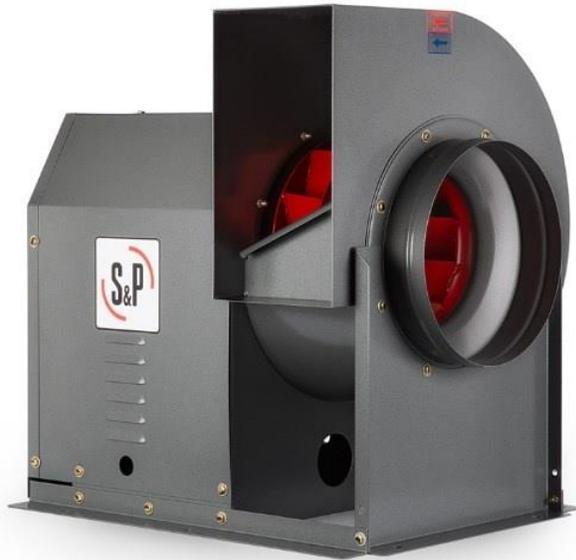
Pérdida de carga en accesorios							
Accesorios	Factor n	Caudal tubería principal (m³/h)	Caudal tubería principal (cfm)	Área de conducto principal (ft²)	Velocidad de conducto (Vc) (fpm)	Presión dinámica (Pd) inH2O	Pérdida de carga (Pt) inH2O
Union sacudidor 1 ND	0,17	11884,73	6995,13	0,760855993	9193,77	3,75	0,26
Union sacudidor 2 ND	0,18	9515,08	5600,40	0,760855993	7360,66	2,40	0,17
Union peladora 1 ND	0,18	7145,43	4205,67	0,760855993	5527,55	1,36	0,10
Union peladora 2 ND	0,18	5679,70	3342,97	0,760855993	4393,69	0,86	0,06
Union peladora 3 ND	0,18	4213,97	2480,27	0,760855993	3259,84	0,47	0,03
Union peladora 4 ND	-0,2	3023,07	1779,32	0,528372217	3367,55	0,50	-0,04
Union peladora 5 ND	-0,2	1832,16	1078,38	0,528372217	2040,94	0,18	-0,01
Union peladora 6 ND	0,18	916,08	539,19	0,528372217	1020,47	0,05	0,00
Codo 45° - Rc:2D	0,45	0,00	0,00	0,528372217	0,00	0,00	0,00
Union sacudidor 1 NA	-0,37	2369,65	1394,73	0,372819436	3741,04	0,62	-0,09
Union sacudidor 2 NA	0	2369,65	1394,73	0,372819436	3741,04	0,62	0,00
Union peladora 1 NA	0	1465,73	862,70	0,142871847	6038,29	1,62	0,00
Union peladora 2 NA	0	1465,73	862,70	0,142871847	6038,29	1,62	0,00
Union peladora 3 NA	0	1190,90	700,94	0,142871847	4906,11	1,07	0,00
Union peladora 4 NA	0,37	1190,90	700,94	0,142871847	4906,11	1,07	0,16
Union peladora 5 NA	0,37	916,08	539,19	0,102292861	5271,02	1,23	0,18
Union peladora 6 NA	0	916,08	539,19	0,102292861	5271,02	1,23	0,00
Campana soplete	0,1	0,00	0,00	0,372819436	0,00	0,00	0,00
Codo 90° - Rc:2D	0,32	11884,73	6995,13	0,760855993	9193,77	3,75	0,48
Aumento 25-30	0,05	3023,07	1779,32	0,528372217	3367,55	0,50	0,01
Aumento 21-25	0,05	0,00	0,00	0,372819436	0,00	0,00	0,00
Codo 45° Sacudidor 1	0,2	2369,65	1394,73	0,372819436	3741,04	0,62	0,05
Codo 45° Sacudidor 2	0,2	2369,65	1394,73	0,372819436	3741,04	0,62	0,05
Codo 45° Peladora 1	0,2	1465,73	862,70	0,142871847	6038,29	1,62	0,13
Codo 45° Peladora 2	0,2	1465,73	862,70	0,142871847	6038,29	1,62	0,13
Codo 45° Peladora 3	0,2	1190,90	700,94	0,142871847	4906,11	1,07	0,09
Codo 45° Peladora 4	0,2	1190,90	700,94	0,142871847	4906,11	1,07	0,09
Codo 45° Peladora 5	0,2	916,08	539,19	0,102292861	5271,02	1,23	0,10
Codo 45° Peladora 6	0,2	916,08	539,19	0,102292861	5271,02	1,23	0,10
Codo 45° Soplete	0,2	0,00	0,00	0,372819436	0,00	0,00	0,00
Campana sacudidor 1	0,16	2369,65	1394,73	0,372819436	3741,04	0,62	0,04
Campana sacudidor 2	0,16	2369,65	1394,73	0,372819436	3741,04	0,62	0,04
Campana peladora 1	0,06	1465,73	862,70	0,142871847	6038,29	1,62	0,04
Campana peladora 2	0,06	1465,73	862,70	0,142871847	6038,29	1,62	0,04
Campana peladora 3	0,06	1190,90	700,94	0,142871847	4906,11	1,07	0,03
Campana peladora 4	0,06	1190,90	700,94	0,142871847	4906,11	1,07	0,03
Campana peladora 5	0,06	916,08	539,19	0,102292861	5271,02	1,23	0,03
Campana peladora 6	0,06	916,08	539,19	0,102292861	5271,02	1,23	0,03
Pérdida total de carga accesorios							2,30



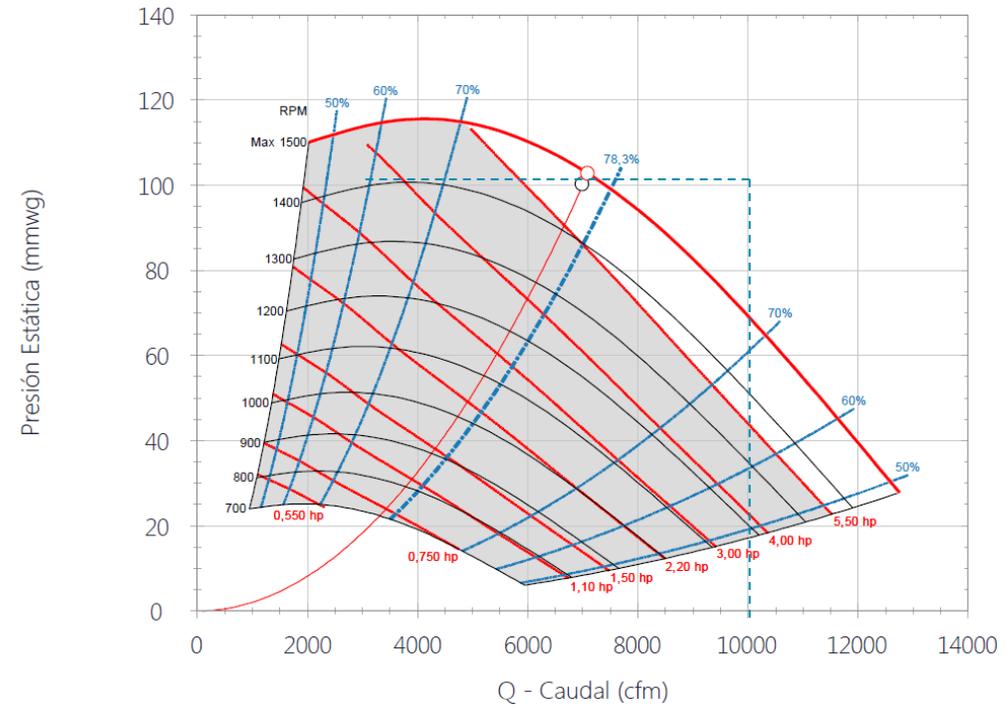
Dimensionamiento Sistema de Extracción

CM-I

CMI-630-7.5HP/4-1500RPM-(208-230~3)



Curva



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Pérdida Total de carga en sistema	inH2O	mmH2O	Modelo de ventilador
Presión estática de succión del ventilador (PEsuc)	3,85	97,89	
Presión estática de descarga del ventilador (PEdes)	0,34	8,56	
Presión dinámica (Pd)	0,0010	0,03	
Pventilador (nivel mar)	4,19	106,42	
Pventilador (Quito)	5,8893	149,59	CMI 630 - 140

$$P_{\text{ventilador (Quito)}} = P_{\text{Esuc}} + P_{\text{Edes}} - P_d$$

$$P_{\text{ventilador (Nivel del mar)}} = \frac{P_{\text{ventilador (nivel del mar)}}}{C_h}$$

$$C_h = 0,71143$$



Diseño Campanas de Extracción

Campana de extracción superior

Parámetro	Unidades Sistema Internacional	Unidades Sistema Inglés
Caudal	1189.31 m ³ /h	700 CFM
Velocidad	2.1 m/s	413.38 ft/m
Distancia	17 cm	0.558 ft

