

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño y construcción de un sistema de medición y adquisición de datos
para un equipo de ensayos de tensión"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Francisco Xavier Portilla Romero

Rubén Darío Caraguay Ambuludí

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Rubén Caraguay

Dedico este proyecto a mis padres por ser ese eficiente motor solidario al eje de mi existencia, a mi esposa, a mi hijito, a mis hermanos, quienes han sido el sistema de engranes por el cual mediante una poderosa relación de empatía han magnificado mis deseos de salir adelante, y a todas aquellas personas que han estado junto a mí en todo este proceso. Esto es de ustedes, puesto que los deseos suyos de superación vibran a la misma frecuencia que los míos y hoy están en resonancia.

Francisco Portilla

Dedico mi trabajo de graduación a Dios quien siempre me dio fortaleza, luz y esperanza para ver hacia delante y jamás rendirme, a mi familia quienes son mi apoyo incondicional y sin ellos jamás hubiera llegado a donde estoy ahora, a mis amigos con quienes viví una auténtica y alegre etapa universitaria, a mi equipo AEFIMCP 2018-2019, con quienes compartimos innovadores proyectos y formamos una familia.

AGRADECIMIENTOS

Rubén Caraguay

A Dios por la dicha de llegar hasta aquí, a Jennifer Cevallos y Cristopher Rubén por brindarme su tiempo, les estaré en deuda toda mi vida. A mi gran amigo y compañero de mil batallas Francisco Portilla, a mis tutores, M. Sc. Eloy Moncayo, M. Sc. Víctor Guadalupe en especial al M. Sc. Jorge Marcial por la confianza, la motivación y la apertura para la realización de este proyecto.

Francisco Portilla

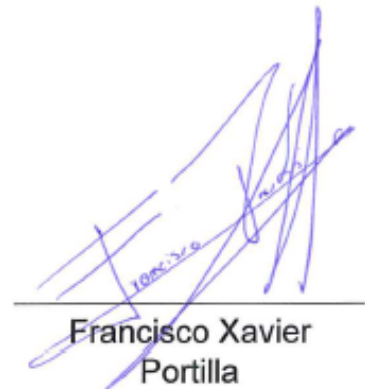
ESPOL se convirtió en mi segundo hogar, de donde tengo varias anécdotas de alegría, junto a grandes personajes, quiero agradecer a Dios por permitirme vivir esta experiencia única, al amor y apoyo de mi familia, a mis tutores el M.Sc. Eloy Moncayo, M.Sc. Víctor Guadalupe y en especial al M.Sc. Jorge Marcial quien siempre nos motivó y nos incentivó a mejorar, a mis mejores amigos Jorge y Nelson quienes fueron fortaleza, a mi compañero de tesis Rubén el maestro del mecanizado, mi pana.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Rubén Darío Caraguay Ambuludí* y *Francisco Xavier Portilla Romero* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

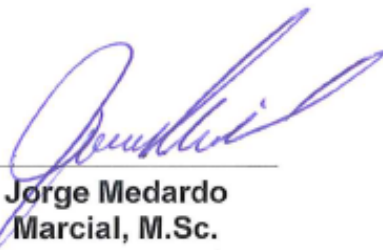


Rubén Darío
Caraguay
Autor 1

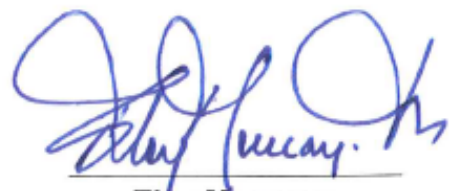


Francisco Xavier
Portilla
Autor 2

EVALUADORES



**Jorge Medardo
Marcial, M.Sc.**
PROFESOR DE LA
MATERIA



**Eloy Moncayo
Triviño, M.Sc.**
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El equipo de ensayos de tensión presente en el laboratorio de mecánica de sólidos no posee un sistema integrado de adquisición de datos que registre los valores de la carga y la deformación de manera simultánea, ni de control de velocidad del sistema de fuerza, de modo que esta inhabilitada y no se pueden realizar prácticas estudiantiles, necesarias para su formación académica.

De modo que se realizó la selección de los equipos adecuados que cumplan con los requerimientos de diseño. Se evaluó el desempeño del motor instalado, se implementó el control de velocidad con un variador de frecuencia para operar a velocidades típicas de ensayo según la norma ASTM, así como de un sistema de adquisición de datos comprendido por un encoder y una celda de carga, controlados mediante un controlador lógico programable (PLC) para obtener los datos de manera simultánea.

Finalmente, se desarrolló un programa en un macro de Excel donde se procesarán automáticamente los datos obtenidos de las pruebas con el objetivo de generar la gráfica de esfuerzo-deformación para así obtener las principales propiedades de los materiales, este software libre fue usado con el objetivo que los estudiantes no tengan inconvenientes y puedan desarrollar sus actividades sin contratiempos generados por permisos de licencia al usar softwares de pago para obtención de datos.

Palabras Claves: ASTM, PLC, celda de carga, carga, deformación, encoder, adquisición de datos.

ABSTRACT

The tensile testing equipment available in the mechanics laboratory for solids does not possess a data acquisition integrated system that registers the values of loading and deformation simultaneously. Nor it has the ability to control the velocity of the loading system. Therefore, the laboratory is not currently in use. Consequently, students can not perform any experiments or evaluations; which are essential to their academic formation.

As a solution, a selection of appropriate equipment that meets the design requirements was executed. The performance of the installed motor was evaluated, and a speed control system was implemented through a frequency inverter in order to operate at typical test speeds according to the ASTM norm. Additionally, a data gathering system comprised of an encoder and a loading cell was implemented. this was regulated by a Programmable Logic Controller (PLC) to obtain the data simultaneously.

Finally, an MS Excel macro was developed in order to collect data form testing and process it automatically. The macro generated an effort-deformation graph in order to obtain the characteristics of the materials used. This software was chosen so that the students could make a wide use of it. This removed all the economic barriers associated with obtaining a license for a data gathering software.

Keywords: ASTM, PLC, loading cell, loading, deformation, data gathering system

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.3.3 Especificaciones de diseño	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Sistema de adquisición y medición de datos.....	3
1.4.2 Celdas de carga a base de galgas extensiométricas.	3
1.4.3 Medición de la deformación.....	4
1.4.4 Máquina Universal de Ensayo de tracción	5
1.4.5 Control de la velocidad.....	6
CAPÍTULO 2	8
2. Metodología.....	8
2.1 Validación de la capacidad de operación del motor.....	9
2.1.1 Prueba experimental del motor instalado actualmente.....	10
2.1.2 Cálculo teórico del motor requerido.....	11
2.2 Diseño de la placa de sujeción	14
2.3 Diseño del perno de anclaje.....	19
2.4 Probeta de acero para hacer los ensayos	22
2.5 Diseño del sistema de control.....	23
2.5.1 Matrices de decisión.....	23

2.5.2	Matriz de decisión para el Sistema de control	24
2.5.3	PLC utilizado para el sistema de adquisición de datos	26
2.5.4	Módulo de pesaje	26
2.5.5	Programación del software controlador	27
2.6	Montaje de los equipos sobre el tablero eléctrico	31
CAPÍTULO 3		34
3. Resultados Y ANÁLISIS		34
3.1.1	Sistema de fuerza de la máquina	34
3.2	Sistema de sujeción de la mordaza	36
3.3	Perno seleccionado	37
3.3.1	Longitud necesaria de atornillado.....	38
3.4	Equipos seleccionados para el sistema de control	38
3.5	Probetas utilizadas para la práctica	38
3.6	Interfaz de medición y adquisición de datos	39
3.7	Pruebas de calibración	41
3.7.1	Prueba de calibración de la celda de carga.....	42
3.7.2	Prueba de calibración de encoder.....	43
3.8	Resultados del ensayo a tensión	43
3.9	Cálculo del módulo de Young	47
3.10	Análisis de costos.	48
CAPÍTULO 4		50
4. Conclusiones Y Recomendaciones		51
4.1	Conclusiones	51
4.2	Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LEMAT	Laboratorio de ensayos metrológicos y de materiales
ASTM	American Society for Testing and Materials
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
SAE	Society of Automotive Engineers
PLC	Controlador Lógico Programable
CD	Corriente directa
CA	Corriente alterna

SIMBOLOGÍA

M	Metro
Mm	Milímetro
N	Newtons
Kgf	Kilogramos fuerza
Min	Minutos
V	Voltios
HP	Caballos de fuerza
N.M	Newton por metro
Lbf	Libra fuerza
W	Watts

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de adquisición de datos (NationalInstruments, 2018).....	3
Figura 1.2 Puente de Wheatstone empleado en una celda de carga (Creus, 2010)	4
Figura 1.3 Transductor de frecuencia incremental (Creus, 2010).....	5
Figura 1.4 Esquema de máquina de ensayo de tensión. (Callister, 1985)	6
Figura 1.5 Variador de frecuencia Sinamics V20. (SIEMENS, 2018)	7
Figura 2.1 Vista macro del proyecto	9
Figura 2.2 Pruebas realizadas a diferentes velocidades de rotación.....	10
Figura 2.3 Modelado del sistema de sujeción de la máquina de ensayo.....	14
Figura 2.4 Diagrama de fuerzas ejercidas sobre la placa.....	15
Figura 2.5 Diagrama de fuerza cortante	16
Figura 2.6 Diagrama de momento flector	16
Figura 2.7 Dimensiones de sección transversal de la placa.....	16
Figura 2.8 Dimensiones de probetas según norma ASTM E8 (ASTM, 2018).....	22
Figura 2.9 Dimensiones de probeta para el ensayo	23
Figura 2.10 Acople rígido y sensor con 1 perno para hacer interferencia.	25
Figura 2.11 Sensor Inductivo.....	26
Figura 2.12 PLC WECON.....	26
Figura 2.13 Módulo de pesaje	27
Figura 2.14 Programación en escalera de la celda de carga	27
Figura 2.15 Programación en escalera del sensor inductivo	28
Figura 2.16 Programación en escalera del acumulador de desplazamiento	28
Figura 2.17 Copilando el programa	29
Figura 2.18 Reconociendo PLC en la PC.....	29
Figura 2.19 Mostrando fuerza y desplazamiento.....	30
Figura 2.20 Mostrando fuerza y desplazamiento.....	30
Figura 2.21 Pestaña de calibración	31
Figura 2.22 Distribución de equipos sobre tablero	32
Figura 2.23 Instalación de rieles y canaletas.....	32
Figura 2.24 Distribución de botones y pantalla sobre caja	32
Figura 2.25 Ubicación de equipos sobre caja eléctrica.	33
Figura 3.1 Dimensiones finales para placa de acople.	37

Figura 3.2 Probeta fabricada para los ensayos	39
Figura 3.3 Ventana principal de la pantalla HMI	40
Figura 3.4 Ventana de calibración	40
Figura 3.5 Ventana de DATA.....	40
Figura 3.6 Plataforma DataLog.....	41
Figura 3.7 Guardar archivo como CSV.....	41
Figura 3.8 Curva de calibración celda de carga	42
Figura 3.9 Curva de calibración encoder.....	43
Figura 3.10 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 1	44
Figura 3.11 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 2	44
Figura 3.12 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 3	45
Figura 3.13 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 4	45
Figura 3.14 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta.	46
Figura 3.15 Esfuerzo Vs Deformación de los materiales (Smith, 1998).....	46
Figura 3.16 Platina sometida a flexión.....	47
Figura 3.17 Resultados del ensayo a flexión	47
Figura 3.18 Modelo matemático de la flexión (Andrew Pytel, 1994).....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la Máquina universal de ensayos	9
Tabla 2.2 Velocidades típicas de ensayos mecánicos (ASTM, 2018)	11
Tabla 2.3 Parámetros del sistema para cálculo de potencia del motor.	11
Tabla 2.4 Eficiencias del sistema.	12
Tabla 2.5 Parámetros y consideraciones para el diseño de la placa.....	15
Tabla 2.6 Factores de corrección para el límite de resistencia a la fatiga	18
Tabla 2.7 Propiedades del perno.....	19
Tabla 2.8 Matriz de decisión, Medición de la deformación	24
Tabla 2.9 Matriz de decisión, Sistema de control	24
Tabla 3.1 Tabla de resultados de cálculos teóricos del motor.....	34
Tabla 3.2 Velocidades a diferentes frecuencias de operación del motor.....	35
Tabla 3.3 Datos técnicos del motor requerido	35
Tabla 3.4 Rangos de operación.....	36
Tabla 3.5 Datos de iteraciones para determinación de geometría de la placa.....	36
Tabla 3.6 Tabla selección del perno.....	37
Tabla 3.7 Perno seleccionado, especificaciones técnicas (SAE)	37
Tabla 3.8 Datos de parámetros para determinación de longitud de roscado	38
Tabla 3.9 Equipos del sistema de control.....	38
Tabla 3.10 Datos de carga para curva de calibración	42
Tabla 3.11 Datos de desplazamiento en función de vueltas del eje.....	43
Tabla 3.12 Resultados de las propiedades de la probeta 1	44
Tabla 3.13 Resultados de las propiedades de la probeta 2.....	44
Tabla 3.14 Resultados de las propiedades de la probeta 3.....	45
Tabla 3.15 Resultados de las propiedades de la probeta 4.....	45
Tabla 3.16 Resultados de las propiedades de la probeta 5.....	46
Tabla 3.17 Propiedades de los metales (Smith, 1998).....	47
Tabla 3.18 Resultados del Módulo de Young.....	48
Tabla 3.19 Monto total de inversión realizada	49

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Para poder medir la resistencia que pueden soportar los materiales ante una carga estática o gradualmente aplicada se realizan ensayos en situaciones distintas. El ensayo mecánico destructivo más común es el ensayo de tracción, consiste en sujetar una probeta en una máquina de ensayos mediante dos mordazas, una móvil y otra fija, deformándola con una carga uniaxial que aumenta gradualmente, procediendo a medir la carga a la vez que se realiza el desplazamiento del cabezal móvil.

La deformación es producida al desplazar el cabezal móvil a una velocidad controlada. Por otro lado, la celda de carga situada en la mordaza móvil entrega una señal analógica representando la carga gradual aplicada. La norma ASTM E8/E8M indica que estas pruebas deben ser sometidas a velocidades estándares dependiendo del tipo de material, con el fin de obtener resultados acertados de las propiedades del material ensayado.

Se busca relacionar las variables de fuerza y desplazamiento lineal, mediante un sistema de adquisición de datos, de modo que a través de una celda de carga y un encoder controlados por un plc, se adquiera señales de manera simultánea, que serán procesadas y enviadas al computador y por medio de un software obtener la curva deseada.

1.1 Descripción del problema

La máquina universal de ensayos a tensión ubicada en el laboratorio de mecánica de sólidos de FIMCP, no está apta para realizar pruebas o experimentos, esta consta con un sistema de fuerza y transmisión, posee un motor de 2HP, el cual debe ser evaluado experimental y teóricamente, el cual debe rendir el requerimiento de 85000 N. Al realizar una prueba de tensión la velocidad de desplazamiento de la mordaza debe estar bajo los rangos dados por la norma ASTM de 0.5 a 20 mm/s, el sistema cuenta con un sistema de transmisión de caja reductora y piñón engrane, el cual no satisface el requerimiento, por lo tanto, se

debe utilizar y seleccionar un variador de frecuencia, el cual a cierta frecuencia va a provocar que la mordaza se desplace en el rango.

El equipo actual no posee un sistema de medición ni de adquisición de datos, por lo tanto, se utilizará un microcontrolador el cual va a recibir dos señales, del sensor inductivo para realizar el conteo de las revoluciones del eje y así poder calcular el desplazamiento de la mordaza y deformación de la probeta y la señal de la celda de carga, la cual nos dará la fuerza en la probeta y así calcular el esfuerzo que somete a la probeta.

1.2 Justificación del problema

La selección e implementación de los sistemas de control y adquisición de datos permitirá a los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral realizar ensayos de tensión, obteniendo las respectivas graficas de esfuerzo-deformación, reforzando los conocimientos adquiridos en las materias de Mecánica de sólidos, materiales de ingeniería y materias afines.

La implementación de estos sistemas y su calibración, arrojarán valores confiables, de modo que permitirán la evaluación y comprensión de los materiales sometidos a estos ensayos por parte de los estudiantes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de medición y adquisición de datos para un equipo de ensayos de tensión.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar el sistema de medición de datos de deformación y carga.
- Construir el sistema seleccionado.
- Validar los sensores mediante pruebas de calibración.
- Analizar los costos de los equipos a implementar.

1.3.3 Especificaciones de diseño

- Sistema de adquisición de datos de deformación y carga con características de confiabilidad y funcional.
- Sistema de fuerza para una carga de diseño de 85000 N (8674 Kgf).
- Uso de un software libre compatible con cualquier computadora.
- El sistema debe de costar menos de \$ 2000.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Sistema de adquisición y medición de datos

La adquisición de datos consiste en medir fenómenos físicos como la fuerza y la velocidad por medio de transductores que convierten estos fenómenos en señales eléctricas, la cual dependiendo del tipo de sensor puede ser corriente, voltaje resistencia, etc.

Luego se acondicionan estas señales mediante convertidores analógicos digitales para que se puedan interpretar en un computador y poder procesarlas en un software controlador mediante un software de aplicación el cual facilita la interacción entre la PC y el usuario. A continuación, en la figura 1.1 observamos un diagrama esquemático del proceso. (NationalInstruments, 2018)



Figura 1.1 Esquema de adquisición de datos (NationalInstruments, 2018)

1.4.2 Celdas de carga a base de galgas extensiométricas.

Es un dispositivo transductor, capaz de soportar cargas de tensión, compresión y flexión, este contiene en su interior una célula de carga sobre la que se acopla una galga extensiométrica, las cuales son finos

conductores que mediante un arreglo de puente de Wheatstone (Ver figura 1.2) acondicionan la señal detectando los cambios de resistencia. La fuerza ejercida ya sea en tensión o compresión, disminuirá o aumentará la longitud de estos conductores, variando de esta forma su resistencia eléctrica esto generara un cambio en el voltaje, generando de este modo la transducción obteniendo así la carga ejercida. (Creus, 2010)

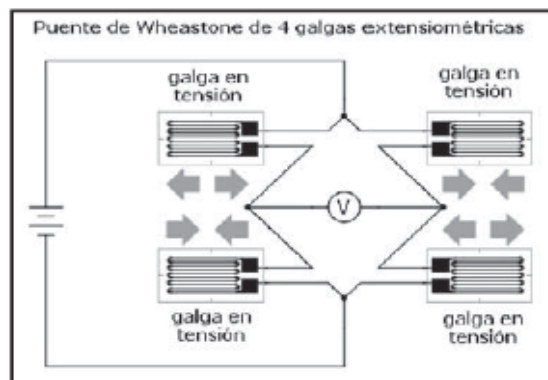


Figura 1.2 Puente de Wheatstone empleado en una celda de carga (Creus, 2010)

1.4.3 Medición de la deformación

La deformación de la probeta está ligado al giro del eje del motor en revoluciones por minuto, de modo que se utiliza sensores de proximidad magnéticos de alcance cercano a un componente móvil el cual puede ser un diente de engrane (Ver figura 1.3), su principio se basa en el cambio de su resistividad ante la presencia de un campo magnético externo inducido. Su precisión es muy alta debido a que detecta cambios en los campos magnéticos originados por movimientos en centésimas de milímetros.

Cada vuelta representa aproximadamente 0,05 mm de desplazamiento del cabezal móvil, el sensor recibirá un pulso por cada vuelta del eje del motor, por lo tanto, la deformación de la probeta será igual a la multiplicación del número de vueltas por 0,05 milímetros. (Creus, 2010)

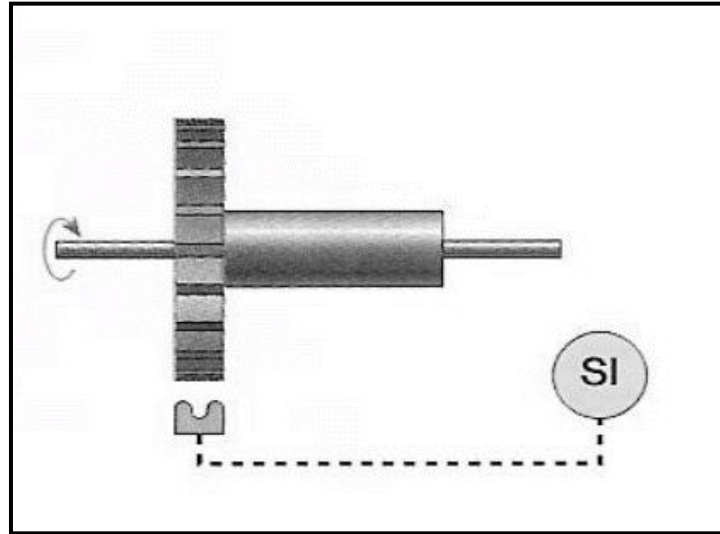


Figura 1.3 Transductor de frecuencia incremental (Creus, 2010)

1.4.4 Máquina Universal de Ensayo de tracción

Permite conocer las principales propiedades mecánicas de los materiales mediante ensayos destructivo de tensión y compresión como: módulo de Young, esfuerzo de fluencia, resistencia ultima de tensión y deformación.

Estas pueden ser hidráulicas o de un sistema de tornillo de potencia. La máquina presente en el laboratorio de mecánica de sólidos consiste en una estructura a la cual se adapta un sistema de tornillo de potencia. Esta funciona en base al accionar de un motor acoplado a un sistema de caja reductora.

En el eje de salida de la caja reductora, se acopla un piñón en la parte superior que está en contacto con 2 engranes iguales de mayor dimensión. Estos son solidarios a dos tornillos de potencia sobre los cuales se desplaza un cabezal móvil, sujeta a ésta se encuentra la celda de carga para la medición de la fuerza aplicada sobre la probeta, ver figura 1.4. (William D. Callister, 1985)

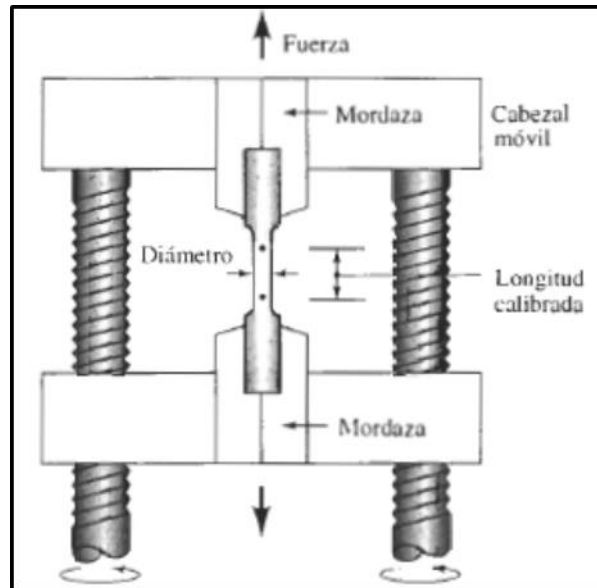


Figura 1.4 Esquema de máquina de ensayo de tensión. (Callister, 1985)

1.4.5 Control de la velocidad

Se utilizará un Variador de frecuencia el cual, es un dispositivo electrónico que permite controlar la velocidad de rotación de motores eléctricos de inducción o corriente alterna. Para esto el variador regula la energía de alimentación antes de que esta llegue al motor, y ajusta la tensión y frecuencia en función del requerimiento. La capacidad de aportar con la energía necesaria que requiere el proceso reduce el consumo de energía entre un 20 y un 70%.

El proceso consiste en recibir un voltaje de corriente alterna (CA) y convertirlo en corriente directa (CD) mediante un rectificador, luego suavizar el voltaje rectificado por medio de un banco de capacitores, reduciendo de esta manera las variaciones de señal.

Posteriormente una unidad de transistores envía pulsos que generan una onda cuadrada de voltaje CD a una frecuencia constante de modo que su promedio sea igual a la onda de frecuencia que se aplicará al motor. (A. E. Fitzgerald, 2004)



Figura 1.5 Variador de frecuencia Sinamics V20. (SIEMENS, 2018)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el diseño del sistema de fuerza y su componente de control se tomaron en cuenta la capacidad física de los equipos y los requerimientos solicitados por el cliente. Para cumplir con estas premisas, fue necesario realizar una evaluación del estado de estos equipos mediante pruebas realizadas bajo normas estándares, posterior el proceso de la metodología de diseño se observa en el diagrama 2.1.

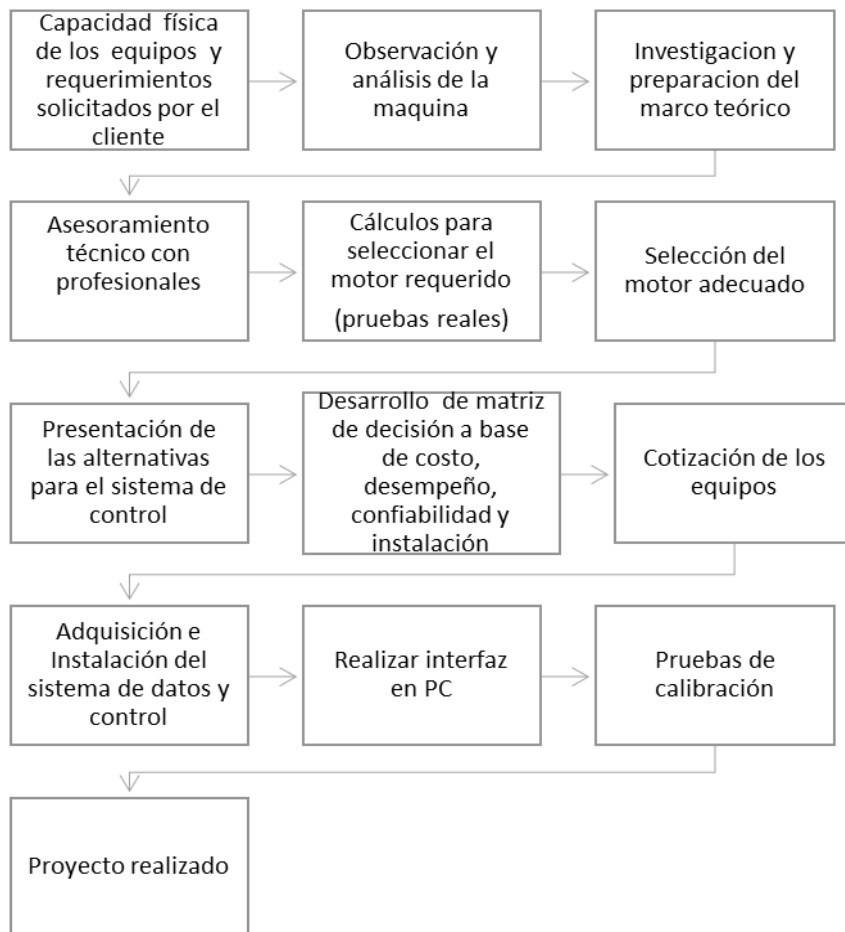


Diagrama 2.1. Esquema de la metodología de diseño

Para el diseño del sistema de adquisición de datos de deformación, se implementó un PLC (Programmable Logic Controller), el cual recibe las señales de la celda de carga como entrada analógica mediante un módulo amplificador y el sensor inductivo el cual envía pulsos generando variaciones de voltaje,

permitiendo así la comunicación de estos dispositivos con la computadora. Para poder procesar estos datos se utilizó el software de programación Wecon PLC Editor V1.3.4, con el cual realizaron las gráficas de esfuerzo versus deformación y poder observar las propiedades del material.

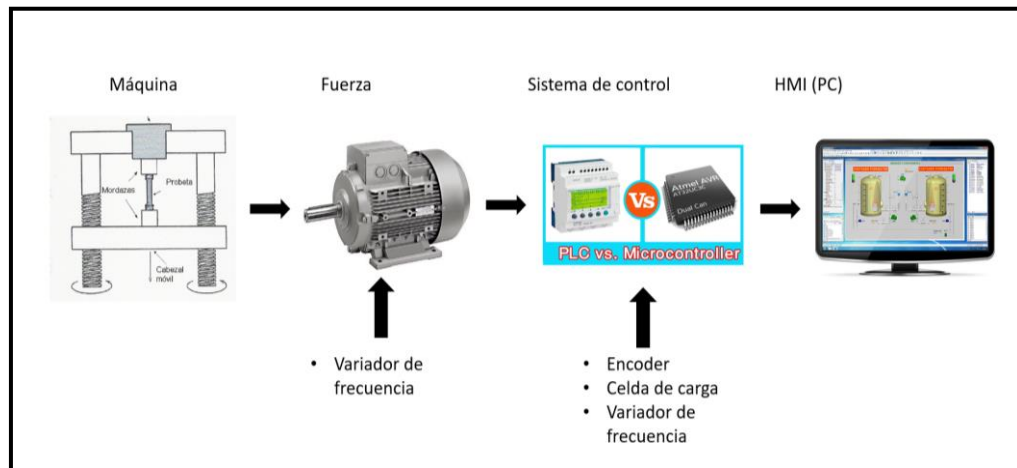


Figura 2.1 Vista macro del proyecto

2.1 Validación de la capacidad de operación del motor

Para la validación de la capacidad del equipo, se efectuó ensayos de tensión a una probeta metálica, de esta manera se verifico la capacidad del motor para generar el torque necesario que cumpla con la carga de diseño, y que su componente de control no afecte el rendimiento de este a la hora de efectuar el ensayo, ya que se trabajaran con frecuencias menores a la nominal.

La siguiente tabla demuestra las especificaciones técnicas de la máquina de ensayo.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la Máquina universal de ensayos

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Modelo	Espol
Carga máxima	10000 kgf (98000 n)
Celda de carga	50000 lbf (222411 n)
Relación de caja reductora	60:1

*Información obtenida directamente de la placa de los equipos.

2.1.1 Prueba experimental del motor instalado actualmente

Para la ejecución de las pruebas de ensayo (Figura 2.1), se procedió a utilizar un esparrago roscado con el objetivo de realizar el ensayo a tensión, debido a que no se encontraban disponibles las mordazas. Además, se realizó la conexión del variador de frecuencia como componente de control del motor trifásico.



Figura 2.2 Pruebas realizadas a diferentes velocidades de rotación

Una vez realizado estos ajustes se procedió a realizar la prueba, utilizando un reloj comparador, un cronómetro y con variaciones de frecuencia hasta alcanzar velocidades del cabezal móvil acordes el manual ASTM para velocidades típicas de ensayo.

El material del esparrago es metálico de modo que para variaciones de frecuencia de hasta 9 Hz se obtuvo una fuerza de 112700 N a una velocidad de 8.96 mm/min (Ver tabla 3.2), el cual se encuentra dentro del rango óptimo de velocidades típicas de ensayos según la norma (0.5 a 20 mm/min) (Ver tabla 2.2).

Tabla 2.2 Velocidades típicas de ensayos mecánicos (ASTM, 2018)

MATERIAL	VELOCIDAD DEL CABEZAL MOVIL (MM/MIN)
Metales	0.5 a 20.0
Plásticos rígidos	5 a 50
Alambres	5 a 50
Elastómeros	200 a 500
Cintas plásticas	10 a 500

2.1.2 Cálculo teórico del motor requerido

Para poder determinar el torque que debe efectuar el motor necesario para levantar la carga de diseño, se tomaron las siguientes consideraciones:

Tabla 2.3 Parámetros del sistema para cálculo de potencia del motor.

Parámetros:	Valor	Unidades
Resistencia última	550000000	Pa
Paso	0.012	m
Factor de fricción	0.18	N/A
Diámetro de paso	0.0902	m
Ángulo de inclinación	14.5	grados
Reducción de velocidad	1/240	N/A
Factor de seguridad		
Torque	1.5	N/A
Velocidad nominal	1740	RPM

Se debe calcular el torque requerido del motor, el sistema de transmisión moverá un tornillo de potencia con rosca ACME, este posee un valor para torque de subida y uno para el torque de bajada, por lo tanto, se usará las siguientes ecuaciones (Nisbett, 2008)

Torque de subida:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) \quad (2.1)$$

$$T_R = \frac{85000 (0.0902)}{4} \left(\frac{0.012 + \pi(0.18)(0.0902) \sec(14.5)}{\pi(0.0902) - (0.18)(0.012) \sec(14.5)} \right)$$

$$T_R = 438.47 \text{ N.m}$$

Torque de bajada:

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m \sec \alpha - l}{\pi d_m + f l \sec \alpha} \right) \quad (2.2)$$

$$T_L = \frac{85000 (0.0902)}{4} \left(\frac{\pi(0.18)(0.0902) \sec(14.5) - 0.012}{\pi(0.0902) + (0.18)(0.012) \sec(14.5)} \right)$$

$$T_L = 271.2 \text{ N.m}$$

Posterior se procedió a calcular el torque requerido del motor, como son dos tornillos de potencia y la reducción de velocidad entre la caja reductora y el juego de engranes da un valor de 240:

$$T_{m=\frac{2T_R}{n}} \quad (2.3)$$

$$T_m = \frac{2 (438.47)}{240}$$

$$T_m = 3.65 \text{ N.m}$$

Tabla 2.4 Eficiencias del sistema.

Eficiencias	Valor
n motor	0.79
n reductor	0.97
n engrane piñón	0.98
n acople motorreductor	0.75
n variador frecuencia	0.95
n total	0.54

Sin embargo, cada equipo posee su eficiencia por lo tanto el torque real será la división entre el torque del motor y el producto final de las eficiencias.

$$T_{m\ real} = \frac{T_m}{n\ total} \quad (2.4)$$

$$T_{m\ real} = 6.83\ N.m$$

Por otro lado, se seleccionó un factor de seguridad de 1.5

$$T_f = T_{m\ real} * f_s \quad (2.5)$$

$$T_f = 6.83 * 1.5$$

$$T_f = 10.24\ Nm$$

Finalmente, la potencia del motor en HP será el siguiente:

$$P = T_f * W_n \quad (2.6)$$

$$P = \frac{10.24 * 1740 * 2 * \pi}{60}$$

$$P = 1865.85\ Watts * \frac{0.00134102\ HP}{1\ watts}$$

$$P = 2.5\ HP$$

Donde:

T_R : Torque requerido de subida

T_L : Torque requerido de bajada

F : Carga aplicada sobre el tornillo

d_m : Diámetro de paso de la rosca

α : Ángulo de la rosca

f : Coeficiente de fricción de la rosca del tornillo

T_m : Torque del motor

$T_{m\ real}$: Torque real del motor

$n\ total$: Producto de las eficiencias de cada equipo

P : Potencia del motor

n : Reducción total

f_s : Factor de seguridad

W_n : Velocidad nominal del motor en RPM

2.2 Diseño de la placa de sujeción

La máquina no posee un sistema de sujeción de la probeta para realizar los ensayos, por lo tanto, se diseñará un sistema de acople para su montaje, este sistema constará de dos placas sujetas al cabezal fijo y móvil de la máquina mediante un perno hexagonal y sobre las cuales se sujetarán las mordazas por medio de dos pernos Allen, el diseño tanto de la placa como de los pernos hexagonales, deberá ser tal que soporten el esfuerzo al que se someterá el sistema.

Cabe destacar que los demás elementos de este sistema pertenecen a una máquina capaz de soportar esfuerzos mayores a la carga de diseño, por lo tanto, no es necesario su rediseño. Para el montaje del sistema de sujeción de la máquina de ensayo de tensión se diseñó una placa de acero la cual estará anclada a la base de la máquina mediante un perno de anclaje, y sobre la cual se sujetarán dos pernos que mantendrán fijo al bloque porta mordazas, Esto lo podemos visualizar en la figura 2.3.

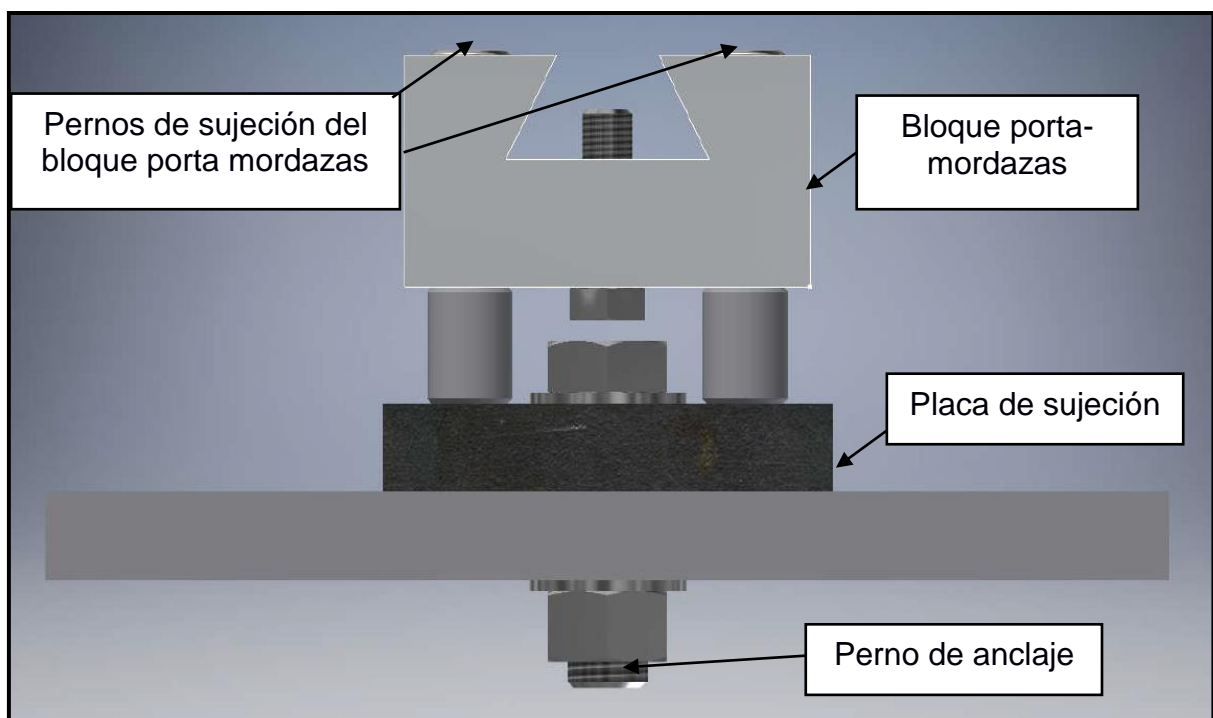


Figura 2.3 Modelado del sistema de sujeción de la máquina de ensayo.

Para el diseño de la placa se tomaron en consideración los siguientes parámetros.

Tabla 2.5 Parámetros y consideraciones para el diseño de la placa

Parámetros		Datos	Unidades
l	Distancia entre los pernos de sujeción del bloque porta mordazas	0.122	m
b	Ancho de la placa	0.1	m
a	Distancia desde el perno de anclaje hasta el perno de sujeción porta mordazas	0.061	m
S_{ut}	Resistencia última del material de la placa	550×10^6	Pa
S_y	Esfuerzo de fluencia de la placa	420×10^6	Pa
E	Módulo de elasticidad	200×10^9	Pa
F	Fuerza ejercida sobre la placa	50000	N

Cabe destacar que el diseño de este elemento resulta de un proceso iterativo, por lo tanto, se realizará una serie de cálculos hasta determinar las dimensiones que satisfaga la carga de diseño. En la figura 2.4 se representa el diagrama de fuerza análogo de la placa para obtener el modelo matemático. (Norton, 2006)

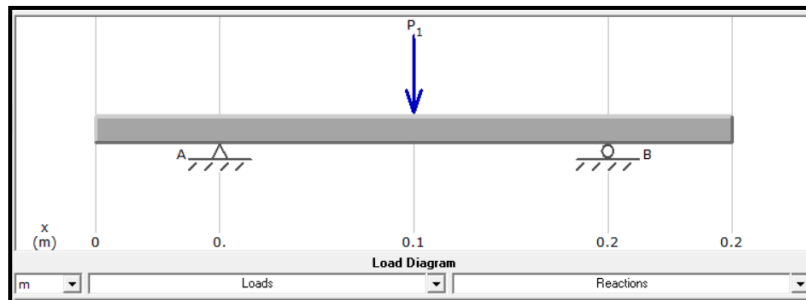


Figura 2.4 Diagrama de fuerzas ejercidas sobre la placa

Se calculó las fuerzas de reacción en los soportes mediante las siguientes ecuaciones:

$$F = 100000 \text{ N}$$

$$R_A = 50000 \text{ N} ; R_B = 50000 \text{ N}$$

Para determinar el momento, por simetría se tomó una de las reacciones multiplicado por la distancia donde esta actúa, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$M = \frac{F}{2}(l - a) \quad (2.7)$$

$$M = 50000x(0.122 - 0.061) = 3050 \text{ N.m}$$

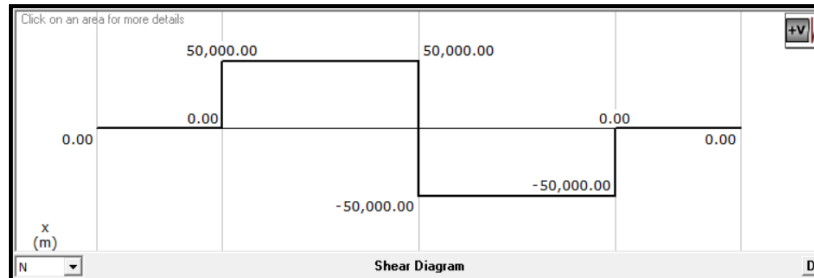


Figura 2.5 Diagrama de fuerza cortante

En la figura 2.6 se representa el momento máximo actuando en el centro de la placa.

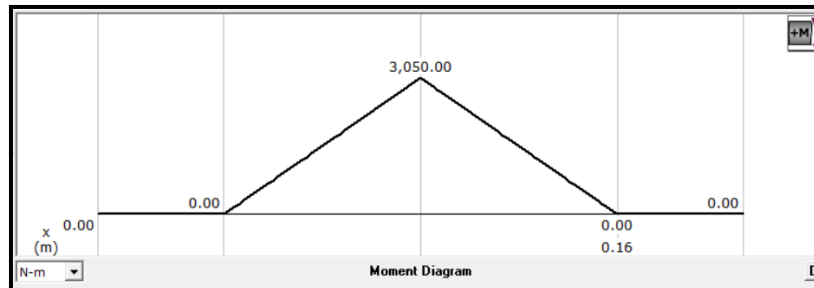


Figura 2.6 Diagrama de momento flector

Es necesario la determinación del momento de inercia de la sección transversal de la placa, debido a que estos valores son los que definirán sus dimensiones:

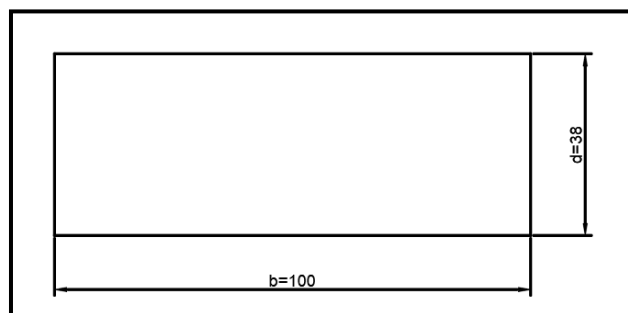


Figura 2.7 Dimensiones de sección transversal de la placa

$$I = \frac{bd^3}{12} = \frac{0.1(0.038)^3}{12} \quad (2.8)$$

$$I = 4.5727 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Se determina el esfuerzo nominal flexionante, de la siguiente manera:

$$\sigma_{nom} = \frac{Mc}{I} \quad (2.8)$$

$$c = \frac{d}{2} = \frac{0.038}{2} = 0.019 \text{ m}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{3050(0.019)}{4.5727 \times 10^{-8}} = 1.27 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Se calcula el esfuerzo alternativo de von Mises, para este caso es igual al esfuerzo nominal:

$$\tau_{ab} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.9)$$

$$\tau_{ab} = \sqrt{\left(\frac{1.27 \times 10^8 - 0}{2}\right)^2 + 0}$$

$$\tau_{ab} = 63.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1a}, \sigma_{3a} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \tau_{ab} \quad (2.10)$$

$$\sigma_{1a}, \sigma_{3a} = \frac{1.27 \times 10^8 + 0}{2} \pm 63.5 \times 10^6$$

$$\sigma_{1a}, \sigma_{3a} = 1.27 \times 10^8 \text{ Pa}, 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2} \quad (2.11)$$

$$\sigma' = \sqrt{(1.27 \times 10^8)^2 - 1.27 \times 10^8(0) + 0}$$

$$\sigma' = 127 \text{ MPa}$$

El límite de resistencia a la fatiga se determina a continuación:

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (2.12)$$

$$S'_e = 0.5(5.5 \times 10^8)$$

$$S'_e = 275 \text{ MPa}$$

El límite de resistencia a la fatiga corregido se calculó con la determinación de varios factores de corrección como son de carga, superficie, temperatura, confiabilidad, tamaño (Norton, 2006), de modo que:

Tabla 2.6 Factores de corrección para el límite de resistencia a la fatiga

Factores de corrección	Determinación	Valores
C_{carga}	Prueba de fatiga de flexión	1
C_{sup}	Maquinado o rolado en frío $C_{sup} = A(S_{ut})^b = 4.51(550 \times 10^6)^{-0.265}$	0.845
C_{temp}	Para $T \leq 450^\circ\text{C}$ (840°F)	1
C_{conf}	% de confiabilidad de 99.9	0.753
$C_{tamaño}$	$C_{tamaño} = 0.869(d_{equiv})^{-0.097}$	0.9

De modo que el límite corregido de resistencia a la fatiga se determina de la siguiente manera:

$$S_e = C_{carga} C_{sup} C_{temp} C_{conf} C_{tamaño} S'_e \quad (2.13)$$

$$S_e = C_{carga} C_{sup} C_{temp} C_{conf} C_{tamaño} S'_e$$

$$S_e = 1(0.845)(1)(0.753)(0.9)(275 \times 10^6)$$

$$S_e = 157 \text{ MPa}$$

Determinamos el factor de seguridad:

$$N_f = \frac{S_e}{\sigma'} = \frac{157 \times 10^6}{127 \times 10^6} = 1.24 \quad (2.14)$$

Y la deflexión de la viga con la siguiente ecuación:

$$y = \frac{F}{6EI} (l^3 - 3al^2 - (l - a)^3) \quad (2.15)$$

$$y = \frac{50000}{6(200 \times 10^9)(4.5727 \times 10^{-8})} (0.1^3 - 3(0.061)(0.1)^2 - (0.1 - 0.061)^3)$$

$$y = 0.08 \text{ mm}$$

Donde:

σ_{nom} : Esfuerzo nominal flexionante

M : Momento máximo flexionante

c : Distancia al eje neutro

d : Espesor de la placa

I : Momento de inercia

σ' : Esfuerzo alternativo de von Mises

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga sin corregir

S_e : Límite corregido de resistencia a la fatiga

N_f : Factor de seguridad

y : Deflexión de la viga

2.3 Diseño del perno de anclaje

Para seleccionar el perno de sujeción del sistema, el cual tiene las características de la tabla 2. este recibirá toda la carga máxima de 85000 N, se realizaron los siguientes cálculos. (Norton, 2006)

Tabla 2.7 Propiedades del perno

Datos del Perno		
Carga	10204.08	lbf
Sp	105000	psi
Lp	3.503937	in
l	2.992126	in
E	30000000	psi
Sy	115000	psi

Para calcular, seleccionar la dimensión y el tipo de perno adecuado para nuestra situación, de la guía del libro de Norton, se realizó los siguientes cálculos. Se calculó la precarga que entra el perno al ser sometido a presión:

$$F_i = 0.9 S_p A_t \quad (2.16)$$

Donde:

F_i , representa la precarga en el perno

S_p , resistencia de prueba

A_t , el área de esfuerzo a tensión

Se calculó las longitudes de la cuerda L_c , representando la longitud de rosca y la longitud del vástago L_s , la longitud sin rosca.

$$L_c = 2d + 0.25 \quad (2.17)$$

$$L_s = L_p - L_c \quad (2.18)$$

$$L_t = L_p - L_c \quad (2.19)$$

Donde:

L_p , es la longitud del perno

d , es el diámetro del perno

L_t , longitud total de la zona de sujeción

Posterior se calculó la rigidez del perno, K_b :

$$\frac{1}{K_b} = \frac{L_t}{A_t E} + \frac{L_s}{A_b E} \quad (2.20)$$

Donde:

E , representa el módulo de Young del perno.

Se procedió a calcular la rigidez del material K_m :

$$K_m = \frac{\pi(D^2 + d^2)E_m}{4l} \quad (2.21)$$

Donde:

l , representa el espesor del material

E_m , representa el módulo de Young del material.

Finalmente, el factor de rigidez 'C', se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{K_b}{K_m + K_b} \quad (2.22)$$

Conociendo el factor de rigidez se calcula la carga que experimenta el perno y el material P_b y P_m respectivamente.

$$P_b = CP \quad (2.23)$$

$$P_m = (1 - C)P \quad (2.24)$$

Se procedió a calcular las cargas resultantes en el perno y material F_b y F_m respectivamente.

$$F_b = F_i + P_b \quad (2.25)$$

$$F_m = F_i - P_m \quad (2.26)$$

El esfuerzo máximo de tensión que resiste el perno es de:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (2.27)$$

Finalmente se calculó el factor de seguridad contra la fluencia:

$$N_y = \frac{S_Y}{\sigma_b} \quad (2.28)$$

En la (figura 3.1) se presentan dos orificios roscados donde se alojarán los pernos de sujeción del bloque porta mordazas, debido a que el material de la placa es más débil que el material de los pernos será necesario calcular la longitud de atornillado para conseguir por lo menos la resistencia del perno.

Por lo tanto, la longitud necesaria de atornillado es:

$$L_e = \frac{S_{utB}(2A_{tB})}{S_{utN}\pi OD_{Bmín}(0.5 + 0.57735)n(OD_{Bmín} - PDN_{máx})} \quad (2.29)$$

S_{utB} : Resistencia última de tensión del perno

S_{utN} : Resistencia última de tensión de la placa

$OD_{Bmín}$: Diámetro mínimo exterior de la rosca del perno

$PDN_{máx}$: Diámetro paso máximo de la rosca de la placa

n : Número de roscas por pulgada

A_{tB} : Área del perno para esfuerzo de tensión

2.4 Probeta de acero para hacer los ensayos

Las probetas de ensayo a tensión no pueden tener cualquier tamaño, estas están bajo la norma ASTM E8 / E8M-09, en la cual indica las dimensiones de la probeta, espesor, ancho de la sección de agarre, ancho de la sección de rompimiento, longitud de agarre y longitud total (figura 2.8). (ASTM, 2018)

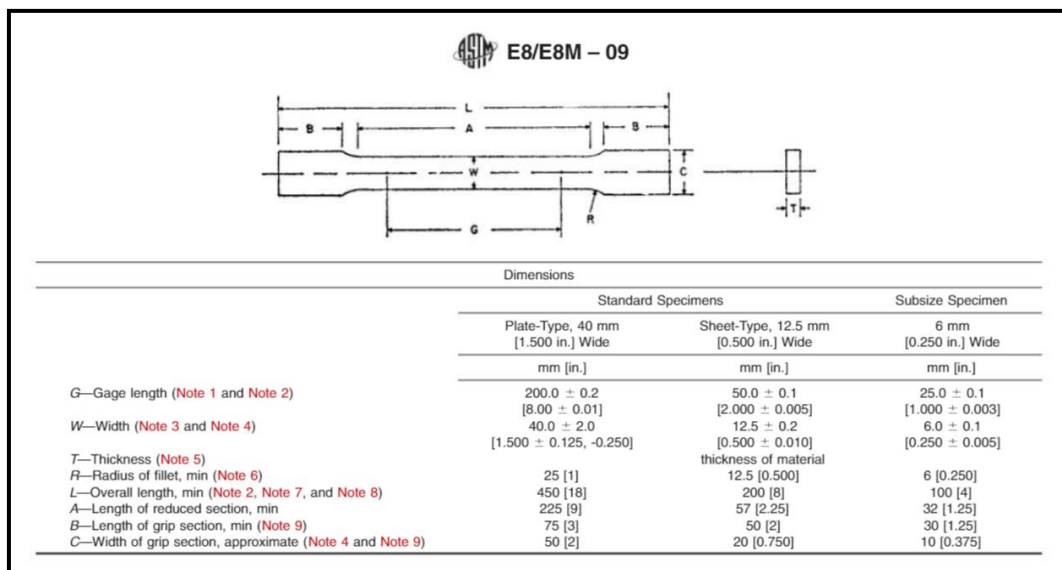


Figura 2.8 Dimensiones de probetas según norma ASTM E8 (ASTM, 2018)

Cumpliendo los rangos de la norma ASTM E8, la dimensión de la probeta seleccionada para los ensayos, se la aprecia en la siguiente figura:

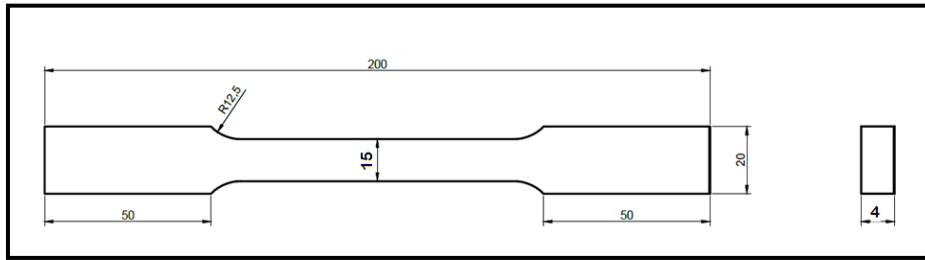


Figura 2.9 Dimensiones de probeta para el ensayo

2.5 Diseño del sistema de control

El equipo consta con un sistema solo de medición de fuerza, el cual la celda de carga envía la información a un amplificador y este por medio de comunicación serial RS232 envía a la computadora, lo cual ya es algo antiguo por lo tanto se planteó el objetivo de realizar un sistema de medición y adquisición de datos tanto de deformación y esfuerzo, por lo tanto se realizó dos matrices de decisión, una para seleccionar el equipo adecuado para el control entre PLC o Microcontrolador y para seleccionar el sensor correcto para medir la deformación, un sensor inductivo o un sensor óptico.

2.5.1 Matrices de decisión

Para tomar la mejor decisión al elegir cada equipo o instrumento que usara nuestro proyecto final, usaremos el método de la matriz de decisión, con lo siguiente criterios:

- Desempeño. Se evalúa el rendimiento del equipo y su capacidad, representa el 20%.
- Costo. Se evalúa los mejores precios en distintos proveedores, marcas y recomendaciones, representa el 40%.
- Instalación. Se evalúa la facilidad de colocar, montar, instalar y movilizar los equipos, representa el 10%.
- Confiabilidad. Se evalúa la precisión de cada equipo, observando su resolución, representa el 30%.

2.5.1.1 Matriz de decisión para medir la deformación

Para medir la deformación de la probeta se usará un sensor el cual medirá el desplazamiento angular del motor y conociendo tanto experimental y teóricamente la reducción de 1/240 y el paso del tornillo de potencia, se calcula el desplazamiento vertical del tornillo de potencia lo cual representa la deformación.

Tabla 2.8 Matriz de decisión, Medición de la deformación

Equipos		Desempeño	Costo	Instalación	Confiabilidad	Rango
	Factor de ponderación	0.2	0.4	0.1	0.3	1
Sensor Óptico	Alternativa 1	3	5	7	5	4.8
Sensor Inductivo	Alternativa 2	7	3	5	9	5.8

Observando la gráfica podemos concluir que el sensor Inductivo para nuestro requerimiento es el más apto para la situación, superando al óptico por un punto, esto se debe a que su desempeño es superior, posee mayores alcances, más rapidez y más potente, el costo del óptico es menor por lo que su desempeño es menor, por otro lado el punto más importante es la confiabilidad el cual el inductivo es un sensor industrial y está diseñado para medir a bajas resoluciones.

2.5.2 Matriz de decisión para el Sistema de control

Se requiere medir los datos de dos sensores, sensor de fuerza y de revolución, los valores adquiridos serán guardarlos en un vector para luego ser procesados, para esto necesitamos un sistema de control o cerebro, se tiene dos alternativas un PLC o un microcontrolador.

Tabla 2.9 Matriz de decisión, Sistema de control

Equipos		Desempeño	Costo	Instalación	Confiabilidad	Rango
	Factor de ponderación	0,2	0,4	0,1	0,3	1
PLC	Alternativa 1	9	5	9	9	7,4
MICRO	Alternativa 2	5	9	3	5	6,4

Observando la tabla se concluye que el microcontrolador para nuestra situación es la mejor alternativa superando al PLC, esto se debe a que el costo prevalece y comparando ambos económicamente el PLC posee un alto precio por otro lado el PLC posee mejores características por lo que está diseñado para proyectos de mayor escala.

Con los resultados de la matriz de decisiones se concluyó que el equipo final usara un sensor inductivo para medir la deformación, un PLC para el sistema de control, una celda de carga existente, un motor de 2 HP existente, y un variador de frecuencia marca siemens con entrada monofásica y salida trifásica. El PLC recibirá los valores de los dos sensores y ejecutará el programa, realizando la gráfica esfuerzo vs deformación.

2.5.2.1 Instalación del sensor inductivo

El sensor inductivo mide las revoluciones del eje del motor, este por medio de un acople rígido se conecta al eje de la caja reductora, el acople se le hizo 1 perforación roscada y se colocó 1 perno, con el objetivo de usarlo para que el sensor mida pulsos cada 360 grados al momento de que el perno pase totalmente adelante del sensor a menos de 5mm. Se determinó de forma experimental que una vuelta total de giro del eje del motor representa 0,046 mm, se realizaron pruebas en las cuales se hizo rotar el eje y con un reloj comprador se observó el desplazamiento del cabezal móvil.



Figura 2.10 Acople rígido y sensor con 1 perno para hacer interferencia.

El sensor inductivo que utilizaremos para recibir los pulso y poder medir las revoluciones será el siguiente:



Figura 2.11 Sensor Inductivo

Características Principales:

Marca: HANYOUNG

Modelo: UP18RM-5P (PNP)

Distancia de sensor: 5 mm

Rango de medida: 0 – 4 mm

Histéresis: menos del 10%

Fuente: 12 – 24 V DC

Respuesta de frecuencia: 360 Hz

2.5.3 PLC utilizado para el sistema de adquisición de datos

Con los resultados de la matriz de decisión del sistema de adquisición de datos, se decidió que el equipo a utilizar es un PLC, normalmente las marcas conocidas de estos poseen un alto valor monetario por lo tanto se eligió una marca más económica, bajo el presupuesto ofrecido por la FIMCP.



Figura 2.12 PLC WECON

Marca: Wecon

Modelo: LX3VP-1212MR2H

Puerto: RS422 y RS485

Protocolo: 2N no protocolo, LX3VP.

2.5.4 Módulo de pesaje

Las celdas de carga no se las puede conectar directo a un PLC porque debido a la configuración de puente de Wheatstone se genera una pequeña variación de voltaje en unidades de milivoltios, por lo tanto, es necesario amplificarlos y por eso el módulo desempeña esa función.



Channel: Signal Channel
A/D converter: 24-bit A/D
Resolution: 24 bit
Velocidad: 7.5/10/25/50/60/150/300 Hz
Polaridad: Bipolar

Figura 2.13 Módulo de pesaje

2.5.5 Programación del software controlador

El sistema de control usara dos softwares, uno para programar el PLC 'Wecon PLC Editor' y otro para programar la pantalla HDMI llamado 'LeviStudioU' ambos libres de descarga desde la página Wecon.

El PLC posee un lenguaje común de programación llamado escalera, el código realizado se divide en tres secciones, programación de la celda de carga, conteo de los pulsos del sensor inductivo y acumulador del desplazamiento. (A. E. Fitzgerald, Máquinas Eléctricas, 2004)

El código de la balanza que va a medir la fuerza por medio de la celda de carga (figura. 2.14.) en su primera línea el código *M8000*, su función es obtener el peso actual censado, las siguientes tres líneas de código corresponden a la calibración de la balanza, este código permite borrar el peso actual medido y colocar un peso conocido, esto se lo realiza mediante la pantalla HMI (WECON Technology Co., Wecon, 2018)



Figura 2.14 Programación en escalera de la celda de carga

El código del conteo de pulsos (figura. 2.15), el comando *X002*, recibe el pulso del sensor inductivo y toma un valor de fuerza simultáneamente, por medio del comando *INC* se realiza el conteo acumulando la distancia de desplazamiento, posterior el valor de la fuerza *D0* se multiplica por la gravedad *K10* y se divide para el área de la probeta *D6*, finalmente el valor de esfuerzo se guarda en *D7* (WECON Technology Co., Wecon, 2018)

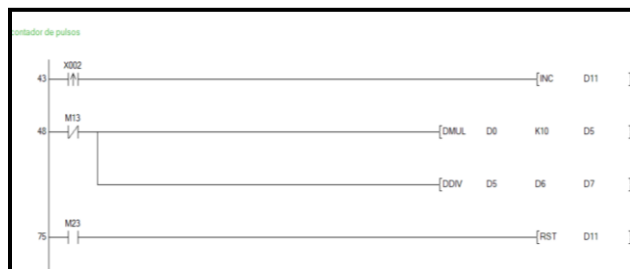


Figura 2.15 Programación en escalera del sensor inductivo

Finalmente, el programa para acumular pulsos y de tal manera lograr medir el desplazamiento total de una probeta el momento de ser sometida a tensión (figura. 2.14), se comentó que cada pulso corresponde a una vuelta total eje del motor y esta representa 0,046 mm al cabezal móvil, por lo tanto en la programación se realiza un conteo de cada pulso y al final de lo multiplica por la constante de 0,046 y se logra medir la deformación total de una probeta, donde el *D11* es una variable que recibe los pulsos y los acumula y al final con el comando *DMUL* realiza la multiplicación y se acumula ese valor en la variable *D13* el valor final del desplazamiento. (WECON Technology Co., Wecon, 2018)

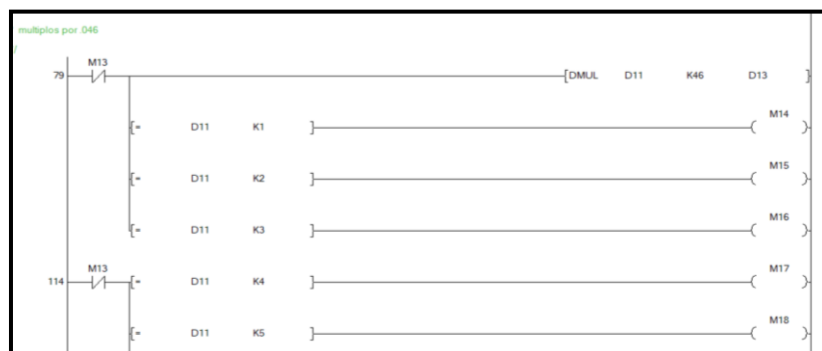


Figura 2.16 Programación en escalera del acumulador de desplazamiento

Posterior para subir el programa en el PLC se debe llevar le siguiente procedimiento, se debe copilar el programa en el botón seleccionado en la (figura 2.15), el cual revisará el programa y si algún código esta erróneo, nos indicara, si no nos mostrara que el programa ha sido copilado correctamente.

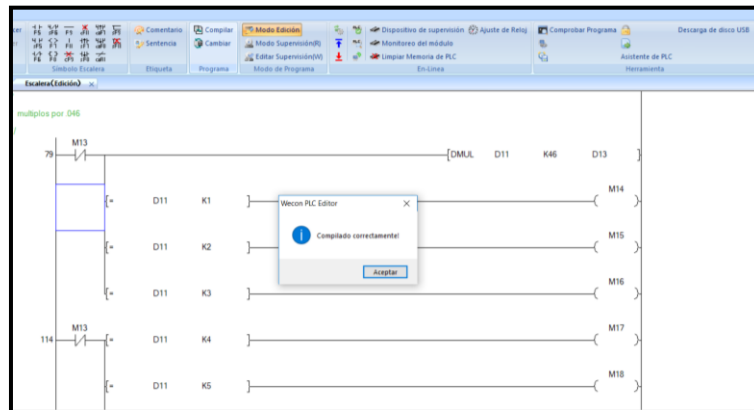


Figura 2.17 Copilando el programa

Se debe verificar que la PC reconozca el PLC, por lo tanto, se debe tener un driver de USB a serial, el cual permitirá la comunicación entre estos, posterior para verificar su conexión se selecciona modo edición como en la (figura 2.15), se coloca el tipo de conexión y test de conexión, si el PLC está conectado dará un mensaje de conexión exitosa.

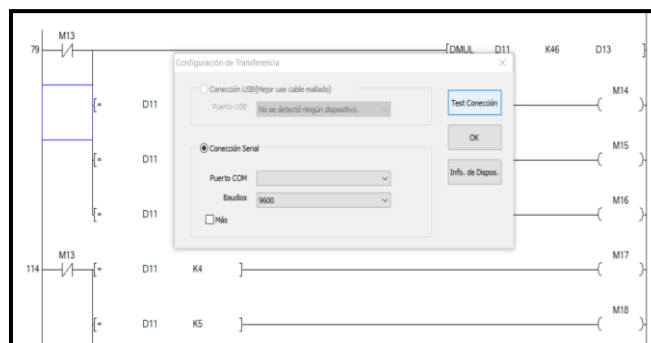


Figura 2.18 Reconociendo PLC en la PC

Finalmente, para subir el programa en el PLC, se selecciona la flecha roja, el comando de enviar la información al PLC, se selecciona parámetros, programas y se ejecuta.

Se utilizo una pantalla HMI para ingresar datos y para mostrar los resultados, su configuración consiste en modificar las pantallas, esta posee cuatro pestañas, se colocó una pantalla que muestra los valores de fuerza y desplazamiento figura 2.16.



Figura 2.19 Mostrando fuerza y desplazamiento

Una pestaña organiza en columnas las variables adquiridas que son fuerza y desplazamiento, esta también permite desde la pantalla descargar los datos adquiridos por un puerto USB en un pendrive figura 2.17

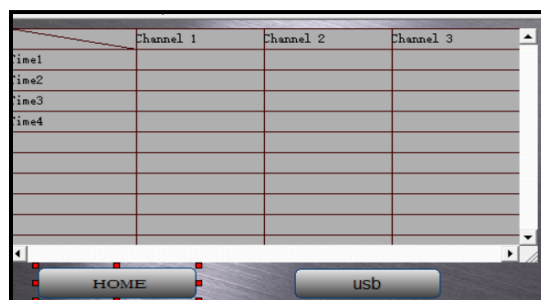


Figura 2.20 Mostrando fuerza y desplazamiento

En la figura. 2.18 presenta la pestaña para realizar la calibración del equipo siempre antes de iniciar un ensayo a tensión, esto permite no obtener datos aberrantes.



Figura 2.21 Pestaña de calibración

Finalmente para subir el programa a la pantalla HMI se selecciona 'compile' en la barra de herramientas, este comando verifica que el programa este correcto, si tiene un error te lo indica, posterior se selecciona el comando 'Download', el cual abre una pestaña, se mantiene presionada la pantalla del HMI del lado derecho superior los cual realiza un 'Setup', se desconecta, se conecta el cable USB y este lo reconoce, se selecciona 'Advance setting' la cual abre más opciones, entre estas se selecciona *recipe editor*, *data record*, *latched address*, *data record setting* y *alarma*, se procede a presionar el botón *PC a HMI*, lo cual sube la programación a la pantalla HMI

2.6 Montaje de los equipos sobre el tablero eléctrico

Para el montaje de los equipos sobre el tablero eléctrico se acopló dos rieles y cinco canaletas (figura 2.22.), sobre los rieles se acoplaron los equipos como el plc, el módulo, un contactor y las borneras riel (figura 2.23.). Las canaletas cumplen la función de cubrir los cables necesarios para realizar las conexiones entre los diferentes equipos.

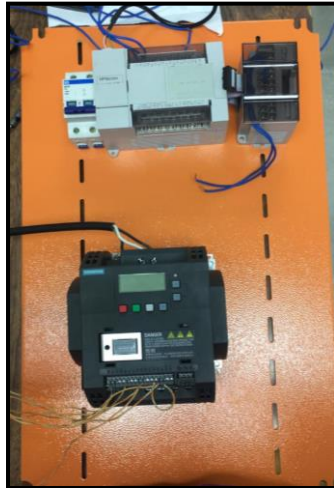


Figura 2.22 Distribución de equipos sobre tablero



Figura 2.23 Instalación de rieles y canaletas



Figura 2.24 Distribución de botones y pantalla sobre caja

Una vez realizada la distribución de los equipos sobre el tablero, se procedió a realizar las diferentes conexiones entre ellos para finalmente sellar las canaletas, dejando cubierta todas las conexiones. Luego se realizaron las perforaciones necesarias para la instalación de la pantalla y los switches de control y el botón de paro de emergencia (figura 2.24.)

Finalmente se montó el tablero sobre la caja (figura 2.25) y se procedió a alimentar el sistema con el objetivo de realizar las pruebas de puesta en marcha de los equipos.



Figura 2.25 Ubicación de equipos sobre caja eléctrica.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1.1 Sistema de fuerza de la máquina

Se verificó la capacidad del motor instalado en la máquina de manera práctica y teórica, se presentó que a bajas revoluciones el rendimiento del motor disminuyó, con el objetivo de que el cabezal móvil se desplace a una velocidad promedio de 10 mm/s, se utilizó el variador de frecuencia bajando de 60 Hz a 10 Hz y logrando dicha velocidad, de modo teórico se presentó lo siguiente:

Tabla 3.1 Tabla de resultados de cálculos teóricos del motor

Diámetro (m)	Área (m^2)	F(N)	T_r (Nm)	T_l (Nm)	T_m (Nm)	$T_{m\ real}$ (Nm)	T_f (Nm)	Potencia (Watts)	P (HP)
0.008	5.02655E-05	27646.02	143.18	88.55	1.19	2.23	3.34	609.46	0.82
0.01	7.85398E-05	43196.90	223.71	138.37	1.86	3.48	5.23	952.28	1.28
0.012	0.000113097	62203.53	322.14	199.25	2.68	5.02	7.53	1371.29	1.84
0.014	0.000153938	84665.92	438.47	271.20	3.65	6.83	10.24	1866.47	2.50
0.016	0.000201062	110584	572.70	354.22	4.77	8.92	13.38	2437.84	3.27
0.019	0.000283529	155940	807.60	499.50	6.73	12.58	18.87	3437.74	4.61

Al realizar los cálculos teóricos para seleccionar el motor adecuado se identificó que a 1740 RPM el motor que se necesita es de 2.5 HP a 60 Hz, pero experimentalmente, el motor debe rotar a 10 Hz para cumplir la velocidad de desplazamiento del tornillo de potencia.

Por lo tanto, se realizó la parte experimental, en la cual con un reloj comparador se midió el desplazamiento del cabezal móvil y con un cronómetro se midió el tiempo del desplazamiento y se calculó la velocidad promedio.

Tabla 3.2 Velocidades a diferentes frecuencias de operación del motor.

Frecuencia (Hz)	Fuerza (N)	Velocidad (mm/min)
5	48314	4.97
5	49000	5.25
5	44345	6.10
5	47628	5.80
6	56644	6.60
6	55860	6.49
6	58310	6.66
7	71785	7.93
7	72226	7.83
7	72030	8.07
8	90483	8.05
8	94080	8.30
8	92708	8.56
9	112700	8.96

Al realizar las pruebas experimentales con el motor de 2HP a 10 Hz podemos observar en la Tabla 3.2 que la fuerza dada por la celda de carga de 112700 N supera la fuerza requerida por el diseño de 85000N, lo cual nos da un factor de seguridad superior a 1, por lo tanto, el motor instalado satisface el requerimiento de la carga máxima, por lo tanto, el motor que se utilizará es el siguiente:

Tabla 3.3 Datos técnicos del motor requerido

Marca	Leroy-Sommer
Modelo	LS90L2
Potencia	2 HP
Velocidad nominal	1740 RPM
Frecuencia	60 Hertz
Voltaje	220 – 440 V
Amperaje	3.3 – 6.6 A
Eficiencia	79%

Por lo tanto, los rangos a que la máquina deben trabajar para estar bajo las normas INEN, y cumplir su propósito son los siguientes:

Tabla 3.4 Rangos de operación

Magnitud	Rango de trabajo
Velocidad de desplazamiento del cabezal	0.5 – 20 mm/min
Fuerza máxima	85000 N
Rampa de aceleración	5 s

3.2 Sistema de sujeción de la mordaza

Se realizó el proceso iterativo en el diseño de la placa empezando con un espesor de placa de 20 mm hasta 50 mm, como se puede observar en la tabla 3.5, el esfuerzo nominal disminuye conforme aumenta el espesor, de tal manera que el factor de seguridad aumenta.

El diseño falla cuando el factor de seguridad es menor que uno; por lo tanto, a partir del espesor de 38 mm se considera un valor confiable. De modo que se elegirá este espesor para el acople del sistema de sujeción.

Tabla 3.5 Datos de iteraciones para determinación de geometría de la placa

Espesor (m)	Inercia m ⁴	Esfuerzo Nominal Mpa	Nf	Deflexión (m)	Deflexión mm
0.02	6.667E-08	4.58E+08	0.34	-5.56E-04	0.56
0.025	1.302E-07	2.93E+08	0.54	-2.85E-04	0.28
0.03	2.25E-07	2.03E+08	0.77	-1.65E-04	0.16
0.035	3.573E-07	1.49E+08	1.05	-1.04E-04	0.10
0.038	4.573E-07	1.27E+08	1.24	-8.10E-05	0.08
0.04	5.333E-07	1.14E+08	1.38	-6.95E-05	0.07
0.045	7.594E-07	9.04E+07	1.74	-4.88E-05	0.05
0.05	1.042E-06	7.32E+07	2.15	-3.56E-05	0.04

En la figura 3.1 se visualiza las dimensiones de la placa que garantiza un buen desempeño en vida infinita para la carga de diseño especificada.

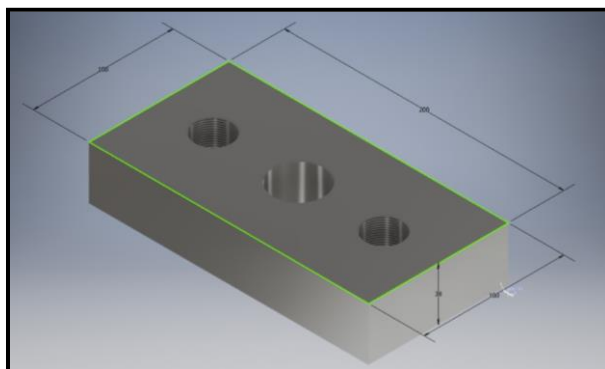


Figura 3.1 Dimensiones finales para placa de acople.

3.3 Perno seleccionado

El perno que junta la mesa con la base de la mordaza recibe toda la fuerza de tensión, se realizó los cálculos indicados en el capítulo 2, como resultado se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 3.6 Tabla selección del perno

N	Darandela (in)	Diametro perno(in)	fi (Lbf)	C	Pb (lbf)	Pm (lbf)	Fb (lbf)	Fm (lbf)	EsfuerzoMax (psi)	Ny
10	1,00	0,75	31626,71	0,53	5425,47	4778,616	37052,17	26848,09	110711,2	1,04
9	1,13	0,88	43660,15	0,57	5827,61	4376,467	49487,77	39283,69	107113,6	1,07
8	1,25	1	57276,74	0,60	6150,18	4053,898	63426,93	53222,85	104647,1	1,10
7	1,38	1,125	72172,91	0,63	6406,56	3797,523	78579,47	68375,38	102888,5	1,12
7	1,50	1,25	91629,63	0,65	6680,63	3523,456	98310,26	88106,18	101389,9	1,13

Se realizó iteraciones de diferentes diámetros desde 3/4 pulgadas hasta 1 ½ pulgadas, se identificó que un perno de 1 ¼ pulgadas, obtiene un factor de seguridad de 1,13 superior a 1, por lo tanto, este será el perno con el que se va a trabajar.

Tabla 3.7 Perno seleccionado, especificaciones técnicas (SAE)

Tipo	Perno de anclaje
Grados	8
Intervalos del tamaño del diámetro externo	0.25 – 1.5 in
Resistencia de prueba mínima	120 Kpsi
Resistencia a la fluencia mínima	130 Kpsi
Resistencia a la tensión mínima	150 Kpsi
Material	Aleación al medio carbono Q&T

3.3.1 Longitud necesaria de atornillado

De este modo la longitud necesaria para el atornillado es de aproximadamente 15 mm, y como la placa de sujeción tiene un espesor de 38 mm no se presentará ninguna dificultad a la hora de desempeñar la máquina los ensayos (Tabla 3.8.)

Tabla 3.8 Datos de parámetros para determinación de longitud de roscado

Longitud necesaria de atornillado					
Datos Perno			Datos del material de la tuerca		
Sutb	105000	psi	Sutm	79800	psi
Odbmin	1	plg	Pdmmax	0.918898	plg
n	8				
Atb	0.606	plg ²			

	0.580406	plg
Le	14.74232	mm

3.4 Equipos seleccionados para el sistema de control

Finalmente, los equipos a utilizar en el sistema de control, basado con la matriz de decisión, para el cerebro a utilizar y los sensores requeridos, se lo aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 3.9 Equipos del sistema de control

Equipo	Detalle
Pantalla	Wecon, HMI estándar LEVI2043T
Módulo de expansión	Wecon LX3V-8EYR i/o PLC
PLC	Wecon, LX3VP-1212MR2H
Sensor Inductivo	HANYOUNG, UP18RM-5P (PNP), 5 mm
Celda de Carga	INSTRON, 1220.AF, 50000 Lbs, 4.0 Mv/v
Variador de frecuencia	Siemens, 2HP, 1F, 200V

3.5 Probetas utilizadas para la práctica

Para la construcción de las probetas, se compró una planilla de acero de 6 metros de longitud, de 2,54 cm de ancho y 4 mm de espesor, con la cual se

obtuvo 30 probetas se las corto en pedazos de 200m y se las maquinó con una maquina limadora y una chuchilla en el taller de tecnologías, se cortó la planilla con las dimensiones indicadas en la figura 2.9. Los resultados se observan en la (figura 3.2.)



Figura 3.2 Probeta fabricada para los ensayos

3.6 Interfaz de medición y adquisición de datos

El PLC marca WECON recibe dos entradas una digital por medio de un sensor inductivo marca HANYOUNG, logra medir pulsos por revolución y así con una ecuación de transformación de desplazamiento angular a desplazamiento lineal, de esta manera se logra calcular la deformación y una variable analógica por medio de una celda carga marca INSTRON, donde un módulo de pesaje marca WECON transforma la señal para que el PLC pueda recibir y procesar los datos.

Al momento de encender el equipo la pantalla HMI presenta la siguiente ventana (figura 3.3.) donde se observa los datos de fuerza por cada 0,046 mm, posee la opción de reiniciar los datos, es decir borrar todos y un botón para colocar en cero la balanza, ante de iniciar un ensayo. Este posee en total 4 ventanas, la primera la presente, la segunda para realizar una calibración, la segunda muestra los resultados en una tabla, la tercera muestra las curvas de las variables con respecto al tiempo, y la cuarta muestra información de contacto con los creadores del programa.



Figura 3.3 Ventana principal de la pantalla HMI

Al momento de subir el programa desde la PC a la pantalla HMI se debe realizar la calibración se coloca un peso conocido, en la celda de carga, si esta muestra un valor distinto, se coloca el peso conocido en la opción de *cal zero*, se presiona el botón *guardar el peso a calibrar*, y con esto se calibra la balanza. (figura 3.4.)



Figura 3.4 Ventana de calibración

Al momento de realizar el ensayo la pantalla HMI marca WECON adjunta los datos, la ventana *Data* se presentan en tres columnas, hora, desplazamiento y fuerza, por medio de un puerto USB se coloca un pendrive y se adquiere un archivo en formato CSV, aplastando el botón *USB*.

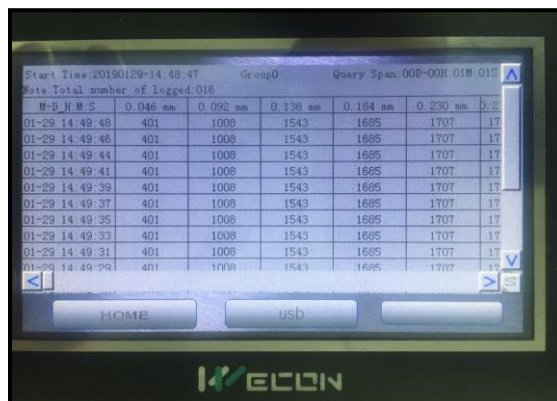


Figura 3.5 Ventana de DATA

Se coloca el Pendrive en la computadora, desde el programa *LeviStudioU*, Se selecciona la pestaña *DataLog* (figura 3.6), se selecciona el archivo del pendrive se lo abre este presenta la table y se lo guarda con la opción *save normal csv (C)* en la carpeta a gusto del operador (figura 3.7.)

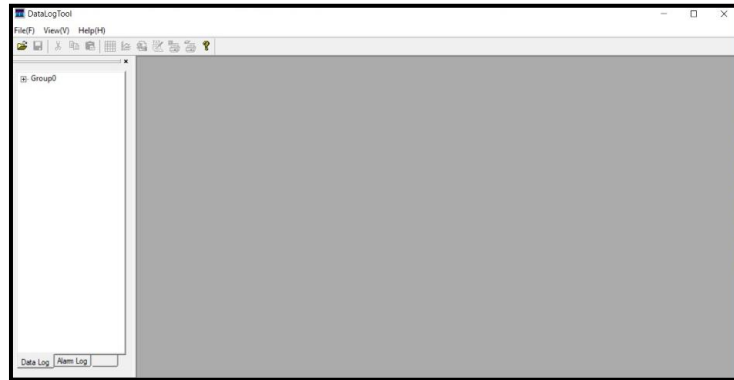


Figura 3.6 Plataforma DataLog

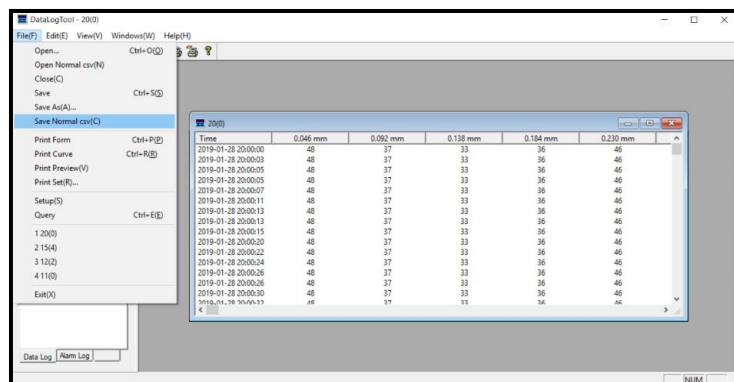


Figura 3.7 Guardar archivo como CSV

Finalmente se abre una Macro de Excel, la cual se encargará de importar los datos y mediante botones de comando se procesará y mostrará las gráficas resultantes.

3.7 Pruebas de calibración

Para determinar si los equipos transductores se encontraban en buenas condiciones para la toma de datos fue necesario realizar la curva de calibración para cada uno de ellos comparándolos en el caso de la celda de carga con otro equipo calibrado, como la máquina de ensayos de tensión ubicada en LEMAT,

mientras que para el sensor inductivo se verificó mediante un reloj comparador el desplazamiento lineal al realizar determinado número de giros del eje del motor, este valor se lo comparó con los valores que arrojaba la pantalla determinando así los datos que generaron las curvas siguientes. (Ver Tabla 3.10 y 3.11)

3.7.1 Prueba de calibración de la celda de carga

Tabla 3.10 Datos de carga para curva de calibración

Celda calibrada LEMAT (Kgf)	Datos 1 de Celda (Kgf)	Datos 2 de celda (Kgf)	Promedio
0	0	0	0
505	502	502	502
1040	1032	1035	1033.5
1514	1500	1516	1508
2509	2506	2511	2508.5
3503	3510	3506	3508
5002	5018	5025	5021.5
7005	7042	7051	7046.5
10003	10098	10070	10084
15005	15200	15116	15158
20007	20116	20100	20108

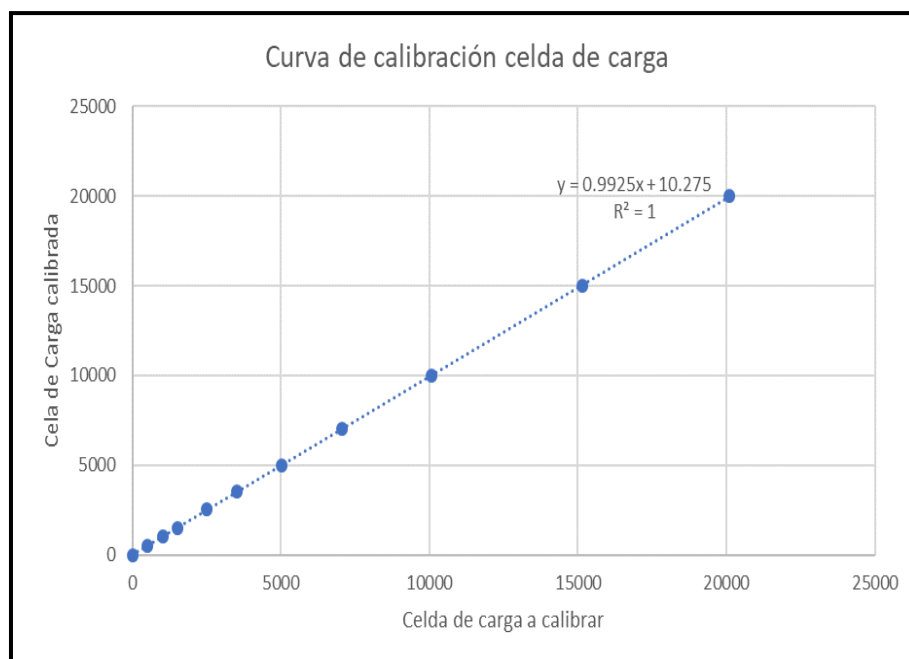


Figura 3.8 Curva de calibración celda de carga

3.7.2 Prueba de calibración de encoder

Tabla 3.11 Datos de desplazamiento en función de vueltas del eje

Encoder (Pantalla HMI) mm	Número de vueltas	Desplazamiento lineal (reloj comparador) mm
0.046	1	0.045
0.23	5	0.22
0.46	10	0.45
0.69	15	0.705
0.92	20	0.88
1.15	25	1.125
1.38	30	1.41

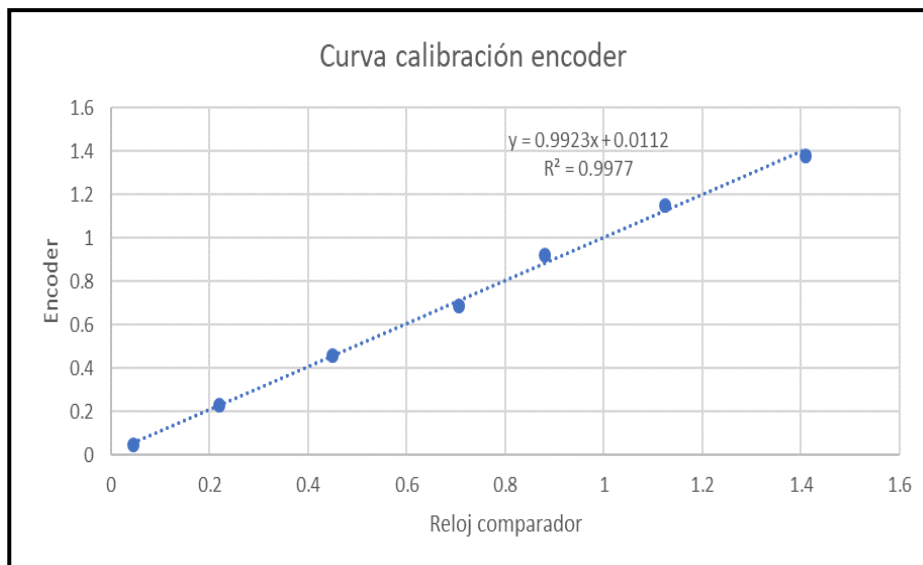


Figura 3.9 Curva de calibración encoder

3.8 Resultados del ensayo a tensión

Para comprobar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos, se realizaron una serie de ensayos a tensión con 5 probeta de acero estructural con un área transversal de 64 mm^2 , y una longitud inicial de 75 mm, posterior a realizar la prueba se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.12 Resultados de las propiedades de la probeta 1

Longitud inicial (mm)	75
Longitud final (mm)	98
Gravedad(m/s²)	10
Área (mm²)	64
Esfuerzo máx (MPa)	511
Esfuerzo de fluencia mín (MPa)	371.9

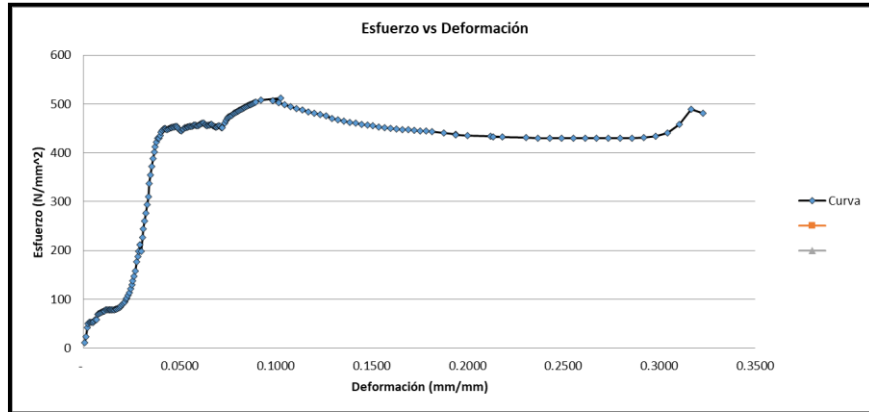


Figura 3.10 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 1

Tabla 3.13 Resultados de las propiedades de la probeta 2

Longitud inicial (mm)	75
Longitud final (mm)	97
Gravedad(m/s²)	10
Área (mm²)	64
Esfuerzo máx (MPa)	511.6
Esfuerzo de fluencia mín (MPa)	340

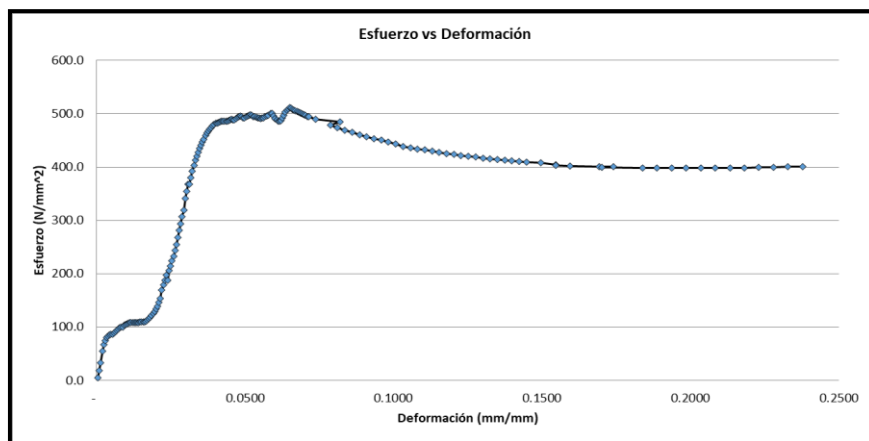


Figura 3.11 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 2

Tabla 3.14 Resultados de las propiedades de la probeta 3

Longitud inicial (mm)	75
Longitud final (mm)	98
Gravedad(m/s²)	10
Área (mm²)	64
Esfuerzo máx (MPa)	451.9
Esfuerzo de fluencia mín (MPa)	300

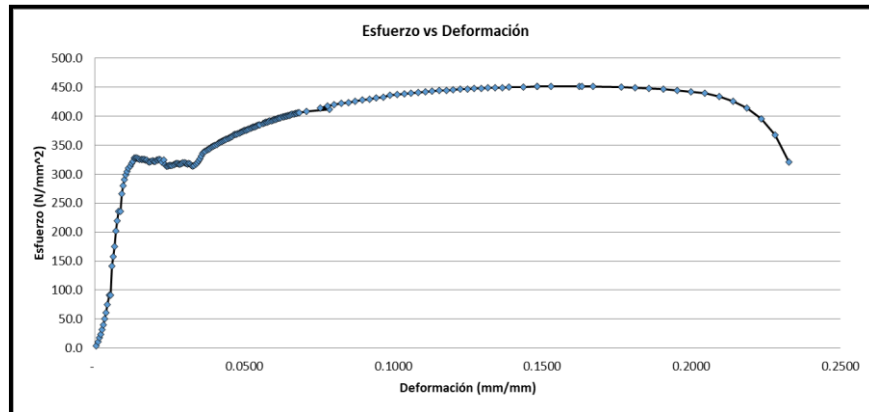


Figura 3.12 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 3

Tabla 3.15 Resultados de las propiedades de la probeta 4

Longitud inicial (mm)	75
Longitud final (mm)	96
Gravedad(m/s²)	10
Área (mm²)	64
Esfuerzo máx (MPa)	511.9
Esfuerzo de fluencia mín (MPa)	359.5

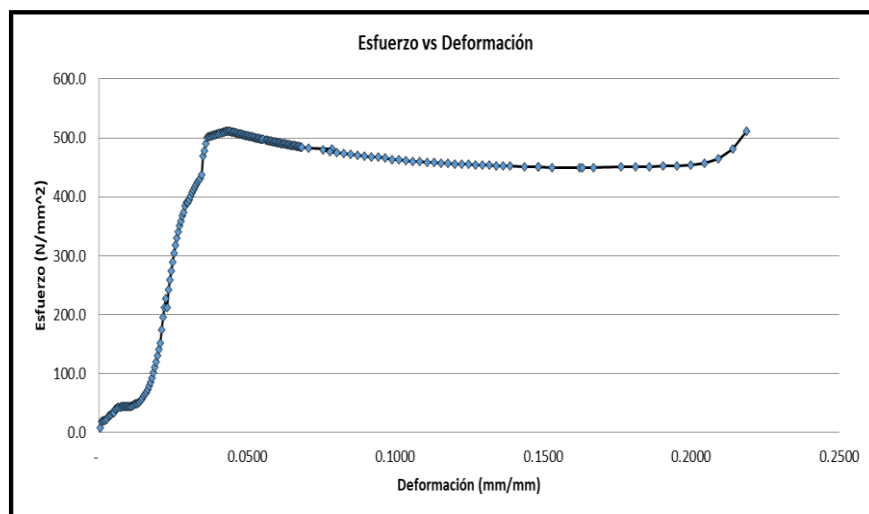


Figura 3.13 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta 4

Tabla 3.16 Resultados de las propiedades de la probeta 5

Longitud inicial (mm)	75
Longitud final (mm)	99
Gravedad(m/s²)	10
Área (mm²)	64
Esfuerzo máx (MPa)	451.9
Esfuerzo de fluencia mín (MPa)	344.4

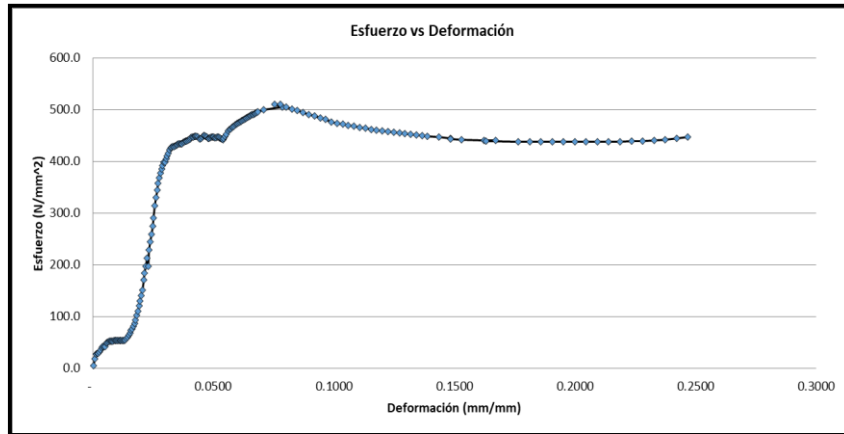


Figura 3.14 Diagrama esfuerzo vs deformación en la probeta.

Para verificar los resultados, se realiza la comparación de los datos obtenidos en la práctica con una ficha técnica de las propiedades del material que se utilizó (figura 3.12)

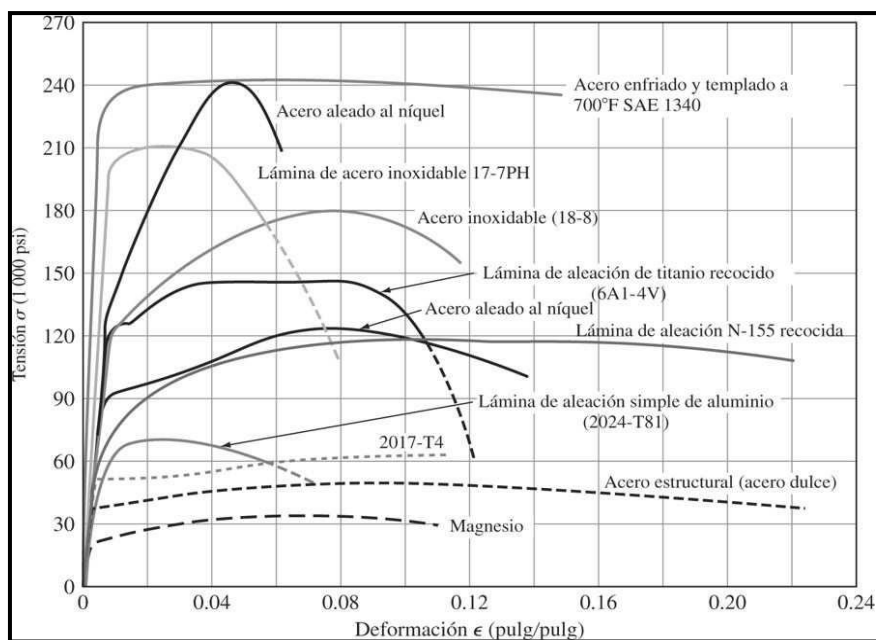


Figura 3.15 Esfuerzo Vs Deformación de los materiales (Smith, 1998)

Tabla 3.17 Propiedades de los metales (Smith, 1998)

Material	Módulo de elasticidad, 10 ⁻⁶ psi (GPa)	Módulo de rigidez 10 ⁻⁶ psi (GPa)	Coefficiente de Poisson
Aleaciones de aluminio	10.5 (72.4)	4.0 (27.5)	0.31
Cobre	16.0 (110)	6.0 (41.4)	0.33
Acero (aceros al carbón y de baja aleación)	29.0 (200)	11.0 (75.8)	0.33
Aceros inoxidables (18-8)	28.0 (193)	9.5 (65.6)	0.28
Titanio	17.0 (117)	6.5 (44.8)	0.31
Volframio	58.0 (400)	22.8 (157)	0.27

3.9 Cálculo del módulo de Young

Para el correcto ensayo a flexión se tomó una platina de acero estructural de 6 mm de espesor y 30 mm de anchura, se la coloco en una base que posee dos apoyos con una longitud de 27,5 cm, se aplicó la fuerza en el eje de simetría (figura 3.14), provocando una deflexión y una carga de modo simultaneo se adquirido los datos mediante la pantalla HMI (figura 3.15).



Figura 3.16 Platina sometida a flexión



Figura 3.17 Resultados del ensayo a flexión

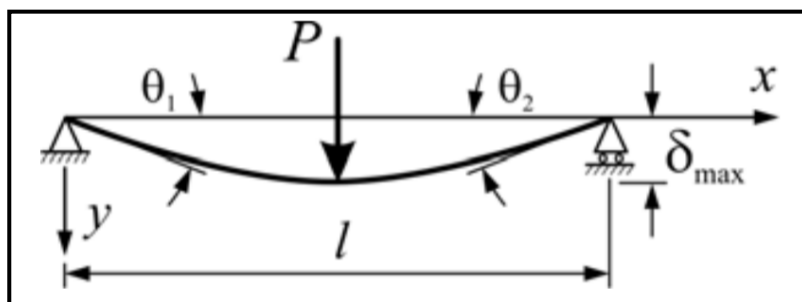


Figura 3.18 Modelo matemático de la flexión (Andrew Pytel, 1994)

Con los datos adquiridos de la pantalla HMI, y con el modelo matemático (figura), utilizando la ecuación de deflexión se logró medir el módulo de Young para cinco puntos aleatorios.

En la tabla 3.16 se muestran los resultados de la prueba realizada. Estos datos se obtuvieron al adquirir los datos de carga y deformación en el rango elástico de la muestra, estos se reemplazaron en la siguiente fórmula:

$$E = \frac{PL^3}{48\delta_{\max}I} \quad (3.1)$$

Tabla 3.18 Resultados del Módulo de Young

Variables	Valores				
Deflexión (m)	0,000966	0,00115	0,00253	0,00322	0,00391
Fuerza (Kg)	27,1	32,6	72,7	91,5	111,7
Modulo de Young (Gpa)	220,59	222,90	225,95	223,44	224,63

3.10 Análisis de costos.

Los equipos que se implementaron en la construcción del sistema de adquisición de datos fueron adquiridos de modo que su costo no exceda el presupuesto del cliente.

Equipos como el variador de frecuencia, sensor inductivo, cables de datos y de línea fueron adquiridos en Jorchu S.A. Mientras que el PLC, módulo de expansión, pantalla HMI, conexiones e implementos eléctricos en Sertech S.A.

Finalmente, la inversión necesaria para activar la máquina universal de ensayos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3.19 Monto total de inversión realizada

Equipo	Detalle	Costo
Pantalla	Wecon, HMI estándar LEVI2043T	\$ 150,00
Módulo de expansión	Wecon LX3V-8EYR i/o PLC	\$ 250,00
PLC	Wecon, LX3VP-1212MR2H	\$ 350,00
Sensor Inductivo	HANYOUNG, UP18RM-5P (PNP), 5 mm	\$ 40,00
Celda de Carga	INSTRON, 1220.AF, 50000 Lbs, 4.0 Mv/v	\$ -
Variador de frecuencia	Siemens, 2HP, 1F, 200V	\$ 300,00
Conexiones electricas	Cables, canaletas, rieles	\$ 150,00
Extras	Probetas y sistema de sujeccion	\$ 200,00
	SubTotal	\$1.440,00
	Iva 12%	\$ 172,80
	Total	\$1.612,80

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinó mediante pruebas de ensayos la capacidad del sistema de fuerza para operar sobre la carga de diseño, comprobando efectivamente que el motor instalado y conectado con el sistema de control de velocidad trabajando a la velocidad según la normativa cumple con estas especificaciones de diseño, llegando incluso a superarla trabajando en el límite de velocidad que exigen las normativas. La comprobación de este sistema fue crucial en el avance del proyecto ya que con esto se evitó la adquisición de un motor que cumpla con los requisitos a la vez que no se tuvieron que realizar cambios en la estructura para su montaje.
- Para el sistema de sujeción de probetas de ensayo se construyó el acople de sujeción de probetas, que consta del diseño de la placa de sujeción, longitud de roscado de los pernos de sujeción de bloque porta mordazas y la selección del perno de anclaje, luego de la construcción de la placa y la adquisición de los pernos, se montaron a la máquina para la realización de los ensayos de prueba.
- Se seleccionó un sistema de adquisición de datos que consta de una celda de carga, un sensor de proximidad inductivo, un variador de frecuencia y un controlador lógico programable (PLC), un módulo de expansión para adquirir los datos de la celda de carga y una pantalla touch para verificar los resultados de las pruebas. Los pulsos adquiridos por el sensor se procesan mediante el plc, mientras que los de la celda de carga primero pasan por el módulo el cual amplifica la señal para luego ser procesados, con esto se logró la adquisición simultanea de estos datos para luego poder obtener la gráfica esfuerzo deformación, necesaria para determinar las propiedades mecánicas de los materiales.

- Los resultados de los ensayos a tensión permitieron, determinar las propiedades mecánicas más utilizadas en la industria observando las gráficas de esfuerzo-deformación, el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y su deformación total. Estos se los compararon con datos registrados y posee valores muy cercanos. El módulo de Young no se puede calcular porque se presenta un desplazamiento no deseado en las mordazas, produciendo una alteración en los datos, sin embargo, al realizar un ensayo a flexión en la zona elástica se toma un punto de fuerza-desplazamiento, y se calculó el módulo de Young.
- Se calibraron los equipos transductores para la obtención de datos precisos y confiables, la celda de carga fue evaluada en el laboratorio de ensayos de materiales (LEMAT) determinando en su curva de calibración que presenta un error del 1% con lo cual se acredita que esta apta para su desempeño al censar la carga, mientras que con el sensor de proximidad se realizaron pruebas con un reloj comparador para determinar cuál es el desplazamiento lineal del cabezal móvil al realizar determinados giros del eje del motor. El coeficiente de correlación R^2 para las dos curvas fue de aproximadamente 1 lo cual nos indica que se presenta un ajuste lineal perfecto, esto valida los resultados que se adquieran con el equipo al adquirir datos de desplazamiento y para carga.
- Según el análisis de costos de todos los equipos a implementar, se adquirió todo el sistema en un monto total de \$1500, valor que está por debajo del monto que se especificaba. Con esto se cumplió otro de los requisitos el cual dice que el sistema debe de costar menos de \$ 2000, esto se logró gracias a la correcta selección de los equipos según las matrices de decisión realizadas.
- El desarrollo de proyectos de esta envergadura amplió el conocimiento y permitió ingresar en otra área de la ingeniería como es la automatización de los procesos, en este caso la adquisición de datos, factor muy importante que contribuye al desarrollo práctico profesional de los estudiantes de ingeniería mecánica.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda seguir los pasos adecuadamente para poder adquirir datos, al momento de guardar los datos en el pen drive, ya que, si se retira este dispositivo antes que la pantalla lo indique, se pueden perder. Además, se debe reiniciar la memoria almacenada en la pantalla con el objetivo de que se copie demasiados que pueda aumentar el tiempo de su retiro.
- Respecto al desgaste de los elementos sometidos a fricción, es recomendable mantenerlos con una buena lubricación, los elementos expuestos al desgaste son los tornillos de potencia, las guías de los cabezales, la caja reductora, los rodamientos y los engranes.
- Se debe verificar que el elemento de acople del sensor inductivo se encuentre bien sujeto a la base, debido a que las vibraciones producto del trabajo que realiza el motor puede llegar a aflojar los tornillos de sujeción. El hecho de que no se tome en cuenta esta recomendación puede generar serios daños a todo el sistema de adquisición de datos.
- Es recomendable que antes de iniciar una prueba se verifique la sujeción de las mordazas para evitar corrimientos y una defectuosa adquisición de datos. Además, es necesario apretar adecuadamente los pernos de apriete de las muelas al montar la probeta, para que no deslice al momento de iniciar las pruebas. Se recomienda realizar la calibración del equipo cada 3 meses para evitar la adquisición de datos erróneos
- Al iniciar un ensayo es necesario verificar que la frecuencia del variador se encuentre en el intervalo de 9-10Hz, ya que ese intervalo es el adecuado para trabajar con las velocidades típicas de ensayo. Si se llegara a elevar la frecuencia, la máxima frecuencia que se puede alcanzar corresponde a 30Hz, lo cual es ideal si se desea elevar o bajar el cabezal móvil para iniciar rápidamente el montaje de la probeta.

BIBLIOGRAFÍA

- A. E. Fitzgerald, C. K. (2004). *Máquinas Eléctricas*. USA: Mc Graw Hill.
- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (3ra ed.). Mexico: International Thomson Editores.
- ASTM. (2018). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.
Obtenido de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E8E8M-09.htm>
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (8va ed.). Barcelona, España: Alfaomega.
- Miño, C. (2016). *Curso de Instrumentos de medición*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/curso-instrumentos-medicion/curso-instrumentos-medicion.pdf>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta ed.). Mexico: Pearson.
- National Instruments. (2018). *National Instruments*. Obtenido de <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8va ed.). Mexico, D.F.: McGraw-Hill.
- Norton, R. L. (2006). *Machine Design* (5th ed.). Pearson.
- Nux, H. (22 de 11 de 2018). *Hangyoung*. Obtenido de <http://eng.hynux.com/mobile/product/product-info02.php?lcode=05&mcode=&pcode=1305100066>
- Richard S. Figliola, D. E. (2011). *Theory and Design for Mechanical Measuring* (5th ed.). United States of America: Wiley.
- SIEMENS. (27 de Diciembre de 2018). https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf

Smith, W. F. (1998). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de materiales* (3ra ed.). España: Concepción Fernández Madrid.

WECON Technology Co., L. (12 de Diciembre de 2018). *Wecon*. Obtenido de <http://www.we-con.com.cn/manage/upfile/fileload/20190128085441.pdf>

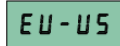

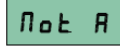


WECON Technology Co., L. (12 de Diciembre de 2018). *WECON LX3V-1WT USER MANUAL*. Obtenido de: <https://drive.google.com/drive/folders/0B0j9uum1UPXbNjc3eThMVm9aTzQ>

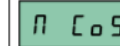
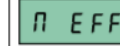
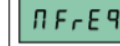
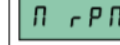

William D. Callister, J. (1985). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 1*. Mexico: Reverté, S.A

APÉNDICES

APÉNDICE A

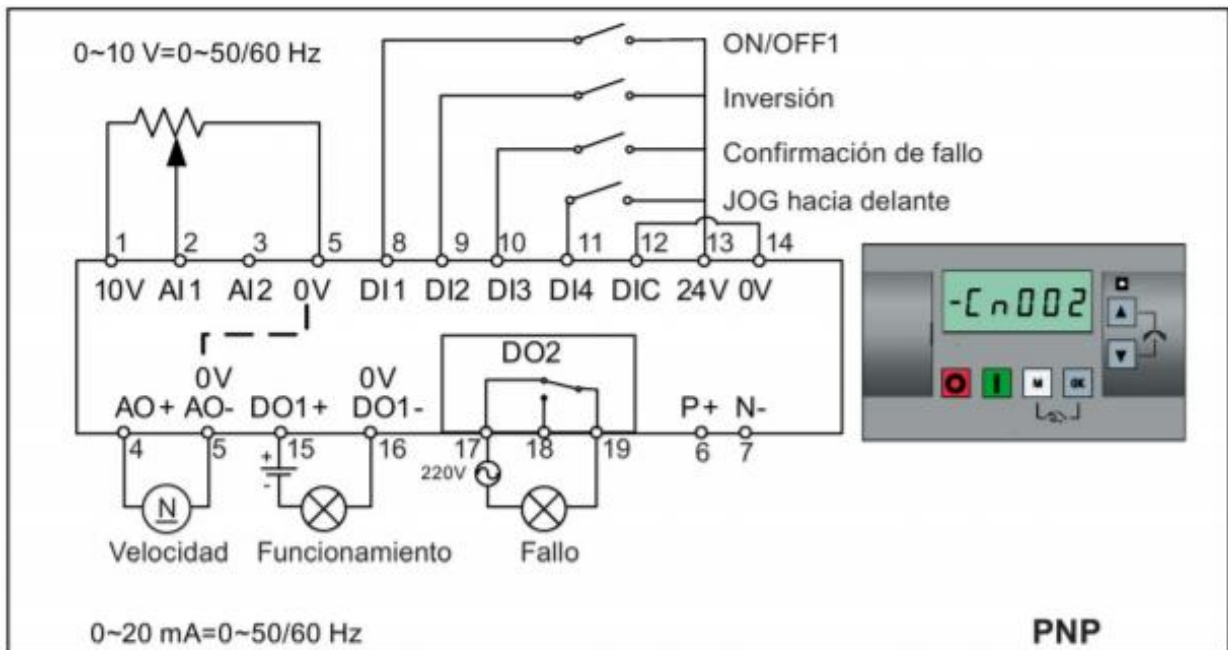
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN VARIADOR SINAMICS V20

Parámetro	Nivel de acceso	Función	Menú de texto (si P8553 = 1)
P0100	1	Selección de 50/60 Hz =0: Europa [kW], 50 Hz (valor predeterminado de fábrica) =1: Norteamérica [hp], 60 Hz =2: Norteamérica [kW], 60 Hz	 (EU - US)
P0304[0] •	1	Tensión nominal del motor [V] Tenga en cuenta que la entrada de los datos de la placa de características tiene que corresponder con el cableado del motor (en estrella/triángulo).	 (MOT V)
P0305[0] •	1	Corriente nominal del motor [A] Tenga en cuenta que la entrada de los datos de la placa de características tiene que corresponder con el cableado del motor (en estrella/triángulo).	 (MOT A)
P0307[0] •	1	Potencia nominal del motor [kW/hp] Si P0100 = 0 o 2, unidad de potencia del motor = [kW] Si P0100 = 1, unidad de potencia del motor = [hp]	P0100 = 0 o 2:  (MOT P)
			P0100 = 1:  (MOT HP)

Parámetro	Nivel de acceso	Función	Menú de texto (si P8553 = 1)
P0308[0] •	1	Factor de potencia nominal del motor ($\cos\phi$) Visible solamente cuando P0100 = 0 o 2	 (M COS)
P0309[0] •	1	Eficiencia nominal del motor [%] Visible solamente cuando P0100 = 1 El ajuste 0 produce el cálculo interno del valor.	 (M EFF)
P0310[0] •	1	Frecuencia nominal del motor [Hz]	 (M FREQ)
P0311[0] •	1	Velocidad nominal del motor [RPM]	 (M RPM)
P1900	2	Selección de la identificación de datos del motor = 0: Deshabilitada = 2: Identificación de todos los parámetros en parada	 (MOT ID)

APÉNDICE B

CONFIGURACIÓN DE MACRO DE CONEXIÓN: CONTROL DESDE LOS BORNES (PNP/NPN)



APÉNDICE C

FICHA TÉCNICA PANTALLA WECON HMI

LEVI SERIES SPECIFICATIONS

Standard
HMI



Model

LEVI2035T

LEVI2043T

LEVI2043E

LEVI2043E-N

General	Screen Size	3.5 Inch	4.3 Inch	4.3 Inch	4.3 Inch
	Resolution	320*240	480*272	480*272	480*272
	Color	65536 color			
	Brightness	300 cd/m ²			
	Backlight	LED			
	Touch Screen	High precision four-wire resistive			
	Backlight Life	30000 hours			
	CPU	32-bits 300MHz RISC			
	Storage	128M FLASH + 64M DDRAM			
	RTC	256KB+real time clock			
	Printer Port	Serial port Printer			
	USB Port	Micro-USB	USB	Micro-USB	Micro-USB
	SD card	-			
COM	COM1	RS422/RS485			
	COM2	RS232			
	COM3	-			
Power	Power	< 5W			
	Power Supply	DC24V (12 - 28V DC)			
	Allowed Power Fall	< 5ms			
	Insulation Resistance	>20MΩ 500VDC			
	Withstand Voltage	500V AC <1 minute			
Dimension	Enclosure	ABS, Black			
	Dimension (mm)	96.0W*81.0H*33.0D	141.4W*85.4H*38.9D	142.0W*86.0H* 30.3D	142.0W*86.0H* 30.3D
	Mounting size (mm)	91.0W* 73.0H	131.0W*79.0H	131.0W* 78.0H	131.0W* 78.0H
	Net /Gross (KG)	0.14/0.26	0.23 / 0.39	0.19/0.30	0.19/0.30
Environment	Temperature	Working Temperature : -10 - 60°C ; Storage Temperature : -20 - 70°C			
	Humidity	10 - 85%RH(Non-condensing)			
	Vibration Resistance	10 - 25 Hz (X, Y, Z direction 2G/30 minutes)			
	Cooling	Air cooling			
Extension	Ethernet	--	--	--	YES
Protection		IP65 ((Front panel))			
CE Certification		CE Marked			
FCC Certification		FCC Class A			

APÉNDICE D

FICHA TÉCNICA MÓDULO DE EXPANSIÓN

EXPANSION MODULE

PLC EXPANSION MODULE >>

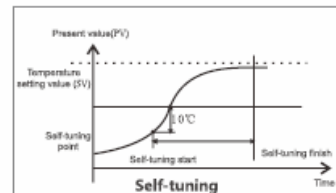
- **Multi-module connection :**
Maximum 16 analog modules (requires additional power supply)
Maximum 8 Digital modules (requires additional power supply)
- **DA module resolution :12 bits**
- **PT/TC module resolution**
S-type sensor: -50~+1768 (degree centigrade)
R-type sensor: -50~+1768 (degree centigrade)
B-type sensor: +250~+1820 (degree centigrade)
N-type sensor: -200~+1300 (degree centigrade)
E-type sensor: -200~+1000 (degree centigrade)
T-type sensor: -200~+400 (degree centigrade)
J-type sensor: -210~+600 (degree centigrade)
K-type sensor: -200~+1372 (degree centigrade)
PT100 sensor: -200~+600 (degree centigrade)

- **AD module resolution :16 bits**
- **WT module resolution :24 bits**



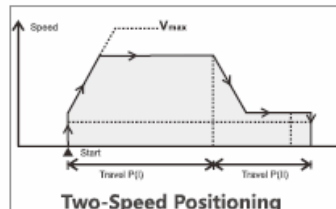
LX3V-8ITC >>

- 8 channels for temperature acquiring; Multiple sensor types are supported; Supports thermocouple types like K, S, E, N, B, T, J and R.
- All 8 channels are isolated each other.
- Built-in cold junction compensation, external cold junction compensation, freezing cold junction compensation method.



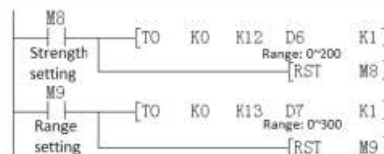
LX3V-4PGA >>

- Supports 4-channel high speed pulse outputs.
- Supports zero point return, JOG, interrupt position and two-speed pulse control.
- Supports S-type acceleration and deceleration.
- Maximum supports for 200k pulse output.
- Interrupt signal, origin signal input.



LX3V-2WT >>

- 2 channels weighing signal input.
- Hardware 24-bits AD input (2: 24-bit Resolution).
- Supports 1~2400 Hz frequency conversion.
- Adjustable setting of Digital filter.
- Adjustable setting of Tare weight and Net weight.
- Zero-tracking can reduce the influence of temperature drift effective.



APÉNDICE E

FICHA TÉCNICA PLC WECON LX3VP-1212MR2H

LX3VP SERIES PLC PRODUCT

LX3VP Series



PLC Model	I/O	Output type	Dimension (mm)	Pulse Counter	Pulse Output	RS485	CAN	BD Board	Module	Power Supply
LX3VP-1208MR-A(D)	12 / 8	Relay	75x107x87	2	0	1	N/A	1	N/A	AC (DC)
LX3VP-1208MT-A(D)	12 / 8	Transistor	75x107x87	2	2	1	N/A	1	N/A	AC (DC)
LX3VP-1212MR-A(D)	12 / 12	Relay	136x107x87	2	0	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1212MT-A(D)	12 / 12	Transistor	136x107x87	2	2	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1212MT4H-A(D)	12 / 12	Transistor	136x107x87	2	4	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1212MR2H-A(D)	12 / 12	Mix	136x107x87	2	2	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1412MR-A(D)	14 / 12	Relay	136x107x87	2	0	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1412MT-A(D)	14 / 12	Transistor	136x107x87	2	2	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1412MT4H-A(D)	14 / 12	Transistor	136x107x87	2	4	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1412MR2H-A(D)	14 / 12	Mix	136x107x87	2	2	1	N/A	1	YES	AC (DC)
LX3VP-1616MR-A(D)	16 / 16	Relay	175x107x87	2	0	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-1616MT-A(D)	16 / 16	Transistor	175x107x87	2	2	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-1616MT4H-A(D)	16 / 16	Transistor	175x107x87	2	4	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-1616MR2H-A(D)	16 / 16	Mix	175x107x87	2	2	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2416MR-A(D)	24 / 16	Relay	175x107x87	2	0	1	Optional	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2416MT-A(D)	24 / 16	Transistor	175x107x87	2	2	1	Optional	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2416MT4H-A(D)	24 / 16	Transistor	175x107x87	2	4	1	Optional	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2416MR2H-A(D)	24 / 16	Mix	175x107x87	2	2	1	Optional	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2424MR-A(D)	24 / 24	Relay	221x107x87	2	0	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2424MT-A(D)	24 / 24	Transistor	221x107x87	2	2	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2424MT4H-A(D)	24 / 24	Transistor	221x107x87	2	4	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-2424MR2H-A(D)	24 / 24	Mix	221x107x87	2	2	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-3624MR-A(D)	36 / 24	Relay	221x107x87	2	0	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-3624MT-A(D)	36 / 24	Transistor	221x107x87	2	2	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-3624MT4H-A(D)	36 / 24	Transistor	221x107x87	2	4	1	N/A	2	YES	AC (DC)
LX3VP-3624MR2H-A(D)	36 / 24	Mix	221x107x87	2	2	1	N/A	2	YES	AC (DC)

APÉNDICE F

FICHA TÉCNICA SENSOR DE PROXIMIDAD HANYOUNG UP18RM-5P (PNP)

Inductive D.C 3 Wire type							
Model	NPN	UP18RLM-5N	UP18RLD-5N	UP30RM-10N	UP30RD-15N	UP30RLM-10N	UP30RLD-15N
	PNP	UP18RLM-5P	UP18RLD-5P	UP30RM-10P	UP30RD-15P	UP30RLM-10P	UP30RLD-15P
	Size	M18		M30		M30	
Shield	Shield	Shield	None shield	Shield	None shield	Shield	None shield
Standard sensing object (mm)	Iron 18 X 18 X 1	Iron 18 X 18 X 1	Iron 25 X 25 X 1	Iron 30 X 30 X 1	Iron 45 X 45 X 1	Iron 30 X 30 X 1	Iron 45 X 45 X 1
Sensing distance	5 mm	5 mm	8 mm	10 mm	15 mm	10 mm	15 mm
Setting distance	0 ~ 4 mm	0 ~ 4 mm	0 ~ 6.4 mm	0 ~ 8 mm	0 ~ 12 mm	0 ~ 8 mm	0 ~ 12 mm
Hysteresis	Less than 10% of sensing distance						
Response frequency	500 Hz	500 Hz	350 Hz	300 Hz	200 Hz	300 Hz	200 Hz
Power supply voltage	12 ~ 24 V d.c (Usable voltage range 5 - 35V d.c)						
Control output	Open/Close capacitance : 200 mA Max. (Resistive load), Residual : Max1.5 V						
Current consumption	Max 6 mA						
Operation indication	Red LED						
Protective circuit	Power reversely connected protective circuit, Surge protective circuit and over current protective circuit are built in.						
connection structure	Cable type (standard cable length 2m), Relay connector type, Connector type						
Material	Case : brass(chrome plating), Sensing surface: PBT, Cable holder: Polyester elastomer						
Weight	Cable type	approx. 140g	approx. 140g	approx. 170g	approx. 170g	approx. 220g	approx. 220g
	Relay connector type	approx. 100g	approx. 100g	approx. 130g	approx. 130g	approx. 180g	approx. 180g
	Connector type	approx. 80g	approx. 80g	approx. 150g	approx. 150g	approx. 200g	approx. 200g

APÉNDICE G.

DIAGRAMA OPERACIONAL DEL SISTEMA

