

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 UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE INSPECCIÓN CON
ULTRASONIDO-ARREGLO DE FASES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PLANCHAS DE
ACERO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS
“CIRT””**

AUTORES: AMORES ÁLVAREZ, ERIK SEBASTIÁN
ESPÍN QUISPE, KEVIN ADRIÁN

DIRECTOR: ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO

Latacunga, 2022





Contenido:

1. Introducción
2. Fundamentación teórica
3. Diseño mecánico y electrónico
4. Construcción, pruebas y resultados
5. Conclusiones y recomendaciones

1. Introducción



Objetivo general

Diseñar y construir un sistema automatizado de inspección con ultrasonido - arreglo de fases para el control de calidad de planchas de acero en el Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y Partes Industriales “CIRT”.

Objetivos específicos

- Investigar conceptos sobre dispositivos automatizados, ensayos no destructivos de inspección por ultrasonido - arreglo de fases, funcionamiento, parámetros de calibración, equipos y configuraciones.
- Diseñar un mecanismo que permita automatizar la adquisición de datos en el proceso de inspección con ultrasonido - arreglo de fases.
- Analizar el diseño y seleccionar componentes.

1. Introducción



Objetivos específicos

- Construir e implementar un sistema de control capaz de realizar un barrido para la toma de datos de la superficie a inspeccionar.
- Desarrollar pruebas de funcionamiento y adquisición de datos en planchas de acero.

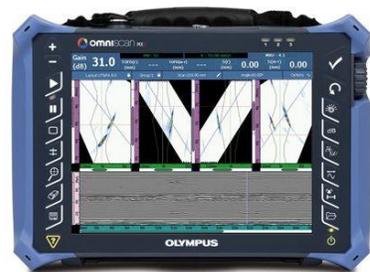
1. Introducción

Planteamiento del problema

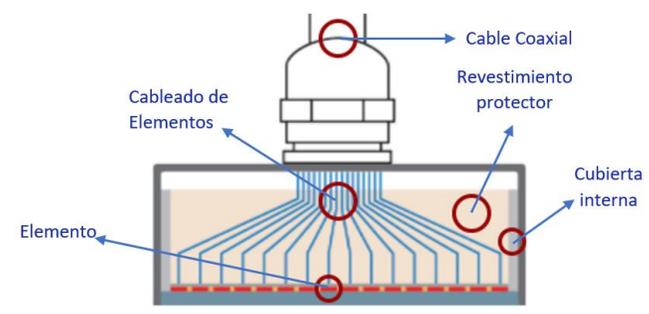


2. Fundamentación teórica

OmniScan MX2



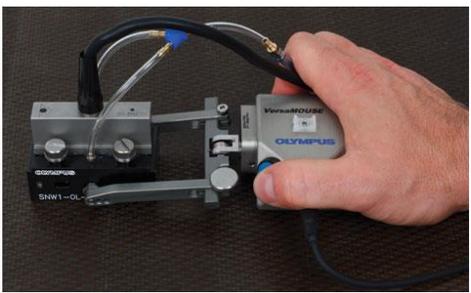
Sonda



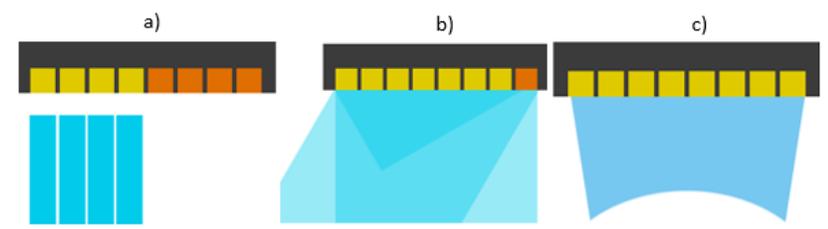
Zapata



VersaMOUSE

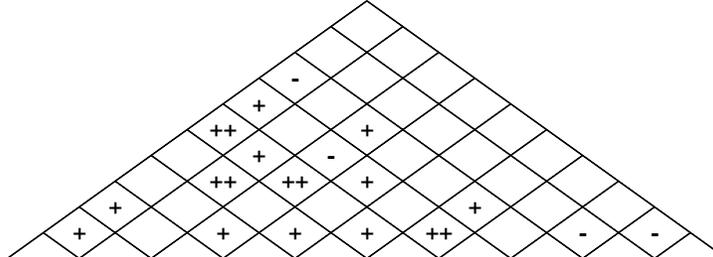


Secuencia de leyes focales



3. Diseño mecánico y electrónico

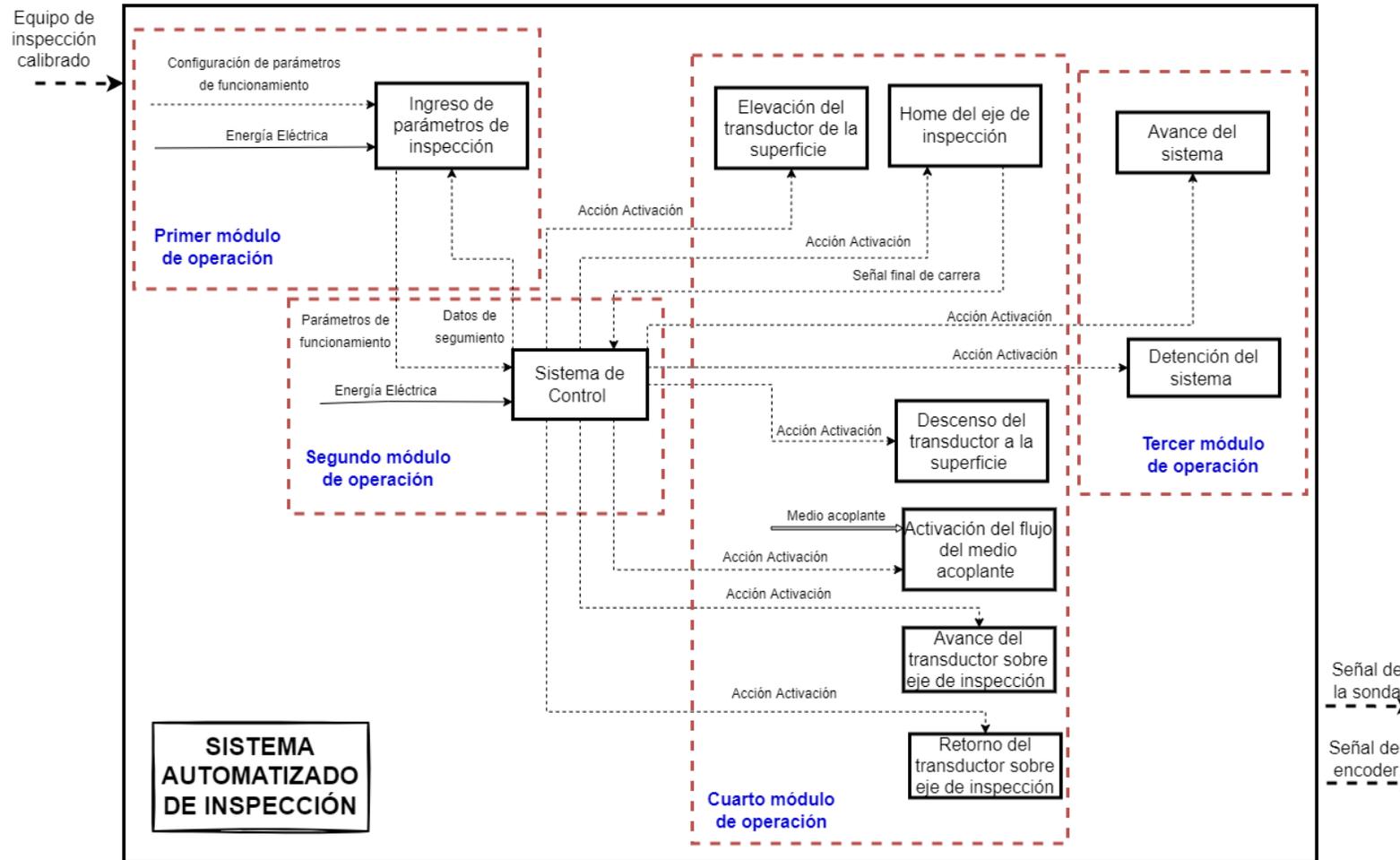
Matriz QFD

												
		N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Necesidades del Usuario	Características Técnicas	Importancia	Desplazamiento (mm)	Detección de discontinuidades	Sistema de interfaz Hombre-Máquina	Tiempo de configuración para iniciar la inspección	Número de accesorios de Olympus utilizados en el sistema de inspección	Control automático de desplazamiento durante la inspección	Eficiencia de los tiempos de inspección	PWM de la bomba	Factor de seguridad	Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento
	1	Movimiento sobre planchas	4	●		○			●	○		
2	Precisión en la técnica de inspección	5	○	●		○	●	○	○	▽		
3	Interacción intuitiva con el usuario	4			●	▽						
4	Configuración sencilla de la inspección	4		○	○	●		▽	▽			
5	Acople con accesorios de Olympus con el sistema de inspección.	5	○	●			●		○	▽	▽	
6	Sistema automático de inspección	5	▽	○	▽		○	●		○		
7	Brindar un mejor servicio	3		▽		▽		▽	●			
8	Acoplamiento acústico con agua para la inspección	4		●	▽	○	○			●	○	
9	Resistente	3							○	●	○	
10	Fácil mantenimiento	3	▽								●	
		Ponderación Absoluta	74	156	69	70	117	103	76	65	59	41
		Ponderación Relativa	1,8049	3,8049	1,6829	1,7073	2,8537	2,5122	1,8537	1,5854	1,439	1
		Importancia Relativa	5	1	7	6	2	3	4	8	9	10

3. Diseño mecánico y electrónico



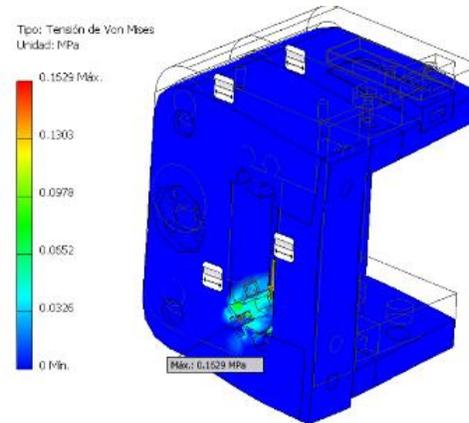
Estructura funcional del proyecto



3. Diseño mecánico y electrónico

Acople con el VersaMOUSE

Soporte del mecanismo

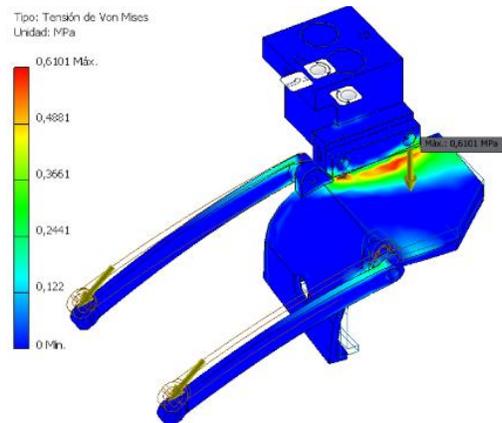


Esfuerzo de Von Mises	0.1529 MPa
-----------------------	------------

Deflexión máxima	9.22×10^{-5} mm
--------------------	--------------------------

Factor de Seguridad	15
---------------------	----

Seguidor del VersaMOUSE



Esfuerzo de Von Mises	0.6 MPa
-----------------------	---------

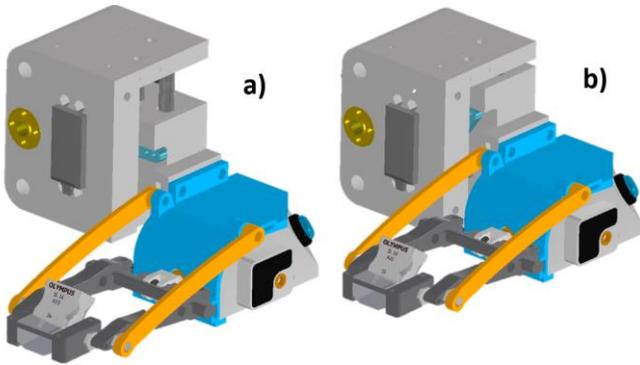
Deflexión máxima	0.011 mm
--------------------	----------

Factor de Seguridad	15
---------------------	----

3. Diseño mecánico y electrónico

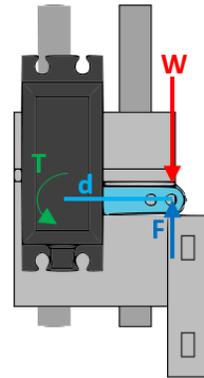
Mecanismo tipo leva

Posiciones del mecanismo



Ítem	Componente	Representación	Valor
1	VersaMOUSE	m_V	0.400 kg
2	Seguidor	m_S	0.093 kg
3	Soporte del mecanismo	m_m	0.307 kg
4	Tornillo sin fin	m_{tornillo}	0.187 kg
5	Carga extra	m_e	0.700 kg

D.C.L



$$F = (m_V + m_S + m_e) \cdot g$$

$$F = 11.70 \text{ N}$$

$$T = F \cdot d$$

$$T = 11.70 \text{ N} \cdot 0.024 \text{ m}$$

$$T = 0.281 \text{ Nm} = 2.86 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

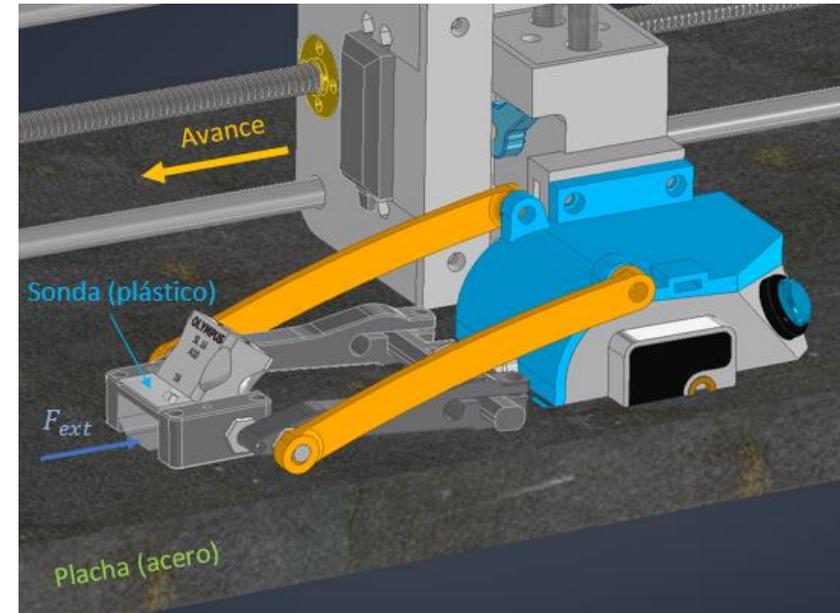
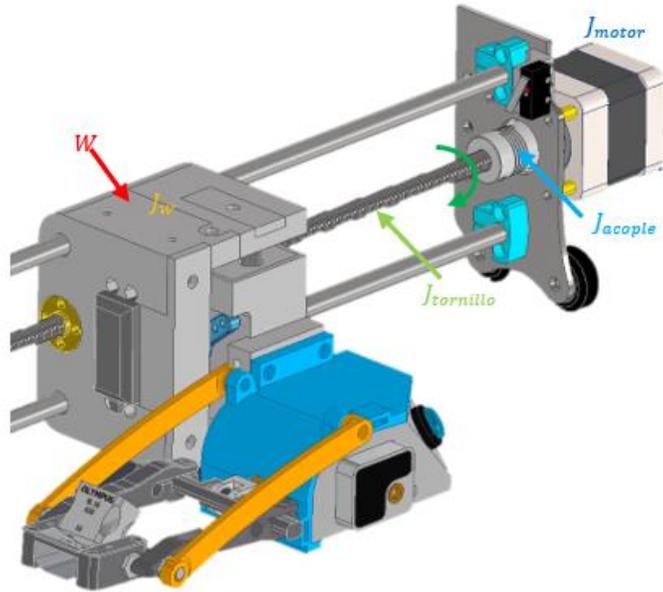
Servomotor



Característica	Valor
Peso	55 gr
Torque	11 kgf·cm
Velocidad	0.14 s/60°
Voltaje de operación	4.8 V – 7.2 V
Corriente	0.5 A - 0.9 A
Temperatura de funcionamiento	0 °C - 55 °C

3. Diseño mecánico y electrónico

Movimiento del brazo de inspección



$$F_{total} = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad}$$

$$J_{total} = J_{motor} + \frac{(J_{acople} + J_{tornillo} + J_W)}{i^2}$$

3. Diseño mecánico y electrónico

Movimiento del brazo de inspección

Sin inercia del rotor

$$T_{acel} = J_{total} \cdot \left(\frac{\omega}{\Delta_{time}} \right) \cdot \frac{2\pi}{60}$$

$$T_{fun} = \frac{F_{total}}{2 \cdot \pi \cdot P} + T_{precarga}$$

i

$$T_{motor} = T_{acel} + T_{run}$$

$$T_{motor} = 0.013 \text{ kg} \cdot \text{m} \rightarrow 12.929 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Con inercia del rotor

$$T_{motor} = T_{acel} + T_{run}$$

$$T_{motor} = 0.022 \text{ kg} \cdot \text{m} \rightarrow 22.064 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

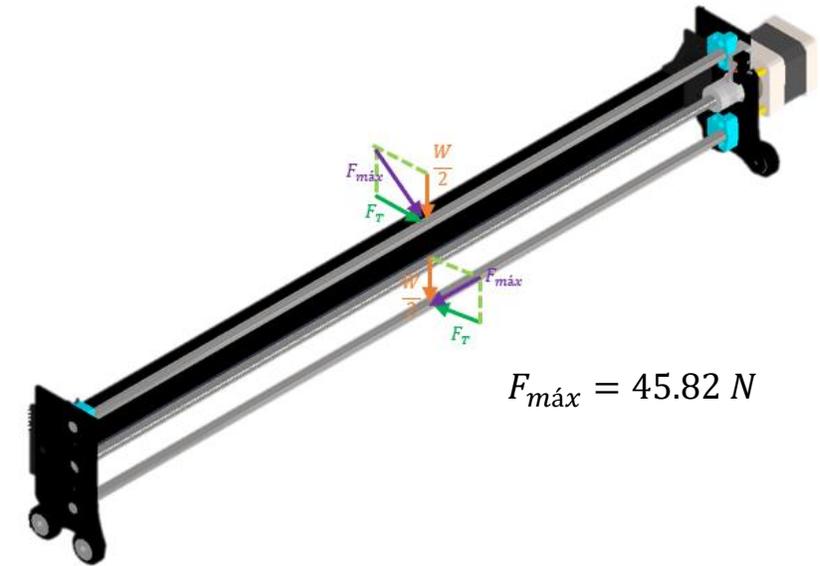
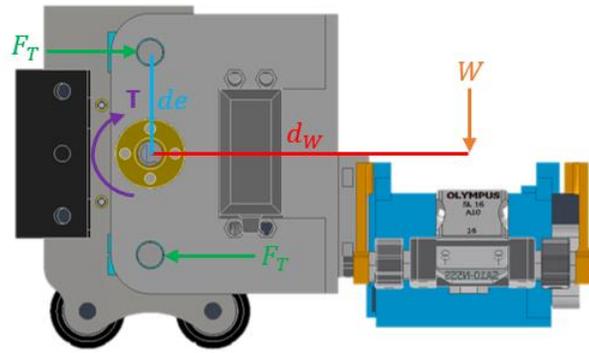
Motor a pasos



Característica	Valor
Tipo de motor	Bipolar Stepper
Ángulo de paso	1.8 grados
Torque	0.4 Nm
Corriente nominal/fase	1.2 A
Resistencia de fase	3 Ohms
Inductancia	4.5 mH
Inercia del rotor	54 g · cm ²

3. Diseño mecánico y electrónico

Ejes del brazo de inspección



Esfuerzo a flexión 66,05 MPa

Deflexión máxima 1,11 mm

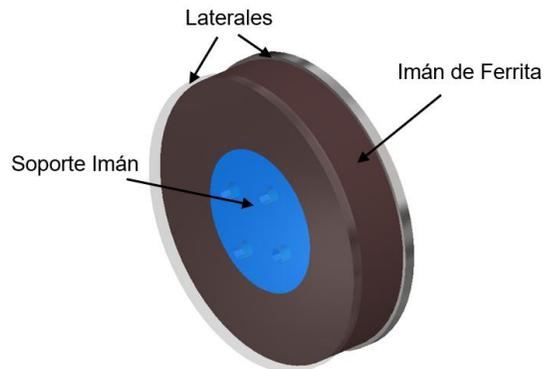
Factor de seguridad 6,27

$$\frac{y_{m\acute{a}x}}{L} \quad 0.00191$$

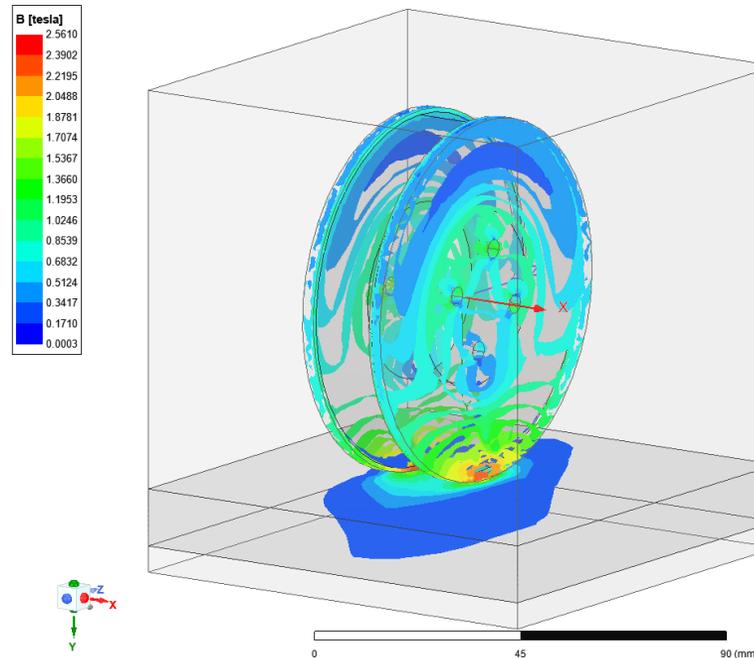
3. Diseño mecánico y electrónico

Ruedas magnéticas

Diseño CAD



Análisis – Maxwell 3D

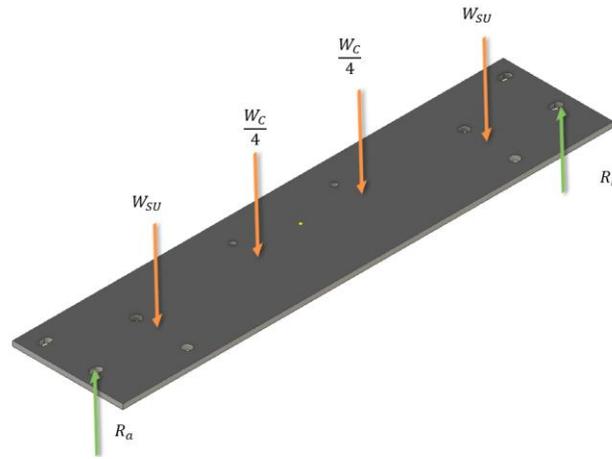
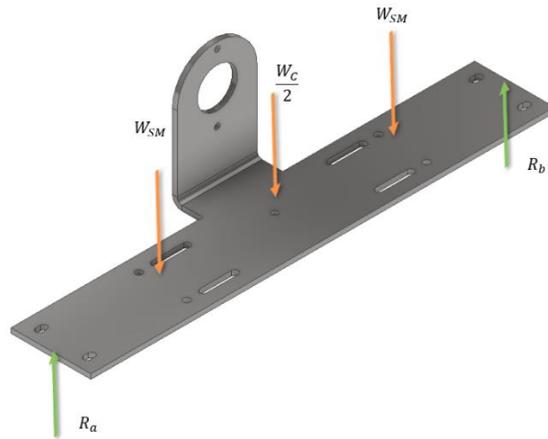


Resultado

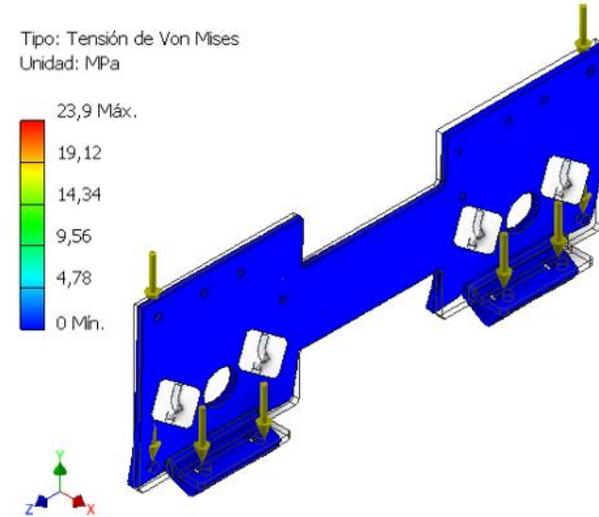
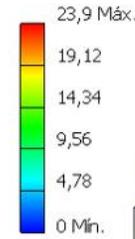
Fuerza	Valor	Unidades
Fuerza Magnética	142.064	Newton
Fuerza X	74.9	mNewton
Fuerza Y	142.06	Newtons
Fuerza Z	-12.38	mNewton

3. Diseño mecánico y electrónico

Estructura del módulo de avance



Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa



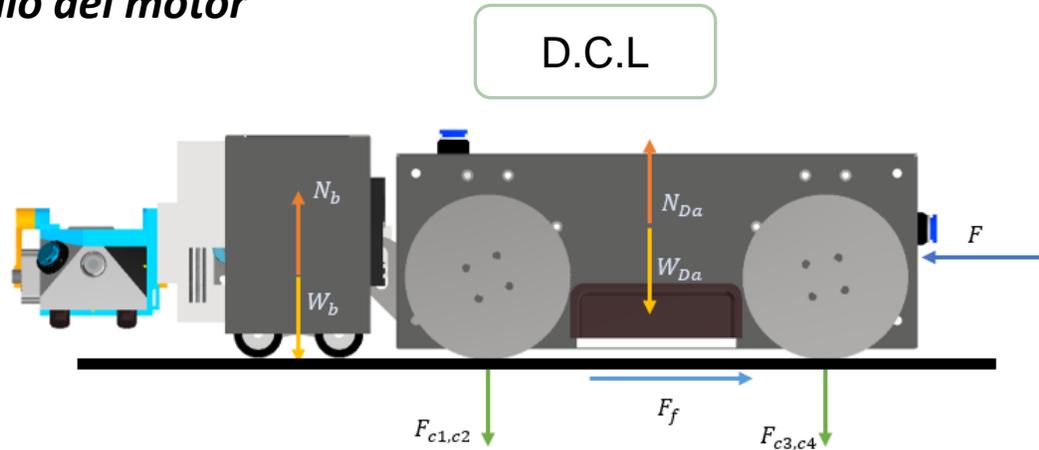
Esfuerzo a flexión	25 MPa
Deflexión máxima	0,443mm
Factor de seguridad N=2	$\sigma_d=124\text{MPa}$

Esfuerzo a flexión	12,1 MPa
Deflexión máxima	0,17 mm
Factor de seguridad N=2	$\sigma_d =124\text{MPa}$

Esfuerzo de Von Mises	23,9 MPa
Deflexión máxima	0,004255 mm
Factor de seguridad	10.39

3. Diseño mecánico y electrónico

Cálculo del motor



D.C.L

$$\sum Fy_1 = 0$$

$$N_b - W_b = 0$$

$$N_b = W_b$$

$$\sum Fy_2 = 0$$

$$N_a - F_{c1} - F_{c2} - F_{c3} - F_{c4} - W_{Da} = 0$$

$$N_a = F_{c1} + F_{c2} + F_{c3} + F_{c4} + W_{Da}$$

$$\sum Fx = 0$$

$$F_f - F = 0$$

$$F_f = F$$

$$F_r = F_{f1} + F_{f2}$$

$$F_r = \mu_{c1} \cdot N_b + \mu_{c2} \cdot N_{Da}$$

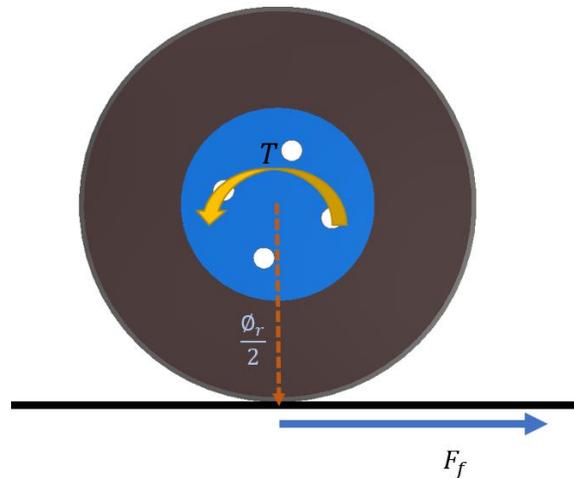
$$F_r = \mu_{c1} \cdot W_b + \mu_{c2} \cdot (F_{c1} + F_{c2} + F_{c3} + F_{c4} + W_{Da})$$

$$F_r = 0.3 \cdot 3.5kg \cdot 9.81m/s^2 + 0.15 \cdot (4 \cdot 142.06N + 77.97N)$$

$$F_r = 107.232 N$$

3. Diseño mecánico y electrónico

Cálculo del motor



$$T = F_f \cdot \frac{\phi_r}{2}$$

$$T = 107.232N \cdot \frac{0.082m}{2}$$

$$T = 4.4Nm$$

$$T_{rueda} = \frac{T}{2}$$

$$T_{rueda} = \frac{4.40 Nm}{2}$$

$$T_{rueda} = 2.2 Nm$$

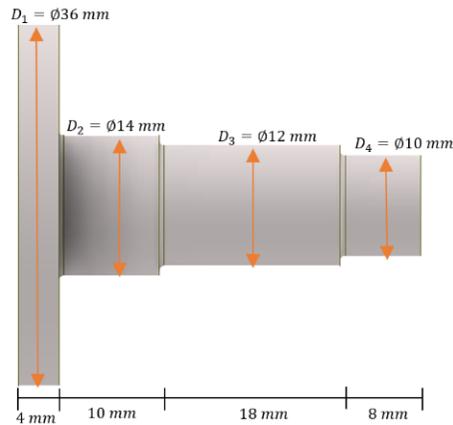
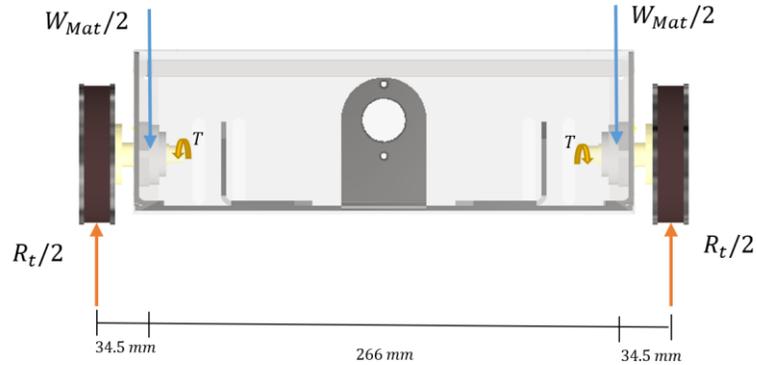
Motor a pasos – Engranaje planetario



Característica	Valor
Motor a pasos Nema 17	
Tipo de motor	Bipolar Stepper
Ángulo de paso	0.067 grados
Torque	3 Nm
Corriente Nominal/fase	1.68 A
Resistencia de fase	1.65 Ohms
Inductancia	2.8mH
Caja - Engranaje planetario	
Relación de engranajes	26.84:1
Eficiencia	81%
Momento Permisible	5 Nm
Carga máxima eje Axial	50 N
Carga máxima eje Radial	100 N

3. Diseño mecánico y electrónico

Módulo de avance



$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sqrt{(k_{tB} \cdot M)^2 + (k_{tT} \cdot T)^2}}{Z_p}$$

$$k_{tB} = 1.5$$

$$k_{tT} = 1.22$$

$$Z_p = \frac{\pi \cdot D^3}{16} = 3.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\tau_{\text{máx}} = 11.23 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_{ys}}{N}$$

$$N = \frac{0.5 S_y}{\tau_{\text{máx}}}$$

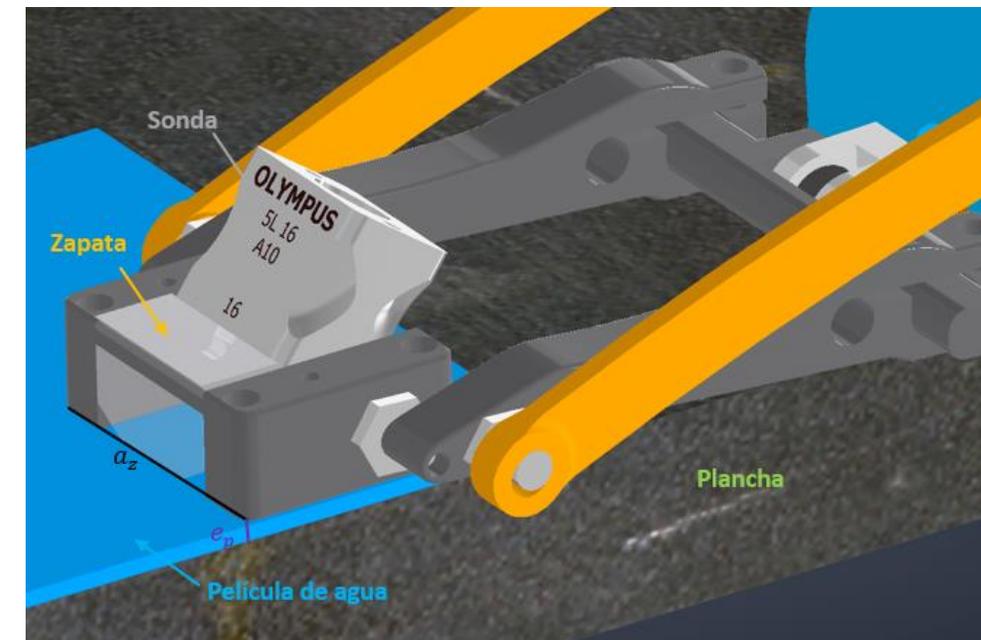
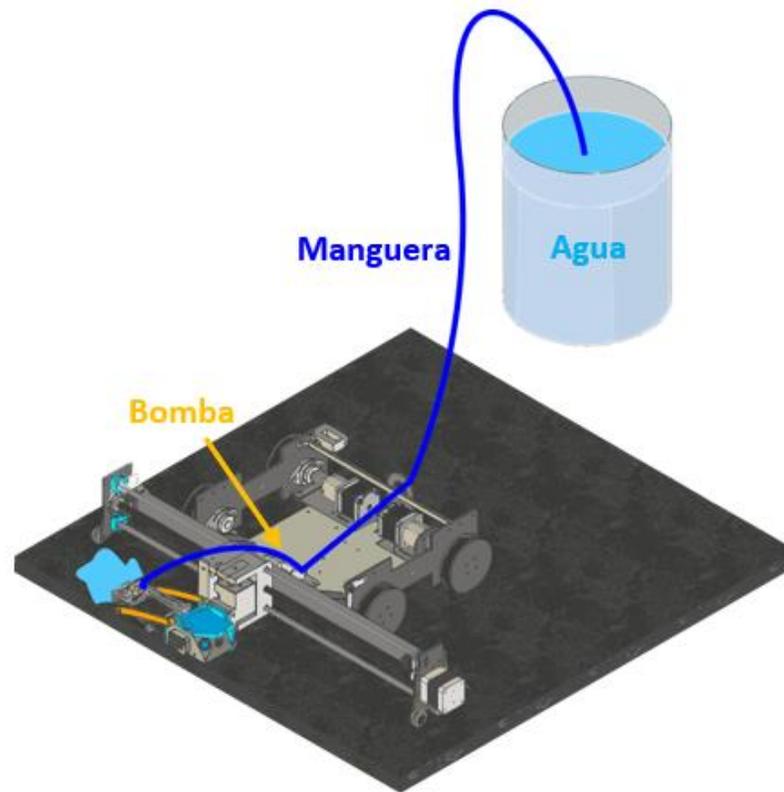
$$N = 4,01$$

Material Nylon 66

3. Diseño mecánico y electrónico

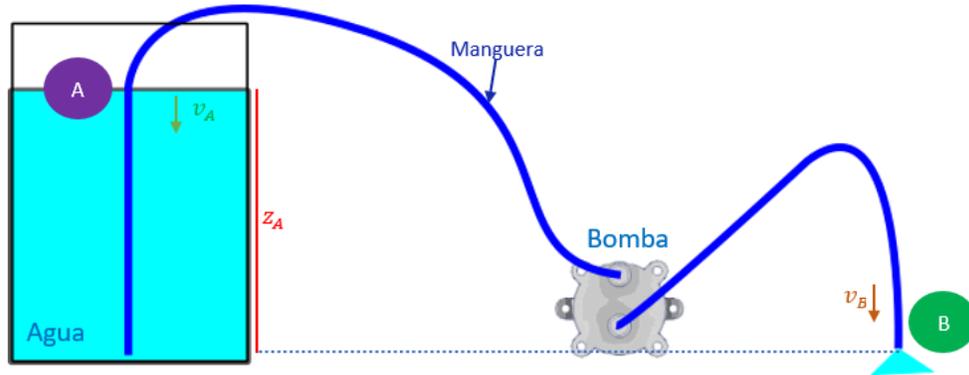


Suministro de acoplante



3. Diseño mecánico y electrónico

Suministro de acoplante



$$\frac{P_A}{\gamma} + z_A + \frac{v_A^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_B}{\gamma} + z_B + \frac{v_B^2}{2g}$$

$$h_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + h_L - 1m \quad h_L = 0.133 m$$

$$h_A = 94.236 \frac{Nm}{N}$$

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q$$

$$P_A = 1.48 W$$

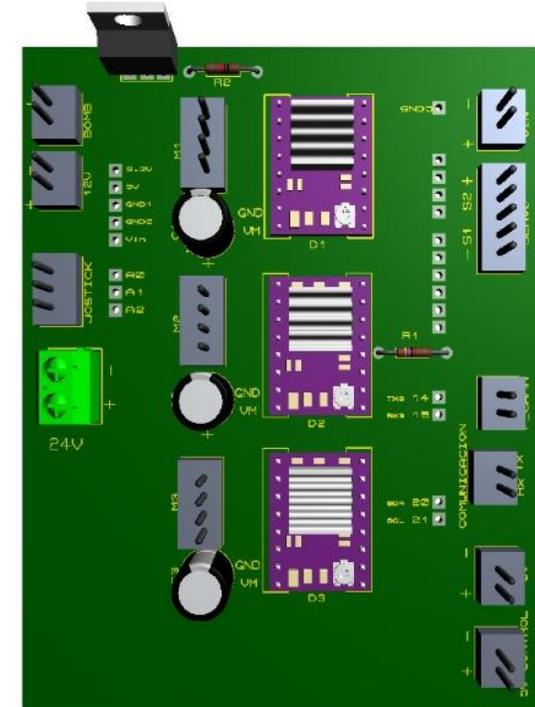
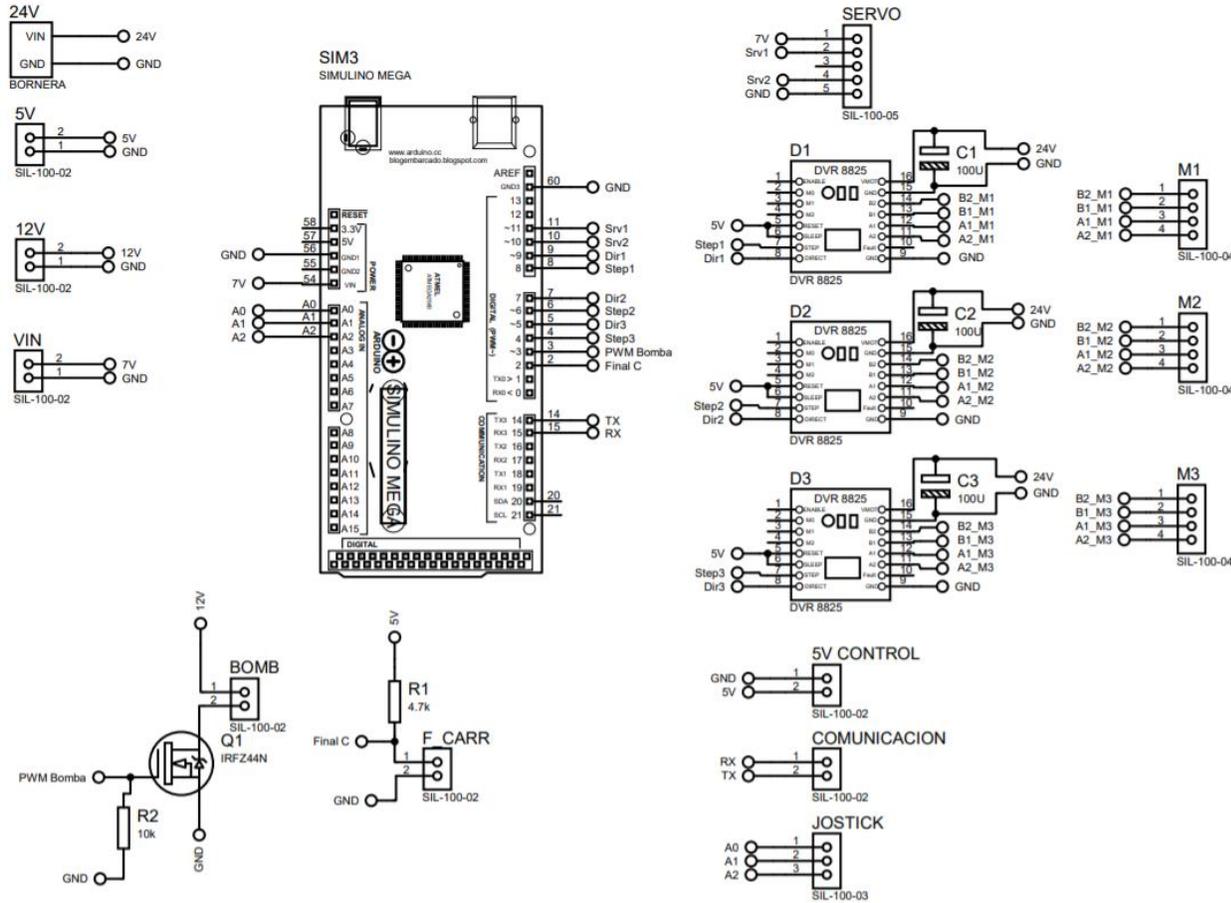
Mini Bomba R385



Característica	Valor
Tipo de motor	Motor DC
Voltaje nominal	12 V
Potencia	6 W
Corriente	0.5 – 0.7 A
Vida útil	2500 H

3. Diseño mecánico y electrónico

Circuito de control



3. Diseño mecánico y electrónico

Interacción con el usuario

Control remoto



Modo manual

Modo Manual

Crawler Raster

0.0	mm	0	mm
20	mm/s	20	mm/s

Modo Manual

Crawler Raster

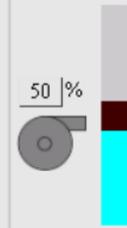
0.0	mm	0	mm
20	mm/s	20	mm/s

Modo libre

Modo Libre

Flujo de agua

50 %



Velocidades

Crawler mm/s

Raster mm/s

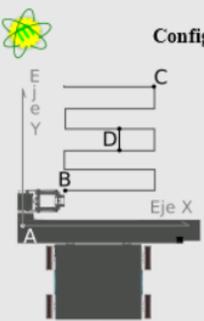
VersaMOUSE

Subir / Bajar



Modo automático

Configuración



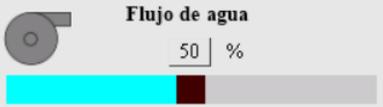
	Eje X	Eje Y
A	0	0
B	0	0
C	580	2000
D	18.5	

Velocidades de Escaneo

Crawler mm/s Raster mm/s

Flujo de agua

%

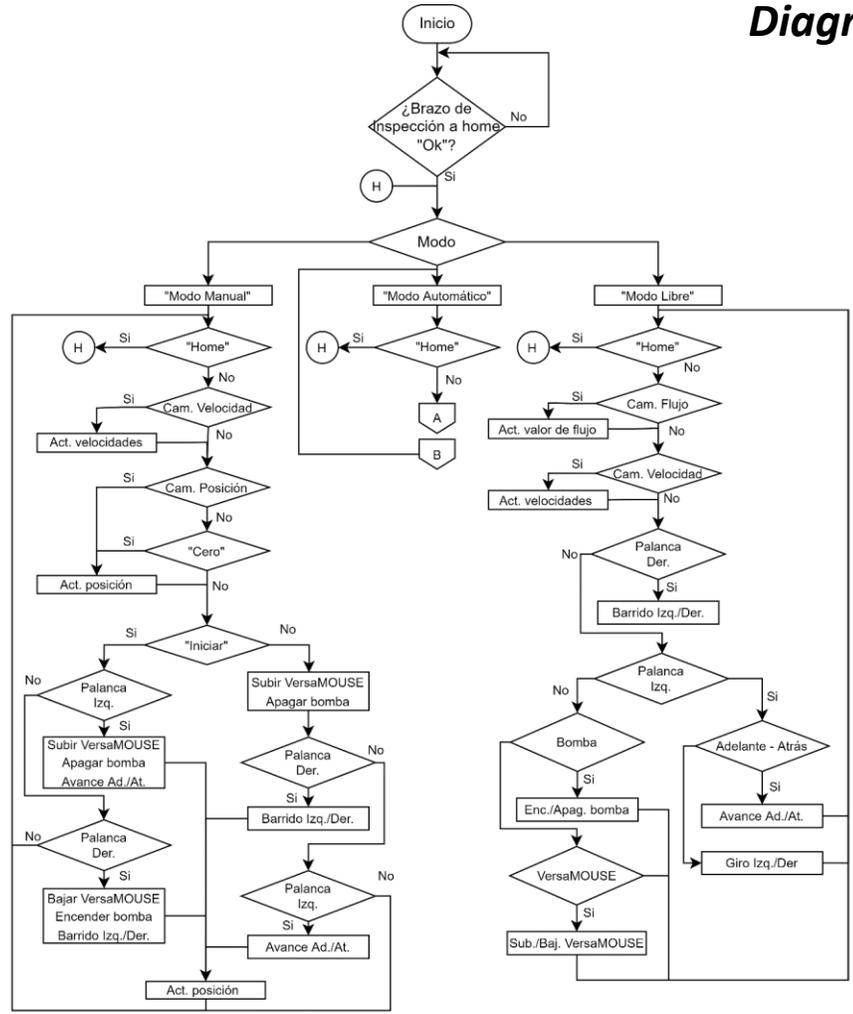


Modo Automático

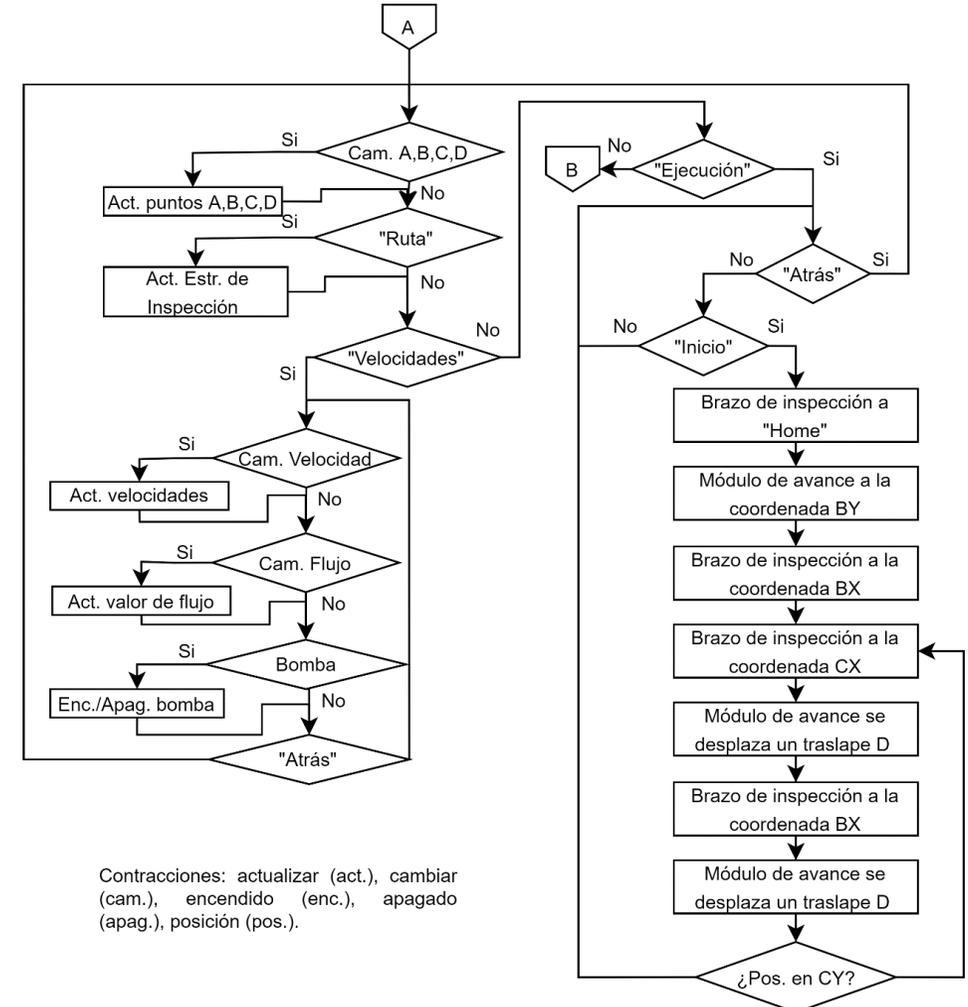
P. Actual:

3. Diseño mecánico y electrónico

Diagrama de flujo del funcionamiento



Contracciones: actualizar (act.), cambiar (cam.), izquierda/o (izq.), derecha/o (der), adelante (ad.), atrás (at.), encendido (enc.), apagado (apag.), posición (pos.) y estrategia (estr.).

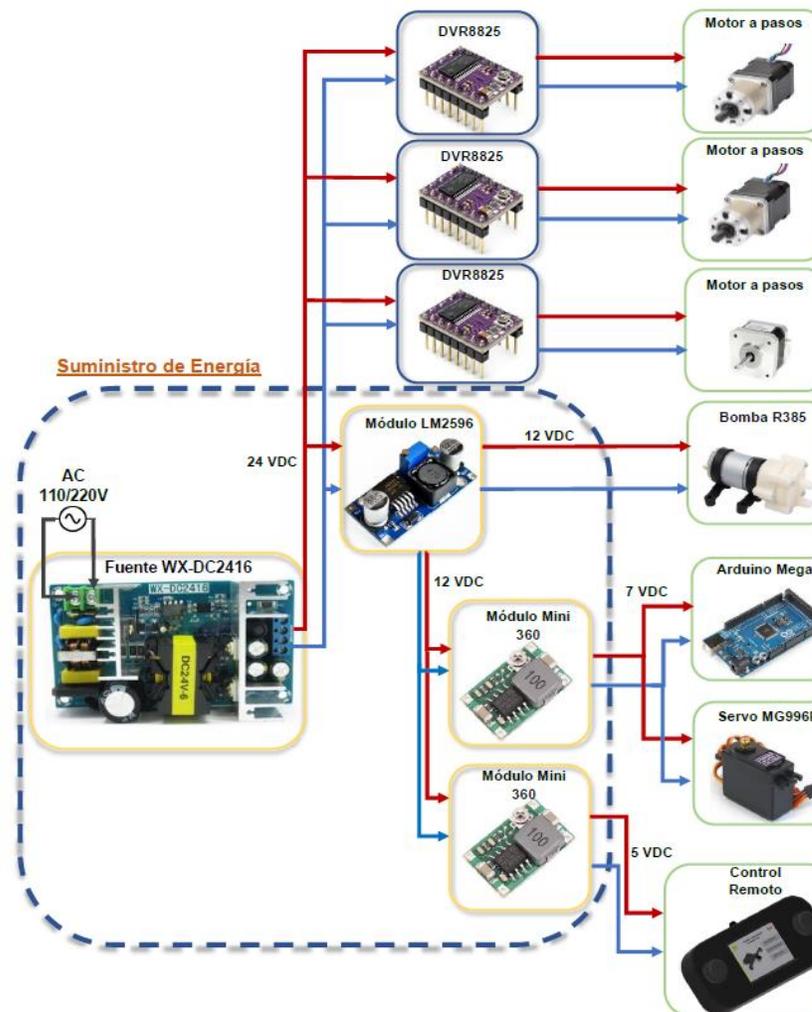


Contracciones: actualizar (act.), cambiar (cam.), encendido (enc.), apagado (apag.), posición (pos.).

4. Construcción, pruebas y resultados

Construcción

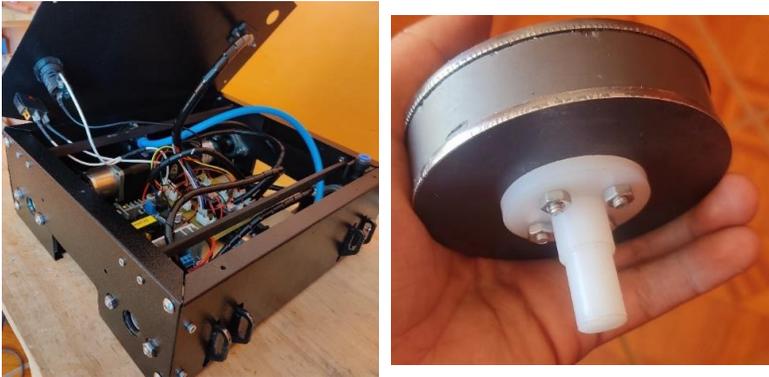
Sistema eléctrico y electrónico



4. Construcción, pruebas y resultados

Construcción

Módulo de avance



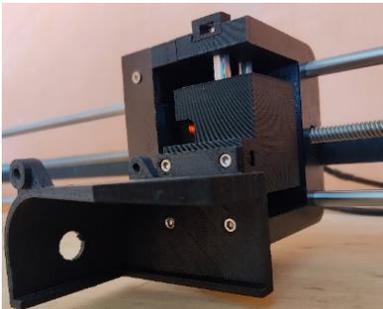
Brazo de inspección



Sistema automatizado de inspección



Acople VersaMOUSE



Interacción con el usuario



4. Construcción, pruebas y resultados

Configuración y calibración para la inspección con ultrasonido Arreglo de Fases

Configuración

Select your probe and your wedge

- Under **Select/Edit = Select**, select **Probe** to choose your probe from the list of known probes.
- Select **Wedge** to choose your wedge from the list of known wedges.
- Under **Select/Edit = Edit**, select **Edit Probe** to create a new probe definition in the list of probes.
- Select **Edit Wedge** to create a new wedge definition in the list of wedges.
- In UT mode, select **Select/Edit = Parameters** to set the **Freq.**, **Refracted Angle**, or **Wedge Delay** parameters.

Note: In **Tube > OD > Axial** mode, the **Wedge Length** value is automatically filled for generic wedges. However, it must manually be entered for custom wedges. This value is used to generate accurate focal laws according to this specific part geometry.

Select Probe and Wedge	Select	SL16-A10	A10-N55S SL16
Back	Next	Select/Edit	Probe ... Wedge ...

Select the law configuration

- Select **Law Config.** - Sectorial, Linear, Linear at 0°, or **Compound** to specify the scan type.
 - Sectorial: Provides a multiple-angle scan.
 - Linear: Provides a linear scan at a configurable angle.
 - Linear at 0°: Provides a volume-corrected linear sweep at zero degrees.
 - Compound: Provides a multiple-angle scan, with the benefit of using the complete probe aperture.

Select the wave type

Select Law Configuration	Sectorial	SW	16	1
Back	Next	Law Config.	Wave Type	Element Qty. Pulser (1 to 113)

Specify the probe elements

- Select **First Element** to set the number for the first element of the first aperture.

Specify the beam angles

- Select **Min. Angle**, and then enter the minimum angle for the ultrasonic beams.
- For sectorial scans

Set Beam Angle	1	40.00	70.00	1.00
Back	Next	First Element	Min. Angle (deg)	Max. Angle (deg) Angle Step (deg)

4. Construcción, pruebas y resultados



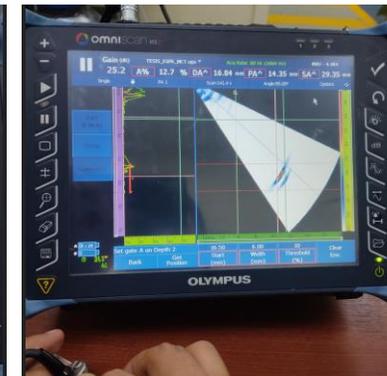
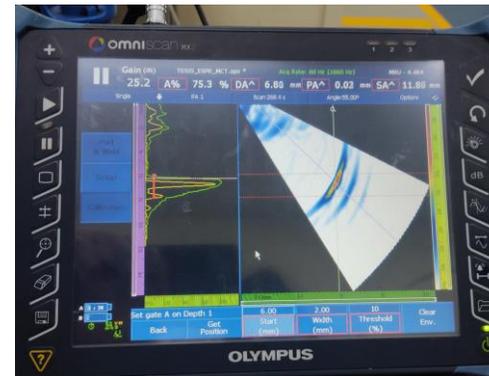
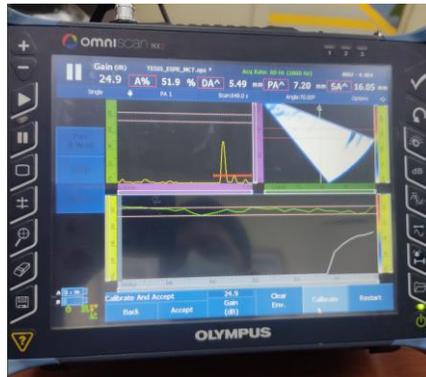
Configuración y calibración para la inspección con ultrasonido Arreglo de Fases

Calibración

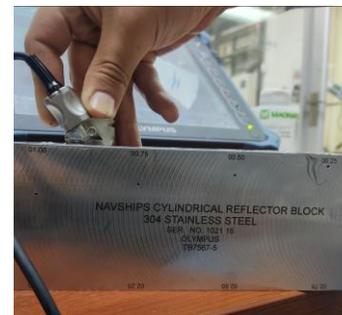
Sensibilidad

Velocidad

Retardo de zapata



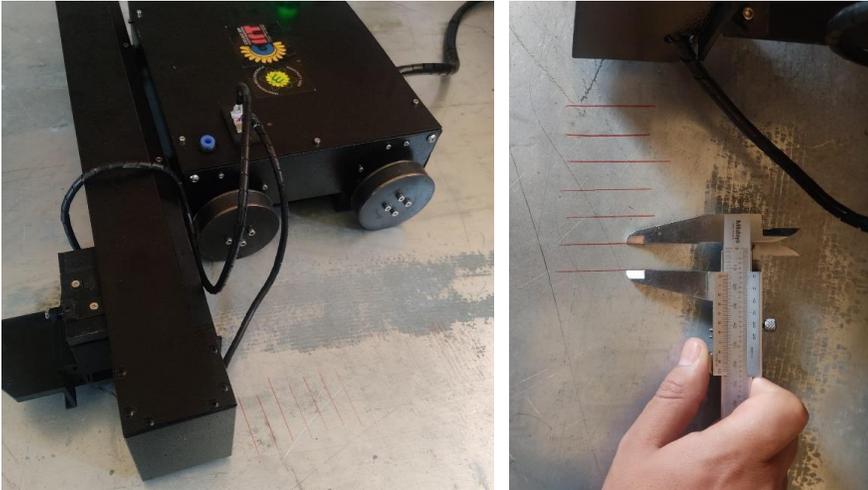
Bloque de calibración



4. Construcción, pruebas y resultados

Construcción

Pruebas de precisión y exactitud del módulo de avance



Pruebas de precisión y exactitud del brazo de inspección



Pruebas de orientación del módulo de avance



4. Construcción, pruebas y resultados



Validación de hipótesis

Debido a la naturaleza del proceso se ha determinado que una opción viable de validación de la hipótesis es mediante la validación del sistema a partir de pruebas que impacten directamente a la toma de datos en el proceso de inspección, y en este caso se trata de la exactitud y precisión del desplazamiento del sistema sobre la plancha.

Exactitud. La exactitud e no es más que el desfase que tienen los datos con respecto al valor aceptado.

$$e = \bar{x} - \mu$$

Precisión. Que tan dispersos se encuentran los valores respecto al valor de referencia.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

4. Construcción, pruebas y resultados



Validación de hipótesis

Precisión y exactitud del módulo de avance

$$e = -0.03 \text{ mm}$$

$$S = 0.31 \text{ mm}$$

H_0 los valores obtenidos en las pruebas son iguales al valor de referencia.

$$H_0 \rightarrow \mu = 15 \text{ mm}$$

H_1 los valores obtenidos en las pruebas no son iguales al valor de referencia.

$$H_1 \rightarrow \mu \neq 15 \text{ mm}$$

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$T = -0.306$$

4. Construcción, pruebas y resultados



Validación de hipótesis

Precisión y exactitud del módulo de avance

Con un nivel de confianza del 90% y 9 grados de libertad se obtiene t_α

Grados de libertad	0.25	0.1
1	1.0000	3.0777
2	0.8165	1.8856
3	0.7649	1.6377
4	0.7407	1.5332
5	0.7267	1.4759
6	0.7176	1.4398
7	0.7111	1.4149
8	0.7064	1.3968
9	0.7027	1.3830
10	0.6998	1.3722

$$-t_\alpha < T < t_\alpha$$

$$-1.3830 < -0.306 < 1.3830$$

Con un nivel de confianza del 90% se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa permitiendo asegurar que el módulo de avance tiene un error de desplazamiento aceptable.

4. Construcción, pruebas y resultados



Validación de hipótesis

Precisión y exactitud del brazo de inspección

$$e = 0.428 \text{ mm}$$

$$S = 3.292 \text{ mm}$$

H_0 los valores obtenidos en las pruebas son iguales al valor de referencia.

$$H_0 \rightarrow \mu = 500 \text{ mm}$$

H_1 los valores obtenidos en las pruebas no son iguales al valor de referencia.

$$H_1 \rightarrow \mu \neq 500 \text{ mm}$$

$$T = 0.463$$

$$-1.3830 < 0.4630 < 1.3830$$

Con un nivel de confianza del 90% se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa permitiendo asegurar que el brazo de inspección tiene un error de desplazamiento aceptable.

4. Construcción, pruebas y resultados



Validación de hipótesis

Orientación del módulo de avance

H_0 los valores obtenidos en las pruebas son iguales al valor de referencia.

$$H_0 \rightarrow \mu = 0^\circ$$

H_1 los valores obtenidos en las pruebas no son iguales al valor de referencia.

$$H_1 \rightarrow \mu \neq 0^\circ$$

$$T = 1.301$$

$$-t_\alpha < T < t_\alpha$$

$$-1.3277 < 1.301 < 1.3277$$

Grados de libertad	0.25	0.1
1	1.0000	3.0777
2	0.8165	1.8856
3	0.7649	1.6377
4	0.7407	1.5332
5	0.7267	1.4759
6	0.7176	1.4398
7	0.7111	1.4149
8	0.7064	1.3968
9	0.7027	1.3830
10	0.6998	1.3722
11	0.6974	1.3634
12	0.6955	1.3562
13	0.6938	1.3502
14	0.6924	1.3450
15	0.6912	1.3406
16	0.6901	1.3368
17	0.6892	1.3334
18	0.6884	1.3301
19	0.6876	1.3277
...

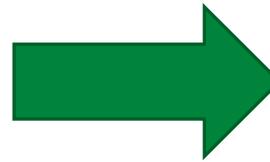
Con un nivel de confianza del 90% se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa permitiendo asegurar que el sistema tiene una desviación en su ángulo de orientación aceptable.

4. Construcción, Pruebas y Resultados

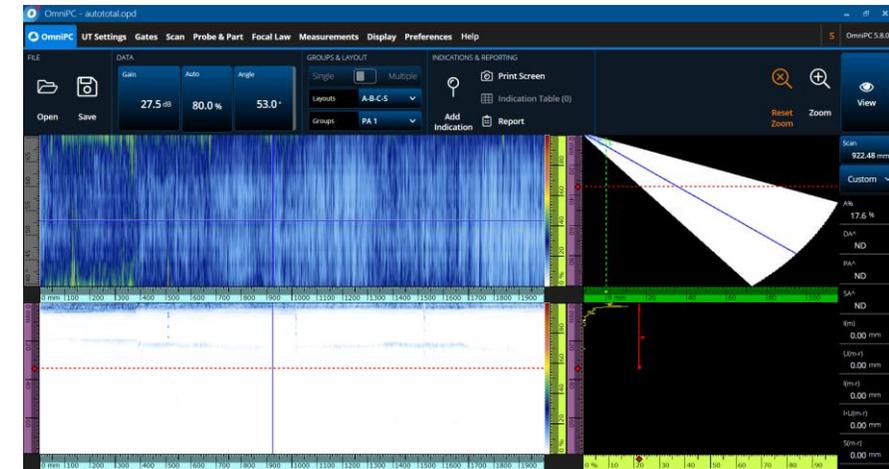


Validación de hipótesis

Adquisición de datos



Datos generados durante la inspección



4. Construcción, pruebas y resultados



Validación de hipótesis

Después de verificar mediante el método estadístico T-Student bilateral que los datos obtenidos en las pruebas se consideran aceptables con relación al valor de referencia respecto al desplazamiento del brazo de inspección y del módulo de avance, y de la misma manera haber comprobado que el ángulo de orientación del sistema no varía considerablemente, se puede asegurar que el sistema se desplaza de manera correcta sobre la plancha; además con el sistema en funcionamiento se obtiene una correcta adquisición de datos de inspección por parte del equipo, es posible afirmar que: El diseño y construcción de un sistema automatizado de inspección con ultrasonido - arreglo de fases permite automatizar el control de calidad en planchas de acero.

5. Conclusiones y recomendaciones



Conclusiones

- Se diseñó y construyó un sistema automatizado de inspección con ultrasonido - arreglo de fases para el control de calidad de planchas de acero en el Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas "CIRT.
- Se realizaron pruebas tomando datos de desplazamiento tanto del módulo de avance como del brazo de inspección, con la intención de calcular la precisión y exactitud respecto a estos datos, obteniendo para el módulo de avance una precisión de 0.31 mm y una exactitud de -0.3 mm, mientras que para el brazo de inspección se obtuvo una precisión de 3.29 mm y una exactitud de 0.43 mm. Se realizó una tercera prueba tomando datos para el cálculo del ángulo de desviación del sistema en trayectorias rectas obteniendo una tendencia a desviación 0.

5. Conclusiones y recomendaciones



Conclusiones

- El sistema de automatización fue diseñado específicamente para trayectorias rectas, con la finalidad de que el inspector luego de un análisis e interpretación de los datos obtenidos pueda localizar la falla o discontinuidad, considerando la plancha como un plano cartesiano cuyo origen es el punto inicial de la inspección.
- Se diseñó un mecanismo conformado por un tornillo sin fin y una tuerca encargado de trasladar el VersaMOUSE junto con la sonda a través de la plancha (eje x), para que la sonda tome los datos de inspección mientras que el encoder del VersaMOUSE tome datos de desplazamiento, y debido a que las ruedas del encoder solo pueden moverse en un eje fue necesario implementar otro mecanismo, esta vez tipo leva para poder levantar el VersaMOUSE y permitir el desplazamiento del sistema en el eje y, a todo este módulo se lo llamó Brazo de Inspección.

5. Conclusiones y recomendaciones



Conclusiones

- Se diseñó un módulo de avance (eje y) que desplaza todo el sistema automatizado de inspección y se encarga del traslape de al menos el 10% del ancho activo o dimensión transversal de la sonda de acuerdo con la norma CCH 70-4, como resultado se seleccionó un motor a pasos de alto torque para un control del traslape en milímetros de la sonda con la finalidad de abarcar toda el área a inspeccionar.
- Para el módulo de avance se seleccionó un sistema de movimiento conformado por cuatro ruedas magnéticas utilizando imanes de ferrita que poseen una excelente fuerza de adherencia en superficies ferromagnéticas, como resultado mejora la estabilidad y posicionamiento de la sonda durante la inspección.
- La baja velocidad y la adherencia de las ruedas magnéticas contribuyen a tener una alta precisión y exactitud.



Conclusiones

- Se analizó el diseño mecánico en las piezas más críticas, en elementos de forma simple como es el caso de los ejes guía y las bases del módulo de avance, se realizaron cálculos del factor de seguridad verificando que fue mayor a 2, al igual que se verificó que se encontrara dentro del rango de deflexión máxima, mientras que para los ejes de las ruedas se calculó un factor de seguridad mayor a 4 al tratarse de cargas repetidas. Además, para las piezas críticas y de forma compleja el análisis se realizó mediante CAE, comprobando que la carcasa de sujeción del VersaMOUSE y el soporte del mecanismo de la leva posean un factor de seguridad superior a 2.
- El control remoto diseñado permite al usuario interactuar con el sistema mediante una pantalla táctil de cuya interfaz gráfica facilita la configuración y visualización de los diferentes parámetros del proceso, y además a partir de la incorporación de palancas se pudo hacer que el desplazamiento del sistema sea más intuitivo.

5. Conclusiones y recomendaciones



Recomendaciones

- Se recomienda antes de iniciar cualquier modo de inspección, encender la bomba para que pueda fluir el acoplante en la tubería ya que, debido a la longitud de esta, tardaría en llegar a la zapata y se obtendría datos erróneos.
- Se sugiere realizar una limpieza previa del área a inspeccionar para que la toma de datos se realice de manera óptima y de igual manera un correcto desplazamiento del sistema.
- Es necesario mediante la bomba drenar los residuos de acoplante de la tubería y al mismo tiempo secar las ruedas para evitar su oxidación antes de almacenar el sistema automatizado de inspección.
- Es recomendable verificar que el cable de la sonda este lo suficientemente suelto para que el sistema se pueda desplazar libremente, al ser de tan solo 2.5 m, se limita al ser sujetado al sistema.

5. Conclusiones y recomendaciones



Recomendaciones

- Es posible mejorar el rendimiento del sistema incrementando la frecuencia de procesamiento.
- Verificar el correcto acople del VersaMOUSE con el sistema automatizado de inspección antes de realizar cualquier movimiento, ya que podría generar daños. Para lo cual se puede utilizar el modo libre que permite el control individual de todos los aspectos del sistema con la finalidad de comprobar su correcta funcionalidad.
- Para una inspección óptima se recomienda utilizar las configuraciones establecidas por defecto en la interfaz de usuario, resultado de una serie de pruebas del funcionamiento del sistema.

5. Conclusiones y recomendaciones



Trabajos futuros

- El diseño propuesto se puede escalar a un diseño más compacto para su desplazamiento en superficies circulares (tuberías) y superficies irregulares como turbinas hidráulicas con la finalidad de realizar inspecciones de manera autónoma y al mismo tiempo segura para el inspector.
- Para la construcción de las ruedas se puede utilizar imanes con mejores características magnéticas acompañadas de un sistema de transmisión de movimiento con la finalidad de escalar e inspeccionar en superficies que se encuentren a diferentes grados de inclinación inclusive en superficies.

VIDEO

GRACIAS