Área requerida para producir velocidad de 2.1 m/s a 17 cm (0.588 ft) y 700 CFM

$$Q = \left(\frac{V_x}{2}\right) * (5 * X^2 + A_h)$$

$$700 = \left(\frac{413.38}{2}\right) * (5 * 0.558^2 + A_h)$$

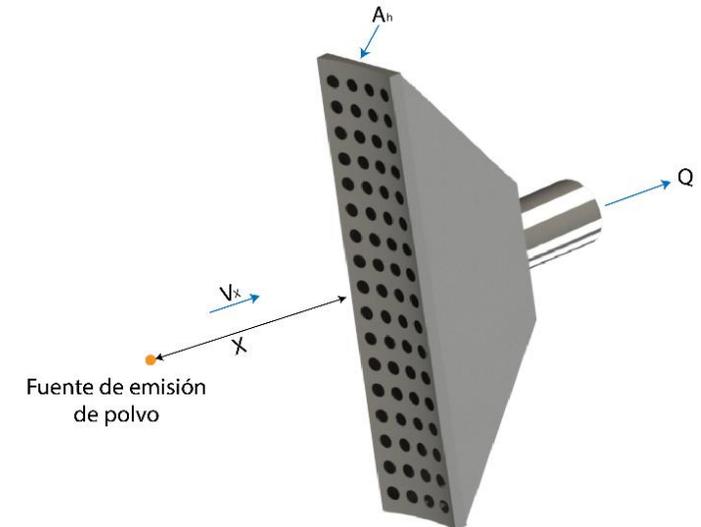
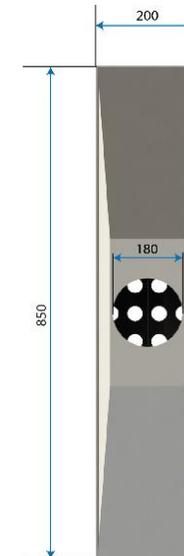
$$A_h = 1.83 \text{ ft}^2 = 1700 \text{ cm}^2$$

Área de succión

$$\text{ancho } (a) = 200 \text{ mm}$$

$$\text{largo } (b) = 850 \text{ mm}$$

$$A_h = \left(\frac{a}{304.8}\right) * \left(\frac{b}{304.8}\right) = \left(\frac{200}{304.8}\right) * \left(\frac{1150}{304.8}\right) = 1.83 \text{ ft}^2 = 1700 \text{ cm}^2$$



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Diseño Campanas de Extracción

Campana de extracción superior

Parámetro	Unidades Sistema Internacional	Unidades Sistema Inglés
Caudal	1189.31 m ³ /h	700 CFM
Área	2295 cm ²	2.476 ft ²
Distancia	13 cm	0.426 ft

Área de succión

$$\text{ancho } (a) = 200 \text{ mm}$$

$$\text{largo } (b) = 1150 \text{ mm}$$

$$A_h = \left(\frac{a}{304.8}\right) * \left(\frac{b}{304.8}\right)$$

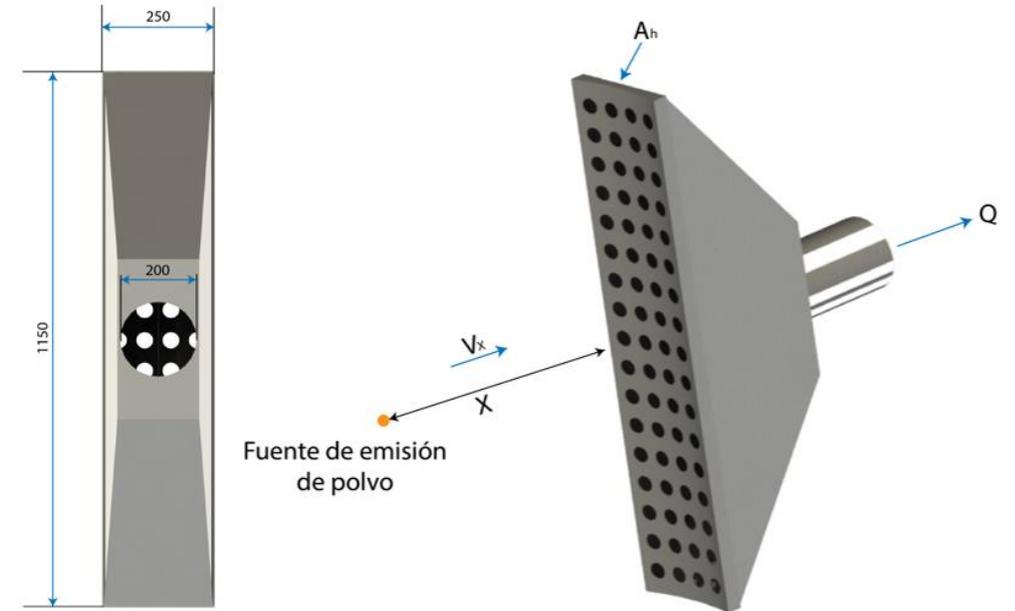
$$A_h = \left(\frac{200}{304.8}\right) * \left(\frac{1150}{304.8}\right) = 2.476 \text{ ft}^2 = 2295 \text{ cm}^2$$

Velocidad de succión esperada a 13 cm (0.426 ft) y 700 CFM

$$Q = \left(\frac{V_x}{2}\right) * (5 * X^2 + A_h)$$

$$700 = \left(\frac{V_x}{2}\right) * (5 * 0.426^2 + 2.476)$$

$$V_x = 413.78 \frac{\text{ft}}{\text{m}} = 2.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Dimensionamiento Neumático

Dimensionamiento del compresor

$$Q_{real} = Q_{actual} = 6.21 \text{ SCFM}$$

$$\begin{matrix} 59.78\% & 6.21 \text{ SCFM} \\ 100\% & x \end{matrix}$$

$$Q_{compresor} = 10.338 \text{ SCFM} = 0.1723 \frac{ft^3}{s}$$

Pérdida de presión (Fórmula de Harris)

$$p_f = \frac{C * L_{eq} * Q_{free}^2}{CR * d^5}$$

Donde

C : coeficiente de fricción

L : longitud de la tubería, (ft)

Q_{free} : caudal de aire libre, $\frac{ft^3}{s}$

CR : relación de compresión en la entrada de la tubería
 d : diámetro interno de la tubería, (in)

$$Q_{free} = Q_{compresor} = 10.338 \text{ SCFM}$$

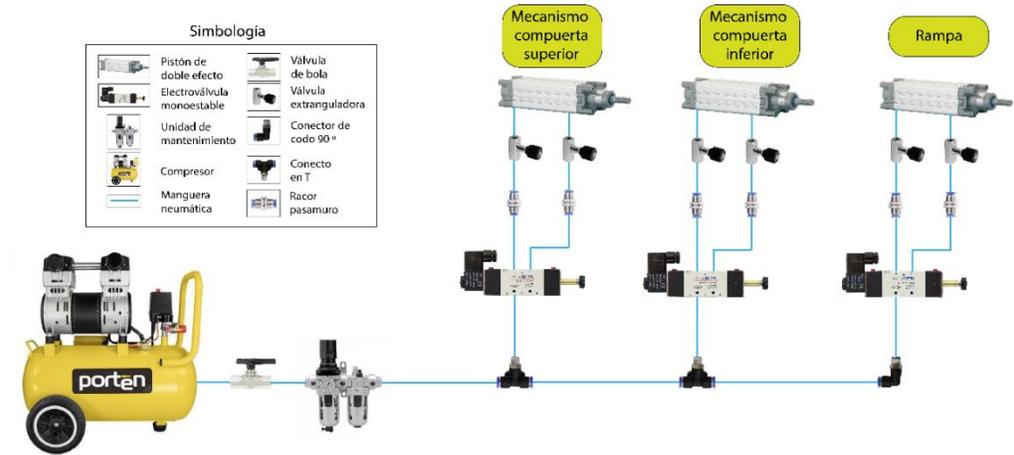
$$CR = \frac{\rho_{trab} + \rho_{atm}}{\rho_{atm}} = \frac{6\text{bar} + 1.013\text{bar}}{1.013} = 6.92$$

Pérdida de presión Total

$$p_{compresor} = p_{trabajo} + p_{fTotal}$$

$$p_{compresor} = 6 + 1.37 = 7.37 \text{ bar}$$

Dispositivo	Cantidad	Consumo de aire individual SCFM	Requerimientos de presión
Pistón neumático	3	4	6 bar



Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente (por unidad) ft	Coficiente de fricción (C)	Diámetro de la tubería (in)	Perdida de presión (total) PSI
Red principal	1	787.4	0.027	1	0.0912
Válvula de globo	1	17.06	0.0265	0.315	0.63
T y pasamuros	8	1.04	0.0265	0.315	0.30
Unidad de mantenimiento	1	-	-	-	7.25
Manguera neumática	1	49.21	0.0265	0.315	1.80
Electroválvulas	3	-	-	-	9.72
Codos	1	1.55	0.0265	0.315	0.06
Total					19.85 (1,37 bar)

Ejemplo:

$$p_f = \frac{0.027 * 787.4 \text{ ft} * \left(0.1723 \frac{ft^3}{s}\right)^2}{6.92 * (1 \text{ in})^5} = 0.0912 \text{ PSI}$$

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Dimensionamiento Neumático

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Diámetro del cilindro neumático

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi * d^2}{4}}$$

Ejemplo:

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 490.5N}{\pi * (6 \text{ bar}) * 1000}} = 0.03226 \text{ m} = 32.26 \text{ mm} \cong 40 \text{ mm}$$

Nº pistón	Aplicación	Carga (Kg)	Fuerza (N)	Diámetro (mm)	Carrera (mm)	Modelo seleccionado
1	Compuerta superior	50	490.5	40	400	DN40X400-CA-Y
2	Compuerta inferior	50	490.5	40	300	DN40X300-CA-Y
3	Rampa	38	372.78	32	200	DN32X200-CA-Y

Velocidad de desplazamiento lineal del cilindro

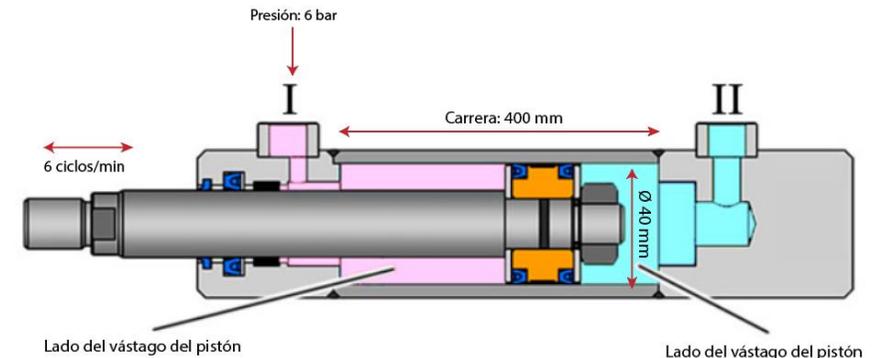
$$v = \frac{Q}{A}$$

Ejemplo:

$$v = \frac{0.00005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi * (0.04 \text{ m})^2}{4}} = 0.04 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 40 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{d}{v} = \frac{200 \text{ mm}}{40 \frac{\text{mm}}{\text{s}}} = 5 \text{ s}$$

Nº Pistón	Modelo seleccionado	Kilómetros de vida útil (km)	Carrera (m)	Tiempo de ciclo (s)	Frecuencia de operación ($\frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}$)	Vida útil nominal (h)
1	DN40X400-CA-Y	5000	0.4	10	6	34722
2	DN40X300-CA-Y	5000	0.3	5	12	23148
3	DN32X200-CA-Y	5000	0.2	4	15	27778





Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Dimensionamiento Eléctrico

220V 3F / 60 Hz



AWG 14



Modelo	AS
Voltaje nominal (V)	220
Corriente nominal (A)	20 A
Poder de corte (kea)	20
Polos	3

Modelo	AS
Voltaje nominal (V)	220
Corriente nominal (A)	20 A
Categoría	AC-3
Polos	3

Modelo	VFD 17AMS23 ANSAA
Voltaje nominal (VAC)	Trifásico 200 - 240
Corriente nominal (A)	17
Potencia de salida (hp)	5
Comunicación	Modbus RS-485

Modelo	ASEA M88F
Voltaje nominal (V)	440 / 220
Corriente nominal (A)	7,5 / 15 A
Potencia (hp)	5
rpm	1715



Diseño de Control (Automatización)

Introducción

Investigación
previa

Metodología

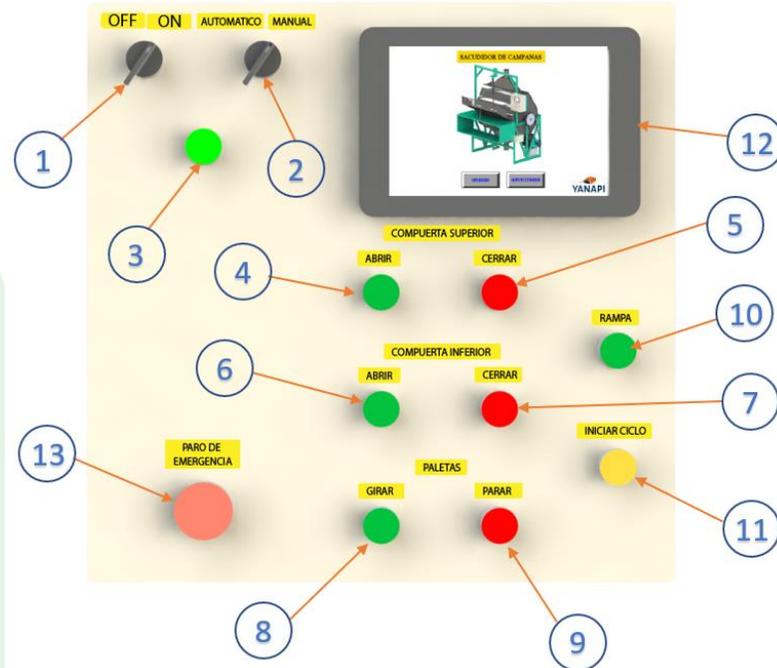
**Diseño y
construcción**

Pruebas y
Resultados

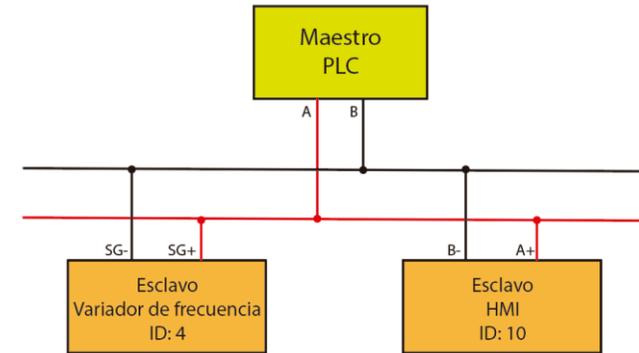
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Nº	Nombre del Elemento
1	Selector ON/OFF
2	Selector de modo de trabajo AUTOMÁTICO/MANUAL
3	Luz indicadora de Panel Energizado
4	Pulsador de apertura de Compuerta Superior
5	Pulsador de cierre de Compuerta Superior
6	Pulsador de apertura de Compuerta Inferior
7	Pulsador de cierre de Compuerta Inferior
8	Pulsador de Encendido de motor para giro de paletas
9	Pulsador de Apagado de motor para detención del giro de paletas
10	Pulsador de accionamiento de Rampa
11	Pulsador de inicio de Ciclo de Sacudimiento
12	HMI
13	Botón de Paro de Emergencia



Tipo	Denominación	Cantidad
Entrada	Pulsadores	8
Salida	Bobina electroválvula	3
	Luz indicadora	1

Modelo	XD3-24 RT E
Entradas / Salidas	12 / 10 (Relé) 2 (Transistor)
Alimentación	100 – 240 V
Comunicación	Modbus RS-485

Modelo	VFD 17AMS23 ANSAA
Potencia de salida (hp)	5
Corriente nominal (A)	17
Voltaje nominal (VAC)	Trifásico 200 - 240
Comunicación	Modbus RS-485



Diseño de Control (Automatización)

Navegación HMI

Introducción

Investigación
previa

Metodología

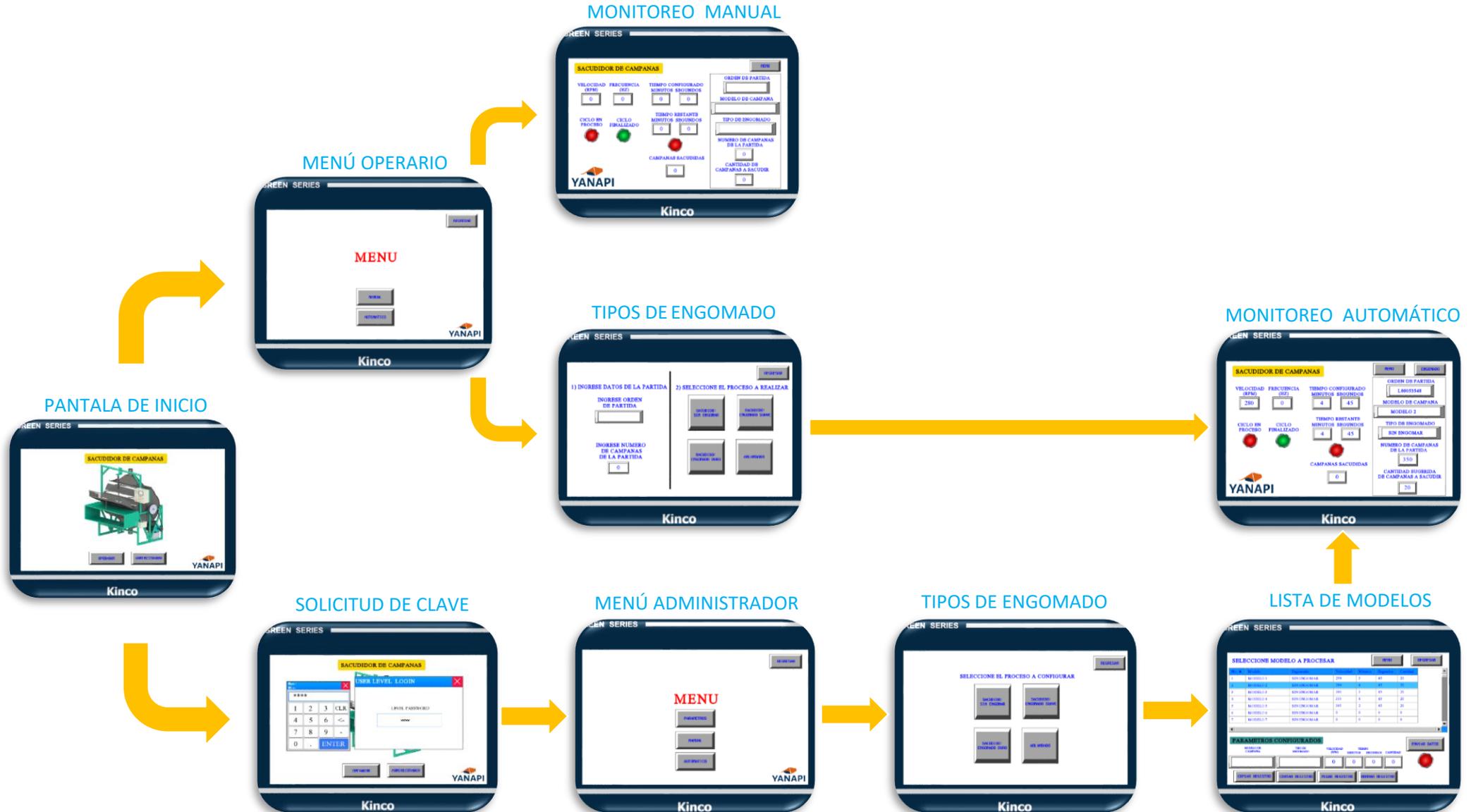
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Integración de Sistemas

Introducción

Investigación
previa

Metodología

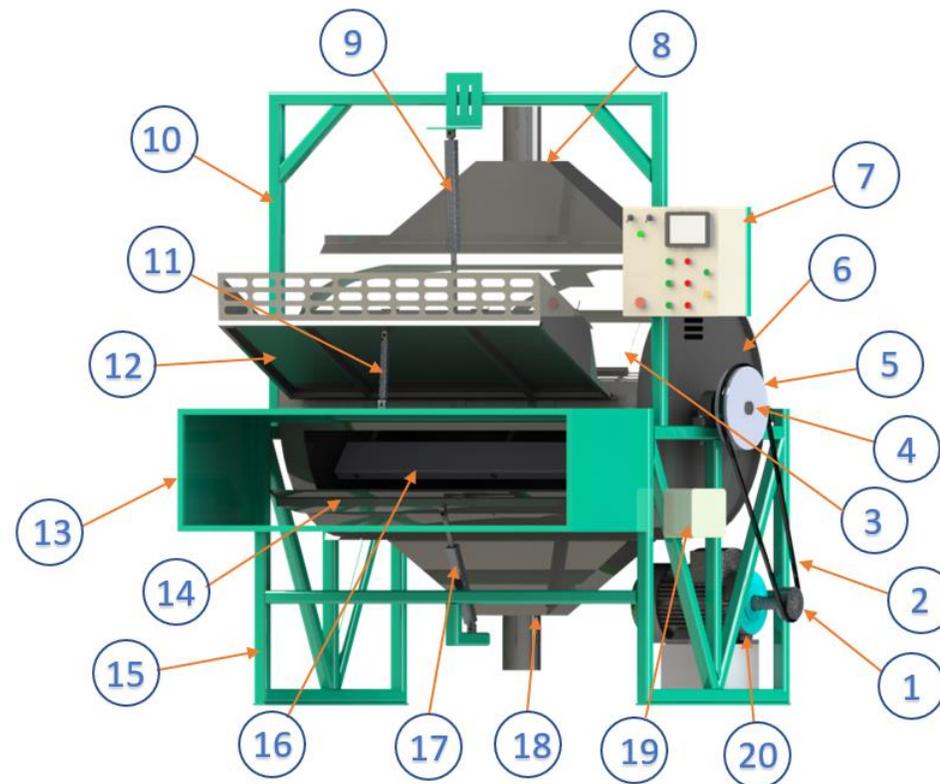
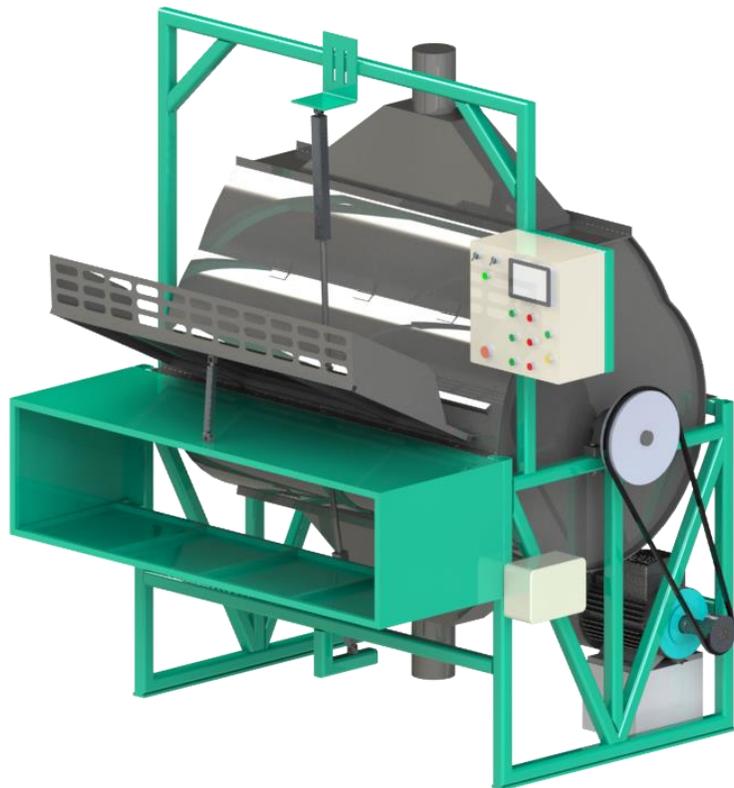
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



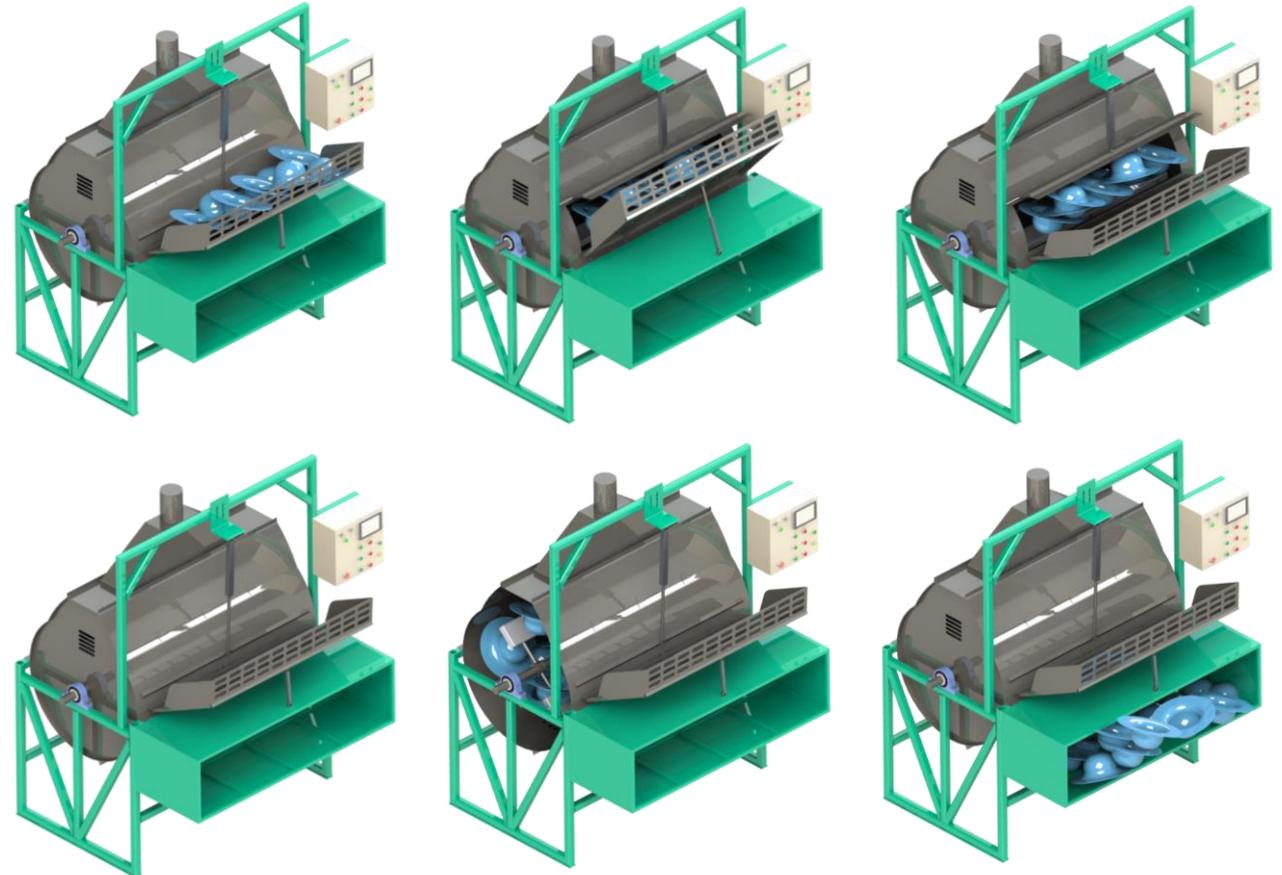
Nº	Nombre de Elemento	Nº	Nombre de Elemento
1	Polea del motor	11	Pistón de rampa
2	Correa de transmisión de potencia	12	Rampa
3	Compuerta superior	13	Cajón de recolección de campanas
4	Eje principal	14	Compuerta inferior
5	Polea de eje principal	15	Estructura de soporte
6	Cámara de sacudimiento	16	Paletas de duralón
7	Panel de Control	17	Pistón de compuerta inferior
8	Campana de extracción superior	18	Campana de extracción inferior
9	Pistón de compuerta superior	19	Panel neumático
10	Arco de soporte	20	Motor



Integración de Sistemas

Ciclo de trabajo

- Colocación de campanas en rampa de ingreso.
- Apertura compuerta superior.
- Ascenso de la rampa.
- Giro de paletas a baja velocidad.
- Ingreso de campanas a la cámara.
- Descenso de la rampa.
- Cierre compuerta superior
- Aumento de velocidad de sacudido.
- Sacudido de campanas por el tiempo establecido.
- Apertura compuerta inferior.
- Salida de campanas.



TIEMPO RESTANTE
MINUTOS SEGUNDOS



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Análisis de Vibraciones

Introducción

Investigación
previa

Metodología

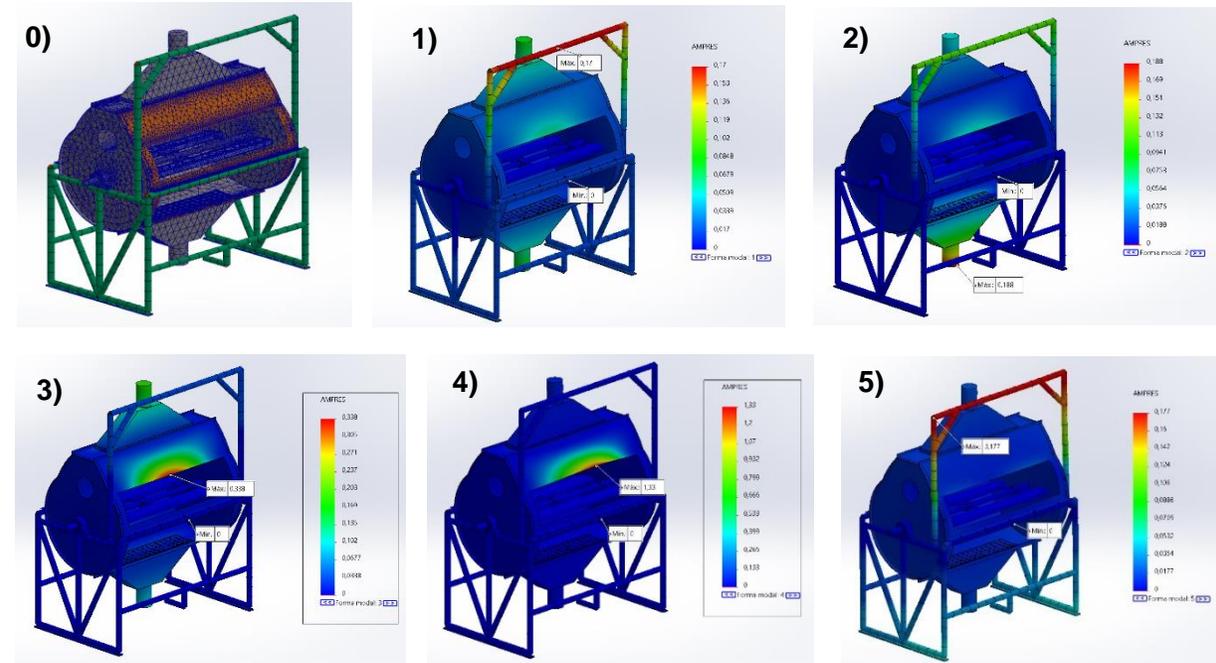
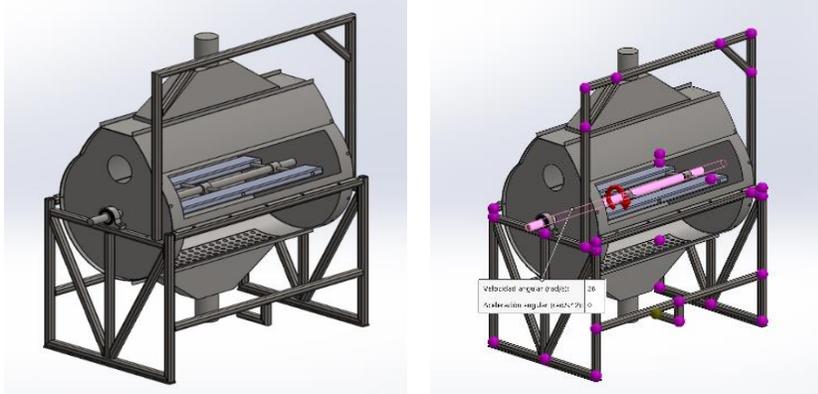
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

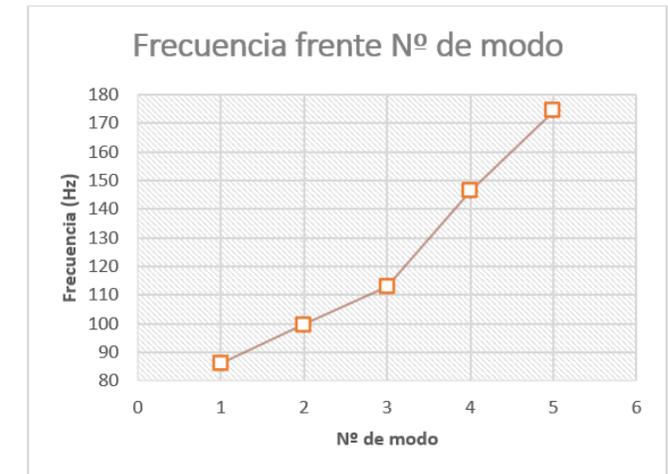
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



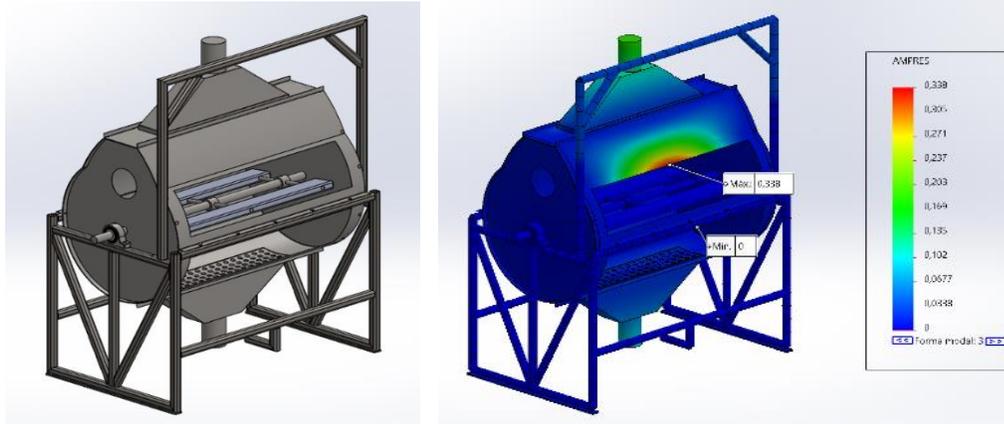
Frecuencia nº.	Rad/seg	RPM	Hertz	Segundos
0	Mallado			
1	78,845	753	86,05	0,068147
2	91,494	874	99,88	0,067935
3	103,42	988	112,91	0,065556
4	134,09	1280	146,28	0,059068
5	159,68	1525	174,28	0,048204



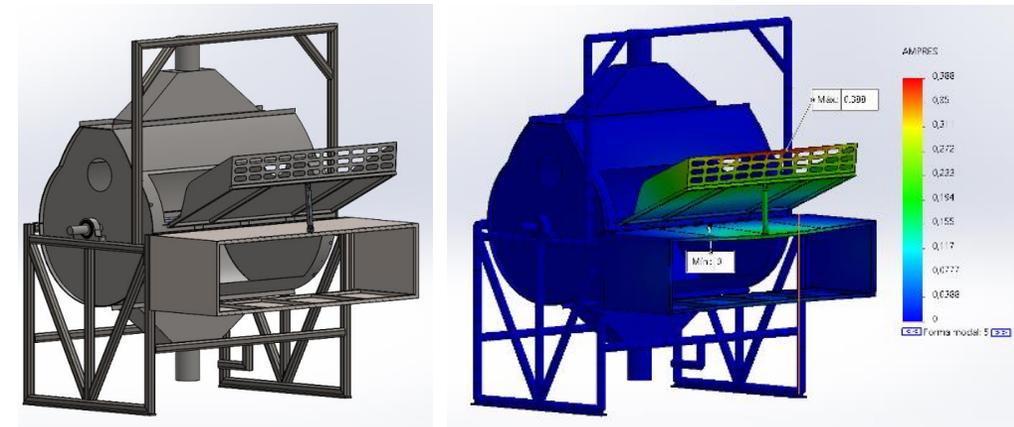


Análisis de Vibraciones

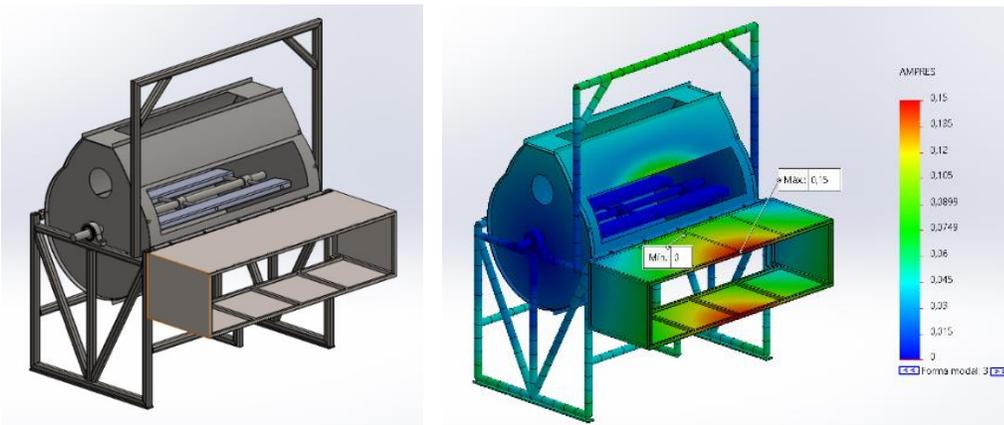
Primer análisis de vibración



Tercer análisis de vibración



Segundo análisis de vibración



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Análisis de Vida Útil

Chumaceras

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

$$P = Fr = \sqrt{(2220.67)^2 + (-996)^2} = 2433.8 \text{ N} = 2.43 \text{ kN}$$

$$C = 35.1 \text{ kN}$$

$$L_{10} = \left(\frac{35.1}{2.43} \right)^3 = 3014 \text{ millones de revoluciones}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * L_{10} = \frac{10^6}{60 * 350 \text{ RPM}} * 3014$$

$$L_{10h} = 143510 \text{ horas de funcionamiento} = 16.4 \text{ años de funcionamiento}$$





Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Análisis de Vida Útil

Cilindros neumáticos



$$Hh = \frac{1000 * k}{c * n * 60}$$

Ha: vida útil nominal del pistón, (años)

Hh: vida útil nominal del pistón, (horas)

Tu: tiempo de uso de pistones, ($\frac{\text{horas}}{\text{año}}$)

Nº Pistón	Modelo seleccionado	Kilómetros de vida útil (km)	Carrera (m)	Tiempo de ciclo (s)	Frecuencia de operación ($\frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}$)	Vida útil nominal (h)
1	DN40X400-CA-Y	5000	0.4	10	6	34722
2	DN40X300-CA-Y	5000	0.3	5	12	23148
3	DN32X200-CA-Y	5000	0.2	4	15	27778

$$Ha = \frac{Hh}{Tu}$$

$$Tu = \frac{(\text{Tiempo de ciclo}) \times (\text{Nº de ciclos de sacudimiento o/h ora}) \times (\text{horas al día}) \times (\text{días del año})}{3600}$$

Nº Pistón	Modelo seleccionado	Tiempo de ciclo (s)	Tiempo de uso anual (horas/año)	Vida útil nominal (h)	Vida útil nominal (años)
1	DN40X400-CA-Y	10	547.5	34722	63.41
2	DN40X300-CA-Y	5	273.75	23148	84.55
3	DN32X200-CA-Y	4	219	27778	126.84



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

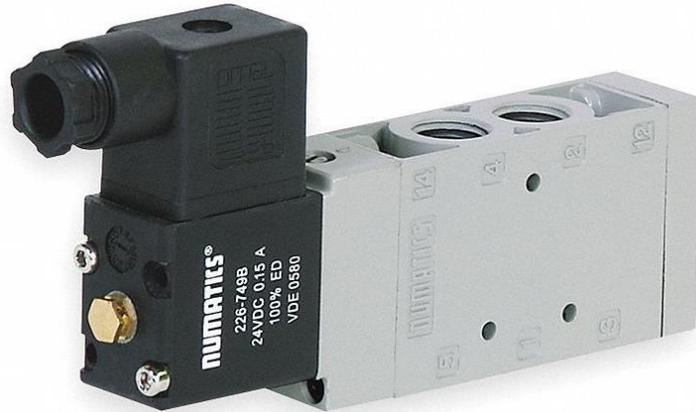
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Análisis de Vida Útil

Válvulas electroneumáticas



$$T_{10d} = \frac{B_{10d}}{n_{op}}$$

- T_{10d} : tiempo de vida útil asociado a B_{10d} , (años)
- B_{10d} : número de ciclos estadístico para una avería del 10% de partes, (ciclos)
- n_{op} : número de ciclos u operaciones por año, $\left(\frac{\text{ciclos}}{\text{año}}\right)$

$B_{10d} = 60$ millones de ciclos, indicado por el fabricante,
 $d_{op} = 365 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right)$, $h_{op} = 18 \left(\frac{\text{horas}}{\text{día}}\right)$, $t_{ciclos} = \frac{10}{2} \left(\frac{s}{\text{ciclo}}\right)$.

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \frac{s}{h}}{t_{ciclos}}$$

$$n_{op} = \frac{365 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right) \times 18 \left(\frac{\text{horas}}{\text{día}}\right) \times 3600 \frac{s}{h}}{5 \left(\frac{s}{\text{ciclo}}\right)} = 4730400 \left(\frac{\text{ciclos}}{\text{año}}\right)$$

$$T_{10d} = \frac{60 \times 10^6 \text{ ciclos}}{4.7 \times 10^6 \left(\frac{\text{ciclos}}{\text{año}}\right)} = 12.77 \text{ años}$$



Análisis de Vida Útil

Contactador (Componentes eléctricos)

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

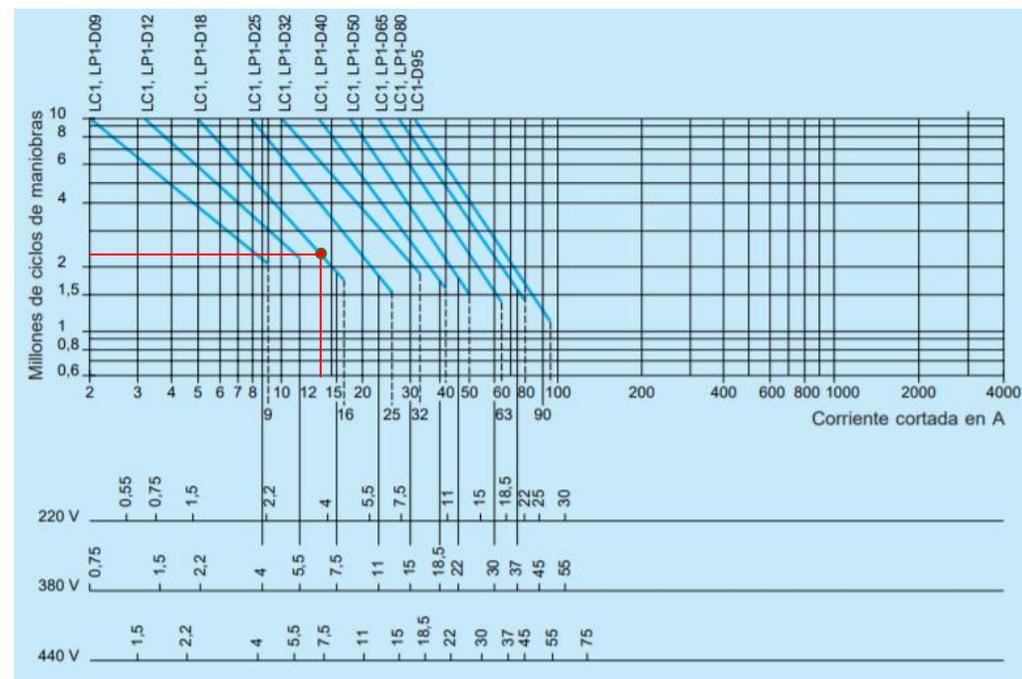
$$D_c = \frac{\text{durabilidad eléctrica en función de la corriente cortada}}{\left(\frac{\text{maniobras}}{h}\right) * \left(\frac{\text{horas de trabajo}}{\text{mes}}\right) * \left(\frac{\text{meses de trabajo}}{\text{año}}\right)}$$

- 12 maniobras por hora
- 720 horas al mes (30 días)
- 12 meses del año

$$D_c = \frac{2200000}{12 * 720 * 12} = 21.22 \text{ años}$$



Durabilidad eléctrica – Categoría AC-3.





Prototipo

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Prototipo

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





METODOLOGIA DE PRUEBAS

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

**Pruebas y
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

DOE tipo Taguchi

Factores	Niveles		
	1	2	3
Tiempo	-	-	-
Revoluciones	-	-	-

Experimento	Tiempo	Revoluciones
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3





ECUADOR

Pruebas

Modelo Huomo (HU)

Factores	Niveles		
	1	2	3
Tiempo	50 s	1:10 m	1:30 m
Revoluciones	300 rpm	325 rpm	350 rpm

Modelo de campana: Huomo						
Experimento	Tiempo	Revoluciones	Cantidad	Peso de la muestra (g)		Diferencia de peso (g)
				A.S	D.S	
1	1	1	20	3088	3039	49
2	1	2	20	3062	2981	81
3	1	3	20	3063	3005	58
4	2	1	20	3040	3010	30
5	2	2	20	3027	2958	69
6	2	3	20	3062	2998	64
7	3	1	20	3076	3017	59
8	3	2	20	3058	2986	72
9	3	3	20	3080	3018	62



Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Pruebas

Introducción

Investigación
previa

Metodología

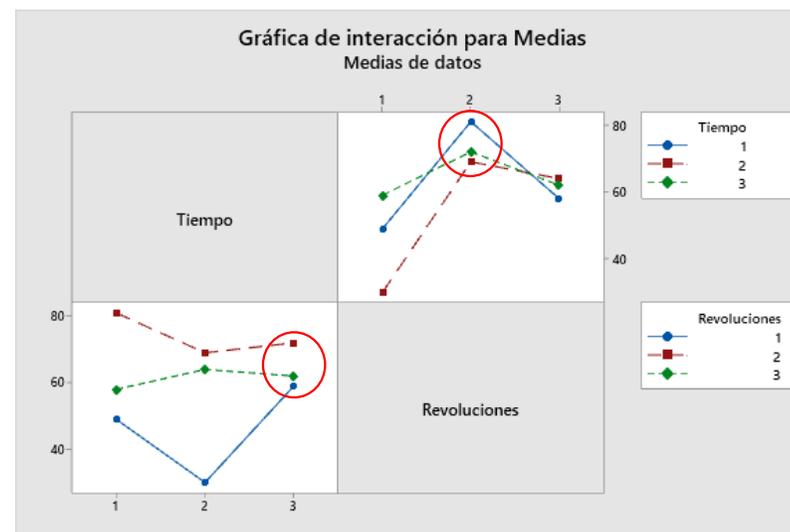
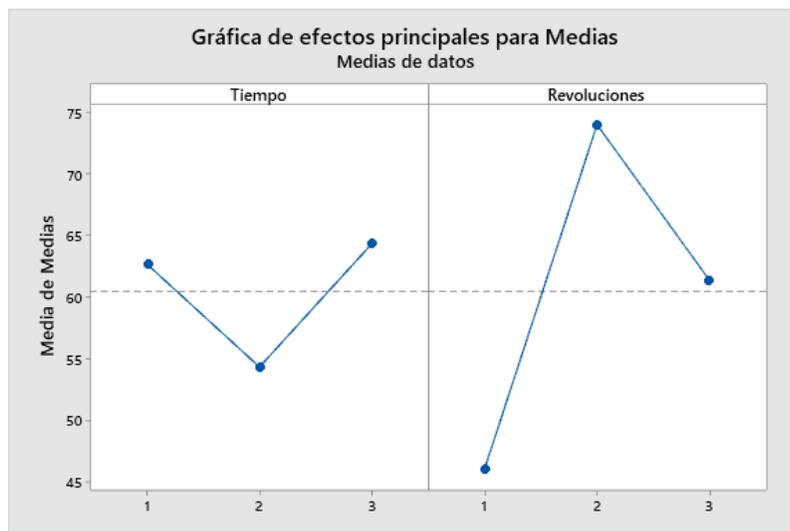
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Factores	Niveles		
	1	2	3
Tiempo	50 s	1:10 m	1:30 m
Revoluciones	300 rpm	325 rpm	350 rpm

Antes de sacudido



Después de sacudido





Pruebas

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Modelo Tolentino Café (TO)

Factores	Niveles		
	1	2	3
Tiempo	2 m	2:30 m	3 m
Revoluciones	300 rpm	325 rpm	350 rpm



Modelo de campana: Tolentino Café						
Experimento	Tiempo	Revoluciones	Cantidad	Peso de la muestra (g)		Diferencia de peso (g)
				A.S	D.S	
1	1	1	25	3133	3111	22
2	1	2	25	3088	3057	31
3	1	3	25	3141	3096	45
4	2	1	25	3073	3035	38
5	2	2	25	3123	3074	49
6	2	3	25	3085	3025	60
7	3	1	25	3132	3106	26
8	3	2	25	3100	3055	45
9	3	3	25	3102	3051	51





Pruebas

Introducción

Investigación
previa

Metodología

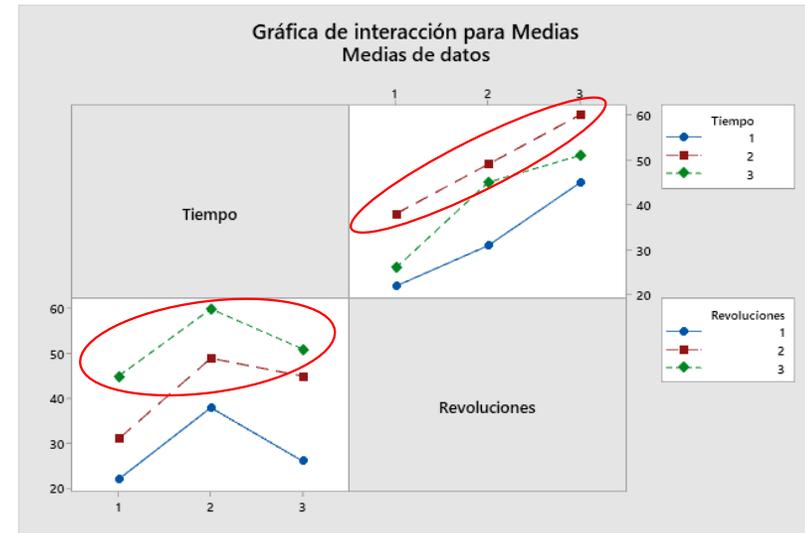
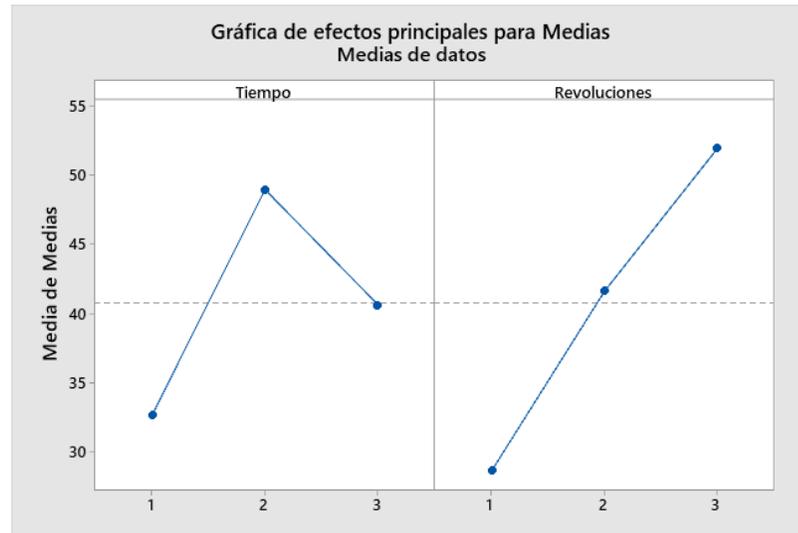
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Factores	Niveles		
	1	2	3
Tiempo	2 m	2:30 m	3 m
Revoluciones	300 rpm	325 rpm	350 rpm

Antes de sacudido



Después de sacudido





Pruebas

Rendimiento

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Modelo: Tolentino							
Tiempo: 50 segundos							
Cantidad: 25 campanas							
Velocidad: 340 RPM							
Antiguo Sacudidor				Nuevo Sacudidor			
Peso inicial (g)	Peso sacudido (g)	Diferencia (g)	Característica de calidad	Peso inicial (g)	Peso sacudido (g)	Diferencia (g)	Característica de calidad
3379	3312	67	3	3438	3364	74	4
3324	3264	60	3	3452	3378	74	4
3336	3276	60	3	3430	3358	72	4
3362	3314	55	3	3472	3398	74	4
Promedio		60.5		Promedio		73.5	

$$\eta = \left(\frac{\text{Valor final} - \text{Valor inicial}}{\text{Valor inicial}} \right) \times 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{73.5 - 60.5}{60.5} \right) \times 100 \% = 21.49 \%$$





Resultados

Definición de parámetros de sacudimiento

Engomado Duro

Campana	Código	Cantidad	Tiempo (s)	Velocidad (RPM)
MUSTANG	MU	18	40	260
DALLAS	DA	18	40	260
MEXICANA	MX	18	40	260



Engomado Suave

Campana	Código	Cantidad	Tiempo (s)	Velocidad (RPM)
TEXAS	TE	20	90	325
BILLY	BY	20	90	325
HUOMO	HU	20	90	325
CAMPESINA	CA	25	90	350
TOLENTINO	TO	25	90	350



Sin Goma

Campana	Código	Cantidad	Tiempo (s)	Velocidad (RPM)
SALASACA	SS	25	150	350
SALASAQUITA	SQ	25	150	350
PODEROSA	PD	25	150	350
RIOBAMBEÑA	RB	25	150	350
YASUNI	YS	25	150	350
HUOMO	HU	25	150	350
CAMPESINA	CA	25	150	350
TOLENTINO	TO	25	150	350
COLOMBIANA	CO	25	150	350



El tiempo depende mucho del tipo de color

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

**Pruebas y
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Resultados

Nº	Característica	Ponderación	Verificación
1	Porcentaje de reducción de polvo y aprobación de inspección visual	14,4	Reducción promedio de peso de polvo en campanas sacudidas por ciclo en 73.5 gramos y aprobación de inspección visual
2	Velocidad de extracción de aire en ductos (entre 20 a 25 m/s)	11,9	Velocidad previa: 3149.61 FPM o 16 m/s Velocidad deseada: 4921.21 FPM o 25 m/s Velocidad registrada: 6000 FPM o 30.48 m/s
3	Capacidad de procesamiento: de 15 a 30 campanas	11,4	Aumento en el rendimiento de desprendimiento de polvo en 21.49 %
4	Eficacia en la extracción de aire, caudal extraído, velocidad de extracción	10,8	Velocidad de extracción en campanas previa: 492.13 FPM o 2.5 m/s Velocidad de extracción en campanas registrada: 1000 FPM o 5.08 m/s
5	Sentido de giro del eje, velocidad de giro, tiempo de funcionamiento configurables	10,3	Configurabilidad mediante HMI
6	Funcionalidad, mantenimiento de la máquina, tiempo de vida útil	8,9	Fácil y rápida limpieza y mantenimiento
7	Grado de automatización de la máquina	8,5	Semiautomático
8	Volumen de espacio ocupado por la máquina	8,5	Dimensiones: 2.1 x 1.5 x 2 m Volumen de cámara de antiguo sacudidor de 0.90 m ³ Volumen de cámara de nuevo sacudidor de 1.05 m ³
9	Modularidad en el diseño mecánico, tiempo de ensamblaje	8	Fácil ensamblado y desensamblado, juntas empernadas
10	Tiempo de aprendizaje de uso de interfaz, tiempo de calibración y arranque de la máquina, tiempo de resolución de problemas	7,3	Capacitación al personal: 2 horas Calibración y arranque: 1 min

Velocidades de captura y transporte sistemas de extracción de partículas		
Velocidad de captura en campanas		
Condición de dispersión del contaminante	Ejemplo	Velocidad de captura (fpm)
Liberado a alta velocidad inicial en la zona con un movimiento de aire rápido	Molienda, limpieza abrasiva, golpeteos	500 - 2000
Velocidad de transporte en conductos		
Naturaleza del contaminante	Ejemplo	Velocidad de transporte (fpm)
Polvo industrial promedio	Polvo fino de caucho, polvo de moldeo de baquelita, pelusa de yute, polvo de algodón, polvo de jabón, polvo de lana, virutas de cuero	3500 – 4000

Tomado de *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design* (pp. 52 , 65), por American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Resultados

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

**Pruebas y
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Nº	Requerimientos	Cumplimiento
1	Mantener o aumentar la capacidad de producción actual	Cumple
2	Eliminar el polvo de las campanas de manera eficaz	Cumple
3	Aumento de velocidad de extracción de aire en los ductos	Cumple
4	Apertura, cierre de compuertas e ingreso de campanas de forma automática	Cumple
5	Configuración de parámetros de funcionamiento adaptable a las necesidades	Cumple
6	Las dimensiones de la máquina deben respetar y no exceder el espacio disponible y designado en el lugar de trabajo	No cumple
7	La máquina debe contar con 2 campanas de extracción para mayor rendimiento	Cumple
8	La máquina debe estar constituida por partes pequeñas que puedan ingresar y ser ensambladas en la empresa	Cumple
9	Requerimientos mecánicos de forma de la máquina, materiales de construcción, ubicación de los elementos	Cumple
10	Que la máquina sea intuitiva y fácil de usar por el operario	Cumple





Conclusiones

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

- Se construyó una cámara de sacudimiento con un volumen aproximado de 1.05 m^3 , lo cual ayudó a aumentar la cantidad de campanas procesadas por ciclo de sacudimiento hasta un 25% o 50% dependiendo del modelo, con una superficie interior casi completamente lisa sin demasiadas ranuras y rugosidades, lo cual ayuda al deslizamiento y simultáneo golpeteo de las campanas al interior de la cámara de sacudimiento.
- Se implementó un mecanismo de ingreso de campanas al Sacudidor mediante una rampa móvil que a partir de un movimiento rápido del pistón acoplado y con ayuda de la gravedad provoca el deslizamiento de todo el peso de las campanas hacia el interior de la cámara. Por otra parte, la extracción de campanas de la cámara se produce mediante la apertura de la compuerta de salida a partir de un movimiento rápido del pistón acoplado sumado al giro de las paletas que realizan el empuje de las campanas hacia el exterior.



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Conclusiones

- Se realizó el dimensionamiento completo del sistema de extracción de polvo en el Área de Terminado de la empresa Yanapi S.A y se verificaron los cálculos y comportamientos de las variables de presión y caudal en las diferentes máquinas conectadas al sistema, esto permitió dimensionar un ventilador más potente que cubriera la demanda actual de 6000 cfm, la demanda esperada con la implementación del nuevo sacudidor de 700 cfm, de los cuales 1400 corresponden al nuevo sacudidor distribuidos en 700 CFMs para cada campana de extracción superior e inferior y una demanda futura por posibles ampliaciones. Las características del nuevo ventilador instalado en el sistema de extracción de polvo se mencionan a continuación:
 - Caudal: 7000 CFM
 - Presión estática: 103 mmwg
 - Presión dinámica: 4.13 mmwg
 - Eficiencia: 78%
- Se aplicó la metodología de Ashby para la selección de un material que cumpla los requerimientos de peso, resistencia al impacto y buena maquinabilidad para la fabricación de las paletas de sacudimiento, las cuales se ven sometidas a un pronto desgaste en otros materiales como la madera tratada, además se empleó acero inoxidable 304 para la construcción de la cámara de sacudimiento por sus propiedades de rigidez, durabilidad, resistencia a la abrasión y menor acumulación de electricidad estática que se produce debido a la manipulación de las campanas de fieltro.



Conclusiones

Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

- Se desarrolló una metodología de evaluación de parámetros de sacudimiento para cada modelo de campana basado en un diseño de experimentos (DOE) de tipo Taguchi que emplea una matriz ortogonal L_9 , es decir que requiere 9 ensayos o experimentos para presentar resultados significativos, donde se definieron 2 factores a evaluar: Tiempo y Velocidad de sacudimiento con 3 niveles cada uno (bajo, medio, alto), esta metodología ayuda a estandarizar el proceso de evaluación para ser empleado con nuevos modelos de ser necesario o repetir los ensayos con los modelos existentes y facilita la calibración de la máquina para configurar el programa de control al que tienen acceso los operarios mediante la HMI.
- Se desarrolló un programa de control en función de los requerimiento del Área de Producción, donde se configuró un modo Manual que ayuda al primer tipo de usuario "Operario" a verificar el funcionamiento de los componentes que integran al Sacudidor como compuertas, rampa y paletas, además permite configurar los parámetros de sacudimiento sin ningún tipo de restricción para realizar nuevos ensayos con nuevos modelos si se encuentran disponibles, también se configuró un modo Automático donde la participación del operario se reduce ya que solamente puede operar el Sacudidor con parámetros preestablecidos por un segundo tipo de usuario "Administrador", este último con acceso para alterar los registros de los parámetros de sacudimiento y aumentar o reducir modelos de campanas si así se requiere.



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Recomendaciones

- Para disminuir los tiempos muertos por limpieza de la máquina, se recomienda distribuir las partidas de producción en los dos sacudidores disponibles de acuerdo al color, es decir utilizar la máquina construida para campanas de colores oscuros, mientras que las de colores claros se pueden sacudir en la máquina antigua todavía disponible en la planta.
- Para optimizar el uso de la máquina y obtener los mejores resultados de sacudido, es recomendable realizar pruebas con la metodología desarrollada en el presente documento para la totalidad de los productos fabricados en YANAPI S.A, se pueden incluir en el análisis otros factores como el color de las campanas o su gramaje.
- Para obtener una representación real del valor agregado que proporciona la máquina construida al producto final, se recomienda hacer un seguimiento y comparación de calidad a las campanas terminadas, considerando cual de las dos máquinas que dispone la empresa para realizar este proceso fue utilizada.



Introducción

Investigación
previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Trabajos Futuros

- Ampliar el alcance de la red de comunicación implementada para mantener un control centralizado sobre toda el área de terminado de YANAPI S.A. Utilizando unidades de expansión en el PLC, se puede controlar todas las máquinas del área y obtener información de producción de procesos anteriores y posteriores al sacudimiento.
- Una consideración adoptada al inicio del proyecto fue la posibilidad por parte de YANAPI S.A de realizar la construcción de dos máquinas sacudidoras, tomando en cuenta los altos tiempos de mantenimiento que requiere la máquina que realizaba este proceso.
- Implementar un sistema más eficiente de transporte de las campanas de fieltro dentro del área, pues su manipulación constante generalmente ocasiona que se adhieran nuevamente residuos de polvo y pelusa a las campanas ya sacudidas.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN