

**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**

**“SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON INTERFACE HMI,  
PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE BALANCEO DE MASAS  
RECIPROCANTES”**

**AUTOR: ACOSTA LÓPEZ, SEBASTIÁN ANDREÉ**

**DIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA YÁNEZ, LUIS MANUEL**

**2023**





# CONTENIDO

- Antecedentes y Justificación
- Investigación previa
- Metodología
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Antecedentes

- Estado del Equipo previo al proyecto
- Laboratorio de Mecanismos y Vibraciones, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sangolquí.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Antecedentes

- Balance of Reciprocating Masses Tecquipment



SCREENSHOT OF THE VDas® SOFTWARE

- TM180 Gunt Hamburg



- Proyecto de Tesis Motor Reciprocante de 4 Cilindros con Programación Electrónica

- Edibon



Sistema SCADA de EDIBON

- ② Caja-Interface de Control
- ③ Tarjeta de Adquisición de Datos
- ④ Software para:
  - Control
  - Adquisición de Datos
  - Manejo de Datos
- ⑤ Cables y Accesorios
- ⑥ Manuales

\* El suministro mínimo siempre incluye: 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 (Computador no incluido en el suministro)



ESPE

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

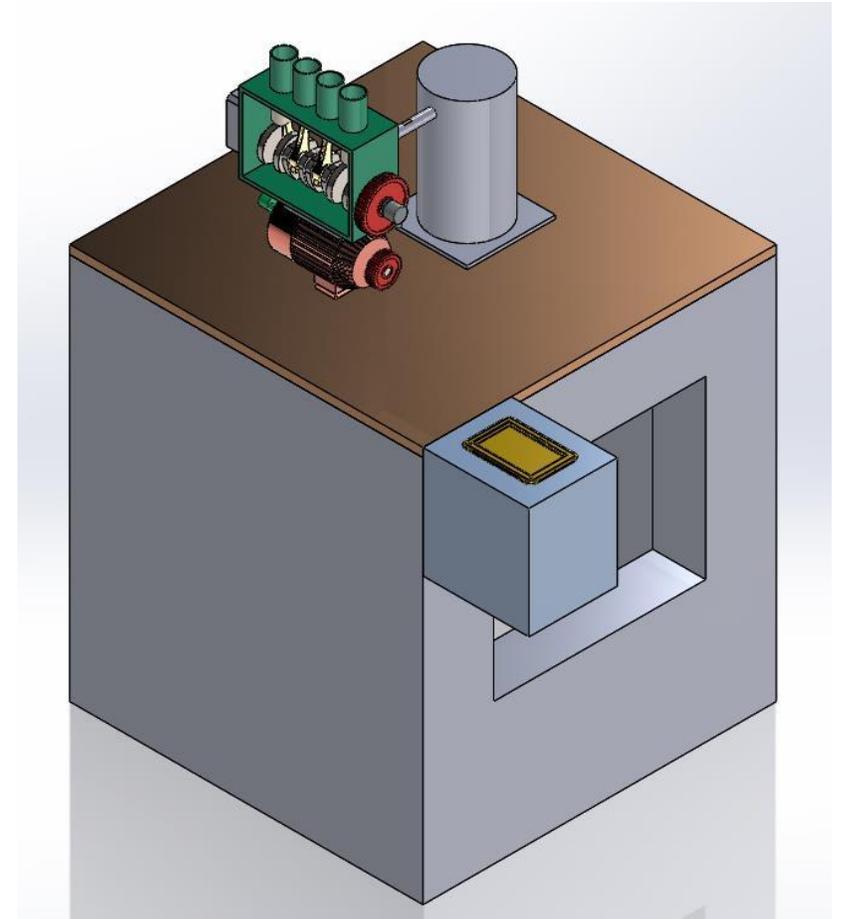
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Justificación e Importancia

- El laboratorio es usado por estudiantes de Ingeniería Mecánica y Mechatrónica
- El equipo no cuenta con visualización del estado de variables
- No se puede realizar prácticas de laboratorio
- Instrumentación del equipo en mal estado
- No se cuenta con una consola de control del equipo





# Objetivos

## GENERAL

- Diseñar, construir e implementar el sistema de adquisición de datos del equipo de balanceo de masas reciprocantes del laboratorio de mecanismos de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".

## ESPECÍFICOS

- Estudiar y modelar el sistema mecánico de balanceo de masas reciprocantes del laboratorio de mecanismos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
- Dimensionar y seleccionar los sensores y elementos electrónicos con base a los parámetros de funcionamiento del sistema de balanceo para su estudio en tiempo real.
- Diseñar un interfaz humano máquina que muestre las variables de funcionamiento del equipo de balanceo de masas reciprocantes en todas sus configuraciones.
- Realizar pruebas de funcionamiento que permitan evaluar el desempeño del equipo con el sistema de adquisición de datos.
- Realizar la documentación del equipo de balanceo mediante el desarrollo de planos, diagramas, esquemas y manual para proporcionar información sobre el uso y prácticas adecuadas de funcionamiento.

Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Fuerzas y Momentos de Sacudimiento

- Las fuerzas dinámicas tienen un efecto neto sobre cada uno de los eslabones y bastidor que conforman un mecanismo que está en movimiento. Estas fuerzas vectoriales se transmiten de eslabón a eslabón hasta el bastidor, la suma de estas fuerzas se conocen como fuerzas y momentos de sacudimiento. (Norton, 2020)

$$M_s = T_{21} + (R_1 \times F_{41})$$

Donde:

$M_s$ : Momento de Sacudimiento

$T_{21}$ : Torque de la fuente de movimiento

$R_1$ : Distancia entre el pasador del eslabón y el bastidor

$F_{41}$ : Fuerza del pasador de las articulaciones entre el bastidor y el eslabón

$$F_s = \sum_{i=2}^n F_{i1}$$

Donde:

$F_s$ : Fuerza de Sacudimiento

$n$ : Número de eslabones conectados al bastidor

$F_{i1}$ : Fuerzas que actúan sobre el bastidor



ECUADOR

Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Balanceo

- Un cuerpo sometido a rotación pura debe estar perfectamente balanceado para eliminar todas las fuerzas y momentos de sacudimiento.

## Balanceo Estático

- El balanceo estático busca que las fuerzas dinámicas de un elemento en movimiento sumen 0.
- El centro de masa debe coincidir con el centro de giro. Se añade una masa en un lugar específico del Sistema o element para que la fuerza resultante sea 0.

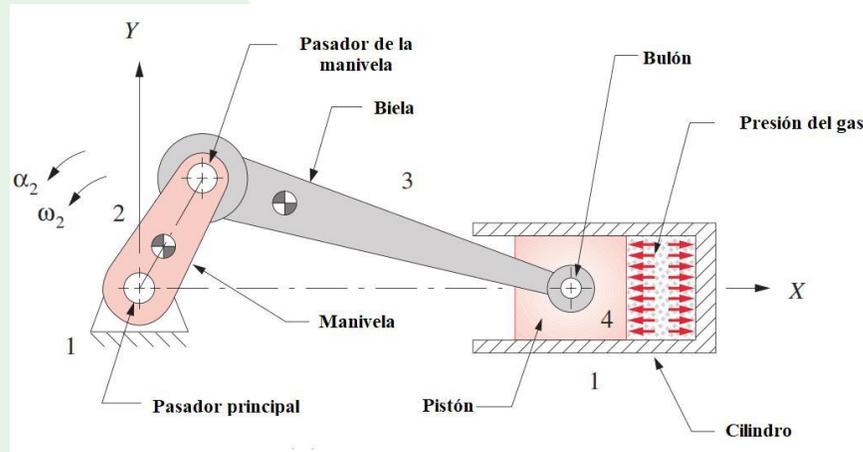
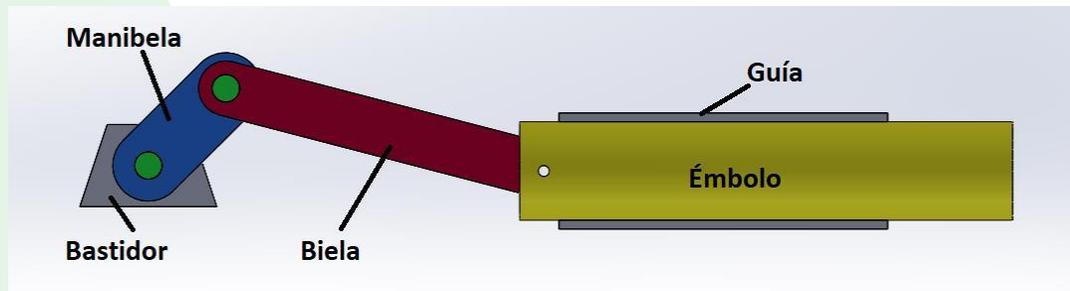
## Balanceo Dinámico

- La fuerza resultante y la suma de momentos debe ser 0.
- Se debe añadir o quitar masa en dos planos de corrección, en una ubicación específica.



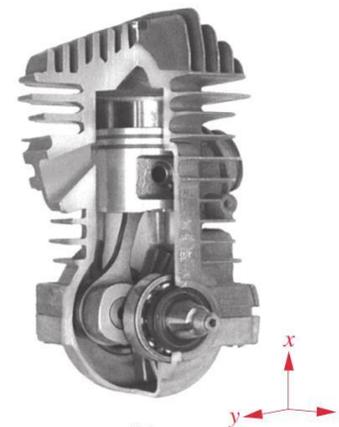
## Mecanismo Biela Manivela

- Permite transformar el movimiento circular en movimiento lineal o viceversa.



## Motor de Combustión Interna

- Transforma la energía química del combustible obtenida de la explosión dentro de la cámara de combustión, y obtiene energía mecánica como movimiento circular.



- *Nota. Tomado de Four bar slider-crank mechanism, 2020, por Norton, Design of Machinery.*

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Metodología

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

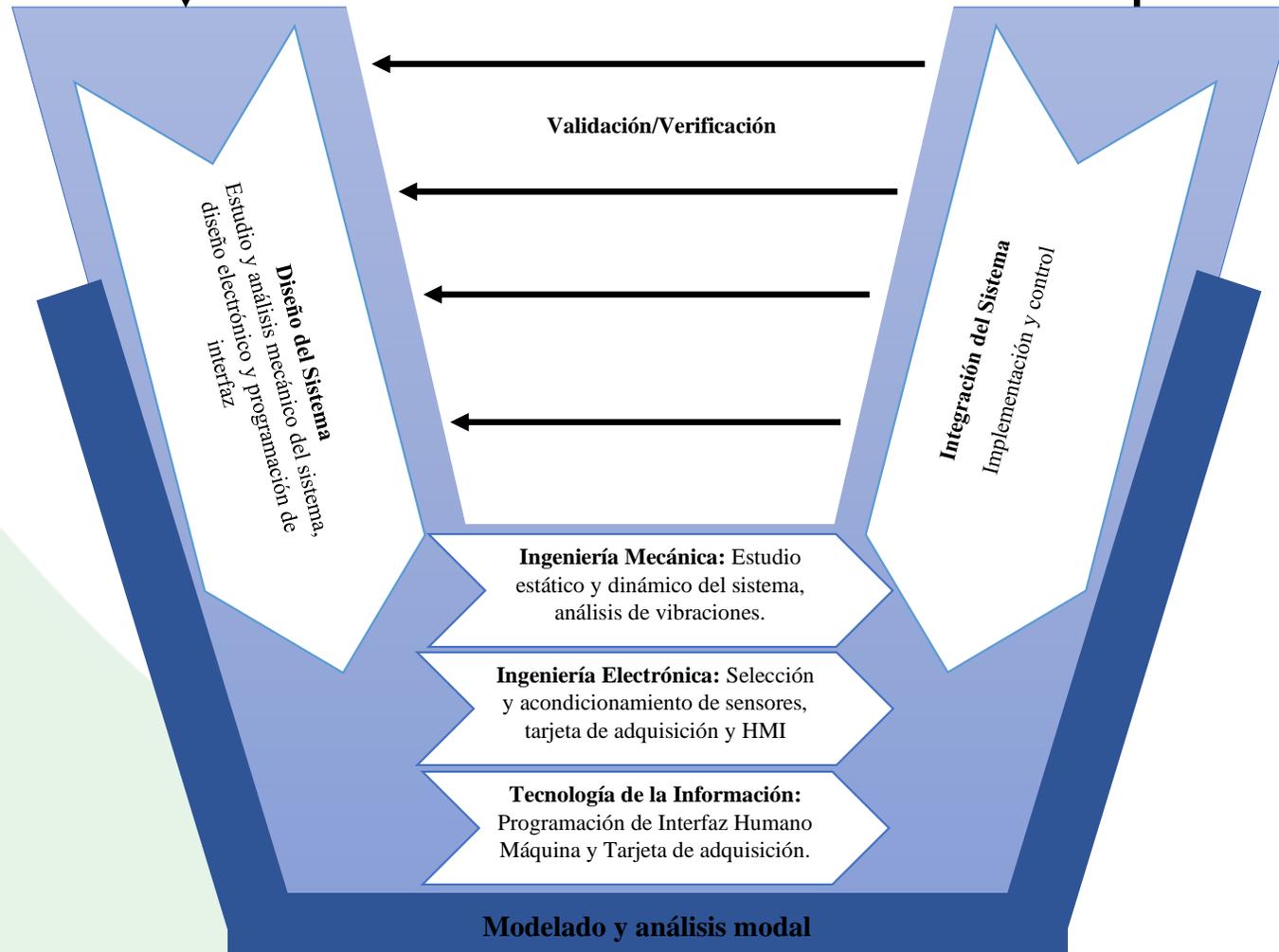
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

**Requerimientos:** Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos y HMI del banco de pruebas de balanceo de masas reciprocantes.

**Producto:** Banco de pruebas de masas reciprocantes instrumentado, con interfaz disponible en el Laboratorio de Mecanismos Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE





# Ingeniería de Requisitos

## Requerimientos y parámetros de diseño

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Nº	Requerimiento
1	Interfaz Industrial
2	Facilidad de uso
3	Sistema robusto
4	Seguridad
5	Facil mantenimiento, Durabilidad
6	Sistema de control versátil



Nº	Característica Técnica
1	Uso de PLC y HMI industrial para el control y adquisición de datos
2	Diseño de una interfaz de acuerdo a guías que permita al usuario navegar y controlar el equipo.
3	Uso de elementos de uso industrial, dimensionadas para las características del equipo.
4	Implementación de botoneras, e interface con paro de emergencia. Detección de frecuencias de resonancia.
5	Selección de elementos de control e instrumentación de buena calidad y libre de mantenimiento,
6	Sistema con entradas y salidas de control disponibles para futuros proyectos





# Modelado CAD

## Bastidor

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

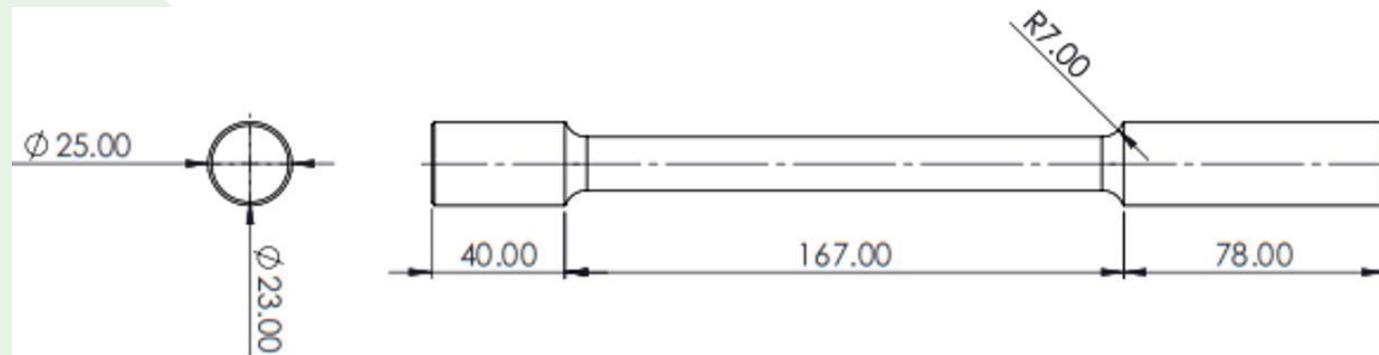
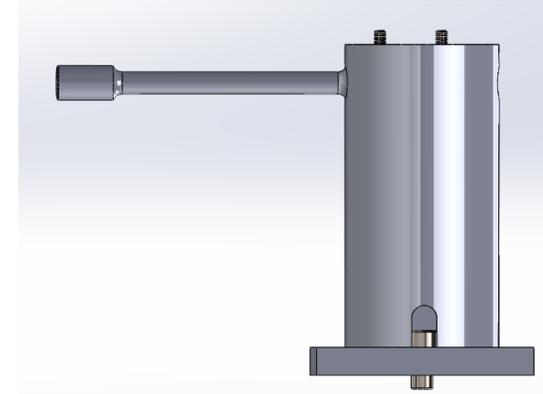
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Motor y Controlador Analógico

## Características

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

<b>Marca</b>	<b>Fracmo</b>
<b>Nro. De Serie</b>	K1715/1
<b>Voltaje</b>	110[V] DC
<b>Corriente</b>	3.0 [A]
<b>Potencia</b>	0.25 hp 187 W
<b>Clase de aislamiento</b>	E
<b>RPM</b>	6000
<b>Bobinado</b>	Continuo





# Modelado CAD

## Mono cilindro

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

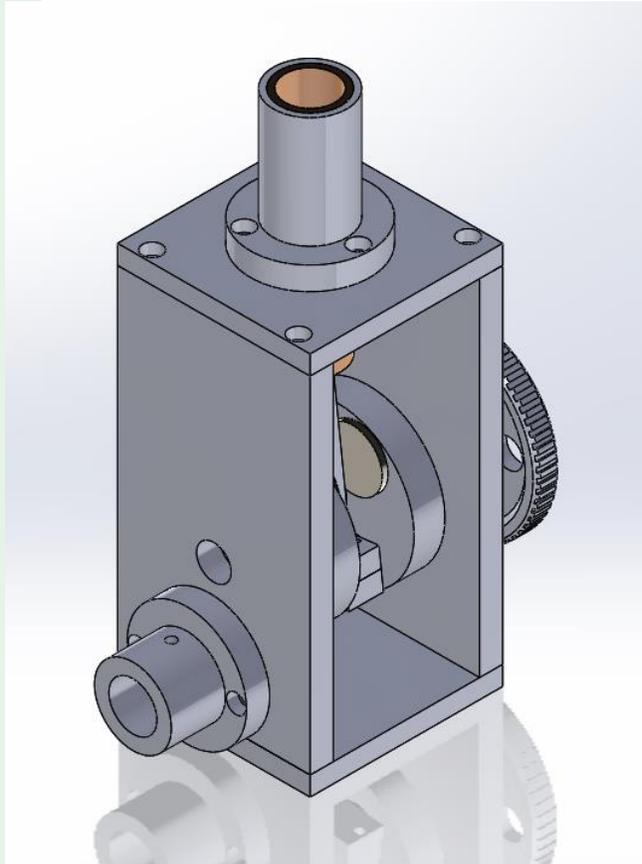
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Parte	Modelo 3D	Dimensiones
Bastidor		
Cilindro		



# Modelado CAD

## Mono cilindro

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

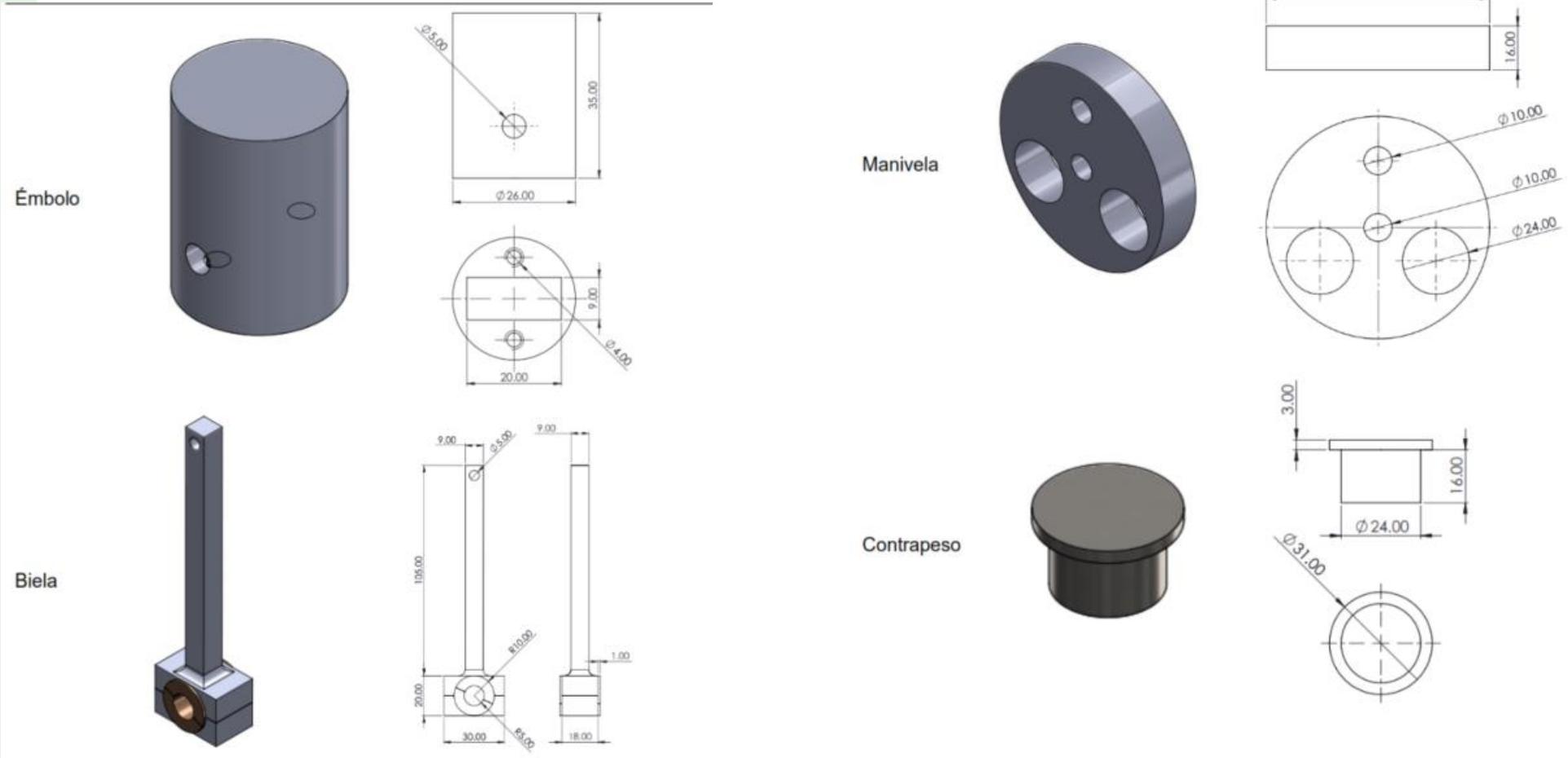
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Modelo Dinámicamente Equivalente del Mecanismo Biela-manivela

Mono cilindro

Introducción

Investigación previa

Metodología

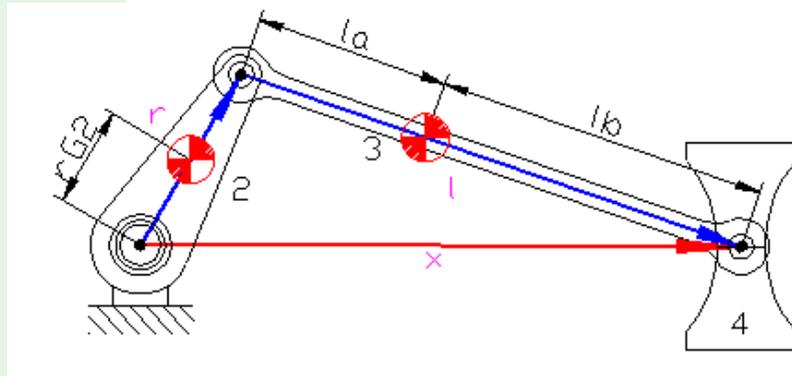
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

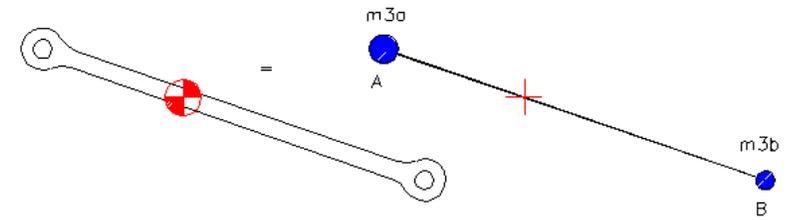
Recomendaciones

Trabajos futuros

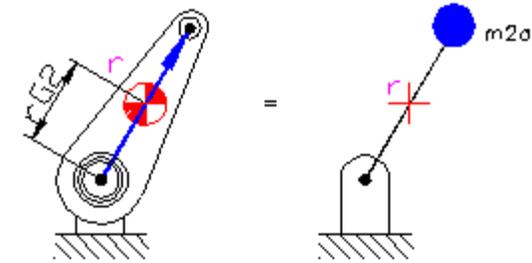


$$m_{3a} + m_{3b} = m_3$$

$$m_{3a}(l_a)^2 + m_{3b}(l_b)^2 = I_{G3}$$



$$m_{3b} = m_3 \frac{l_a}{l}$$



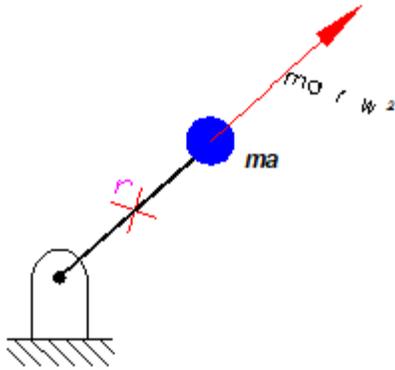
$$m_{2a} = m_2 \frac{r_{G2}}{r}$$



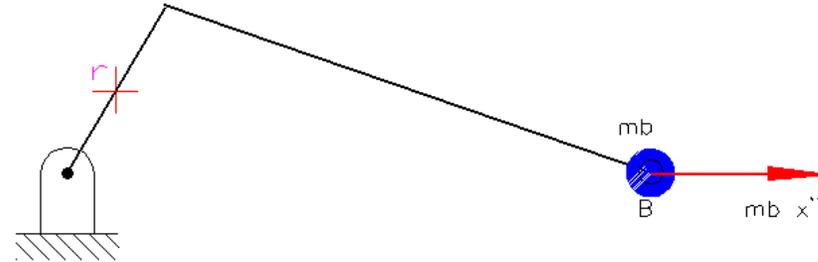
# Fuerzas Producidas

## Mono cilindro

Fuerza centrífuga producida  
por  $m_a$



Fuerza inercial producida por  
las masas reciprocantes  $m_b$



$$F_{i_b} = -m_b \ddot{x}$$

$$\ddot{x} = a(t) = -r \omega^2 \left[ \cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega t) \right]$$

La fuerza inercial total se expresa:

$$F_i = F_{i_a} + F_{i_b} = m_a r \omega^2 (e^{i\omega t}) + \left\{ -m_b \left[ -r \omega^2 \left[ \cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega t) \right] \right] \right\}$$

La fuerza de sacudimiento

$$F_s x(t) = -m_a r \omega^2 \cos(\omega t) + m_b \left[ -r \omega^2 \left[ \cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega t) \right] \right]$$

$$F_s y(t) = -m_a r \omega^2 \sin(\omega t)$$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

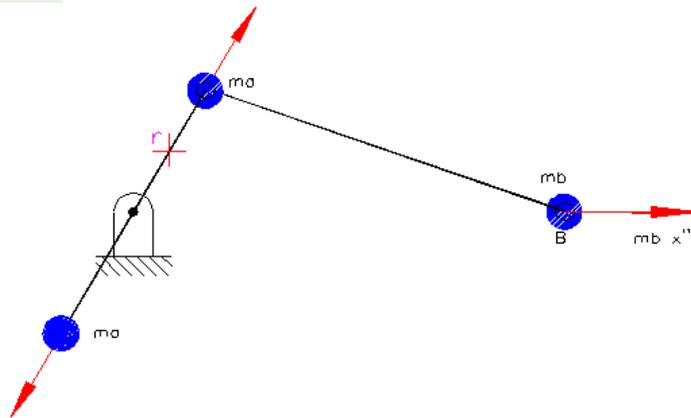
Trabajos futuros



# Balaceo de Motor Mono cilindro

## Suma de fuerzas resultantes de sacudimiento sean cero

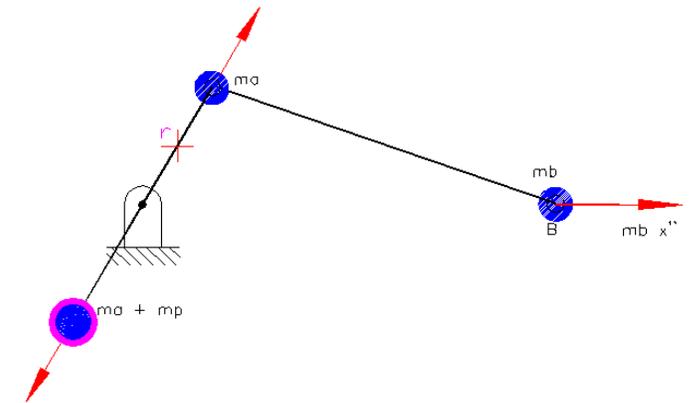
Añadiendo una masa  $m_a$  en dirección contraria a la ubicación de  $m_a$ ,



$$F_s x_s(t) = -m_a r \omega^2 \cos(\omega t) + m_b \left[ -r \omega^2 \left[ \cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega t) \right] \right] + m_a r \omega^2 \cos(\omega t) + m_b$$

$$F_s y_s(t) = -m_a r \omega^2 \sin(\omega t) + m_a r \omega^2 \sin(\omega t) = 0$$

Añadiendo una masa  $m_p$  en la misma ubicación de  $m_a$ ,



$$F_s x_s(t) = -0.6 m_b r \omega^2 \cos(\omega t) + m_b \left[ -r \omega^2 \left[ \cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega t) \right] \right]$$

$$F_s y_s(t) = -0.6 m_b r \omega^2 \sin(\omega t)$$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Configuración Cuatro cilindros en línea

Introducción

Investigación previa

Metodología

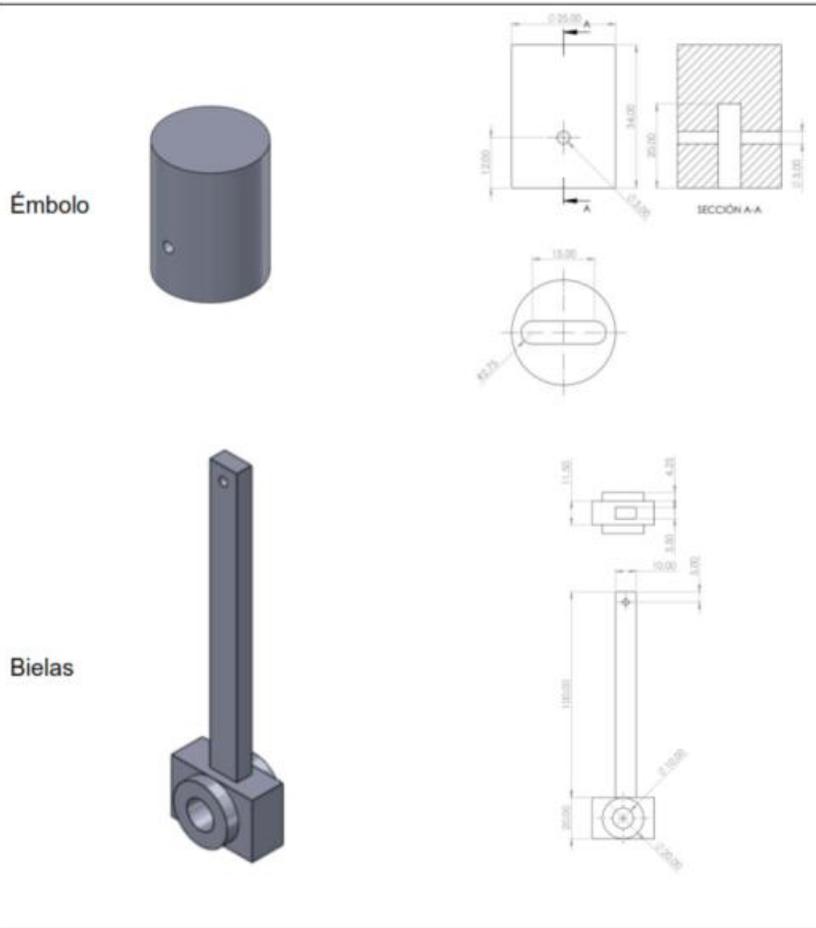
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

## Fuerzas Transmitidas Motor 4 cilindros en línea

$$F_t(t) = \sum_{i=1}^n m_b * r * \omega^2 \left[ \frac{\cos(\omega t - \phi_i)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{nv}}\right)^2} + \frac{r}{l} * \frac{\cos(2(\omega t - \phi_i))}{1 - \left(\frac{2\omega}{\omega_{nv}}\right)^2} \right]$$

La frecuencia natural vertical es  $\omega_{nv} = 980 \text{ rpm}$

## Momentos de sacudimiento transmitidos motor 4 cilindros en línea

$$M_t(t) = \sum_{i=1}^n z_i * m_b * r * \omega^2 \left[ \frac{\cos(\omega t - \phi_i)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{nM}}\right)^2} + \frac{r}{l} * \frac{\cos(2(\omega t - \phi_i))}{1 - \left(\frac{2\omega}{\omega_{nM}}\right)^2} \right]$$

La frecuencia natural correspondiente al momento rotatorio de sacudimiento es:

$$\omega_{nM} = 1490 \text{ rpm} .$$





# Configuración Cuatro cilindros en V

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

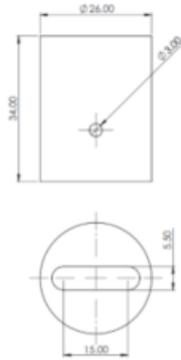
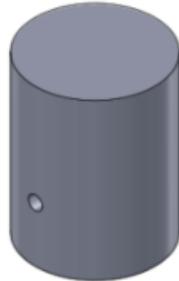
Pruebas y Resultados

Conclusiones

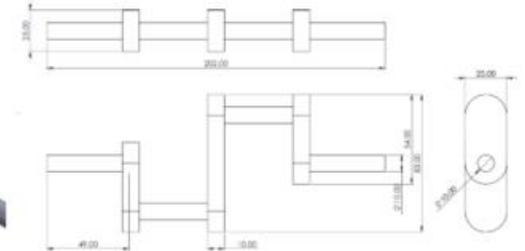
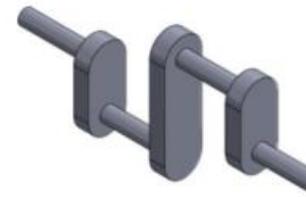
Recomendaciones

Trabajos futuros

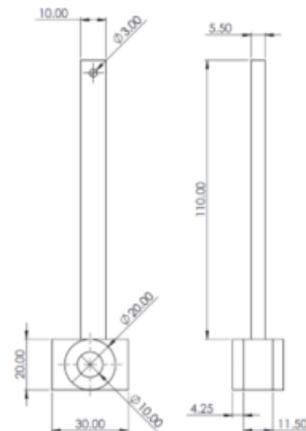
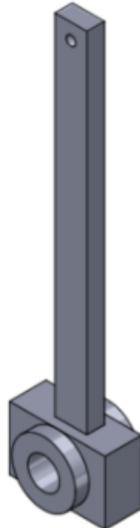
Émbolo



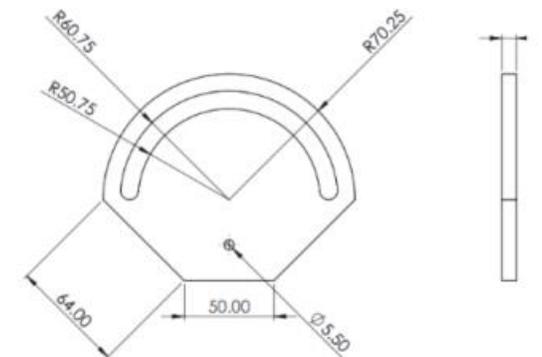
Cigüeñal



Bielas



Goniómetro





## Fuerzas Transmitidas Motor 4 cilindros en V

## Momentos de sacudimiento transmitidos motor 4 cilindros en V

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

$$Ft_R(t) = m_b \cdot r \cdot \omega^2 \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) - \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \cos(\theta_i) \\ + \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) + \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \text{sen}(\theta_i) \\ + \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) - \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \cos(2\theta_i) \\ + \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) + \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \text{sen}(2\theta_i) \end{array} \right] \hat{r}$$

$$Mt_R(t) = m_b \cdot r \cdot \omega^2 \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) - \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \cos(\theta_i) \\ + \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) + \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \text{sen}(\theta_i) \\ + \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) - \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \cos(2\theta_i) \\ + \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) + \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \text{sen}(2\theta_i) \end{array} \right] \hat{r}$$

$$Ft_L(t) = m_b \cdot r \cdot \omega^2 \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) + \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \cos(\theta_i) \\ - \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) - \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \text{sen}(\theta_i) \\ + \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) + \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \cos(2\theta_i) \\ - \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) - \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} \text{sen}(2\theta_i) \end{array} \right] \hat{r}$$

$$Mt_L(t) = m_b \cdot r \cdot \omega^2 \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) + \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \cos(\theta_i) \\ - \left( \frac{\cos(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(\gamma) - \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{\omega}{W_n}\right)^2} \cos(\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \text{sen}(\theta_i) \\ + \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) + \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \cos(2\theta_i) \\ - \frac{r}{l} \cdot \left( \frac{\cos(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \text{sen}(2\gamma) - \frac{\text{sen}(2\omega \cdot t)}{1 - \left(\frac{2\omega}{W_n}\right)^2} \cos(2\gamma) \right) \sum_{i=1}^{n/2} z_i \text{sen}(2\theta_i) \end{array} \right] \hat{r}$$



# Solución

## Sistema de adquisición de datos

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

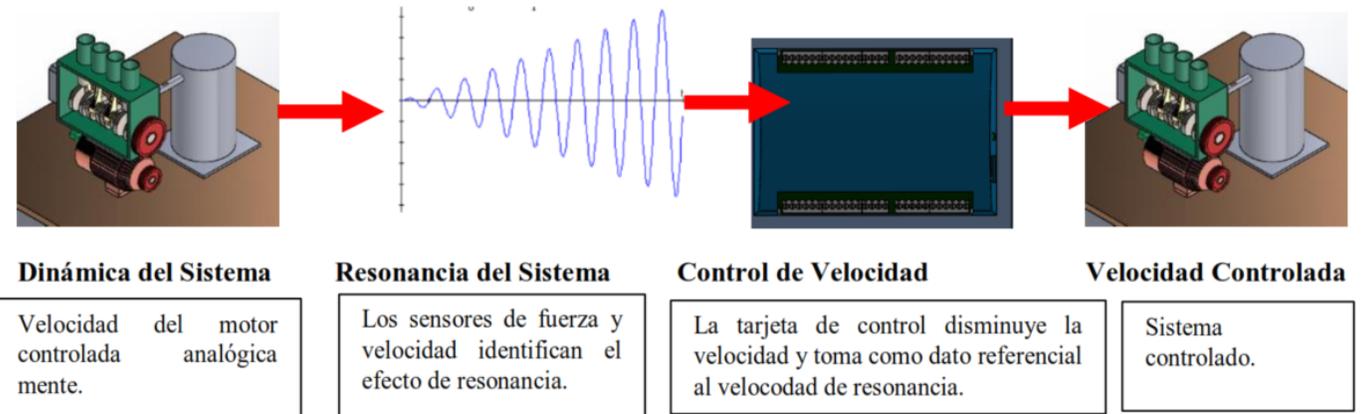
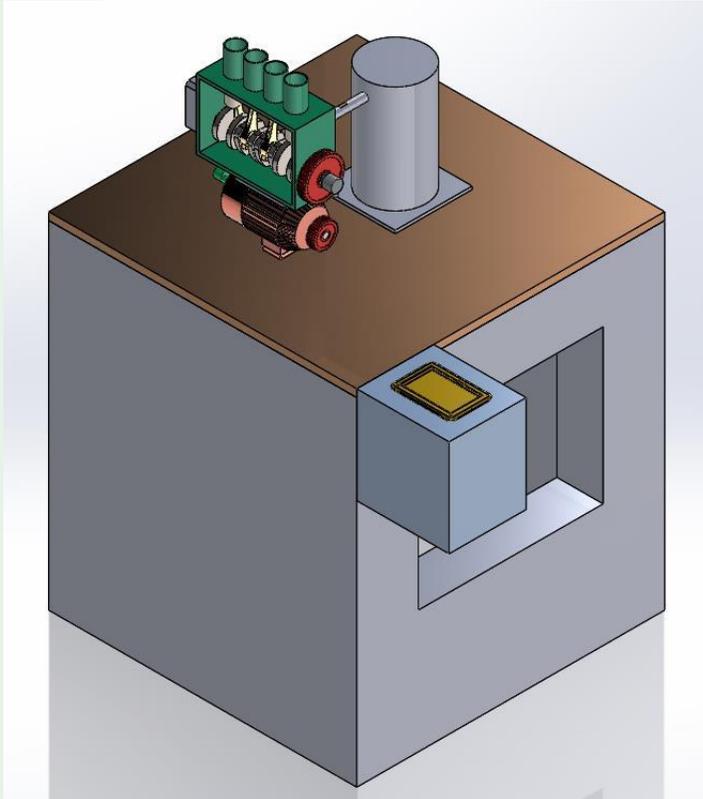
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Diseño del sistema

## Descripción de componentes previos

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

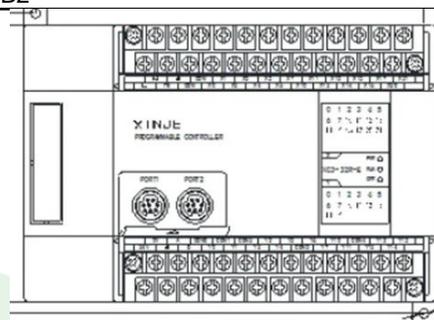
Trabajos futuros

### PLC Xinje XC3-32RT-E

<b>Capacidad de programa</b>	8000 pasos 128 K
<b>Número de entradas digitales</b>	18
<b>Tipo de entrada</b>	NPN o contacto libre de voltaje
<b>Voltaje de la señal de entrada</b>	24 VDC $\pm$ 10 %
<b>Número de salidas digitales</b>	14
<b>Tipo de salida</b>	Relé 3ª 250 VAC/ 30 VDC Carga resistiva/ 80 VA Carga inductiva
<b>Puntos máximos de expansión entradas y salidas</b>	228 (7 módulos de expansión)
<b>Marcas internas (M)</b>	8512
<b>Tiempo de scan</b>	0-99 ms
<b>Reloj en tiempo real</b>	Sí
<b>Puertos de comunicación</b>	COM1: RS232 / COM2: RS485
<b>Alimentación</b>	90-260 VAC
<b>Contadores de alta velocidad</b>	6 en modo incremental, 3 de pulso y dirección, 3 AB fase 80 kHz

### HMI Xinje Touch Win TG865

<b>Pantalla</b>	
Tamaño	8.0"
Tipo	16 millones de colores
Resolución	800*600
Brillo	Ajustable mediante potenciómetro
Panel Táctil	Modo de resistencia de 4 hilos
Vida útil	Mayor a 50 000 horas a 25C 24h
Memoria	128 MB
<b>Eléctricas</b>	
Voltaje de entrada	24 VDC
Consumo de corriente	190 mA
<b>Construcción</b>	
Método de enfriamiento	Ventilación natural
Dimensiones exteriores	224.4x170.8x45.5
Dimensiones de montaje	211.4x157.8
<b>Interface</b>	
COM1	RS232/RS485/RS422
COM2	RS232/RS485
Puerto ethernet	RJ45 Serie ET
USB1	USB-A 2.0
USB2	USB-B 2.0





# Diseño del sistema

## Selección de Sensores para Vibraciones

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

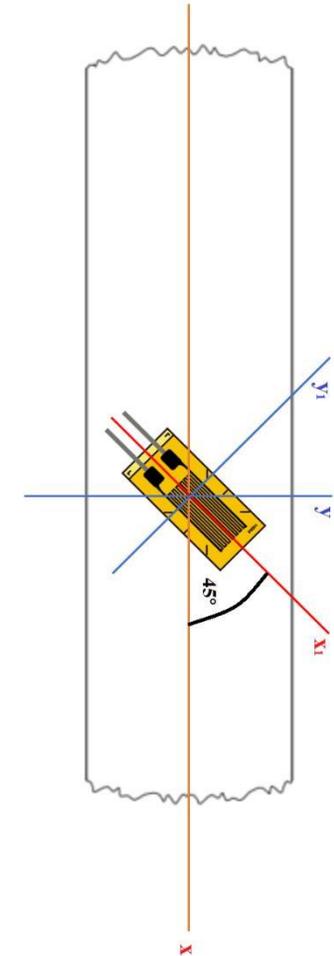
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Característica	P e s o n	Galgas extensiométricas		Acelerómetros		Giroscopios	
		Calificación	Característica	Calificación	Característica	Calificación	Característica
<b>Resolución</b>	<b>8</b>	8	Elevada	6	Media (depende de las características del sensor)	6	Media (depende de las características del sensor)
<b>Costo</b>	<b>10</b>	10	Bajo	6	Medio-alto	6	Medio-alto
<b>Disponibilidad</b>	<b>10</b>	10	Alto	5	Media	5	Media
<b>Montaje</b>	<b>7</b>	4	Requiere preparar la superficie y pegar la galga Lineal en puente completo	7	Montaje en sitio	7	Montaje en sitio
<b>Sensibilidad</b>	<b>7</b>	5	Circuito de acondicionamiento y amplificación	5	Depende del sensor	5	Depende del sensor
<b>Requerimiento de módulos externos</b>	<b>9</b>	7		6	Módulo digital con protocolo de comunicación	6	Módulo digital con protocolo de comunicación
<b>Precisión</b>	<b>8</b>	8	Alta	6	Media-alta	8	Alta
<b>Compatibilidad con el sistema</b>	<b>10</b>	8	Se puede usar un módulo de entradas analógico	6	Necesario un módulo de comunicación ex. Terno	6	Necesario un módulo de comunicación externo
<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>60</b>		<b>47</b>		<b>49</b>	
<b>Continuar</b>		<b>SI</b>		<b>NO</b>		<b>NO</b>	





# Diseño del sistema

## Selección del circuito de acondicionamiento

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

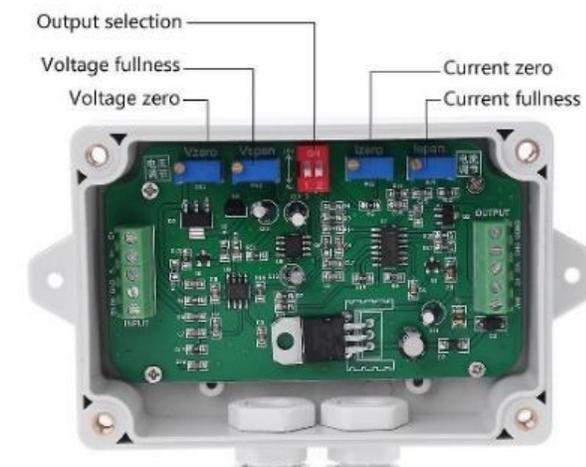
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Característica	Peso	JY-S60		TXDIN1600S		WT65	
		Calificación	Caracte rística	Calificación	Característica	Calificación	Característic a
<b>Voltaje de alimentación</b>	10	10	24 V DC	10	10-48 VDC	7	110/220 V AC
<b>Voltaje de excitación del puente</b>	10	10	5 V DC	10	5 V DC	10	5 V DC
<b>Señal de salida</b>	10	10	0-5 V 0-10 V 4-20mA	10	0-10 V 0-21.5 mA	5	0-5 V 4-20 mA
<b>Disponibilidad</b>	8	6	Media	2	Baja	2	Baja
<b>Montaje</b>	3	2	Sobre pared	3	Riel DIN	2	Sobre pared
<b>Precio</b>	7	6	\$25	1	\$300	5	\$50
<b>Linealidad</b>	7	5	0.002	7	0.0001	6	0.1%
<b>Calibración de Span</b>	7	6	Mediant e potenció metro	6	2 a 6 puntos de señal y potenciómetro	7	DIP switch y 5% mediante potenciómetro
<b>Sensibilidad</b>	7	6	1.5-2.1mV/V	5	-7.6 a 7.6 mV	6	0.4-3mV/V
<b>Total</b>	62	61		54		50	
<b>Continuar</b>		SI		NO		NO	

Regulator definition





# Diseño del sistema

## Selección del encoder de velocidad angular

Característica	Peso	E6B2-CWZ3E		E40S6-1000-3T-24		E40S6-1000-3T-24	
		Calificación	Característica	Calificación	Característica	Calificación	Característica
<b>Voltaje de alimentación</b>	8	5	5-12 V	8	12-24 V DC	8	11-30 V DC
<b>Diámetro Exterior</b>	7	6	40 mm	6	40 mm	7	24 mm
<b>Diámetro del eje</b>	9	9	6 mm	9	6 mm	9	6 mm
<b>Resolución</b>	8	8	1000 P/R	8	1000 P/R	8	4096 P/R
<b>Velocidad máx.permisible</b>	9	9	6000 rev/min	6	5000 rev/min	9	6000 rev/min
<b>Precio</b>	9	9	\$45	5	\$202.75	5	\$175
<b>Acoplamiento al eje</b>	9	8	Acople flexible con prisionero	8	Acople flexible con prisionero	8	Mediante prisionero o abrazadera
<b>Peso</b>	7	6	100 g	5	120 g	7	60 g
<b>Frec. máx</b>	8	8	100 kHz	8	100 kHz	8	100 kHz
<b>Total</b>	74	68		63		61	
<b>Continuar</b>		<b>SI</b>		<b>NO</b>		<b>NO</b>	



Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Selección del módulo analógico

Característica	Peso	XD-E2WT-C		XC-E4AD-H		XC-2AD2DA-BD	
		Calificación	Característica	Calificación	Característica	Calificación	Característica
<b>Voltaje de alimentación</b>	10	5	220 VAC	9	24 V DC	10	24 V PLC
<b>Número de entradas A</b>	10	10	2	10	2	10	2
<b>Número de salidas A</b>	6	0	0	0	0	6	2
<b>Rango de entrada</b>	7	6	0-10 mV DC	6	0-5 V, 0-10VDC, 0-20mA, 4-20mA	6	0-5 V, 0-10VDC
<b>Montaje</b>	7	6	Riel DIN46277	6	Riel DIN46277	7	Sobre el PLC
<b>Precio</b>	9	5	\$450	6	\$250	8	\$150
<b>Resolución</b>	8	8	1/1048575 (20 bit)	7	1/16383 (14 bit)	7	1/16383 (14 bit)
<b>Total</b>	57	40		44		54	
<b>Continuar</b>		NO		NO		SI	

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

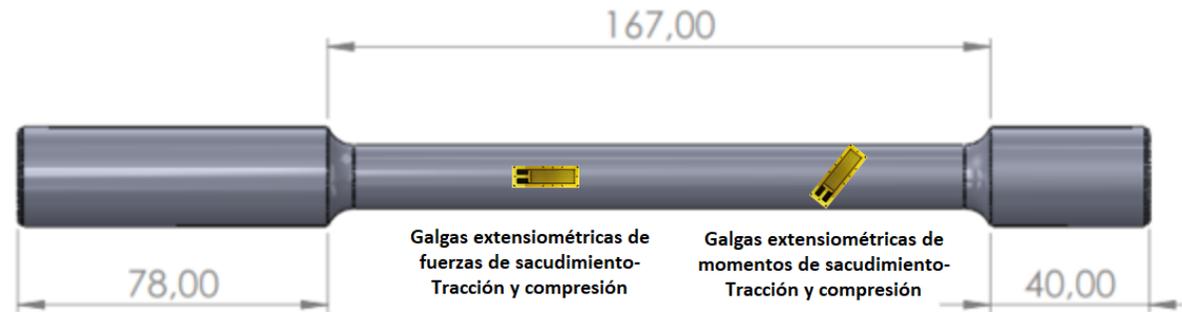
Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Medición de fuerzas y momentos de sacudimiento mediante las galgas extensiométricas

- La barra en voladizo de la máquina originalmente contaba con dos pares de galgas extensiométricas,



### Galgas extensiométricas en la barra en voladizo de la máquina

Soldadura de los cables conductores estaba desprendida  
. Inicialmente las galgas se encontraban ubicadas de la

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

# Diseño del sistema

## Análisis mecánico de la barra en voladizo

El momento está definido por:

$$M = P * L_c$$

## Sección A Galgas

Esfuerzo flector se expresa:

## Extensiométricas de Flexión y

## Compresión

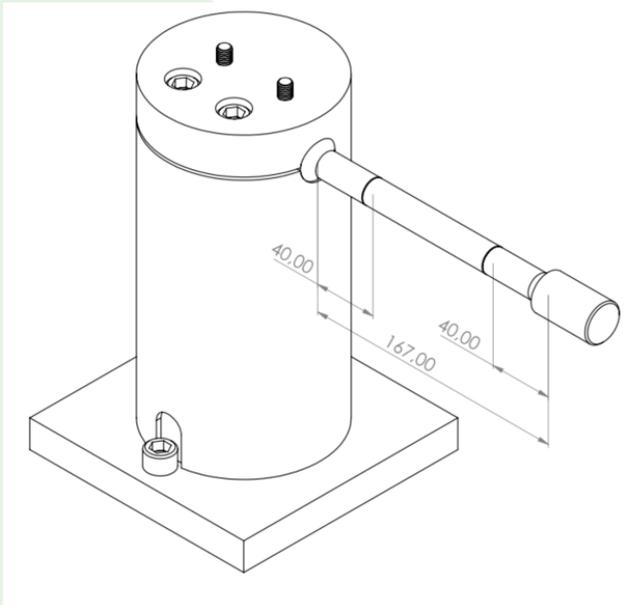
$$\delta = \frac{My}{I} \quad \delta = \frac{(P * L_c)r}{\frac{\pi r^4}{4}} = \frac{32(P * L_c)}{\pi * d^3}$$

El esfuerzo es igual a:

$$\delta = E * \epsilon_1 \quad \delta = \frac{32(P * L_c)}{\pi * d^3} = E * \epsilon_1$$

Expresar la fuerza transmitida en el punto H1.

$$P = \frac{E\pi d^3 \epsilon_1}{32 * L_c} = F_t$$





# Diseño del sistema

## Análisis mecánico de la barra en voladizo

### Sección B Galgas

### extensiométricas de torsión

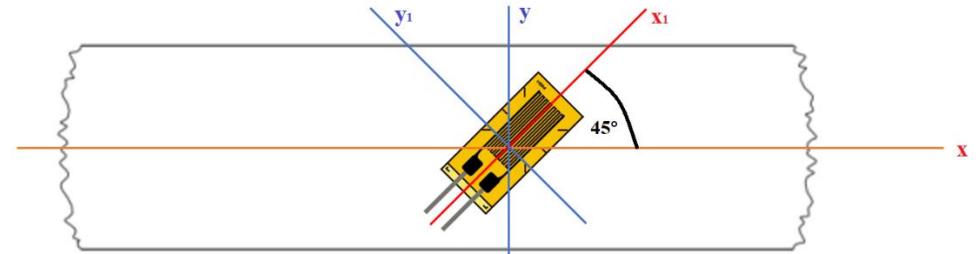
El esfuerzo cortante viene dado por la expresión:

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad \tau = \frac{Td/2}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

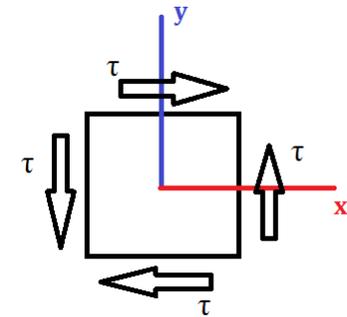
El momento flector se puede expresar:

$$\tau = G * \gamma \quad \therefore \quad \tau = \frac{16T}{\pi * d^3} = G * \gamma \quad \therefore \quad T = \frac{\pi d^3}{16} G \gamma$$

Las galgas extensiométricas están ubicada a 45° del eje axial, la deformación que cambiará el valor resistivo de las galgas



$$\epsilon_{x1} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos(2\theta) + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sen(2\theta)$$



$$\epsilon_x = 0$$

$$\epsilon_y = 0$$

$$\epsilon_{x1} = 0.5\gamma_{xy}\sen(2\theta) = 0.5\gamma_{xy}$$

$$T = \frac{\pi d^3}{8} G \epsilon_s$$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

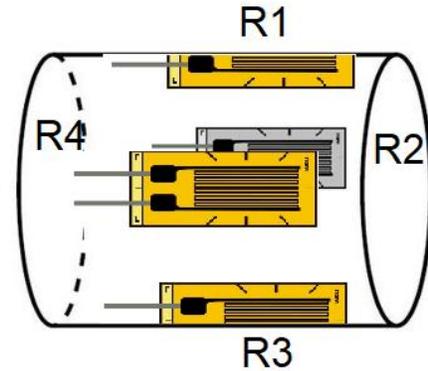
Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Distribución de las galgas extensiométricas

### Flexión



$$\epsilon_1 \rightarrow R_1 = R + \delta R$$

$$\epsilon_3 \rightarrow R_3 = R - \delta R$$

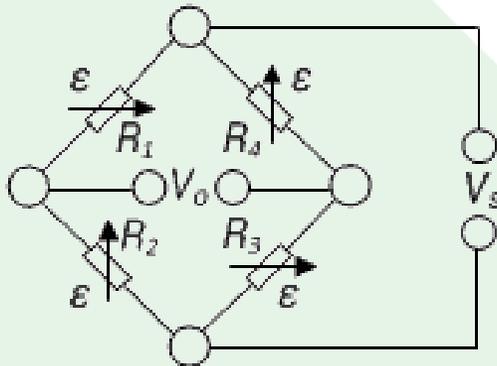
$$\epsilon_2 \rightarrow R_2 = R$$

$$\epsilon_4 \rightarrow R_4 = R$$

Considerando que el coeficiente para acero es de 0.3

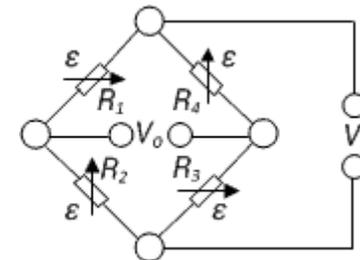
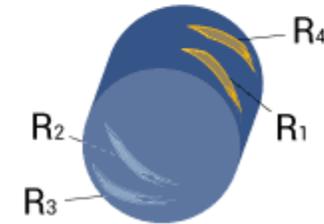
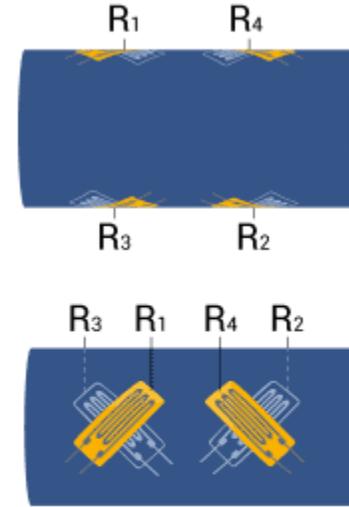
$$\mu = -\frac{\epsilon_t}{\epsilon_L} = 0.3$$

$$\epsilon_t = -0.3\epsilon_L$$



$$\epsilon = \frac{V_o}{k * V_s}$$

### Torsión



$$\epsilon = \frac{V_o}{k * V_s}$$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Selección de galgas extensiométricas

### Galgas de flexión

#### Galga extensiométrica SG-3/120-LY13

Característica	Descripción
Factor de galga	2.12
Valor	120 $\Omega$
Tolerancia	$\pm 0.15\%$
Longitud de la rejilla activa	3
Ancho de la rejilla activa	1.5
Dimensiones de la galga	7.80x3.80
Voltaje Máx	5.5 V
Material de la rejilla activa	Constantán
Encapsulado	Poliamida 45 $\mu\text{m}$

### Galgas de Torsión

#### Galga extensiométrica 6/120RY11

Característica	Descripción
Factor de galga	1.94
Valor	120 $\Omega$
Tolerancia	$\pm 0.35\%$
Sensibilidad	-0.2%
Coeficiente de temperatura del factor de la galga	104 $\pm 10$ [10 <sup>-6</sup> /°C]
Longitud de la rejilla activa	2
Ancho de la rejilla activa	1.4
Dimensiones de la roseta	11x11
Voltaje Máx	5.5 V
Material de la rejilla activa	Constantán
Encapsulado	Poliamida 45 $\mu\text{m}$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



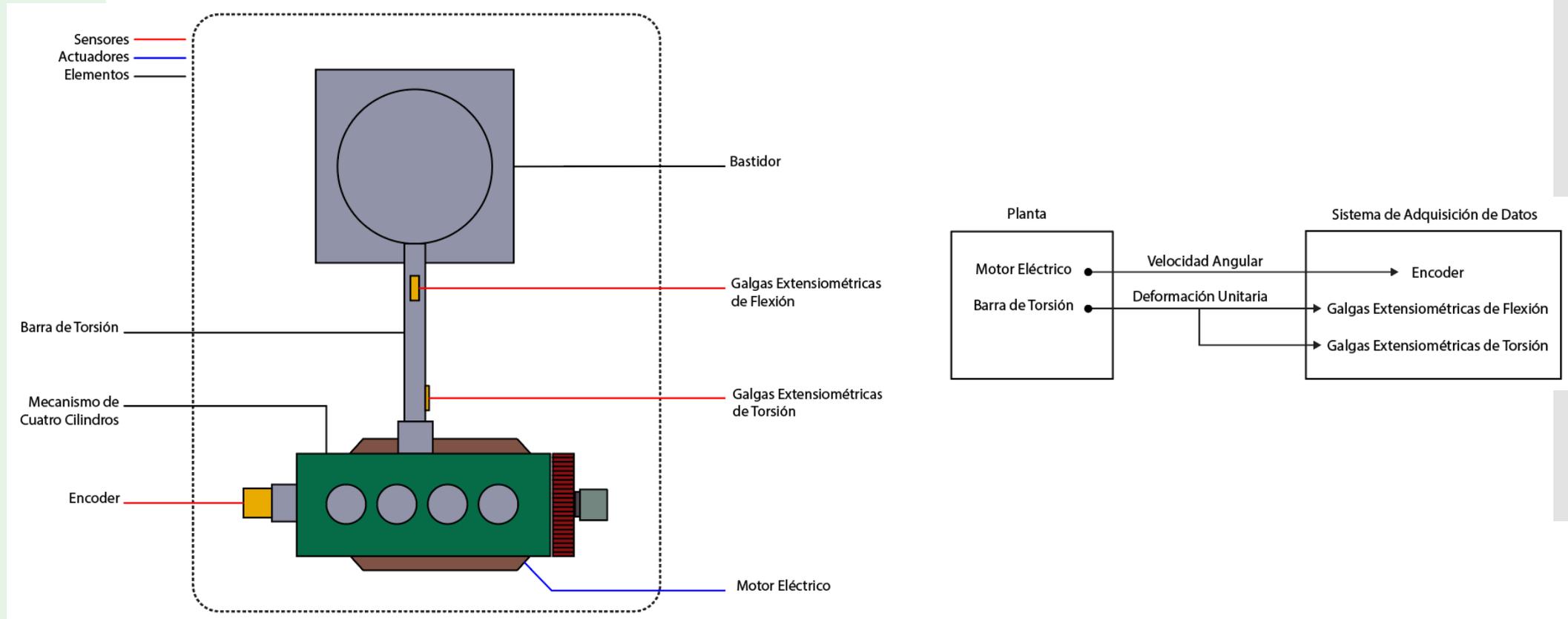
# Diseño del sistema

## Programación del PLC

Controlador Lógico Programable XINJE XC3-32RT-E

Normativa 61131-3 dictada por la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC)

### *Identificación de las interfaces externas al sistema de control*



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

**Definición de todas las interacciones con el operador**

**Definición de las Unidades de Organización de Programa requeridos**

Introducción

Investigación previa

Metodología

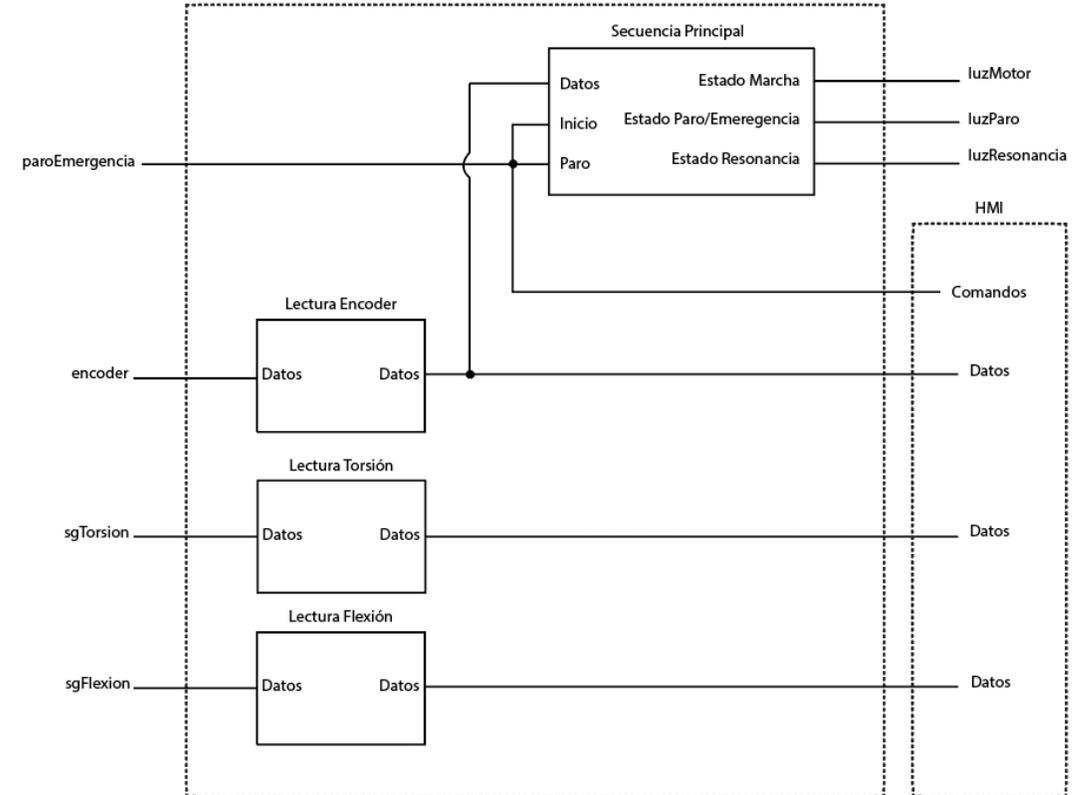
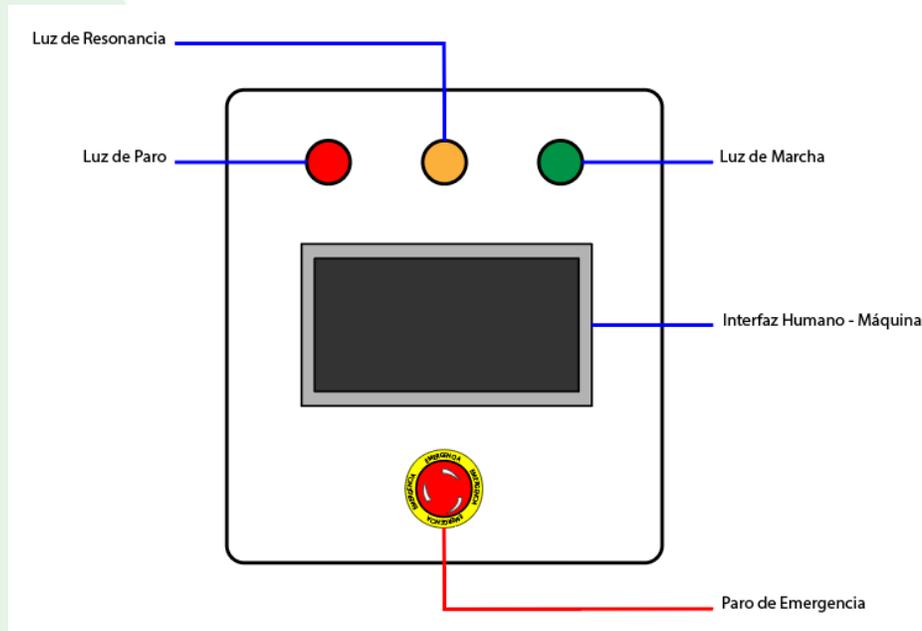
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Diseño del sistema

## Graficet de la secuencia principal de control

## Conversión de Datos

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

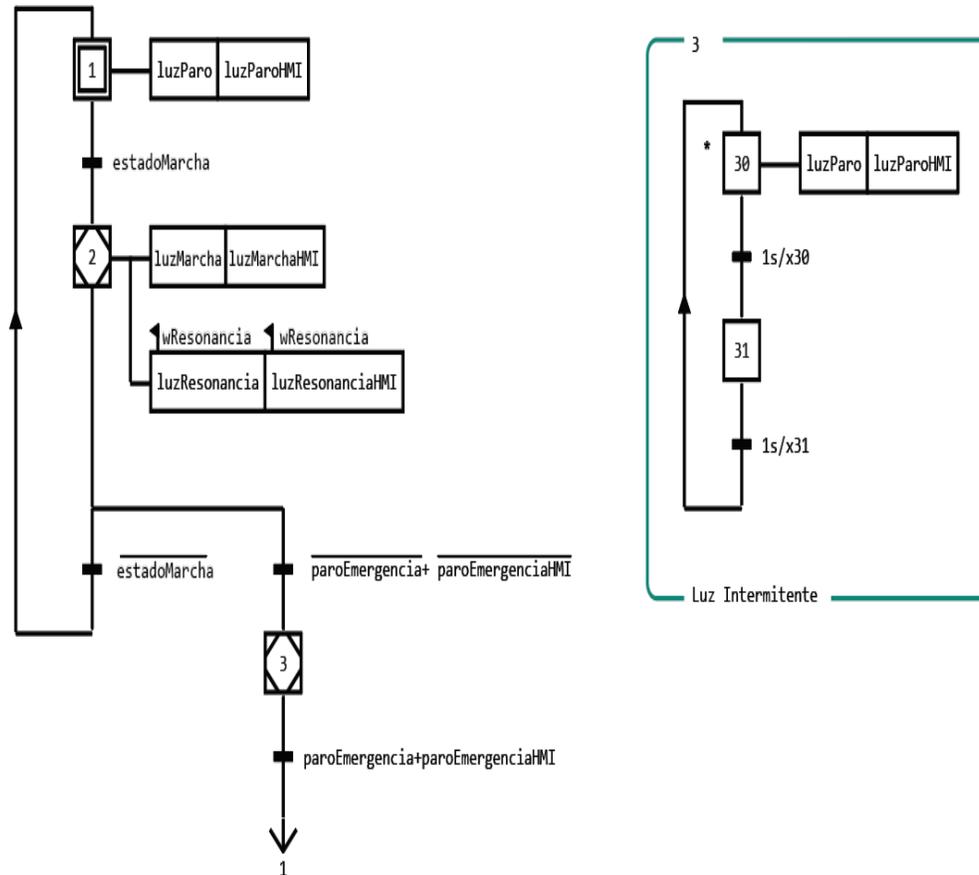
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



- Velocidad Angular

$$D5 = D4 \times 60 \left[ \frac{\text{pulsos}}{\text{minuto}} \right]$$

$$D6 = \frac{D5}{1000} \left[ \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} \right]$$

- Deformación Unitaria de Flexión

$$\varepsilon = \frac{V_o}{k \cdot V_s} \quad \varepsilon = \frac{ID1000}{21.2}$$

- Deformación Unitaria de Torsión

$$\varepsilon = \frac{V_o}{k \cdot V_s} \quad \varepsilon = \frac{ID1001}{19.4}$$

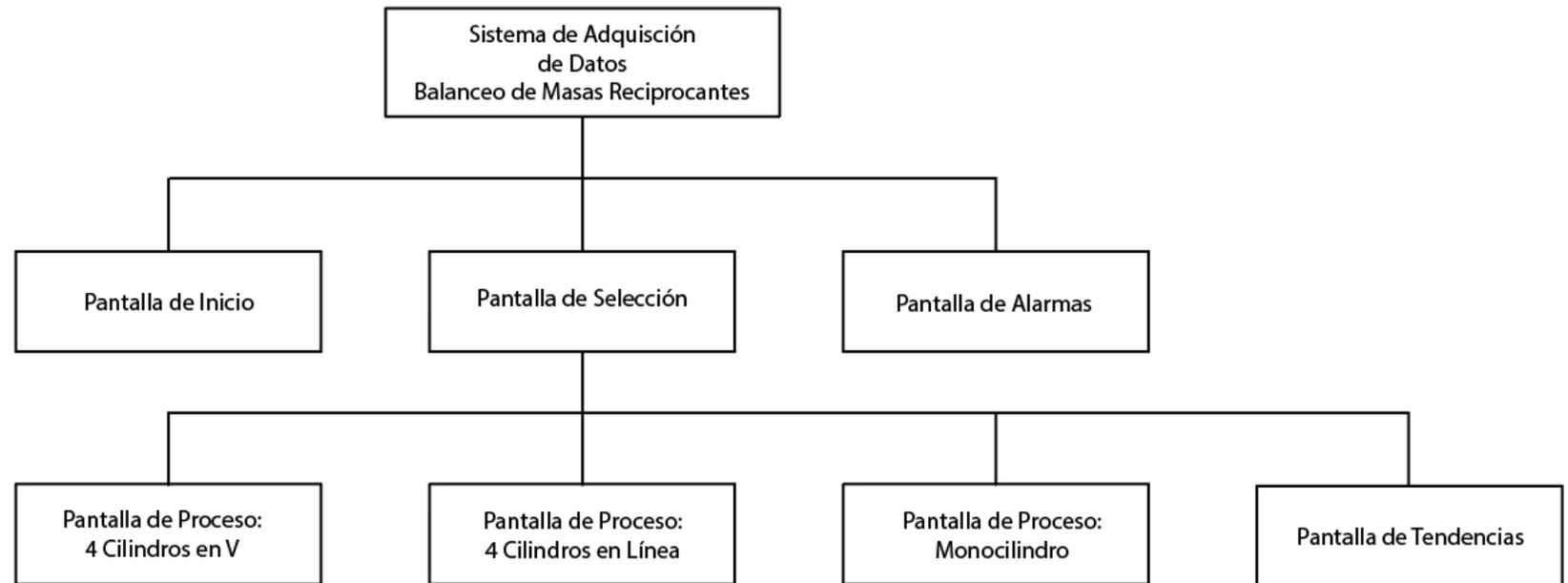


# Diseño del sistema

## Diseño y programación de la Interfaz Humano Máquina

- Guía GEDIS para el desarrollo de interfaces ergonómicas.

### *Arquitectura de la Interfaz*



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

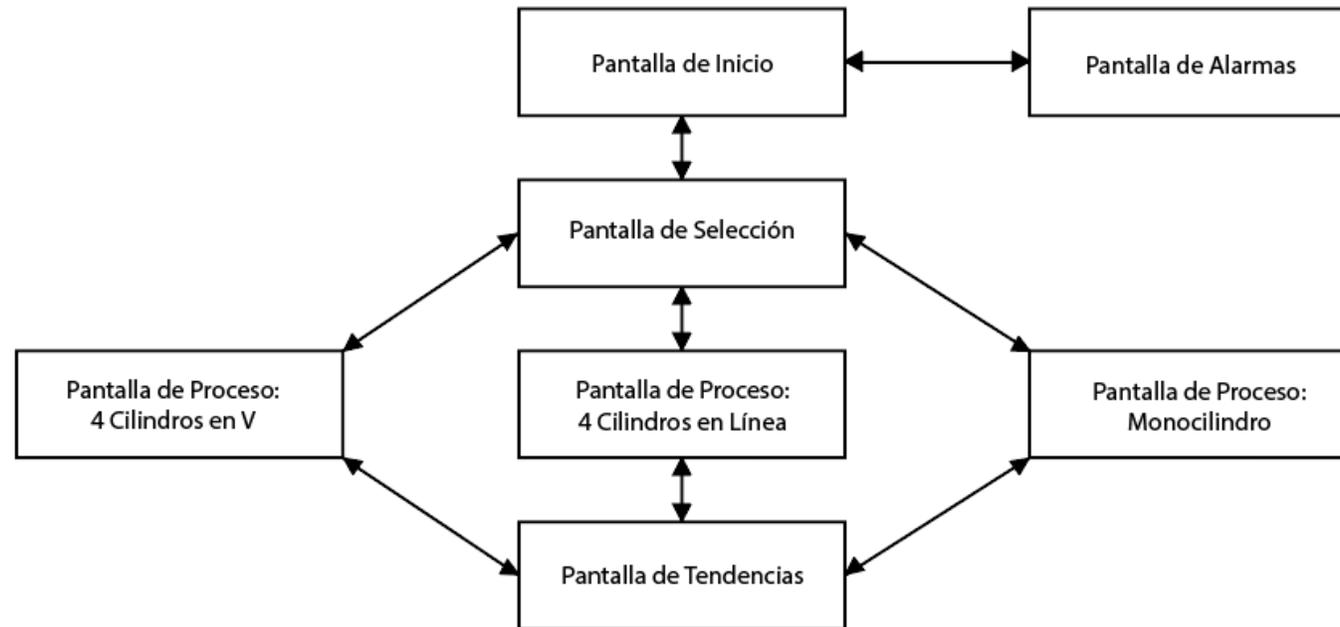
Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño y programación de la Interfaz Humano Máquina

### *Navegación*



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño y programación de la Interfaz Humano Máquina

### Distribución

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

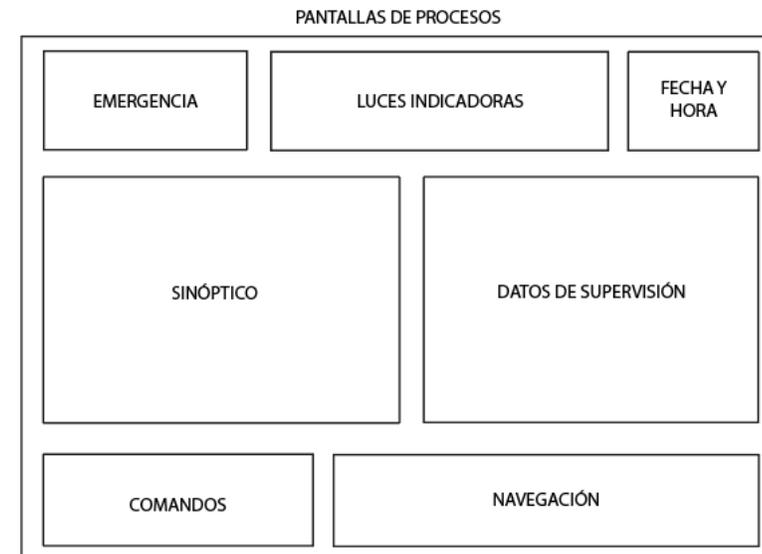
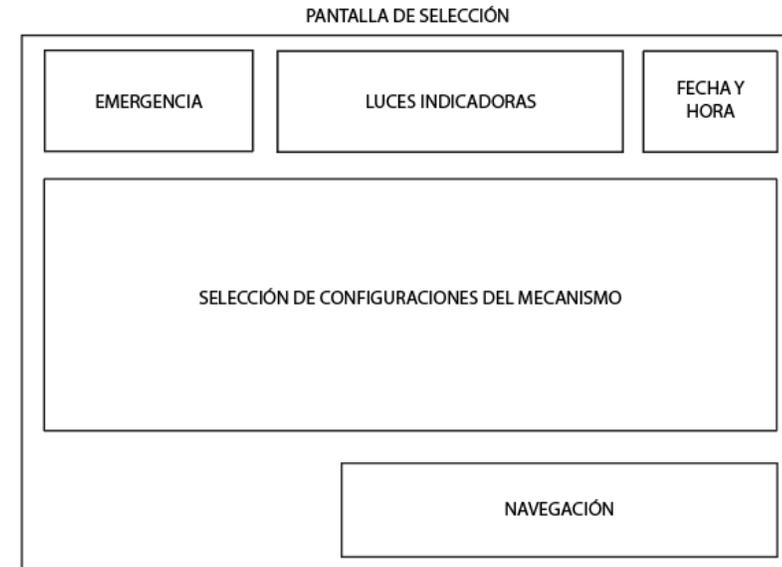
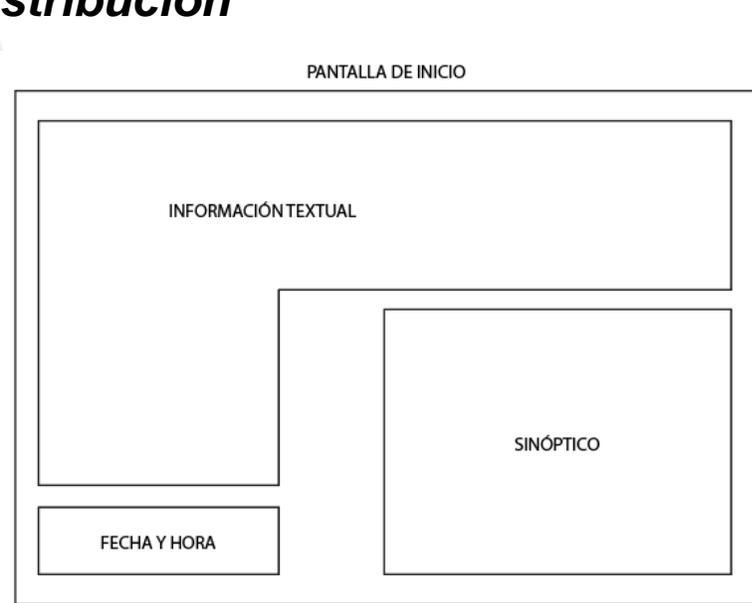
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Diseño del sistema

## Diseño y programación de la Interfaz Humano Máquina

### Resultados

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros


**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
 Laboratorio de Mecanismos y Vibraciones

Balanceo de Masas Reciprocantes  
 Sistema de Adquisición de Datos

FFFF / FF / FF  
 FF : FF : FF

SELECCION

Emergencia  
 Encendido Apagado Resonancia FFFF / FF / FF  
 FF : FF : FF

Cuatro Cilindros "V"  
 Cuatro Cilindros En Línea  
 Monocilindro

Cilindros en V  
 Cilindros en Línea  
 Monocilindro

INICIO ALARMAS

Emergencia Encendido Apagado Resonancia FFFF / FF / FF  
 FF : FF : FF

ALARMAS

M2	
M2	
M31	
M32	
M33	
M34	
M35	

ATRAS

Emergencia Encendido Apagado Resonancia FFFF / FF / FF  
 FF : FF : FF

Flexión

Torsión

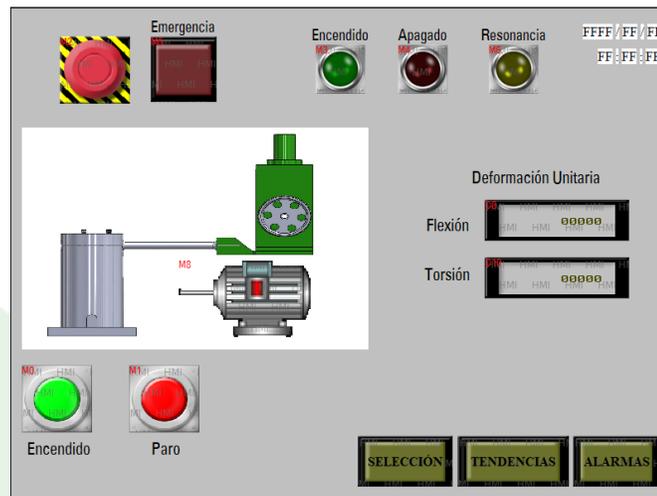
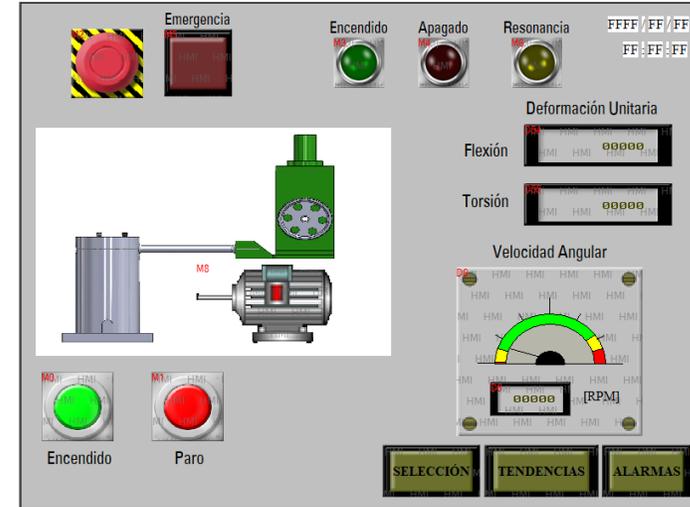
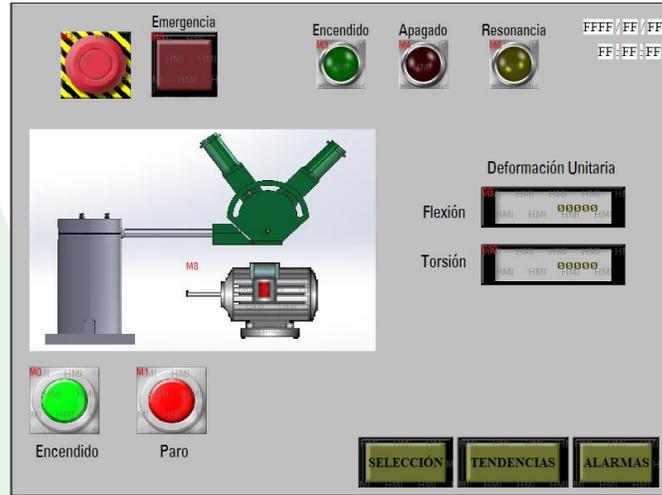
ATRAS



# Diseño del sistema

## Diseño y programación de la Interfaz Humano Máquina

### Resultados



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

### *Elementos de protección*

#### Fusibles elegidos

Elementos	Calibre AWG	$I_z$	$I_b$	$1.45 * I_z$	$I_f$
Alimentación al PLC	14	15	2	21,75	4
Alimentación a la fuente de Voltaje	14	15	4,5	21,75	6

#### Disyuntores monofásicos

##### Disyuntor monofásico



Modelo	Easy9, 1P, 6 A, B curve
Voltaje de operación	230 V AC 50/60 Hz
Número de polos	1
Corriente nominal	6 A
Capacidad de interrupción	4500 A Icn a 230 V AC
Montaje	Riel DIN

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

### *Elementos de alimentación de potencia*

#### Fuente de 24 V DC

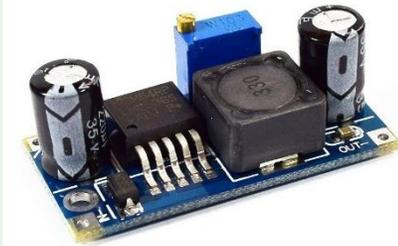
##### Fuente de poder 24 V



Modelo	S-250-24
Voltaje de entrada	115-220V AC 50/60 Hz
Voltaje de salida	24 V DC
Corriente de salida máx	20 A
Potencia máxima	500 W
Eficiencia de conversión	83%

#### Regulador de Voltaje DC

##### Reguladores de voltaje DC



Modelo	LM2596
Voltaje de entrada	4.5 V a 40 V DC
Voltaje de salida	1.23 V a 37 V DC
	ajustable
Corriente de salida máx	3 A
Potencia máxima	25 W
Eficiencia de conversión	92%

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

### *Elementos de maniobra y control*

#### Relés

##### Relés 24 V DC



Modelo	CAMSCO MY4
Voltaje de operación	24 V DC
Capacidad de contacto	28V DC 5 A 220V AC 3 A
Resistencia de contacto	<50mΩ
Ciclos de servicio	10 000 000
Dimensiones	27.6x21.5x34

#### Pulsador de emergencia

##### Pulsador tipo Z



Modelo	M 22 – D
Voltaje nominal	24 VDC
Número de contactos	NA
IP	IP66
Norma adicional	EN/IEC 60947-5-1
Color	Rojo

#### Luces indicadoras

##### Luz piloto



Modelo	AD16/22 D/S
Voltaje nominal	24 V DC
Color	Rojo, verde y amarillo
Corriente	20 mA
Contacto	NA
Montaje	Tablero

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

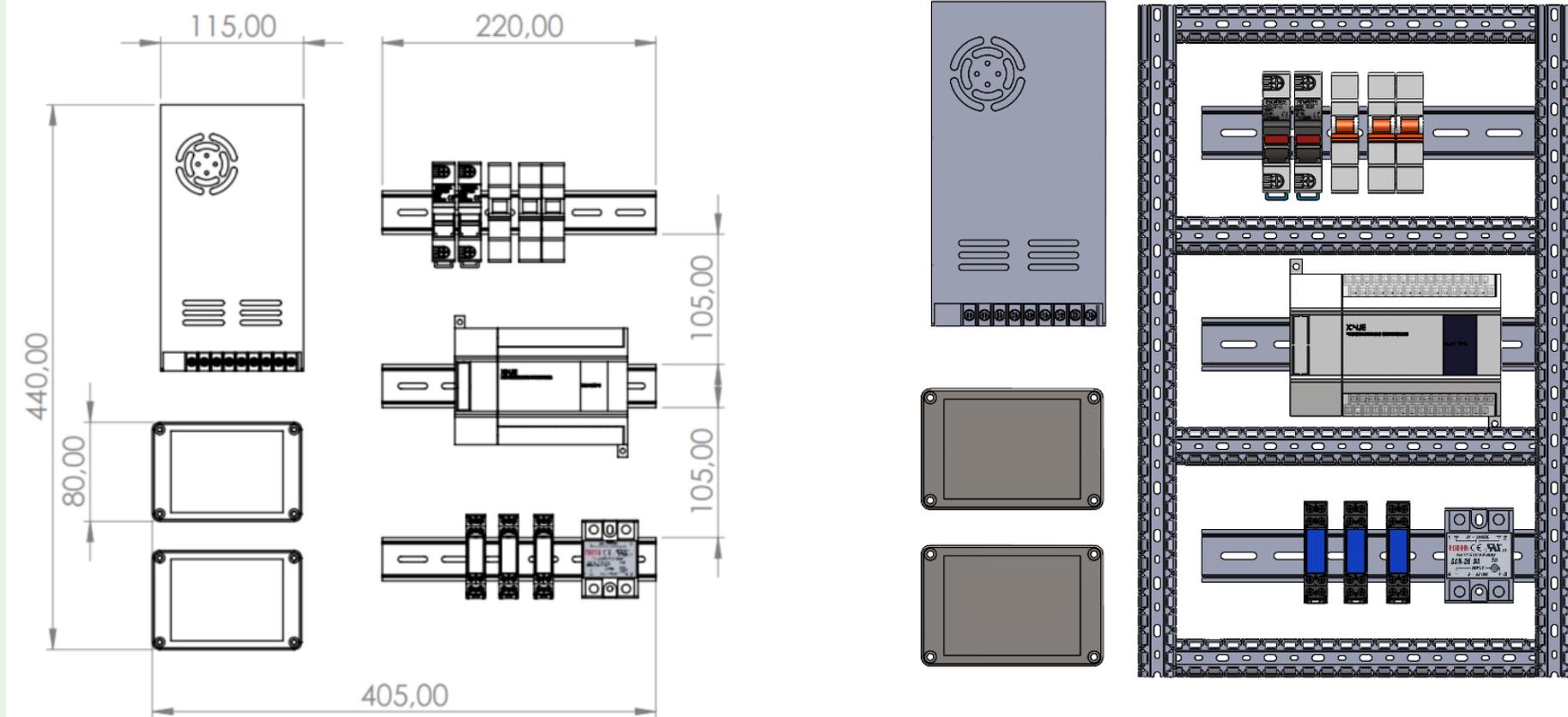
Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

Distribución y dimensiones de los elementos del tablero eléctrico de control



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

Distribución y dimensiones de los elementos del tablero eléctrico de control

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

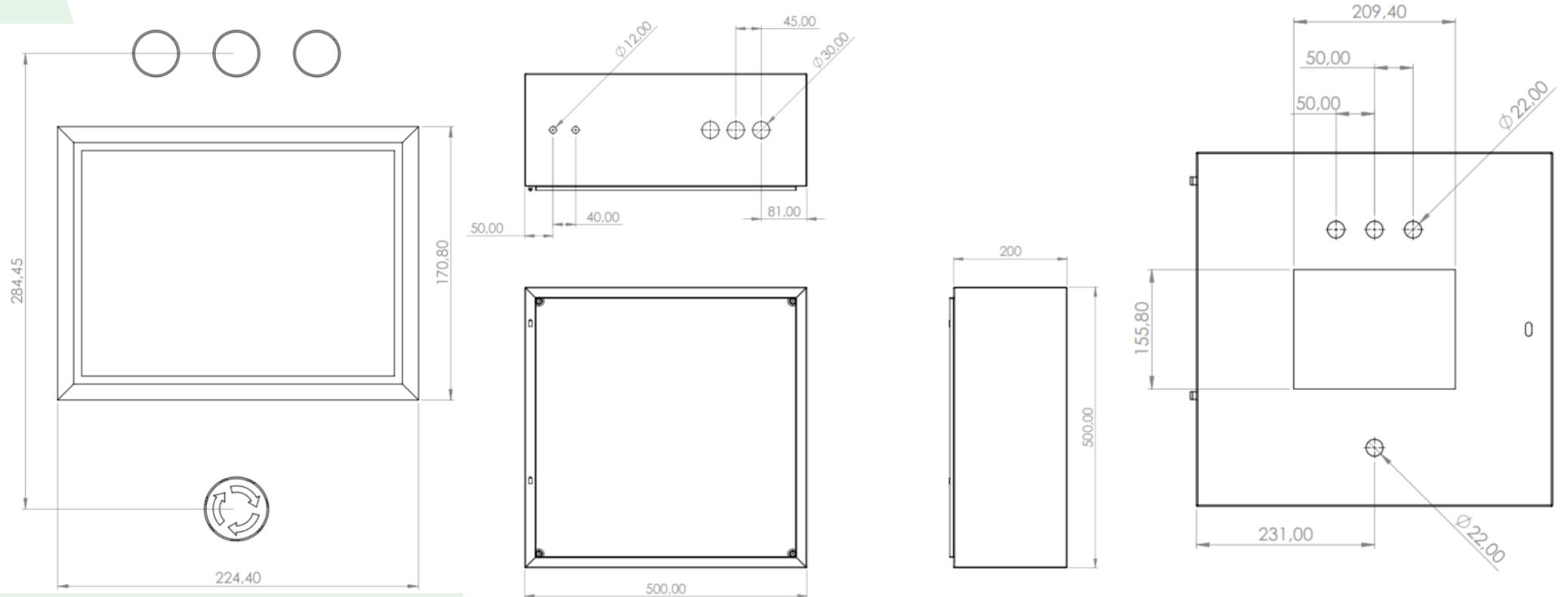
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

### Diseño final del tablero de control

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

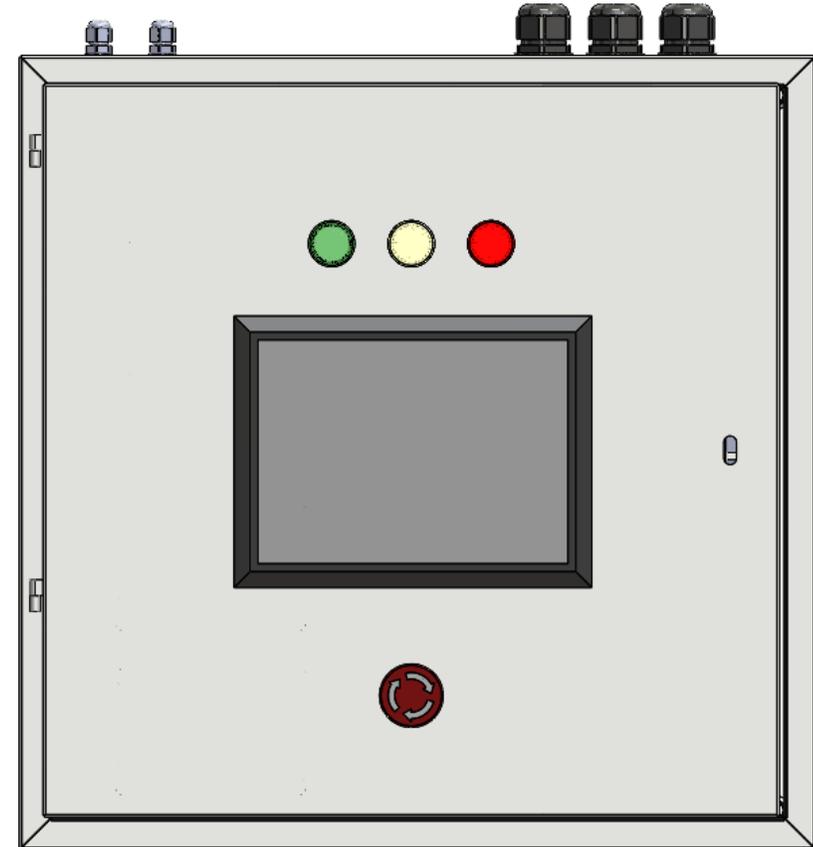
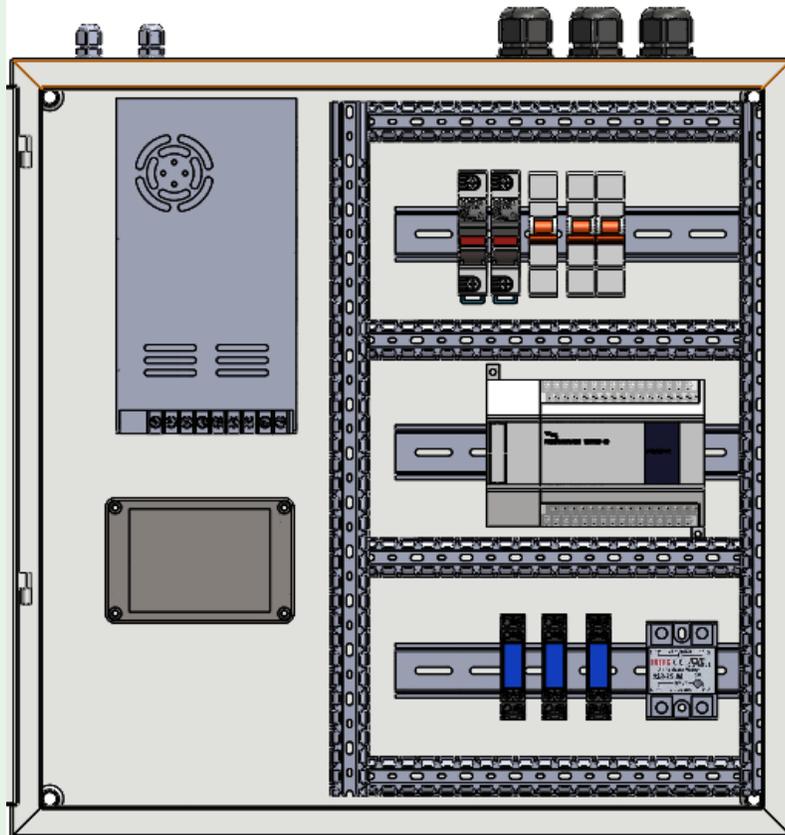
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





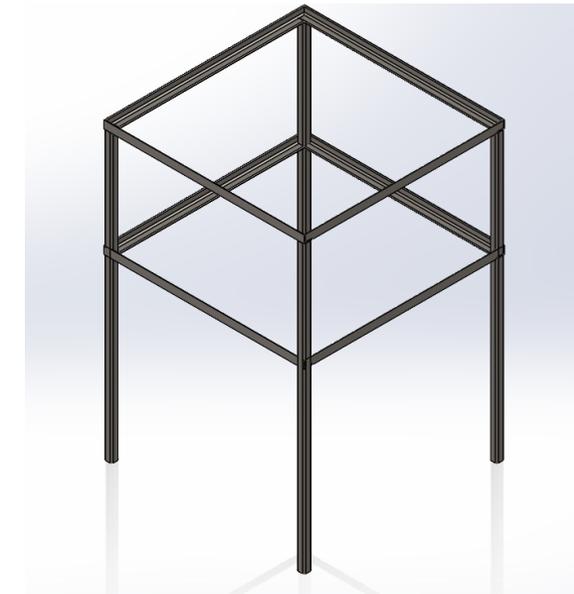
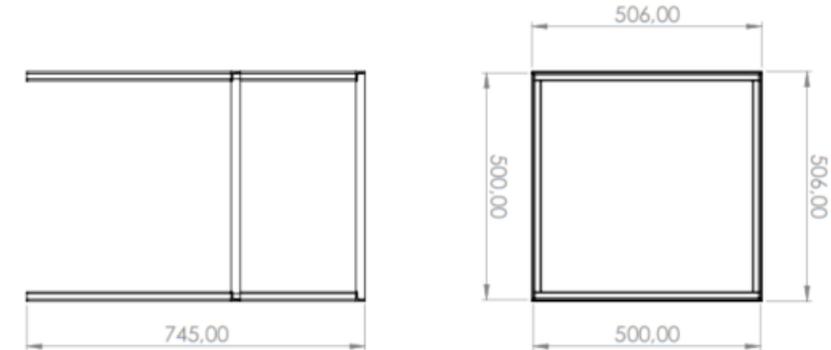
# Diseño del sistema

## Diseño del tablero eléctrico de control

### Cableado

Elementos	I Máx de los elementos	Longitud	Caída de tensión permisible	Sección calculada	Calibre AWG	Sección del cable AWG	I máx del cable
Alimentación al PLC	2	5	5	0,61012 8127	14	1,63	6
Alimentación a la fuente de Voltaje	4,5	5	5	1,37278 8286	14	1,63	6
Circuito de control 24 V	1	10	2	0,61012 8127	18	1,024	2,5
Luces indicadoras	1	4	2	0,24405 1251	18	1,024	2,5
HMI	1	4	5	0,24405 1251	18	1,024	2,5
Motor	1,8	6	5	0,65893 8377	14	1,63	6

### Mesa de soporte



Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

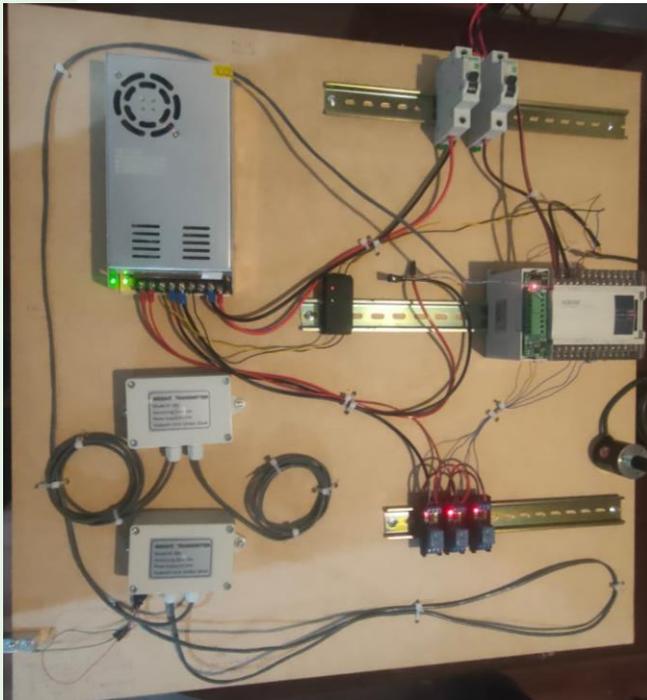


# Construcción del sistema

## ***Construcción del Tablero Eléctrico y soporte de HMI***

*Tablero eléctrico de control preliminar*

*Construcción de la envolvente del tablero de control*



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Construcción y Montaje del Sistema

## *Construcción del Tablero Eléctrico y soporte de HMI*

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

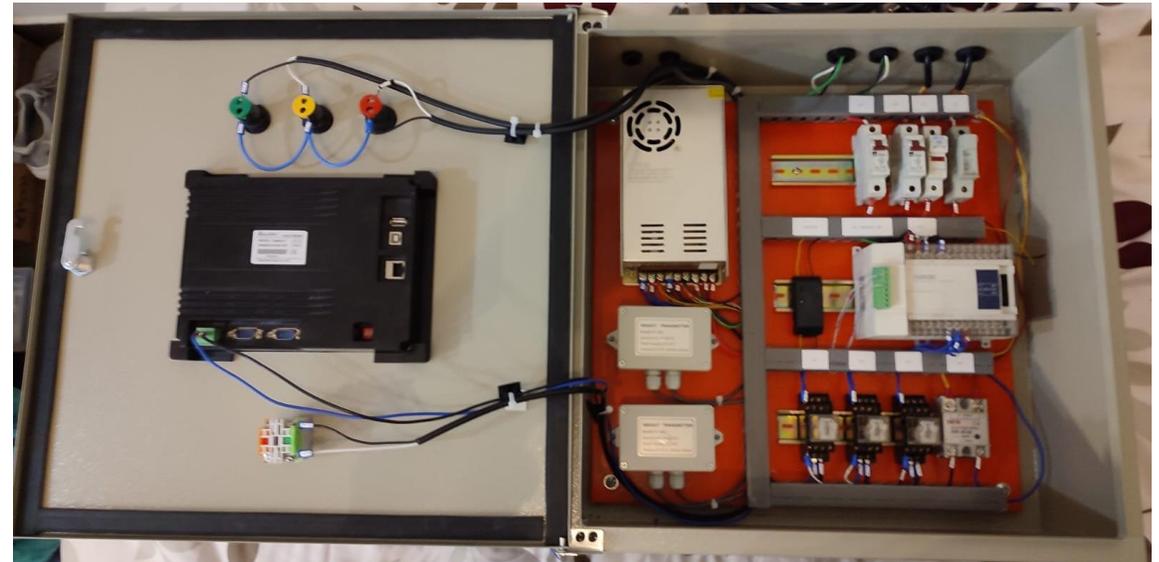
Recomendaciones

Trabajos futuros

Tablero de control vista exterior



Tablero de control vista interior





# Construcción y Montaje del Sistema

## Montaje de Galgas Extensiométricas

Galgas extensiométricas previo a cambio

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

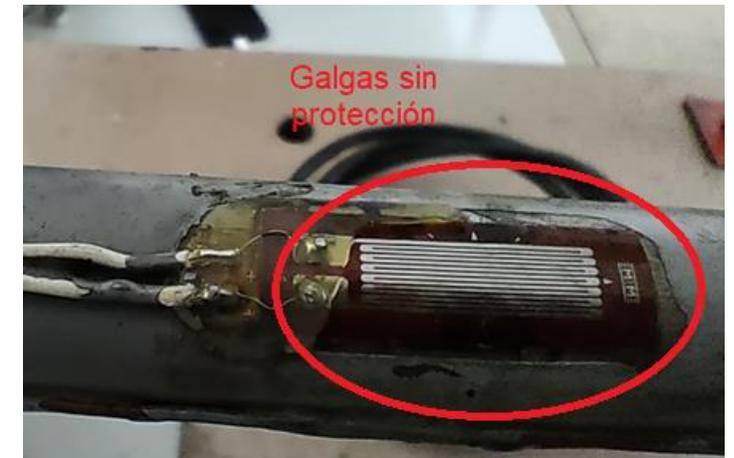
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Construcción y Montaje del Sistema

## *Montaje de Galgas Extensiométricas*

Preparación de la superficie



Proceso de pegado de galgas extensiométricas



Ubicación de las galgas en la barra en voladizo con el torno



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



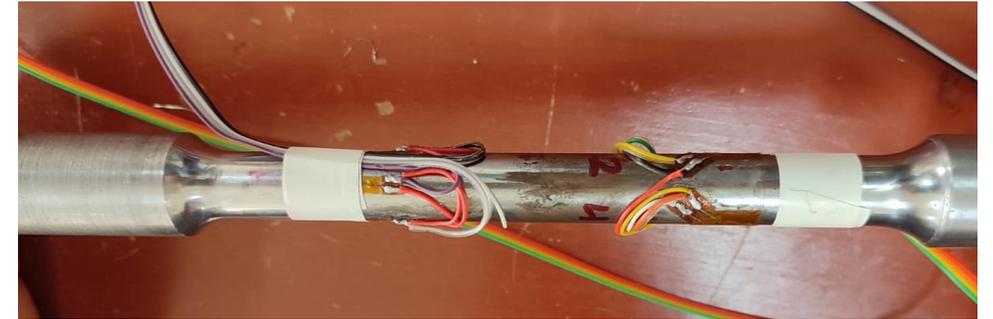
# Construcción y Montaje del Sistema

## *Montaje de Galgas Extensiométricas*

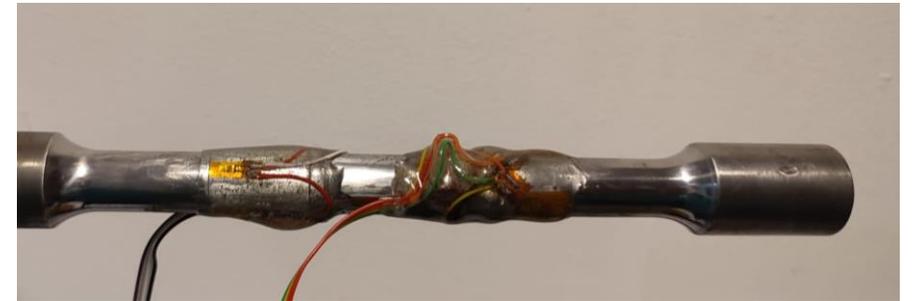
Galgas extensiométricas pegadas



Soldadura de conductores



Protección de galgas y conductores



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Construcción y Montaje del Sistema

### *Montaje del encoder*

Instalación del encoder

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

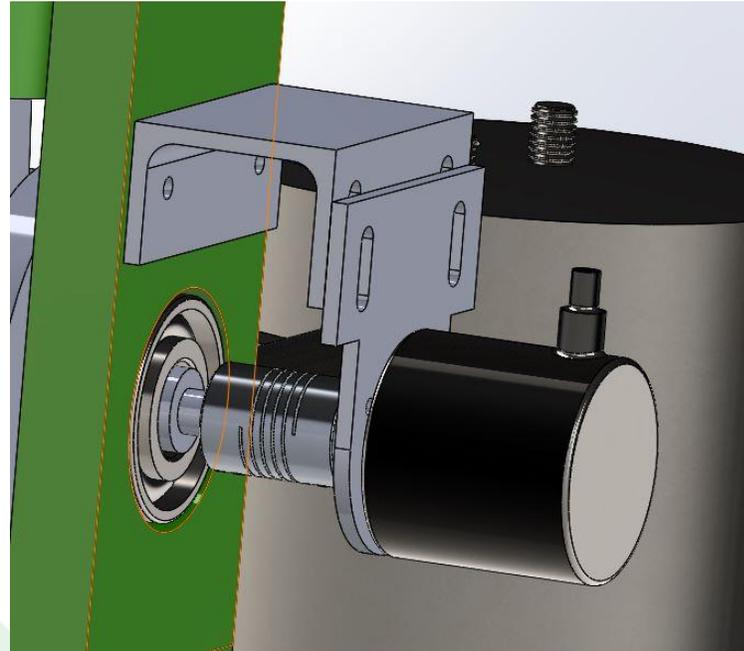
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Construcción y Montaje del Sistema

## *Presupuesto final del proyecto*

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

<u>Elementos</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo[\$]</u>	<u>Costo Total[\$]</u>
Conductores	1	30	30
Terminales y conectores	1	20	20
Cable de PLC	1	40	40
Módulo analógico PLC	1	151,2	151,2
Encoder	1	45	45
Envolvente del tablero eléctrico	1	92,23	92,23
Fusibles	2	3	6
Disyuntores	2	6	12
Epóxico de protección de Galgas extensiométricas	2	5	10
Transmisores de celdas de carga	2	26	52
Luz indicadora	3	3,5	10,5
Paro de emergencia	1	2	2
Regleta de tomacorrientes	1	7	7
Mesa de soporte	1	42	42
Soporte de Encoder Impresión 3D	1	6	6
Soporte de Pantalla HMI Impresión 3D	1	6	6
Fuente de 24V	1	32	32
Regulador de voltaje DC	1	5	5
Relé de estado sólido	1	11,5	11,5
Acople flexible del encoder	1	4	4
Canaletas y soportes de cables	1	10	10
		<b>Total</b>	<b>594,43</b>

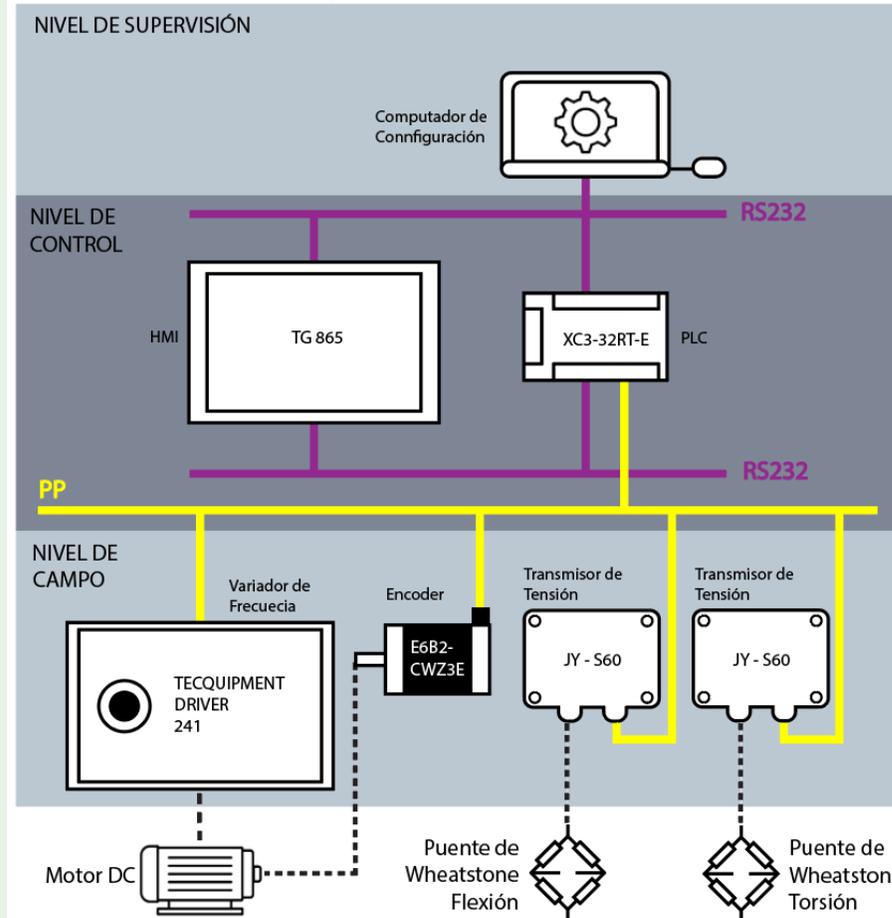


# Integración, pruebas y resultados

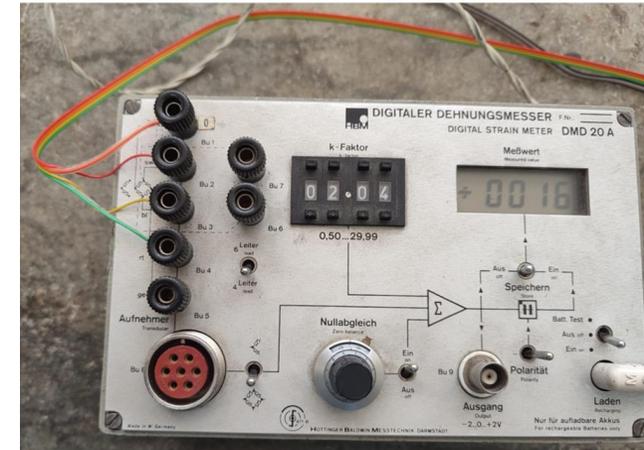
## Integración del sistema

### Arquitectura de comunicación

SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS - ESTACION DE PRUEBAS DE MASAS RECIPROCANTES  
ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN



### Calibración y verificación de Celdas de Carga



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

**Pruebas y  
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Integración, pruebas y resultados

## Análisis de resultados

### Análisis Cuantitativo Modelo mono cilíndrico

Datos	Símbolo	Valor
Masa del eslabón 2	$m_2$	0,79 [g]
Masa del eslabón 3	$m_3$	0,15 [g]
Masa del pistón	$m_4$	0,128 [g]
Masa del motor	$M$	15,25 [g]
Distancia la eslabón 3	$l_a$	0,03109 [m]
Distancia lb eslabón 3	$l_b$	0.08621 [m]
Centro del gravedad eslabón 2	$rg_2$	0,0004154 [m]
Longitud eslabón 2	$r$	0,029 [m]
Frecuencia de resonancia	$w_n$	845,82 [rpm] 88,57406328 [rad/seg]
Constante elástica del sistema	$k$	119641,8114[N/m]

La fuerza transmitida se obtiene:

$$F_{trxd}(t) = m_a r \omega^2 \frac{\cos(\omega t)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} + m_b r \omega^2 \left[ \frac{\cos(\omega t)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} + \frac{r}{l} \frac{\cos(2\omega t)}{1 - \left(2\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right]$$
$$F_{trxd}(t) = 9.6646 \frac{\cos(\omega t)}{0.7397} + 13.3375 \left[ \frac{\cos(\omega t)}{0.7397} + 0.2472 \frac{\cos(2\omega t)}{-0.04123} \right]$$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Integración, pruebas y resultados

## Análisis de resultados

Datos Tiempo vs. Fuerza Transmitida Motor monocilindro desbalanceado

Tiempo[s]	Fuerza transmitida $F_{tr} \cdot x_d(t)$ [N]
0	-48,8742
1	24,4371
2	24,4371
3	-48,8742
4	24,4371
5	24,4371
6	-48,8742
7	24,4371
8	24,4371
9	-48,8742
10	24,4371
11	24,4371
12	-48,8742
13	24,4371
14	24,4371
15	-48,8742
16	24,4371
17	24,4371
18	-48,8742
19	24,4371
20	24,4371
21	-48,8742

Propiedades geométricas y mecánicas de la barra de torsión

Datos	Símbolo	Valor
Diámetro de la barra	$d$	0.016 [m]
Distancia de las galgas de flexión	$L_c$	0,127 [m]
Módulo de Young	$E$	200 [GPa]

Para  $t = 1[s]$

$$\delta = \frac{32(P * L_c)}{\pi * d^3} = \frac{32(24.4371 * 0.127)}{\pi * 0.016^3} = 7717,80 [MPa]$$

Deformación unitaria en  $t = 1[s]$

$$\epsilon_1 = \frac{\delta}{E} = \frac{7717.80}{200 * 10^6} = 3.8598 \times 10^{-5}$$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Integración, pruebas y resultados

## Análisis de resultados

Esfuerzo y Deformación Unitaria 500rpm Motor monocilindro desbalanceado

Deformación Unitaria Medida  
500rpm Motor monocilindro  
desbalanceado

calculada	Tiempo	Deformación unitaria
	0	-7,7178E-05
	1	3,8589E-05
	2	3,8589E-05
	3	-7,7178E-05
	4	3,8589E-05
	5	3,8589E-05
	6	-7,7178E-05
	7	3,8589E-05
	8	3,8589E-05
	9	-7,7178E-05
	10	3,8589E-05
	11	3,8589E-05
	12	-7,7178E-05
	13	3,8589E-05
	14	3,8589E-05
	15	-7,7178E-05
	16	3,8589E-05
	17	3,8589E-05
	18	-7,7178E-05
	19	3,8589E-05
	20	3,8589E-05

Tiempo[s]	Deformación [x10 <sup>-5</sup> ]
1	14
2	3
3	13
4	15
5	3
6	13
7	22
8	2
9	14
10	14
11	3
12	15
13	12
14	2
15	12
16	13
17	3
18	8
19	12
20	2
21	14

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Integración, pruebas y resultados

## Análisis de resultados

### Deformación Unitaria Medida 500rpm Motor monocilindro desbalanceado

Introducción

Investigación previa

Metodología

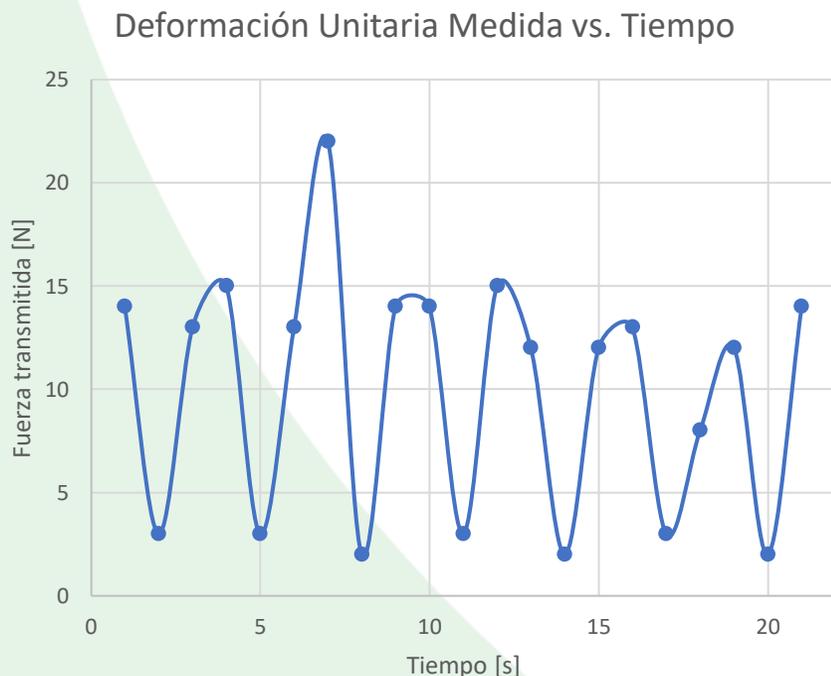
Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Tiempo	Deformación Calculada	Deformación medida	Error
1	3,86	4	3,66
2	3,86	4	3,66
3	-7,72	-7	9,30
4	3,86	3	22,26
5	3,86	5	29,57
6	-7,72	-7	9,30
7	3,86	3	22,26
8	3,86	12	210,97
9	-7,72	-8	3,66
10	3,86	4	3,66
11	3,86	4	3,66
12	-7,72	-7	9,30
13	3,86	5	29,57
14	3,86	2	48,17
15	-7,72	-8	3,66
16	3,86	2	48,17
17	3,86	3	22,26
18	-7,72	-7	9,30
19	3,86	-2	151,83
20	3,86	2	48,17
21	-7,72	-8	3,66
<b>% Error promedio</b>			<b>25,34</b>



# Integración, pruebas y resultados

## Análisis de resultados

### Deformación Unitaria Calculada y Medida Monocilindro 500rpm desbalanceado

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

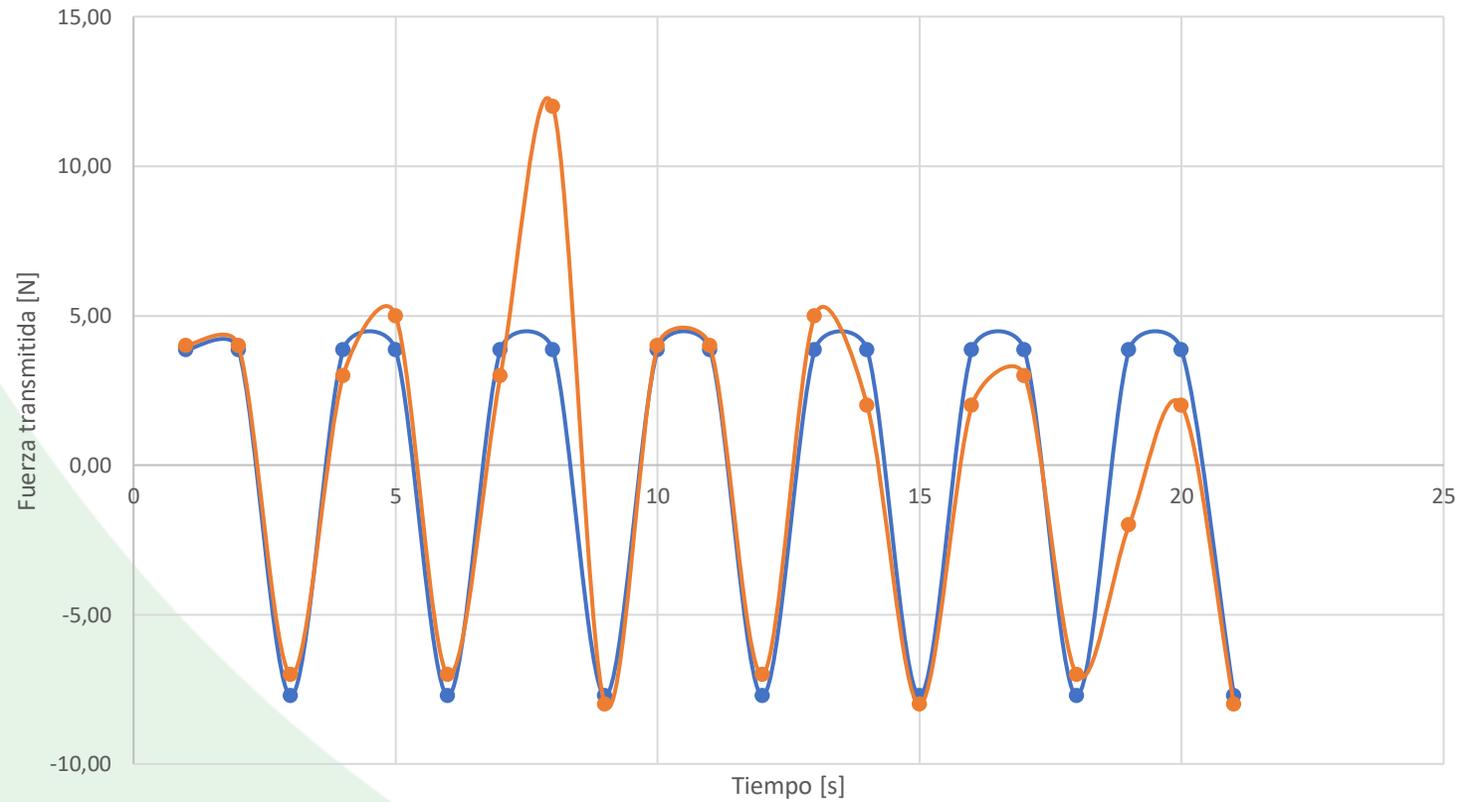
**Pruebas y  
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Deformación Unitaria Medida y Calculada vs. Tiempo





# Análisis Cualitativo

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

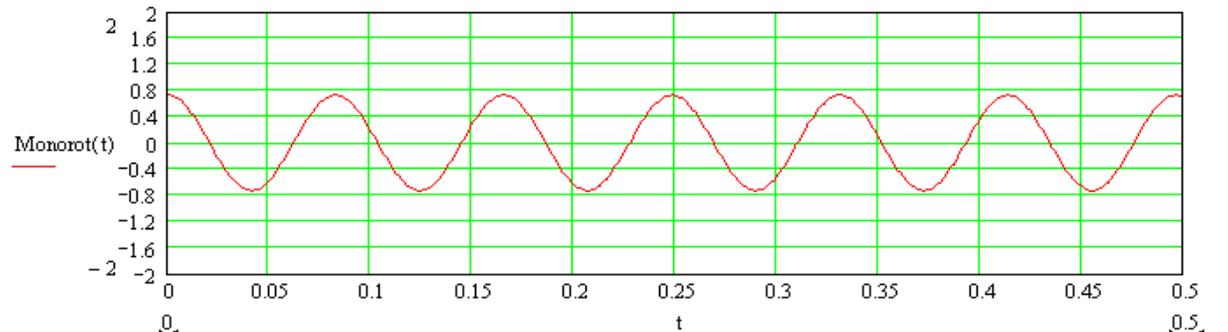
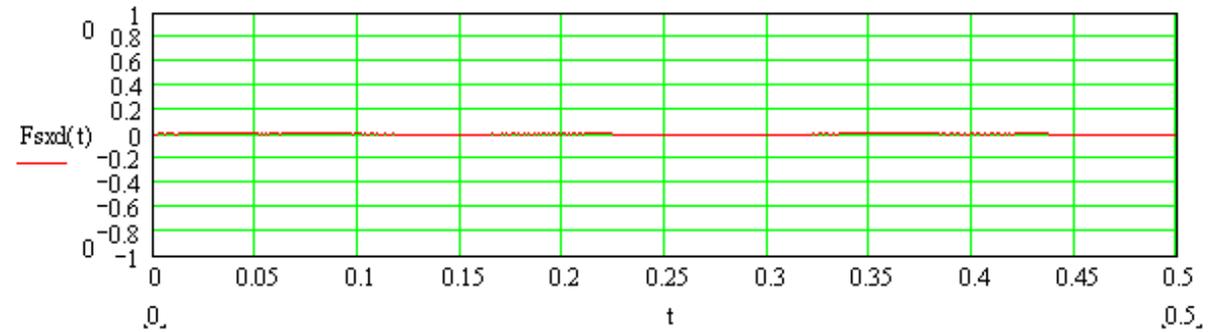
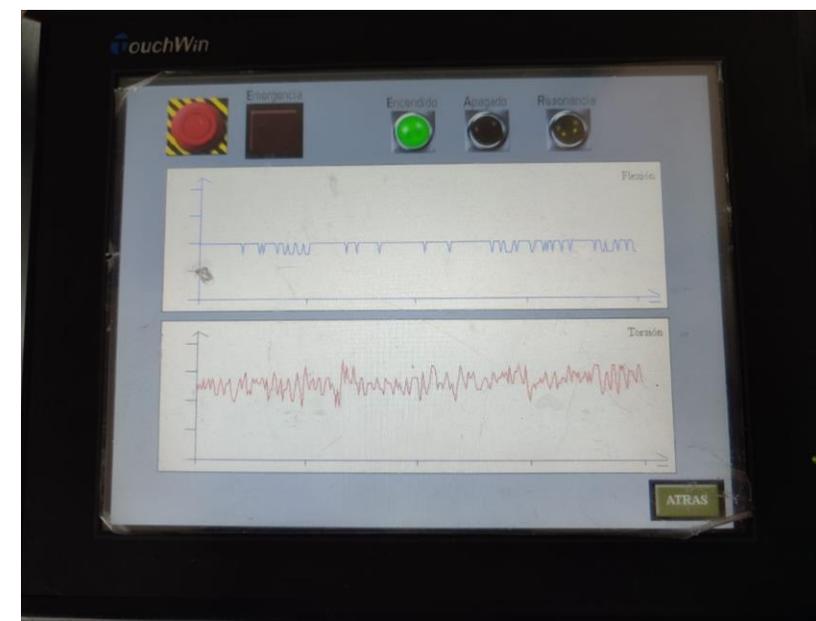
Recomendaciones

Trabajos futuros



Velocidad media  $\omega = 219 \text{ rpm} = 22.94 \text{ rad/s}$

$$\phi_1 = 0 \quad \phi_2 = 90 \quad \phi_3 = 180 \quad \phi_4 = 270$$





# Análisis Cualitativo

Motor 4 Cilindros  $\phi_1 = 0$   $\phi_2 = 180$   $\phi_3 = 180$   $\phi_4 = 0$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

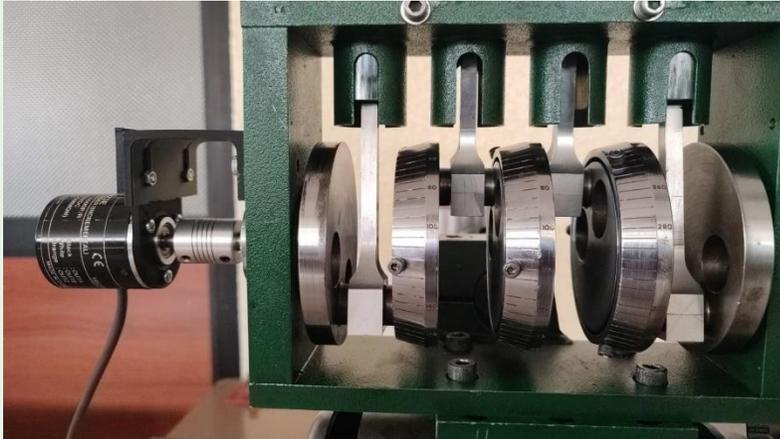
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

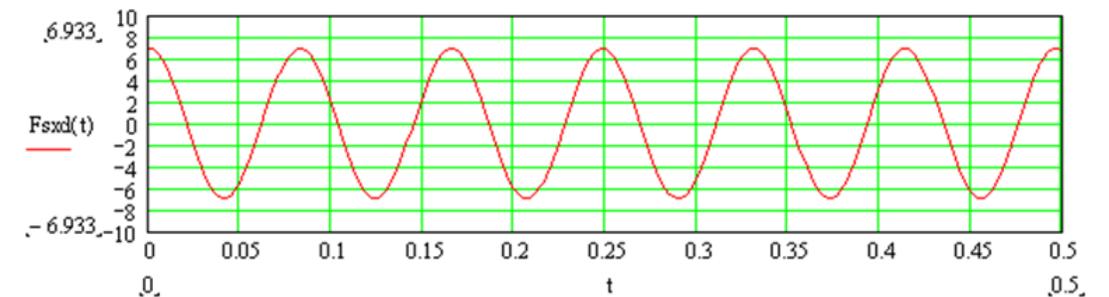
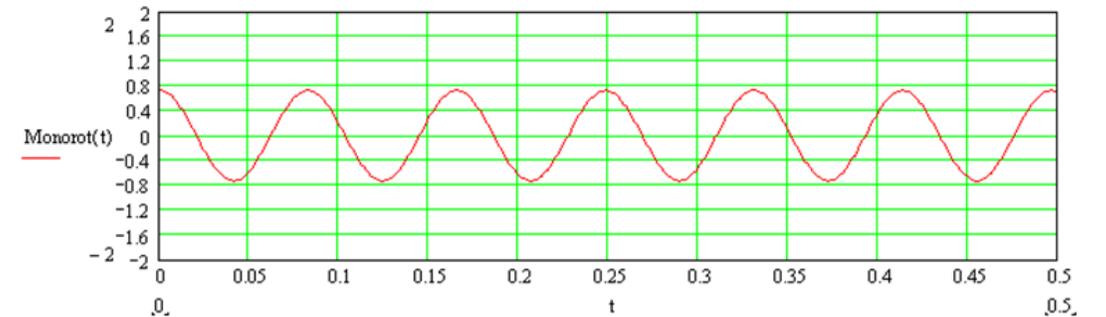
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



$$\omega = 229 \text{ rpm} = 24 \text{ rad/s.}$$





# Video Funcional



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Se diseñó e implementó el sistema de adquisición de datos con interfaz HMI para el banco de pruebas de masas reciprocantes, que satisface los requerimientos y necesidades de docentes y estudiantes usuarios del laboratorio de mecanismos y vibraciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, campus Sangolquí. La máquina y el sistema de adquisición de datos es capaz de simular el comportamiento de un motor de combustión interna en configuraciones de un cilindro, cuatro cilindros en línea y en V, con configuraciones de cigüeñal, ángulos de fase y ángulos de V variables, accionado por un motor eléctrico con velocidad variable, mediante un módulo analógico, y un sistema de control mediante una pantalla HMI, para navegación encendido y visualización de gráficas de velocidad, deformación por flexión y torsión debidas a fuerzas y momentos de sacudimiento respectivamente, permitiendo visualizar la forma de las curvas y comprobando la base teórica que describe el comportamiento dinámico de un motor de masas reciprocantes balanceado y desbalanceado.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Haciendo uso de una interpretación muy prácticas de la normativa IEC 61131-3 de la Comisión Internacional de Electrotecnia, se desarrolla un programa versátil y funcional que cumple con los requerimientos técnicos respecto a la recopilación de los datos de interés e información importante para el estudio del banco de pruebas. Este programa cumple con los estándares de diseño de software de automatización para controladores lógicos programables, de modo que esta secuencia lógica corresponde a una solución legible, verificable, reusable y mantenible, ya que su desarrollo estructurado trajo como resultado un programa modular que, a pesar de ser eficientemente funcional, también es susceptible a mejoras y adecuaciones para afrontar futuras necesidades.



# Conclusiones

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

El diseño y desarrollo del interfaz humano – máquina, desde el planteamiento hasta su implementación, es realizada a partir de las consideraciones y sugerencias propuestas por la guía Gedis. El desarrollo de esta interfaz parte de la identificación de las necesidades del sistema de adquisición de datos. Localizando las variables de supervisión y datos de interés es posible encaminar la construcción de una interfaz que se muestre amigable con el usuario y que presente de forma comprensible los datos de deformación unitaria experimentada por la barra de torsión y la velocidad angular del cigüeñal. Los sinópticos emulan y representan adecuadamente las configuraciones del mecanismo disponibles y tanto los indicadores como los comandos virtuales cumplen con sus designaciones de forma eficiente. Tanto la arquitectura y distribución, así como su navegación, se alinean con los requerimientos de ergonomía, comodidad y flexibilidad para ofrecer un conjunto de pantallas amables con el usuario y que sean capaces proveer la información requerida.



# Conclusiones

Dado el requerimiento de utilizar el controlador lógico programable Xinje XC3-32RT-E, fue necesario adquirir un módulo que permita al PLC la lectura de valores analógicos, pues el dispositivo por si solo está limitado en ese sentido. Ya con el módulo analógico XC-2AD2DA-BD, solo entonces fue posible seleccionar una instrumentación que vaya de acuerdo con las necesidades planteadas. Para la lectura de la deformación unitaria sufrida por la barra de torsión se instalan dos puentes de Wheatstone en los dos extremos de la barra, para los cuales se utiliza un módulo transmisor de peso, JY-S60, de modo que sea posible entregar a la entrada analógica del PLC una señal de voltaje entre 0 y 10V. Por otro lado, se selecciona el encoder E6B2-CWZ3E por su disponibilidad y resolución, el cual al ser conectado con las entradas de conteo rápido del PLC entrega una medición adecuada de la velocidad angular.

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

# Recomendaciones

- Se recomienda operar la estación bajo la supervisión y tutela de los docentes encargados del laboratorio, obedeciendo la secuencia de encendido. Asimismo, mediante la previa revisión del manual de usuario se recomienda familiarizarse con la navegación y el contenido de la Interfaz Humano - Máquina para garantizar una correcta interpretación del entorno y consecuentemente una correcta interpretación de la información presentada en pantalla. En concordancia con toda la documentación mencionada, también es recomendable tener en consideración los planos eléctricos y los fundamentos teóricos detrás del sistema de adquisición de datos con el fin de facilitar el mantenimiento del equipo o su eventual modificación.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

- Es recomendable establecer previo contacto con la guía de laboratorio asociada al uso del banco de balanceo de masas reciprocantes para que al definir el procedimiento de la práctica se agilite la interpretación de la información, de la misma forma es necesario tener muy presentes los valores de velocidad angular que llevan al sistema a resonancia en las diferentes configuraciones y de esta forma asegurar una operación defensiva y con las precauciones pertinentes, tomando siempre en cuenta también la información visual, las señales de alerta y alarma y las recomendaciones del docente.
- Para evitar la confusión de los datos recopilados en las diferentes configuraciones y ajustes de masas reciprocantes, se recomienda esperar el tiempo necesario hasta que el sistema se estabilice una vez ajustada la configuración y establecida una velocidad del cigüeñal para que el análisis de datos sea más consistente.



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN