



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE
LA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN HORIZONTAL
MARCA AMSLER DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE
MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS - ESPE**

**AUTORES: ENRÍQUEZ FUEL, ANDERSON JONHATAN
JÁCOME PALACIOS, ÁLVARO JAVIER**

DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO, BYRON HERNÁN

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“AUTOMATIZACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN HORIZONTAL MARCA AMSLER DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE”** realizado por los señores **ANDERSON JONHATAN ENRÍQUEZ FUEL** y **ÁLVARO JAVIER JÁCOME PALACIOS**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **ANDERSON JONHATAN ENRÍQUEZ FUEL** y **ÁLVARO JAVIER JÁCOME PALACIOS** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 08 de enero del 2018

ING. BYRON CORTEZ
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ANDERSON JONHATAN ENRÍQUEZ FUEL**, con cédula de identidad N° 0401360342 y **ÁLVARO JAVIER JÁCOME PALACIOS**, con cédula de identidad N° 1002954152, declaramos que este trabajo de titulación "**AUTOMATIZACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN HORIZONTAL MARCA AMSLER DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 08 de enero del 2018

ANDERSON JONHATAN ENRÍQUEZ FUEL
C.C. 0401360342

ÁLVARO JAVIER JÁCOME PALACIOS
C.C. 1002954152



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ANDERSON JONHATAN ENRÍQUEZ FUEL** y **ÁLVARO JAVIER JÁCOME PALACIOS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**AUTOMATIZACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN HORIZONTAL MARCA AMSLER DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 08 de enero del 2018

ANDERSON JONHATAN ENRÍQUEZ FUEL
C.C. 0401360342

ÁLVARO JAVIER JÁCOME PALACIOS
C.C. 1002954152

DEDICATORIA

A Dios por brindarme vida y salud.

A la Madre Dolorosa por ser mi protectora y guía durante todos los días de mi vida.

A mis padres por ser un apoyo incondicional e inculcadores de valores éticos y morales.

A mis hermanos quienes son mi motivo de superación.

A mi tío Jorge Palacios quien me acogió durante mis primeros años universitarios en su hogar y que hoy en paz descansa.

A mis familiares y amigos quienes estuvieron pendientes y brindaron ayuda desinteresada en todo momento.

Álvaro Javier Jácome Palacios

En primer lugar a Dios, por su infinito amor y misericordia al darme la oportunidad de la vida y la familia, quienes han sido pilar fundamental para la culminación de esta etapa de mi vida y han sabido con amor y espero guiarme por el mejor camino, sin dejarme caer ante los obstáculos presente durante todo este período de mi vida.

A mis familiares que a pesar de la distancia supieron entender a veces mi ausencia y siempre tuvieron una palabra de aliento para lograr llegar al objetivo.

Anderson Jonhatan Enríquez Fuel

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por el modelo de humildad y trabajo, el cual fue un incentivo diario en nuestro transcurso universitario.

Al departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica y la carrera de Ingeniería Mecatrónica, por inculcar valores y formarnos como excelentes profesionales para enfrentar los problemas de la vida cotidiana.

Agradecemos a nuestro tutor el Ingeniero Byron Cortez por sus consejos, enseñanzas y confianza que han permitido que este proyecto sea exitoso.

Nuestro especial agradecimiento a los Ingenieros David Loza, José Pérez y Francisco Navas por el incondicional apoyo que nos han brindado para la realización del presente proyecto.

A todos los compañeros, amigos y familiares que con sus consejos y apoyo incondicional estuvieron presentes a lo largo de nuestra vida universitaria.

Álvaro Javier Jácome Palacios

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de haber culminado mis estudios Universitarios.

A mi Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por permitirme conocer a compañeros y Docentes de admiración.

A mis Familiares por apoyarme en cada momento de mi formación como persona y Profesional.

A los Ingenieros: Byron Cortez, David Loza, José Pérez, Francisco Navas por su apoyo a lo largo de toda esta carrera universitaria y en especial en el trabajo de titulación.

Anderson Jonhatan Enríquez Fuel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
1. CAPÍTULO GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	4
2. CAPÍTULO	8
2.1. LEYES DE NEWTON	8
2.2. ESFUERZO	8
2.2.1. Unidades de Esfuerzo	9
2.3. DEFORMACIÓN	11
2.3.1. Clases de deformación	12
2.3.2. Límite elástico	14
2.3.3. Límite plástico	14
2.4. LEY DE HOOKE	15
2.4.1. La ley de elasticidad de Hooke	16
2.5. ESFUERZO – DEFORMACIÓN	16
2.6. MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN	19
2.6.1. Tipos de Materiales	19
2.6.2. Normas para el ensayo a tracción	20
2.6.3. Ensayo de tracción en plásticos	20

2.6.4.	Definición de las dimensiones y geometría según la norma ISO	21
2.6.5.	Condiciones ambientales y requisitos de acondicionamiento establecidos	22
2.6.6.	Normativas a tomar en cuenta al realizar el ensayo de tracción.	23
2.7.	ENCODER	24
2.7.1.	Definición	24
2.7.2.	Funcionamiento	24
2.7.3.	Tipos de encoder	25
2.8.	CELDA DE CARGA	27
2.8.1.	Definición	27
2.8.2.	Tipos de celda de carga	28
3.	CAPÍTULO	29
3.1.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA MÁQUINA.	29
3.2.	ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA MÁQUINA.	32
3.3.	FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.	32
3.3.1.	Precauciones	33
3.4.	REGISTRO DE DATOS EN EL GRAFICADOR	33
3.4.1.	Mecanismo para la medición de la Fuerza	33
3.4.2.	Mecanismo para la medición de la Deformación	34
3.5.	EVALUACIÓN FINAL	36
4.	CAPÍTULO	38
4.1.	DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS.	38
4.1.1.	Caja de Control	38
4.1.2.	Caja de acondicionamiento	47
4.1.3.	Soporte mecánico para encoder	48
4.1.4.	Acondicionamiento mecánico para celda de carga	49
4.1.5.	Acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción	53
4.1.6.	Mantenimiento tornillo sin fin	57
4.2.	DISEÑO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS	59
4.2.1	Dimensionamiento y selección de sensores y actuadores	59

4.2.2.	Componentes eléctricos	63
4.2.3.	Acondicionamiento de señal de sensores y actuadores	70
4.3.	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DEL CONTROL.	74
4.3.1	Selección del Controlador Lógico Programable (PLC).	75
4.3.2.	Touch Panel	77
4.4.	DISEÑO DEL SOFTWARE	80
4.4.1.	Adquisición y procesamiento de datos.	80
4.4.2.	Recepción y visualización de datos	88
5.	CAPÍTULO	96
5.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO	96
5.1.1.	Implementación de la estructura de soporte encoder	96
5.1.2.	Implementación de la estructura de sujeción de la celda de carga.	98
5.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	99
5.2.1.	Implementación del PLC	100
5.2.2.	Variador de Frecuencia	101
5.2.3.	Touch Panel	101
5.3.	REACONDICIONAMIENTO DEL FIN DE CARRERA	102
5.4.	IMPLEMENTACIÓN DE CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO	103
5.5.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	104
5.6.	ENSAYOS DE PRUEBA CON MATERIALES DE USO COMÚN EN PRÁCTICAS DE LABORATORIO.	110
5.6.1.	Ensayo de Tracción Plástico Dúctil	110
5.6.2.	Ensayo de Tracción Plástico Rígido	111
5.6.3.	Ensayo de Tracción Alambre Galvanizado	112
5.6.4.	Ensayo de Tracción Alambre de Cobre	113
6.	CAPÍTULO	114
6.1.	CONCLUSIONES	114
6.2.	RECOMENDACIONES	116
7.	BIBLIOGRAFÍA	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes Mecánicos	4
Figura 2.	Componentes Electrónicos / Eléctricos	5
Figura 3.	Componentes del Sistema de Control	6
Figura 4.	Software para implementación, análisis y simulación	7
Figura 5.	Cuerpo sometido a tracción	9
Figura 6.	Cuerpo sometido a flexión	10
Figura 7.	Cuerpo sometido a torsión	10
Figura 8.	Cuerpo sometido a compresión	11
Figura 9.	Cuerpo sometido a cizallamiento	11
Figura 10.	Deformación elástica	12
Figura 11.	Deformación plástica	13
Figura 12.	Deformación por ruptura	13
Figura 13.	Deformación rígida	14
Figura 14.	Límite elástico y plástico en materiales	15
Figura 15.	Diagrama Esfuerzo vs Deformación	16
Figura 16.	Longitud de las probetas más utilizadas en ensayos de tracción	22
Figura 17.	Disco ranurado y de señales en cuadratura junto con la señal de referencia, generadas por un encoder incremental	26
Figura 18.	Tipos de celda de carga	28
Figura 19.	Máquina de ensayos de tracción horizontal	29
Figura 20.	Placa del motor trifásico	30
Figura 21.	Sistema de registro de datos	34
Figura 22.	Equivalencia según escalas	35
Figura 23.	Graficación del ensayo realizado	36
Figura 24.	Medidas gabinetes metálicos comerciales	39
Figura 25.	Dimensiones PLC S7-1200	40
Figura 26.	Dimensiones variador de frecuencia	41
Figura 27.	Dimensiones fuente de poder	42
Figura 28.	Dimensiones porta fusibles	43
Figura 29.	Dimensiones breaker dos polos	44

Figura 30.	Dimensiones breaker tres polos	45
Figura 31.	Distribución interna gabinete	46
Figura 32.	Distribución física interna de componentes albergados en el gabinete 400x400	46
Figura 33.	Dimensiones de gabinetes comerciales	47
Figura 34.	Distribución física interna de componentes albergados en el gabinete 200x200	48
Figura 35.	Soporte mecánico para encoder	48
Figura 36.	Acondicionamiento mecánico para la celda de carga	49
Figura 37.	Malla aplicada al acondicionamiento para la celda de carga	51
Figura 38.	Deformación del material al soportar carga de 200kgf	52
Figura 39.	Límite elástico máximo y mínimo	52
Figura 40.	Factor de seguridad en distintas zonas del elemento	53
Figura 41.	Acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción	53
Figura 42.	Malla aplicada a acondicionamiento para pinza	55
Figura 43.	Deformación sufrida en el elemento al soportar 200 kgf	55
Figura 44.	Límite elástico máximo y mínimo en distintas zonas del elemento	56
Figura 45.	Factor de seguridad en diferentes zonas del elemento	57
Figura 46.	Partes principales de un tornillo sin fin	58
Figura 47.	Tornillo sin fin realizado el mantenimiento	59
Figura 48.	Celda de carga	60
Figura 49.	Características celda de carga	61
Figura 50.	Placa del motor trifásico	62
Figura 51.	Tipos de Variadores de frecuencia	65
Figura 52.	Variador SINAMICS G110	65
Figura 53.	Variable analógica para funcionamiento variador	67
Figura 54.	Conexiones SINAMICS G110	68
Figura 55.	Alimentación HMI KTP 400 mono PN	69
Figura 56.	Capacidad de Corriente para Calibre AWG	70
Figura 57.	Acondicionamiento de señal	71
Figura 58.	Amplificador AD620	71

Figura 59.	Circuito de Acondicionamiento para Medición de Precisión	72
Figura 60.	Circuito de Acondicionamiento Implementado	73
Figura 61.	Circuito de Acondicionamiento Implementado	74
Figura 62.	PLC S7-1200	75
Figura 63.	Distribución física de entradas y salidas	76
Figura 64.	Puertos del PLC S7-1200 utilizados en la automatización	77
Figura 65.	Dimensiones Touch Panel KTP 400 Basic mono PN	78
Figura 66.	Distribución física de entradas y salidas	79
Figura 67.	Salidas analógicas para tensión	81
Figura 68.	Línea de Programación PLC 1	81
Figura 69.	Gráfica calibración celda de carga	83
Figura 70.	Línea de Programación PLC 2	83
Figura 71.	Gráfica calibración celda de carga escala 2	85
Figura 72.	Línea de Programación PLC 3	85
Figura 73.	Bloque de programación PLC	86
Figura 74.	Programación PLC bloque TRCV_C	86
Figura 75.	Programación PLC Temporizador	87
Figura 76.	Programación PLC bloque TSEND_C	87
Figura 77.	Programación PLC envío de parámetros	88
Figura 78.	Ingreso dirección IP del controlador	89
Figura 79.	Ingreso de la dirección IP de la PC	89
Figura 80.	Recepción de datos controlador PC	90
Figura 81.	Pantalla inicial HMI Touch Panel	91
Figura 82.	Pantalla principal ensayo de tracción	92
Figura 83.	Parámetros a ingresar por el operario	93
Figura 84.	Botón que dará inicio al ensayo	93
Figura 85.	Variables mostradas en tiempo real	94
Figura 86.	HMI visualizada en el computador	95
Figura 87.	Estructura de acople del sensor	97
Figura 88.	Matrimonio	97
Figura 89.	Acople celda de carga	98
Figura 90.	Acople Pinza	99

Figura 91. Interior gabinete metálico	100
Figura 92. Implementación Touch Panel	102
Figura 93. Fin de carrera	103
Figura 94. Caja del circuito de acondicionamiento	104
Figura 95. Comparador de reloj	106
Figura 96. Medidor de desplazamiento máquina antigua	107
Figura 97. Celda de carga calibrada bajo normas INEN	108
Figura 98. Probeta plástico dúctil	110
Figura 99. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento plástico dúctil	110
Figura 100. Probeta plástico rígido	111
Figura 101. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento plástico rígido	111
Figura 102. Probeta alambre galvanizado	112
Figura 103. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento alambre galvanizado	112
Figura 104. Probeta alambre de cobre	113
Figura 105. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento alambre de cobre	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Unidades del esfuerzo	9
Tabla 2. Características de mayor relevancia de la máquina	30
Tabla 3. Elementos de mayor relevancia de la máquina	31
Tabla 4. Elementos para el registro de datos	31
Tabla 5. Equivalencia de 1mm en las diferentes escalas	35
Tabla 6. Evaluación de los elementos de mayor relevancia de la máquina	36
Tabla 7. Evaluación de los elementos para el Registro de datos	37
Tabla 8. Dimensiones PLC S7-1200	40
Tabla 9. Dimensiones variador de frecuencia	41
Tabla 10. Dimensiones fuente de poder	42
Tabla 11. Dimensiones porta fusibles	43
Tabla 12. Dimensiones breaker dos polos	44
Tabla 13. Dimensiones breaker tres polos	45
Tabla 14. Características físicas del elemento de acondicionamiento mecánico para la celda de carga	50
Tabla 15. Propiedades del material usado para fabricar el acondicionamiento mecánico para la celda de carga	50
Tabla 16. Deformación máxima y mínima del material al soportar carga de 200kgf	52
Tabla 17. Características físicas del acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción	55
Tabla 18. Propiedades del material usado para fabricar el acondicionamiento de sujeción de la pinza	56
Tabla 19. Deformación máxima y mínima del elemento fabricado	58
Tabla 20. Características motor trifásico	64
Tabla 21. Especificaciones técnicas del motor	66
Tabla 22. Características técnicas del Variador SINAMICS G110	68
Tabla 23. Características PLC SIMATIC S7-1200	77
Tabla 24. Características del touch panel	82

Tabla 25. Toma de datos para la calibración de la celda de carga escala 1	84
Tabla 26. Toma de datos para la calibración de la celda de carga escala 2	86
Tabla 27. Datos de desplazamiento del carrete durante dos segundos	108
Tabla 28. Medidas de desplazamiento del carrete durante dos segundos	110
Tabla 29. Datos de calibración de celda de carga	111
Tabla 30. Resultados de la práctica plástico dúctil	112
Tabla 31. Resultados de la práctica plástico rígido	113
Tabla 32. Resultados de la práctica alambre galvanizado	114
Tabla 33. Resultados práctica alambre de cobre	115

1. CAPÍTULO GENERALIDADES

El capítulo 1 presenta a la máquina de ensayos de tracción horizontal marca Amsler, del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Muestra su problemática y define objetivos encaminados a la solución.

1.1. ANTECEDENTES

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE cuenta con el Laboratorio de Mecánica de Materiales, donde se han realizado diversas prácticas dentro del área de conocimiento técnico.

La institución hace varios años adquirió una máquina de ensayos de tracción horizontal con la finalidad de mejorar el aprendizaje y enseñanza dentro de la institución, dicha máquina con el pasar del tiempo ha ido perdiendo su facilidad de uso por motivos de actualizaciones tecnológicas, convirtiéndose en un sistema ambiguo, el cual dificulta la manipulación en la realización de prácticas de laboratorio.

Los datos que se obtienen en la máquina no son precisos al contar con una estructura y parte mecánica obsoleta, entorpeciendo la adquisición de datos lo cual dificulta al estudiante la realización de la práctica, a diferencia de las máquinas comercializadas en el mercado actual que nos ofrecen una mejor interacción con el usuario al presentar una HMI y sensores los cuales nos brindan datos más exactos y precisos, facilitando la realización del trabajo de laboratorio y posibles investigaciones futuras.

Por tanto, en la investigación se planteará sustituir los elementos de accionamiento manual por elementos electromecánicos gobernados por un

controlador lógico programable (PLC), con el fin facilitar el manejo del equipo. Se implementará una HMI la cual optimizará la interacción entre el operador y la máquina. Hay que construir una estructura en caso de que sea necesario redistribuir las piezas mecánicas presentes para garantizar el correcto desempeño de la máquina. A si mismo se realizará un mantenimiento o remplazo de las piezas mecánicas defectuosas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Automatizar y reacondicionar la máquina de ensayos de tracción horizontal marca Amsler del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

1.2.2. Objetivos específicos

- Reacondicionar los elementos mecánicos de la máquina para que brinde soporte y estabilidad a la máquina.
- Implementar sensores, controladores y actuadores para mejorar la adquisición de datos obteniendo así información precisa y real del comportamiento del material estudiado en la práctica.
- Diseñar una interfaz humano máquina (HMI) que permita controlar las diferentes funciones que contiene el equipo para su proceso.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos del proceso, que facilite al estudiante la realización de la práctica.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La automatización y reacondicionamiento de la máquina de tracción horizontal del Laboratorio de mecánica de materiales es primordial, ya que esta se encuentra deteriorada por su larga vida útil. La máquina ha cumplido

alrededor de 50 años de servicio, los elementos mecánicos se encuentran desgastados y en su mayoría sin mantenimiento. Los repuestos y reparaciones de la máquina dicha anteriormente son costosos, debido a que están descontinuados y las casas fabricantes ya no elaboran repuestos, la máquina ha cumplido una extensa vida de servicio en la universidad por lo que se recomienda realizar una pertinente actualización de los elementos y dispositivos que la conforman.

Por los motivos expuestos anteriormente se propone realizar un reacondicionamiento y mantenimiento de las partes mecánicas defectuosas para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina. La máquina de ensayos de tracción horizontal es indispensable para el desarrollo académico de los estudiantes, puesto que el tema de estudio es fundamental en los conocimientos prácticos que debe poseer un ingeniero Mecánico y Mecatrónico, por lo que el laboratorio no puede prescindir de la misma.

El desarrollo tecnológico acelerado unido al gran poder de procesamiento y velocidad que han alcanzado los computadores, hace que hoy día sea prácticamente imposible concebir una actividad en el campo de la industria que no esté asociada a un equipo de control automático. Los cambios tecnológicos en los sistemas de automatización de procesos industriales son tan frecuentes y de tal magnitud, que obligan a estar permanentemente al día en este campo; por lo tanto, la automatización y la adquisición de datos en la máquina de ensayos de tracción horizontal es fundamental para facilitar la toma de datos al estudiante.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

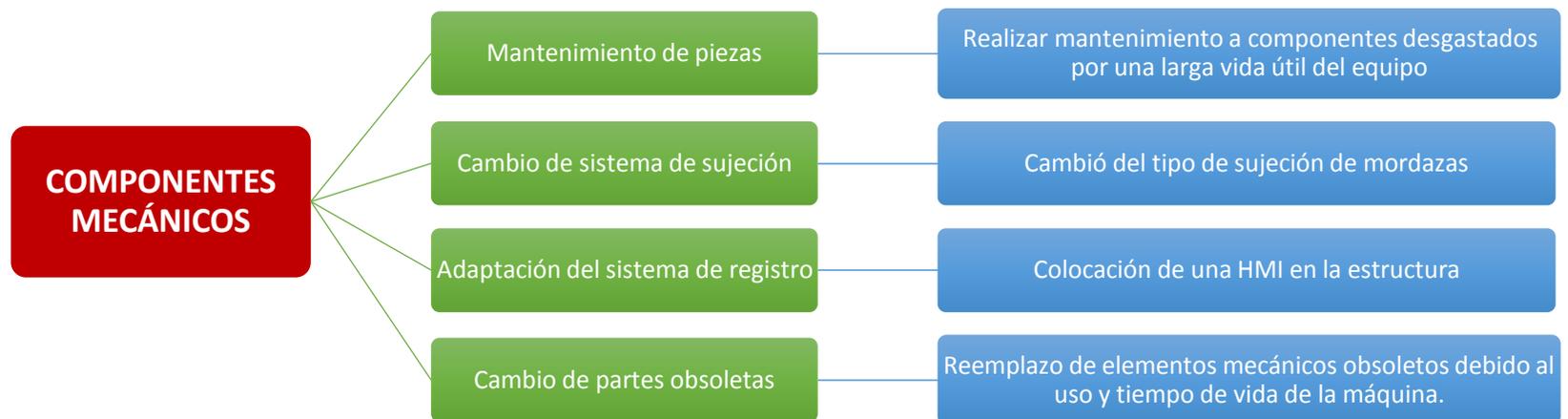


Figura 1. Componentes Mecánicos

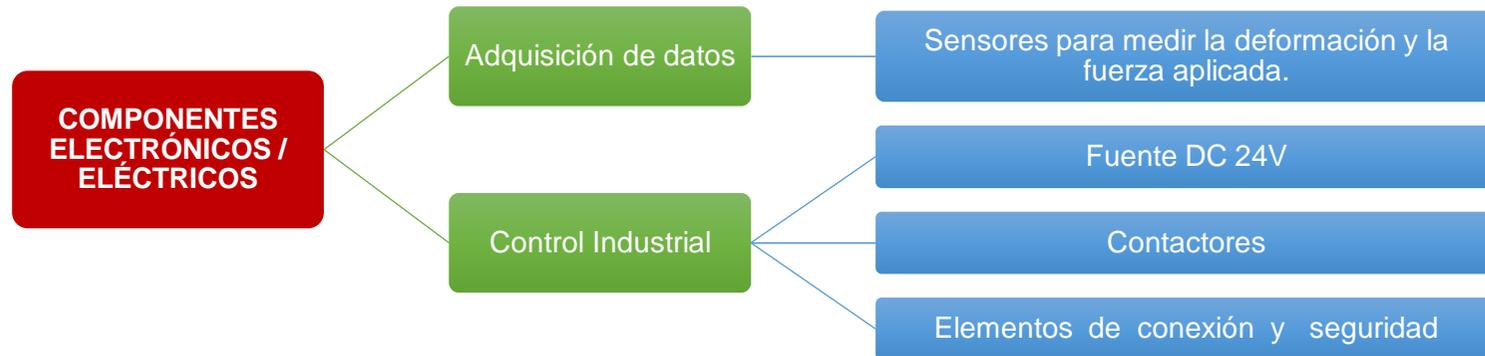


Figura 2. Componentes Electrónicos / Eléctricos



Figura 3. Componentes del Sistema de Control

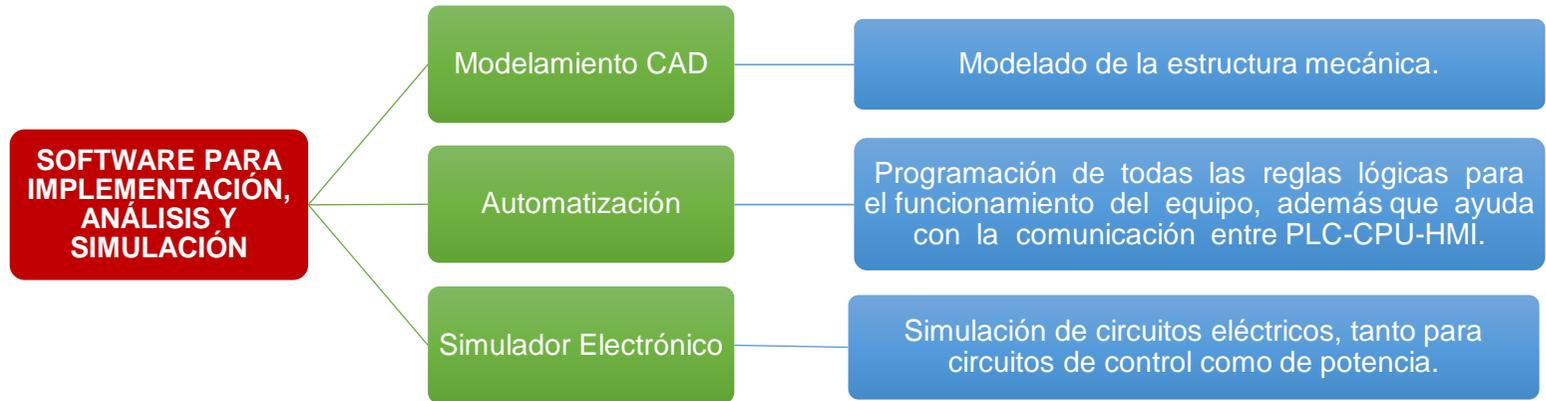


Figura 4. Software para implementación, análisis y simulación

2. CAPÍTULO MARCO TEÓRICO

En el capítulo 2 se analiza las leyes de Newton, que es el esfuerzo y sus tipos, además se detalla los tipos de deformación, se analiza cada uno de ellos así como el diagrama Esfuerzo vs Deformación. Se enumera las normas que rigen el ensayo de tracción en materiales y las condiciones físicas como ambientales que se debe tomar en cuenta para realizar un ensayo de tracción.

2.1. LEYES DE NEWTON

Las Leyes de Newton nos indican que: A toda acción corresponde una reacción, de esta manera cuando nosotros aplicamos una fuerza externa a un cuerpo sólido y este permanece estático, se produce una reacción interna de fuerzas que equilibra la fuerza externa. La magnitud de la reacción dentro del cuerpo (interna) es el esfuerzo, y la consecuencia posterior de la presencia de un esfuerzo es la alteración del cuerpo (deformación).

2.2. ESFUERZO

El esfuerzo (1) es definido como la intensidad de las fuerzas componentes internas distribuidas uniformemente debido a las cargas, que resisten un cambio en la forma de un cuerpo.

La fórmula general del esfuerzo es:

$$\sigma = \frac{F}{A} (1)$$

Dónde:

F: Fuerza aplicada

A: Área de sección transversal

2.2.1. Unidades de Esfuerzo

Tabla 1.
Unidades del esfuerzo

Magnitud	Sistema Internacional	Sistema Americano
Fuerza	Newton (N)	Libra Fuerza
Área	Metro cuadrado (m ²)	Pulgada cuadrada
Esfuerzo	Pascal (Pa)	Psi

2.2.2. Tipos de Esfuerzos

Tracción: Esfuerzo interno al que está sometido un cuerpo al aplicar dos fuerzas que actúen en sentido opuesto, (Figura 5) haciendo que se separen las distintas partículas que componen una pieza, tendiendo a alargarla.



tracción

Figura 5. Cuerpo sometido a tracción

Flexión: combinación de tracción y compresión. Al momento de aplicar la fuerza, mientras que las fibras de la parte superior de la pieza sometida

a un esfuerzo de flexión aumentan de longitud, las inferiores se acortan, o viceversa (Figura 6).

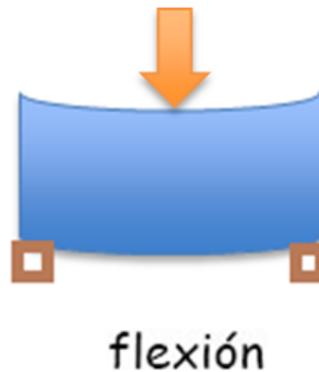


Figura 6. Cuerpo sometido a flexión

Torsión: Las fuerzas de torsión son las que al aplicarse sobre un cuerpo hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central (Figura 7).

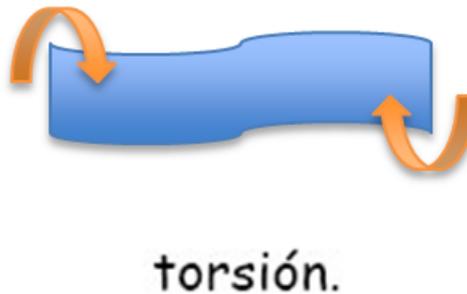


Figura 7. Cuerpo sometido a torsión

Compresión: Fuerzas que al aplicarlas, hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir aplastamientos o acortamientos del cuerpo (Figura 8).

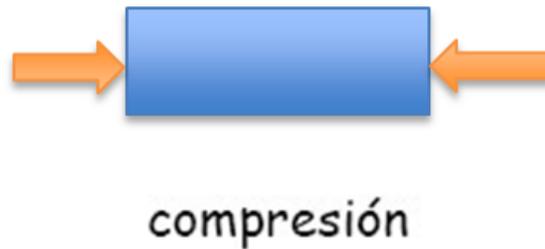


Figura 8. Cuerpo sometido a compresión

Cizallamiento o cortadura. Se hace presente al aplicar fuerzas perpendiculares a la pieza, causando que las partículas del material tiendan a desprenderse o desplazarse las unas sobre las otras (Figura 9).

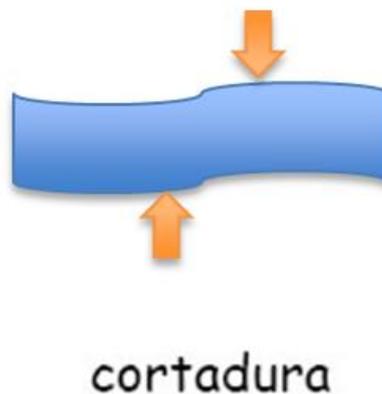


Figura 9. Cuerpo sometido a cizallamiento

2.3. DEFORMACIÓN

Cambio en la apariencia que sufre un cuerpo cuando es sometido a una fuerza que afecta su estructura molecular y física, por ende puede variar tanto en longitud área o volumen.

La magnitud más sencilla para saber la deformación se llama deformación axial o deformación unitaria (2), se puede plantear que la deformación es el cociente entre el alargamiento y la longitud inicial.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Dónde:

ε = Deformación Unitaria

δ = Deformación Total

L = Longitud Inicial

2.3.1. Clases de deformación

- Deformación elástica
- Deformación plástica
- Deformación por ruptura
- Deformación rígida

2.3.1.1. Deformación elástica

Ocurre cuando el material retoma su forma, apariencia y su volumen original cuando cesa el esfuerzo aplicado sobre él (Figura 10), dicho comportamiento es reversible, por lo que la deformación elástica se denomina una deformación transitoria.



Figura 10. Deformación elástica

2.3.1.2. Deformación plástica

Sucede cuando el material sufre deformación permanente después de haber sido sometido a cargas externas (Figura 11), sin que este llegue a la ruptura, dicho comportamiento es irreversible aunque dejen de actuar las fuerzas bajo las cuales se produjeron las deformaciones, el cuerpo no vuele exactamente al estado termodinámico que tenía antes.



Figura 11. Deformación plástica

2.3.1.3. Deformación por ruptura

Es aquella en la cual el esfuerzo hace perder la unión entre las moléculas del material y éste sufre una ruptura o cizalladura (Figura 12).

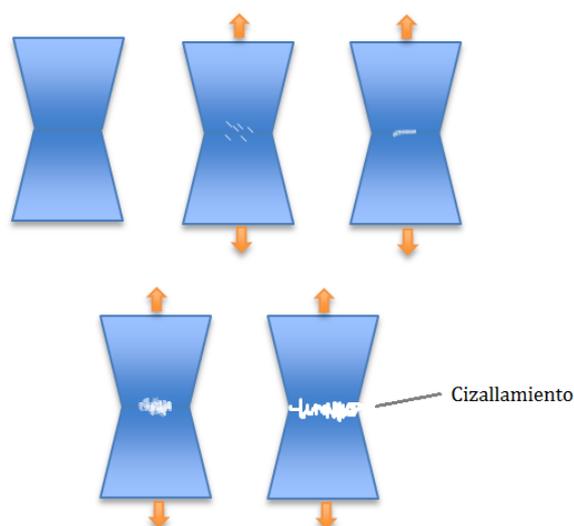


Figura 12. Deformación por ruptura

2.3.1.4. Deformación rígida

Ocurre en objetos que al aplicarles cualquier carga externa, no ocurre ninguna deformación en sus dimensiones o estructura (Figura 13).

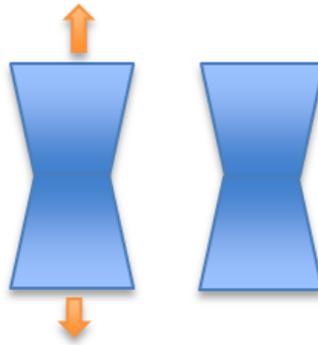


Figura 13. Deformación rígida

2.3.2. Límite elástico

Ocurre cuando el elemento pierde sus componentes elásticos, es la tensión máxima que un elemento puede resistir sin ocasionar fracturas o deformaciones permanentes (Figura 14). Si se colocan tensiones superiores a este punto, el elemento experimenta un comportamiento plástico.

2.3.3. Límite plástico

Sucede cuando el elemento pierde su componente plástico y llega a la fractura o cizallamiento (Figura 14), por ende no regresará a su estado inicial o natural.

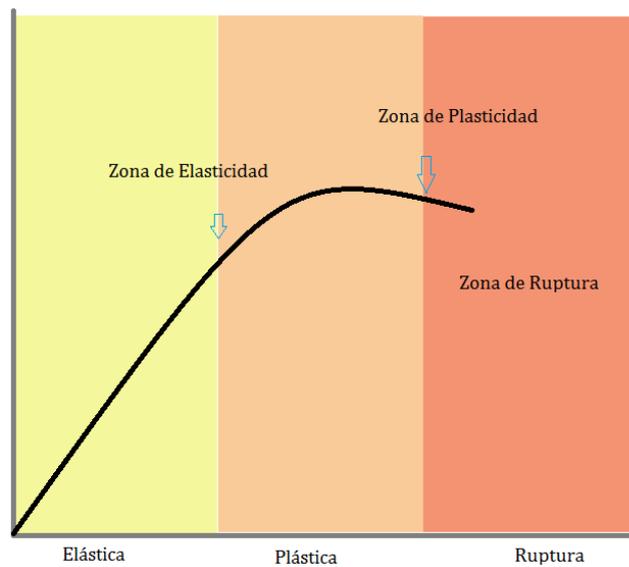


Figura 14. Límite elástico y plástico en materiales

2.4. LEY DE HOOKE

Cuando se imprime una fuerza en un cuerpo este posiblemente se alargará. Si multiplicas la fuerza, el alargamiento también se multiplicará. Esto es lo que se conoce como la ley de Hooke.

La Ley de Hooke menciona que el alargamiento de un cuerpo es directamente proporcional al módulo de la fuerza que se le aplique a este, mientras no se deforme permanentemente dicho cuerpo (3).

Dónde:

F : es el módulo de la fuerza que se aplica sobre el cuerpo.

k : es la constante elástica del muelle, la cual relaciona fuerza y alargamiento que sufre el cuerpo.

x_0 : es la longitud inicial del cuerpo, sin aplicar fuerza.

x : es la longitud del cuerpo después de aplicar la fuerza.

$$F = k \cdot (x - x_0) \quad (3)$$

2.4.1. La ley de elasticidad de Hooke

Establece que el alargamiento unitario que experimenta un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre el mismo (4):

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{F}{A \cdot E} \quad (4)$$

Dónde:

A : La sección transversal de la pieza estirada

E : Módulo de Young

2.5. ESFUERZO – DEFORMACIÓN

El límite proporcional se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de soportar sin desviarse de la proporcionalidad rectilínea entre el esfuerzo y la deformación, dentro del cual existe una relación directa, esto sucede en la zona elástica.

2.5.1. Diagrama Esfuerzo – Deformación

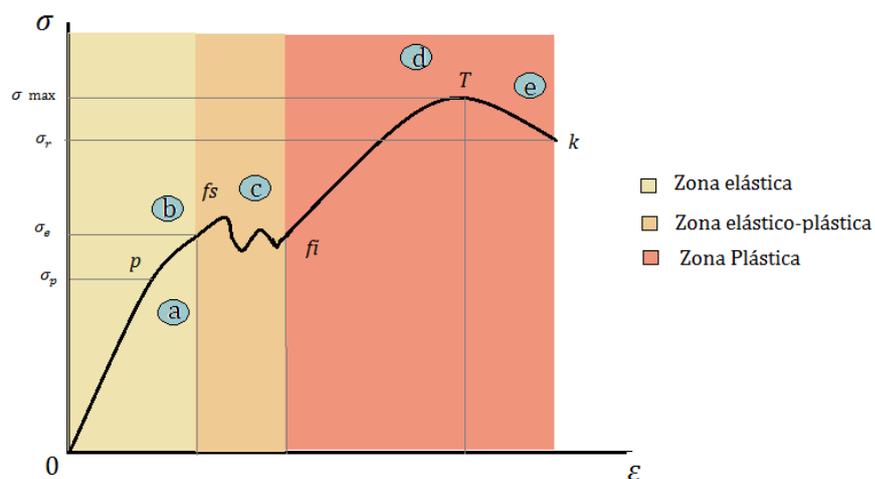


Figura 15. Diagrama Esfuerzo vs Deformación

En la gráfica se pueden apreciar las siguientes zonas, en las cuales el eje de las abscisas corresponde al de las deformaciones longitudinales o alargamiento, mientras que en el eje de las ordenadas se ubican las cargas que se va aplicando en el muelle o cuerpo (Figura 15).

Se debe tener presente los siguientes significados

- *Deformación*: Modificación de la extensión de medición referida a longitud inicial
- *Módulo de tracción*: Gradiente de la curva en el diagrama de tensión-deformación
- *Punto de fluencia*: Distorsión y tensión en el punto de la curva donde el gradiente es cero.
- *Punto de rotura*: Tensión y distorsión en el instante de fractura del material.

Análisis de cada una de las zonas del diagrama esfuerzo vs deformación.

- Período elástico 1: Se puede observar en el diagrama que desde el punto O hasta el A, está representado por una línea recta que indica la proporcionalidad entre los alargamientos y las cargas que lo producen, en este instancia se ejemplariza la Ley de Hooke.

Los aceros en este período desde el punto O hasta el punto A tienen la particularidad de que retoman su forma inicial al cesar la aplicación de la carga, no sucede lo mismo con el plástico (Figura 15).

- Zona de alargamiento 2: (seudoelástico). Para el límite proporcional se presentan un corto tramo ligeramente curvo AB, que puede camuflarse con la recta inicial, en la cual los alargamientos elásticos se les añade

una deformación mínima que presenta datos no lineales en el diagrama (Figura 15). La distorsión apreciada desde el límite proporcional al B no solo llega a valores muy extensos, si no que principalmente es recuperable en el tiempo, por ende a dicha etapa del diagrama se lo conoce con el nombre de límite elástico, superior de fluencia o aparente.

- Zona de fluencia³: El punto B denota el apareamiento de minúsculas oscilaciones o pequeños adelantos y retrocesos de la carga con relativa, e importante alteración permanente del cuerpo (Figura 15). Las variaciones en este período determinan que la fluencia no se produce homogéneamente en todo el cuerpo del material, por lo que las cargas aumentan en forma variada, dicho acto inusual se repite hasta que el escurrimiento llega a su totalidad y admite diferenciar los “límites superiores de fluencia”. El límite elástico nominalmente puede llegar a valores desde el 10 hasta el 15 % superior que el límite final de fluencia.
- Zona de alargamiento uniforme en todo el cuerpo 4: Posteriormente del punto final de fluencia C, los estiramientos son vas notorios (visibles) debido a que las cargas se incrementan, es decir, iniciamos el período de las amplias distorsiones que son uniformes en todos los cuerpos hasta llegar a D (Figura 15), por reducir, en valores iguales en toda la dimensión del cuerpo del material, dicha dimensión es la lineal transversal. La última etapa del período de alargamiento uniforme queda definido por la carga máxima, a partir de la cual la deformación se ubica en una zona exclusiva de la probeta, induciendo un angostura en las secciones de la probeta que la llevan al cizallamiento y seguidamente a la rotura; la zona DE se la conoce como la zona de estricción.

En la zona plástica se realiza, por consecuencia de la distorsión, un proceso de endurecimiento, acreditado con el nombre de acritud, que permite que cuando el material alcance el esfuerzo la resistencia del

metal, éste al distorsionar se obtiene una capacidad de carga mayor, lo que se muestra en el gráfico hasta el punto D.

- Zona de estricción: En la fase de estricción, la acritud, si bien permanece, no puede equilibrar la acelerada reducción de algunas secciones transversales, llevando consigo una disminución de la carga hasta la fractura.

2.6. MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN

Para realizar el ensayo de tracción horizontal en la máquina marca AMSLER modelo 02-2H-118, es necesario tomar en cuenta que la capacidad máxima de la máquina es de 200 [Kg], por lo tanto los materiales deben ser delgados en caso de los materiales metálicos y con poca resistencia a la tracción en caso de fibras y plásticos.

Cada uno de estos materiales se rigen a normas que determinan las características tanto de volumen como de longitud que debe presentar cada material para ser sometido a las pruebas de tracción.

2.6.1. Tipos de Materiales

- Materiales termoplásticos rígidos y semirrígidos como hojas y películas.
- Materiales termo endurecibles rígidos y semirrígidos, incluidas las composiciones cargadas y reforzadas, alambres delgados de distintas composiciones metálicas los cuales no superen la capacidad máxima de la máquina.

- Materiales compuestos termoplásticos y termo endurecibles robustecidos con fibras, que llevan refuerzos unidireccionales y multidireccionales, tales tejidos, bobinados, hilos.
- Polímeros de cristales líquidos termotrópicos.

2.6.2. Normas para el ensayo a tracción

Cada material utilizado se rige a normas las cuales nos indican los parámetros a seguir, un ejemplo de ellos son:

- Plásticos
 - ISO 527-1
 - ISO 527-2
 - ASTM D 638
- Fibras
 - ASTM D7269
 - ASTM D 2256
 - INEN-ISO 13936-1
- Alambres
 - ASTM A370
 - INEN 1510
 - ISO 15630

2.6.3. Ensayo de tracción en plásticos

Para el ensayo de tracción en plásticos, tanto la norma ISO 527-1 ISO 527-2 como la ASTM D 638 definen técnicas para el ensayo de tracción. Todas estas normas son prácticamente semejantes pero no brindan resultados que se pueden comparar entre sí ya que cada una de las

normas nos proporcionan distintas medidas, geometría, velocidades de ensayo por ende la forma de hallar los resultados difiere entre cada una.

En el ensayo de tracción estandarizado se muestran los datos obtenidos o resultados relativos a una velocidad de extracción precisada en el cuerpo del material. Por otro parte, en un elemento o un material en uso, las fuerzas empleadas pueden concentrarse en un rango muy amplio, a pesar de la velocidad de deformación, debido a las características visco elásticas de los polímeros, al aplicar distintas velocidades de deformación, generalmente, obtenemos unas propiedades mecánicas diferentes que las recopiladas en una medición a una probeta estandarizada.

2.6.4. Definición de las dimensiones y geometría según la norma ISO

Geometrías y dimensiones de probeta para el ensayo de materiales de moldeo.

Lo que se busca primordialmente del ensayo de materiales de moldeo es obtener una elevada igualdad entre todas las probetas, lo que requiere una limitación del tipo de probetas.

La mayoría de las probetas se elaboran habitualmente por inyección, por tal manera, se utiliza la probeta establecida en la norma ISO 527-2 del tipo 1A, que está limitada en la ISO 3167 como probeta del tipo A adicionalmente a un grosor establecido de 4 mm. Esta probeta, además, aparece en la ISO 20753 como tipo A1. (Annabel Saucedo, 2015)

La probeta elaborada mediante inyección tiene una disposición cada vez menor a medida que acrecienta la distancia desde el punto de inyección hacia los puntos más lejanos, lo que provoca un progreso no uniforme de la curva de características mecánicas en toda la probeta y

continuamente presenciaremos cizallamientos y rotura de la probeta por el lado contrario de donde se realizó la inyección.

La longitud que debe tener la probeta al ser medida preferiblemente es de 75 mm, otra alternativa podría ser que la probeta sea de 50 mm (Figura 16).

La probeta mencionada se suele fabricar mecanizando por fresado partiendo de placas elaboradas por inyección o compresión. Las direcciones del material, en este caso polímero se suelen diferenciar claramente comparadas con las probetas fabricadas por inyección. No se debe realizar una comparación de resultados entre los dos tipos de probetas, ya que la fabricación es distinta y no garantiza una similitud en los resultados obtenidos.



Figura 16. Longitud de las probetas más utilizadas en ensayos de tracción

2.6.5. Condiciones ambientales y requisitos de acondicionamiento establecidos

El cumplimiento de los requisitos de acondicionamiento y de las condiciones ambientales establecidos en relación con la temperatura y la humedad del aire es de especial importancia para la comparabilidad de los resultados del ensayo.

Las disposiciones para la duración del acondicionamiento se encuentran generalmente en las normas del material plástico a ensayar. Además, en el marco del ensayo de materiales de moldeo, las probetas deberán almacenarse al menos durante 16 horas en un clima normalizado.

Si los ensayos se llevan a cabo en clima normalizado, se refiere a un clima establecido en las normas ISO 291.

- Clima templado: 23 ± 2 °C
- Clima subtropical: 27 ± 2 °C

A temperatura ambiente se indica un rango de temperatura algo más amplio que puede ir de 18 °C a 28 °C.

2.6.6. Normativas a tomar en cuenta al realizar el ensayo de tracción.

Las sistemáticas que se describen a continuación no son adecuadas para ser utilizadas con estructuras tipo sándwich que contengan materiales celulares o con materiales celulares rígidos.

- La probeta del material se expande en torno de su eje principal, a velocidad constante, hasta que el esfuerzo (carga) o la deformación (alargamiento) hayan llegado a un valor predeterminado o llegar a la rotura.
- En el ensayo se miden la carga que soporta la probeta durante el tiempo que dura el ensayo y el alargamiento que sufre la misma a causa de la carga aplicada.
- El cuerpo de la probeta debe estar libre de defectos, rebabas o imperfecciones, debe estar en perfecto estado para que el ensayo tenga resultados óptimos.
- Las probetas de productos terminados se deben obtener de partes planas preferiblemente, o que tengan una ligera curvatura, como las probetas obtenidas de botellas plásticas.

- Las probetas de materiales plásticos fortificados no habrían que mecanizarse para obtener la forma final necesitada, a menos que sea absolutamente necesario.
- Los resultados adquiridos en base a probetas con cuerpos o superficies mecanizadas no son comparables con los resultados obtenidos de probetas no mecanizadas.
- Se deben de ensayar un mínimo de 3 probetas
- Las probetas tienen forma de doble campana o haltera.
- Se deben de marcar las probetas antes de cada ensayo.
- Debe existir un acondicionamiento previo.

2.7. ENCODER

2.7.1. Definición

Los encoder o codificadores rotatorios son un tipo de transductor rotativo, que permite indicar la posición angular de un eje, aceleración y velocidad del rotor de un motor mediante una señal eléctrica.

2.7.2. Funcionamiento

Un encoder es un dispositivo que se compone fundamentalmente de un disco acoplado a un eje giratorio. El disco está conformado de material transparente o semitransparente (vidrio o plástico) y se encuentra “codificado” con unas partes de dicha composición y otras opacas que

bloquean el paso de la luz generalmente emitida por luces infrarrojas. La mayor parte de codificadores rotatorios presenta las áreas bloqueadas o codificadas en forma radial.

Conforme la rotación del eje, el emisor infrarrojo destella luminosidad que es receptada por un foto-transistor, creando los pulsos digitales a medida que la luz cruza a través del disco o es interrumpida en diferentes partes de este. Formando así un encadenamiento que puede ser utilizado para controlar el radio de giro, la velocidad e incluso la dirección de movimiento.

2.7.3. Tipos de encoder

Se los puede clasificar de acuerdo al tipo de información que brindan con respecto a la posición, esta sería:

2.7.3.1. Incremental

Es de los más comunes y utilizados, como su nombre lo indica, es un encoder que establece el ángulo de posición realizando cuentas incrementales, siempre realizará cuentas incrementales con referencia a la última posición registrada por el sensor.

Los encoders incrementales son un tipo de encoder óptico y este en este tipo de encoder cada posición es completamente única.

Dentro de los encoders incrementales, se encuentran los encoders en cuadratura. Corresponde a un tipo de encoder incremental que utiliza dos sensores ópticos posicionados con un desplazamiento de $\frac{1}{4}$ de ranura el uno del otro, generando dos señales de pulsos digitales desfasada en 90° o en cuadratura (Figura 17). A estas señales de salida, se les llama comúnmente A y B. Mediante ellas es posible suministrar los datos de

posición, velocidad y dirección de rotación del eje. Si se incluye la señal de referencia, se le denomina I (índice).(Venegas, 2009)

Usualmente, si la señal A adelanta a la señal B (la señal A toma valor lógico “1” antes que la señal B, por ejemplo), se establece el convenio de que el eje está rotando en sentido horario, mientras que si “B” adelanta a “A”, el sentido será antihorario.(Venegas, 2009)

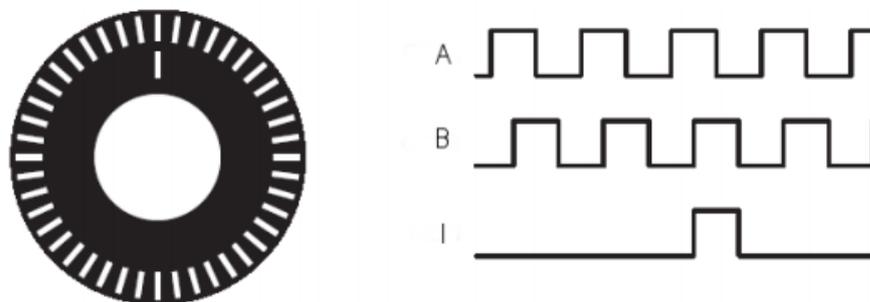


Figura 17. Disco ranurado y de señales en cuadratura junto con la señal de referencia, generadas por un encoder incremental

Fuente: (Venegas, 2009)

2.7.3.2. *Absoluto*

Obtiene la información y se basa en ella para establecer la posición absoluta en secuencia. Se debe tomar en cuenta que un encoder absoluto brinda un código exclusivo para cada posición.

Se clasifican en dos grupos: los encoders de un solo giro y los encoders de giro múltiple, su tamaño es diminuto para permitir una integración más simple.

2.7.3.3. *Monovuelta*

Este tipo de encoders fragmentan una revolución mecánica en un número determinado de pasos de medición. Después de un giro completo de 360 grados, los valores de medición vuelven a ser los mismos, siendo 8192 el número máximo de pasos.

2.7.3.4. *Multivuelta*

Los encoders multi vuelta no sólo registran la posición angular, sino que también cuentan las revoluciones, siendo 4096 el número máximo de pasos. La muestra de las señales se genera a través de una interfaz SSI o de un sistema de bus tipo Profibus.

2.8. CELDA DE CARGA

2.8.1. Definición

Una celda de carga es un transductor que transforma la fuerza aplicada sobre dicha celda en una señal eléctrica cuantificable. Las celdas de carga son los sensores para medir fuerza más utilizados a pesar de existir varios tipos de sensores en el mercado, un factor que lo hace más solicitado en la industria es su bajo costo en relación a otro tipo de sensores.

Los tipos de celdas de carga (Figura 18) se pueden diferenciar de acuerdo con el tipo de señal de salida emitida (neumático, hidráulico, eléctrico) o mediante la forma en que detectan la carga (flexión, cizalladura, compresión, tensión). A continuación presentamos algunos modelos que podemos encontrar en el mercado:

2.8.2. Tipos de celda de carga



Celdas de carga de compresión

- Las celdas de carga de compresión a menudo tienen un diseño de botón integral. Son óptimas para acoplarse en situaciones en las que se cuenta con poco espacio. Brindan excelente estabilidad a largo plazo.



Celdas de carga de compresión/tensión

- Las celdas de carga de compresión/tensión se suelen utilizar para aplicaciones en las que la carga puede pasar de tensión a compresión o viceversa. Son óptimas para entornos con poco espacio. Presentan los extremos roscados lo que permiten una fácil instalación.



Celda de carga tipo S

- Las celdas de carga tipo S reciben ese nombre por su forma en S. Las celdas de carga tipo S pueden ofrecer una señal si está bajo tensión o compresión. Se las puede usar también en aplicaciones incluyendo nivel de tanque, tolvas y básculas para camión. Ofrecen un rechazo superior a la carga lateral.



Las celdas de carga de viga flexible

- Las celdas de carga de viga flexible son utilizadas en aplicaciones de varias celdas de carga, medición de peso de tanque, control industrial y de proceso. Vienen con construcción de bajo perfil para integración en áreas restringidas.



Celda de carga de plataforma y punto único

- Las celdas de carga de plataforma y punto único son utilizadas para sistemas de medición de peso comerciales e industriales. Proporcionan lecturas precisas sin importar la posición de la carga en la plataforma.



Celdas de carga de cartucho

- Las celdas de carga de cartucho son utilizadas en aplicaciones para medición de peso individual y múltiple. Varias de ellas tienen un diseño totalmente en acero inoxidable y están herméticamente selladas para áreas de lavado y húmedas.



Celda de carga de bajo perfil

- La celdas de carga de compresión/tensión/compresión. Los orificios de montaje y las roscas hembra permiten un fácil acople. Son utilizadas frecuentemente en medición de peso y en monitoreo de fuerza en línea.

Figura 18. Tipos de celda de carga

3. CAPÍTULO

ESTADO ACTUAL DE MÁQUINA Y REQUERIMIENTOS

En el capítulo 3 se identifica el estado inicial de la máquina, se realiza una evaluación cuantitativa (bueno, malo, regular) del estado actual de cada uno de los elementos, así como de cada uno de los sistemas que conforma la máquina, se analiza las características físicas y funcionales que tiene cada elemento. Además se estudia el funcionamiento general de la máquina y las precauciones que se debe tomar cuando esta está en funcionamiento.

3.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA MÁQUINA.

La máquina Amsler(Figura 19) se encarga de realizar ensayos de tracción horizontal, puede trabajar con un peso máximo de 200 kg (400 lb). Está especialmente diseñada para ensayos de materiales de sección pequeña o de baja resistencia a la tracción como, por ejemplo, alambres finos, láminas, fibra, tela, papel, hilo, plásticos, entre otros. Está adecuado principalmente para ensayar muestras que tienen una gran extensión como es el caso del caucho.



Figura 19. Máquina de ensayos de tracción horizontal

Tabla 2.
Características de mayor relevancia de la máquina

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
Marca	AMSLER
Modelo	02 – 2H – 118
Procedencia	Schaffhausen, Suiza
Tipo de ensayo	Tracción Horizontal
Voltaje	220 [V]
Fases	3
Ciclos	60 [Hz]
Peso	160 [Kg]
Capacidad máxima	200 [Kg]
Tipo de motor	DK f 10M
Potencia del motor	1/4 [HP]
Velocidad máxima del motor	1630 [RPM]



Figura 20. Placa del motor trifásico

A continuación, se describe las características técnicas que posee la máquina.

Tabla 3.
Elementos de mayor relevancia de la máquina

Elementos	Función
Sujeción Fija	Sujetar la probeta
Sujeción Móvil	Sujetar la probeta y estirarle mientras dure el ensayo
Tornillo sinfín	Desplaza la Sujeción Móvil
Motor Trifásico	Hace girar al tornillo sinfín
Manivela	Desplaza al Tornillo sinfín de forma Manual
Regleta de Medición de Fuerza	Indica la fuerza aplicada
Pesas para diferentes Escalas	Calibración de la máquina para las diferentes escalas
Rodillo de Registro de Datos	Registro de Gráfica Fuerza vs Deformación

Adicionalmente se ha realizado una tabla con los elementos que forman parte para el registro de datos.

Tabla 4.
Elementos para el registro de datos

Elementos	Función
Mecanismo para detectar la Fuerza	Medir la Fuerza
Mecanismo para detectar el Desplazamiento	Medir el Desplazamiento

3.2. ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA MÁQUINA.

La máquina cuenta con diferentes partes para su trabajo, como son:

- Cabezal de agarre móvil.
- Cabezal de agarre fijo.
- Indicador de carga.
- Sistema de registro de datos.
- Sistema de tracción.

3.3. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.

Para realizar el ensayo con una probeta en la máquina de ensayos de tracción horizontal, se debe realizar con los siguientes pasos.

- Preparar la probeta según los requerimientos del ensayo.
- Seleccionar la escala del graficador.
- Determinar el valor en la escala de carga y colocar sus pesos respectivos.
- Colocar la probeta en la mordaza fija.
- Aproximar de manera manual la mordaza móvil hasta que se pueda sujetar con el extremo de la probeta.
- Desconectar la manivela para accionar el motor.
- Conectar la fuente de alimentación eléctrica del motor.
- Encerar los valores de carga y deformación.
- Colocar el punto de partida para realizar la graficación.
- Girar el interruptor del motor hasta indicar la posición 1, para accionar el ensayo.
- Terminado el ensayo, girar el interruptor del motor hasta indicar la posición 0.

3.3.1. Precauciones

Al realizar el ensayo con la probeta, se debe tener en cuenta algunas precauciones durante el proceso como son las siguientes:

- Verificar el valor de la escala de carga, dependiendo del material a ensayar, antes de colocar los pesos respectivos.
- Realizar un estudio analítico del material de la probeta para colocar de manera correcta los parámetros calculados en el equipo.
- No sobrepasar el 90% de la capacidad máxima de la escala de carga.

3.4. REGISTRO DE DATOS EN EL GRAFICADOR

La máquina consta con un sistema de graficación por medio de dos mecanismos:

- Mecanismo para la medición de la fuerza
- Mecanismo para la medición de la deformación

3.4.1. Mecanismo para la medición de la Fuerza

El Mecanismo para la medición de la fuerza consta de la sujeción fija que se desplaza según la fuerza aplicada al material. Este desplazamiento produce un movimiento en el marcador, para que realice la gráfica la fuerza según la escala escogida.



Figura 21. Sistema de registro de datos

3.4.2. Mecanismo para la medición de la Deformación

El mecanismo para la medición de la deformación consta de varios elementos, entre los más relevantes están la sujeción móvil que se desplaza por el tornillo sinfín, este desplazamiento es transmitido por medio de un hilo hacia el rodillo, donde se ubica el papel milimetrado. En el rodillo se registra el movimiento de la sujeción móvil, con una escala fija, independientemente de la fuerza.

Como lo expresado anteriormente, hay que seleccionar la escala de la fuerza a la cual se realizará el ensayo. Según la escala escogida se administra el peso requerido en la máquina para realizar una lectura correcta de los datos de fuerza.

Según se observa en la Figura 22, dependiendo de la escala escogida cada milímetro equivale a un valor en gramos.

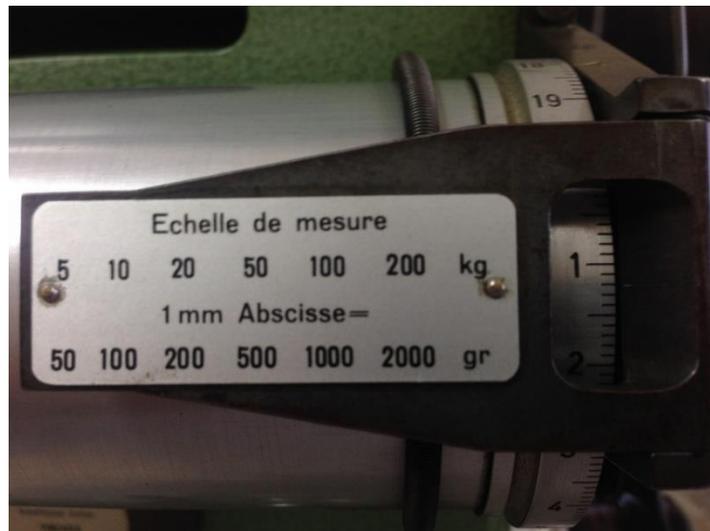


Figura 22. Equivalencia según escalas

**Tabla 5.
Equivalencia de 1mm en las diferentes escalas**

Escala	Equivalencia de 1 mm
5 Kg	0.05 Kg
10 Kg	0.1 Kg
20 Kg	0.2 Kg
50 Kg	0.5 Kg
100 Kg	1 Kg
200 Kg	2 Kg

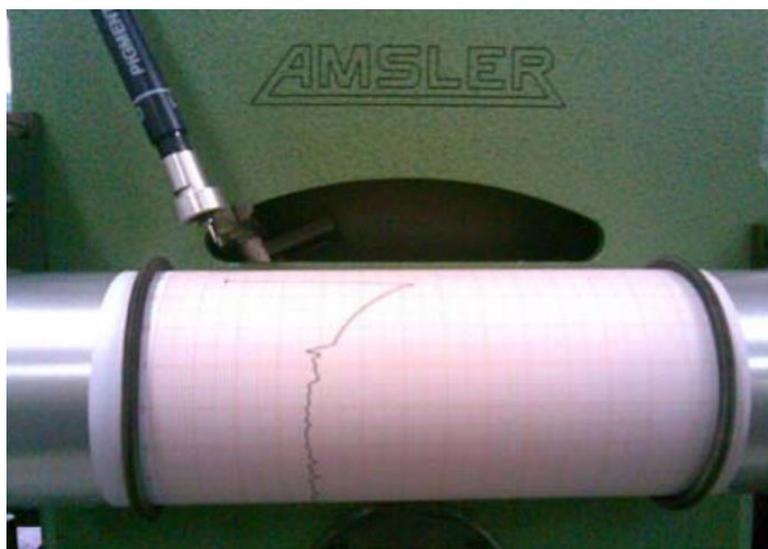


Figura 23. Graficación del ensayo realizado

3.5. EVALUACIÓN FINAL

Luego de realizar un análisis exhaustivo de la máquina se pudo concluir que los elementos principales para realizar los ensayos de tracción se encuentran en buenas condiciones, pero el registro de datos no es funcional ya que es obsoleto, debido al paso de los años de trabajo de la máquina.

En la Tabla 6 y Tabla 7, se muestra la evaluación independiente de los elementos de la máquina y el sistema para el registro de datos.

Tabla 6.
Evaluación de los elementos de mayor relevancia de la máquina

Elementos	Evaluación
Sujeción Fija	Buena
Sujeción Móvil	Buena
Tornillo sinfín	Buena
Motor Trifásico	Excelente
Manivela	Excelente
Regleta de Medición de Fuerza	Regular
Pesas para diferentes Escalas	Regular
Rodillo de Registro de Datos	Regular

Tabla 7.
Evaluación de los elementos para el Registro de datos

Elementos	Evaluación
Mecanismo para detectar la Fuerza	Buena
Mecanismo para detectar el Desplazamiento	Regular

4. CAPÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO, ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y DE CONTROL.

En este capítulo se indicará los elementos implementados en la automatización de la máquina de tracción horizontal, el diseño construcción e implementación de los distintos elementos mecánicos así como también la selección de los elementos eléctricos y de control los cuales nos permitirán el óptimo funcionamiento de la máquina.

4.1. DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS.

En este punto se considera implementar los siguientes elementos mecánicos

- Caja de control
- Caja de acondicionamiento
- Soporte mecánico para encoder
- Acondicionamiento mecánico para celda de carga
- Acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción
- Mantenimiento tornillo sin fin

4.1.1. Caja de Control

Para la selección de este elemento se debe tener en cuenta la cantidad de dispositivos que albergara este elemento, así como sus dimensiones y el posicionamiento de cada uno de ellos. De igual manera existirán elementos que no serán ubicados en el interior de la caja de control, dichos elementos se mantendrán conectados mediante el cableado con la caja de control, por ende la estructura que albergará gran parte de la automatización deberá ser

ubicada cerca a la máquina y al resto de elementos con la que está vinculada. Los elementos que estarán situados dentro de la caja de control son:

- PLC
- Variador de frecuencia
- Fuente de poder
- Porta fusibles
- Breakers dos polos
- Breakers tres polos
- Distribución interna del gabinete metálico

En el mercado comercial existen cajas metálicas ideales para albergar dispositivos electrónicos y eléctricos (Figura 24), ya que cuentan con características y seguridades ideales para este uso, presentan una pintura electrostática la que muestra excelentes resultados tanto en términos de acabado y sellado hermético

Imagen	Referencia	Descripción						Empaque	Precio USD
		Alto	Ancho	Profund.	Espesor Tablero	Espesor Puerta	Espesor Doble fondo		
Medidas en (mm)									
	BJS1-2020/100	200	200	100	1,20	1,20	1,20	1	13,95
	BJS1-2020/150	200	200	150	1,20	1,20	1,20	1	15,48
	BJS1-3020/150	300	200	150	1,20	1,20	1,20	1	20,97
	BJS1-3025/150	300	250	150	1,20	1,20	1,20	1	24,60
	BJS1-3025/250	300	250	250	1,20	1,20	1,20	1	32,13
	BJS1-3030/150	300	300	150	1,20	1,20	1,20	1	28,23
	BJS1-4030/200	400	300	200	1,20	1,20	1,20	1	38,82
	BJS1-4030/300	400	300	300	1,20	1,20	1,20	1	47,92
	BJS1-4040/200	400	400	200	1,20	1,20	1,20	1	48,00
	BJS1-5040/200	500	400	200	1,20	1,20	1,20	1	57,75
BJS1-5040/300	500	400	300	1,20	1,20	1,20	1	70,59	
BJS1-5050/200	500	500	200	1,20	1,20	1,20	1	68,97	
BJS1-6040/200	600	400	200	1,20	1,20	1,20	1	67,20	
BJS1-6050/200	600	500	200	1,20	1,20	1,20	1	80,22	
BJS1-6060/250	600	600	250	1,20	1,20	1,20	1	100,32	
	BJS1-7050/250	700	500	250	1,20	1,50	1,20	1	98,52
	BJS1-8060/250	800	600	250	1,20	1,50	1,20	1	130,98
	BJS1-8060/300	800	600	300	1,20	1,50	1,20	1	135,75
	BJS1-8080/300	800	800	300	1,20	1,50	1,20	1	171,24
	BJS1-1060/300	1000	600	300	1,50	1,50	2,00	1	170,64
	BJS1-1080/300	1000	800	300	1,50	1,50	2,00	1	214,95
	BJS1-1260/300	1200	600	300	1,50	1,50	2,00	1	200,19
	BJS1-1280/300	1200	800	300	1,50	1,50	2,00	1	251,79
	BJS1-1010/300/2P	1000	1000	300	1,50	1,50	2,00	1	259,56
	BJS1-1210/300/2P	1200	1000	300	1,50	1,50	2,00	1	303,45

Figura 24. Medidas gabinetes metálicos comerciales

Fuente: (SUMELEC, 2014)

A continuación se indicará las dimensiones de los elementos ubicados en el interior del gabinete metálico y su distribución física.

4.1.1.1. PLC SIEMENS S7-1200

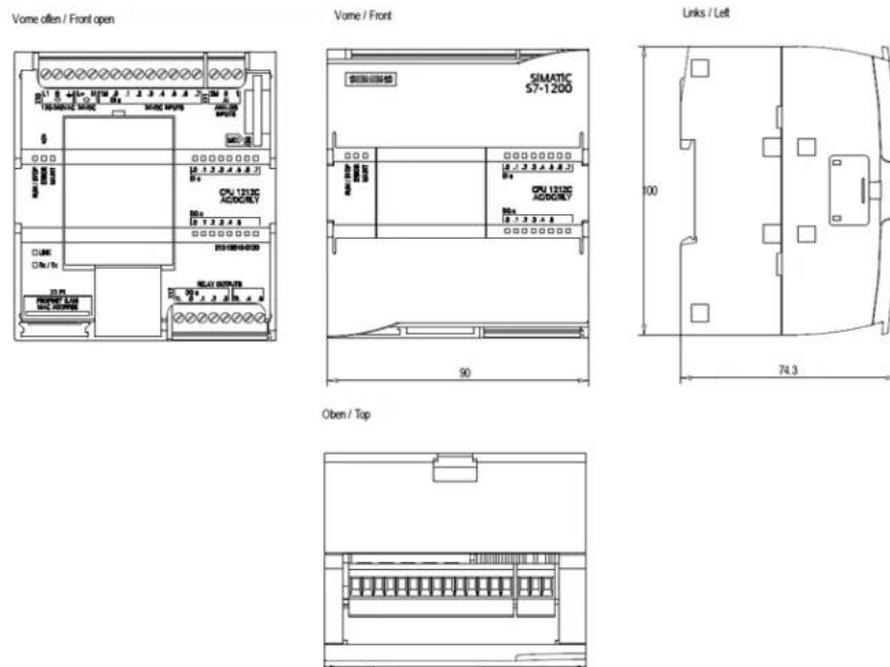


Figura 25. Dimensiones PLC S7-1200

Fuente: (SIEMENS, 2012)

Tabla 8.
Dimensiones PLC S7-1200

Dimensiones PLC SIEMENS S7-1200

Ancho	90 mm
Alto	100 mm
Profundidad	75 mm

4.1.1.2. Variador de frecuencia SIEMENS SINAMICS G110

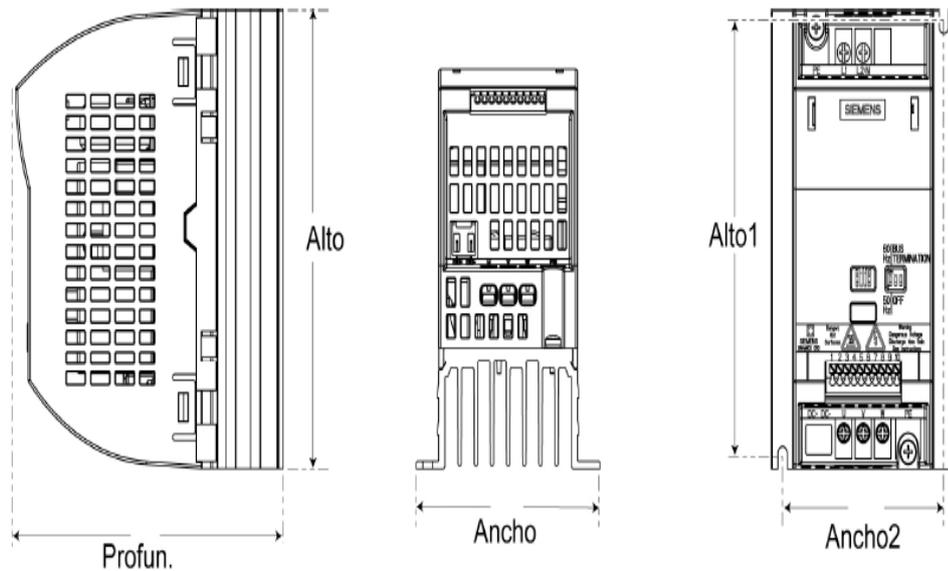


Figura 26. Dimensiones variador de frecuencia

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS G110, 2005)

Tabla 9.
Dimensiones variador de frecuencia

Dimensiones variador de frecuencia SIEMENS SINAMICS G110

Ancho	90 mm
Alto	150 mm
Profundidad	116 mm

4.1.1.3. Fuente de poder

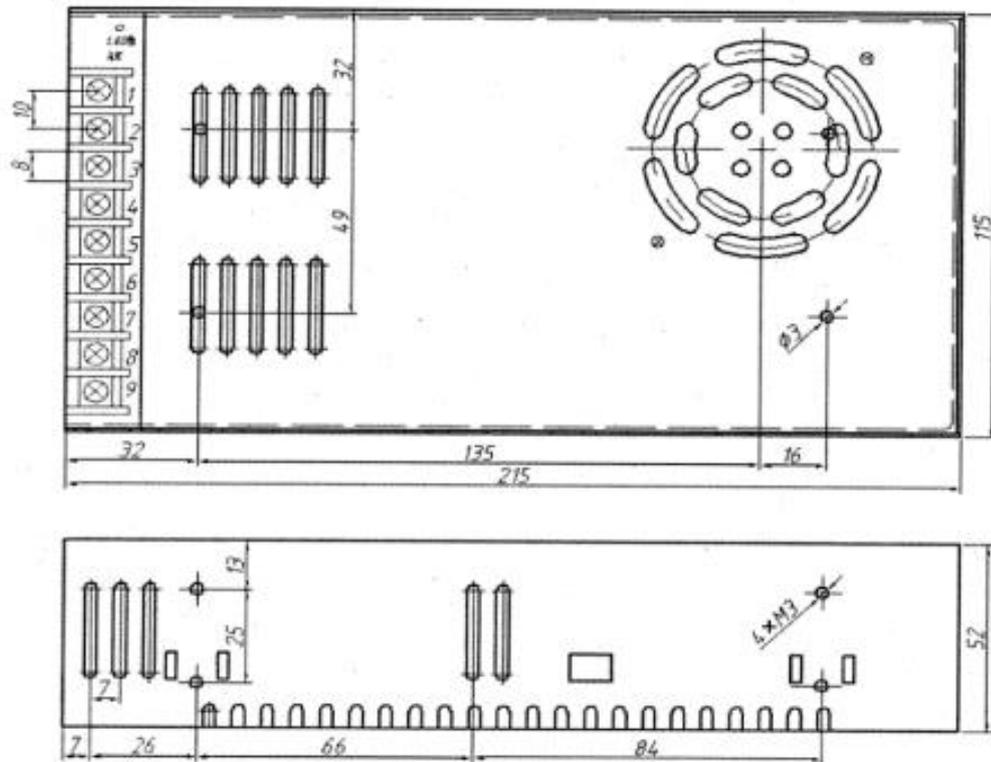


Figura 27. Dimensiones fuente de poder

Fuente: (CAMSCO, 2015)

Tabla 10.
Dimensiones fuente de poder

Dimensiones fuente de poder	
Ancho	115 mm
Alto	215 mm
Profundidad	52 mm

4.1.1.4. Porta fusibles

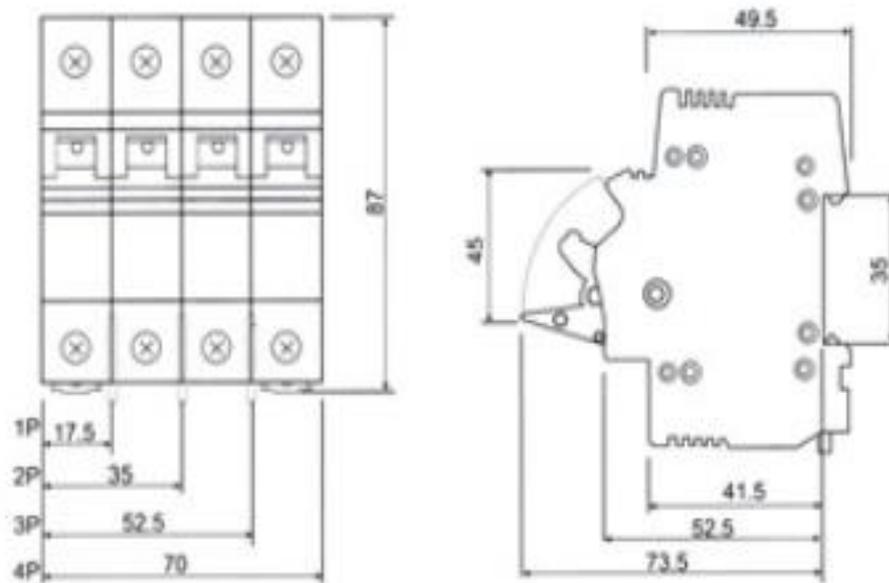


Figura 28. Dimensiones porta fusibles

Fuente: (CAMSCO, 2015)

Tabla 11.
Dimensiones porta fusibles

Dimensiones Porta fusibles	
Ancho	70 mm
Alto	87 mm
Profundidad	73.5 mm

4.1.1.5. Breakers Dos Polos

Dimensions

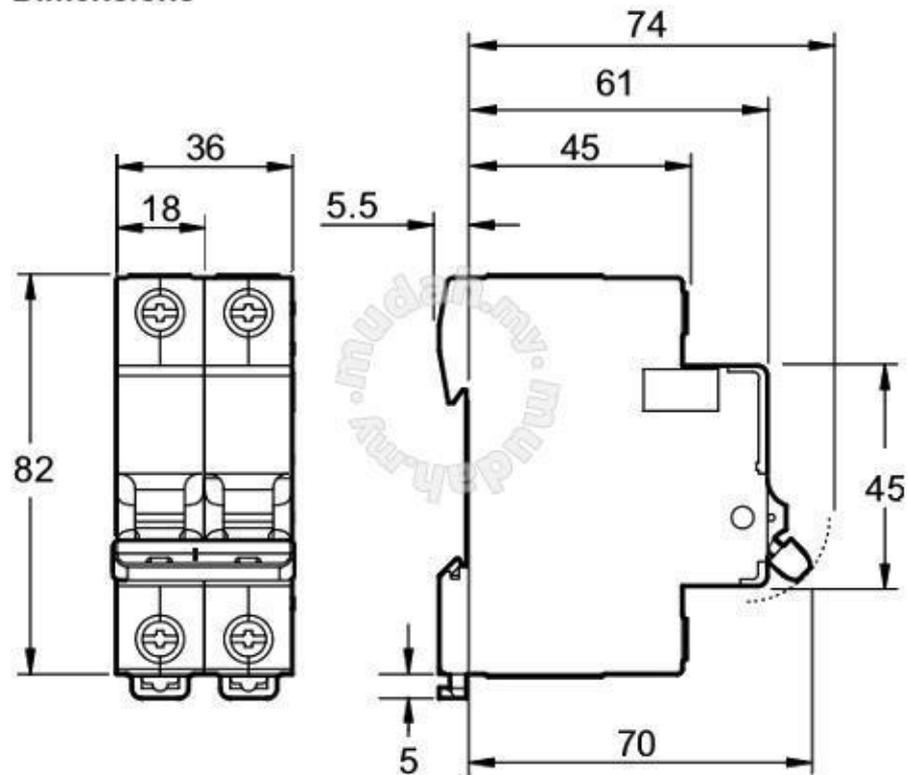


Figura 29. Dimensiones breaker dos polos

Fuente: (Schneider, 2013)

Tabla 12.
Dimensiones breaker dos polos

Dimensiones Breaker dos polos	
Ancho	36 mm
Alto	82 mm
Profundidad	70mm

4.1.1.6. Breaker tres polos

Dimensions

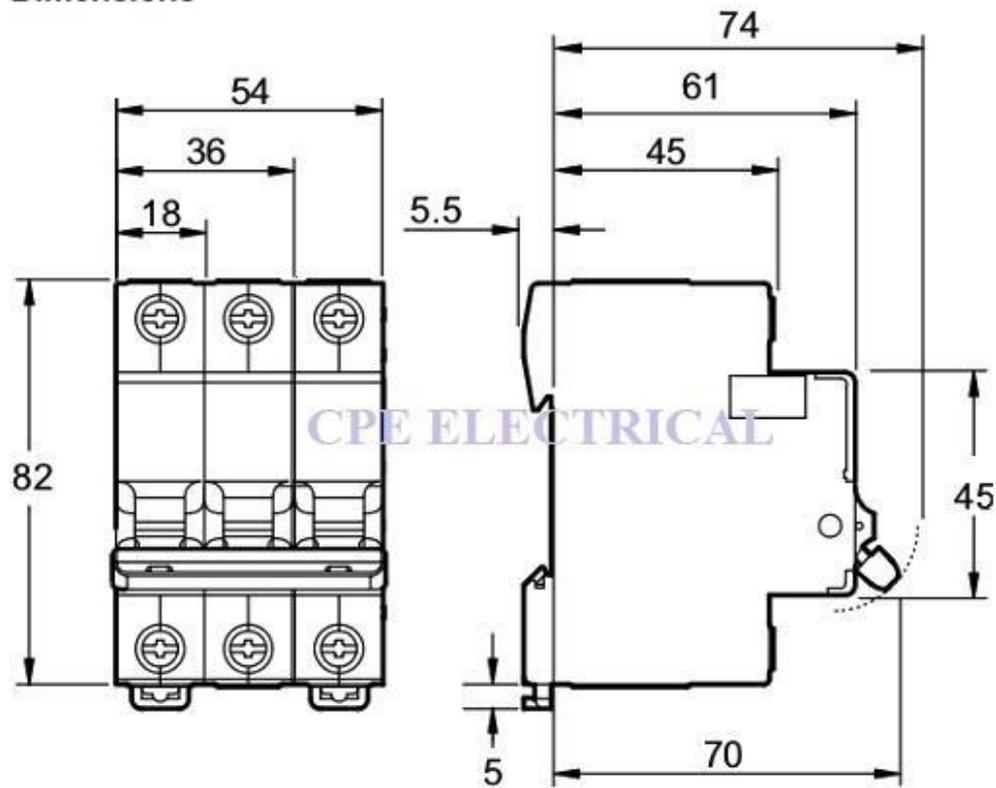


Figura 30. Dimensiones breaker tres polos

Fuente: (Schneider, 2013)

Tabla 13.
Dimensiones breaker tres polos

Dimensiones Breaker tres polos	
Ancho	54 mm
Alto	82 mm
Profundidad	70mm

4.1.1.7. Distribución interna del gabinete metálico



Figura 31. Distribución interna gabinete

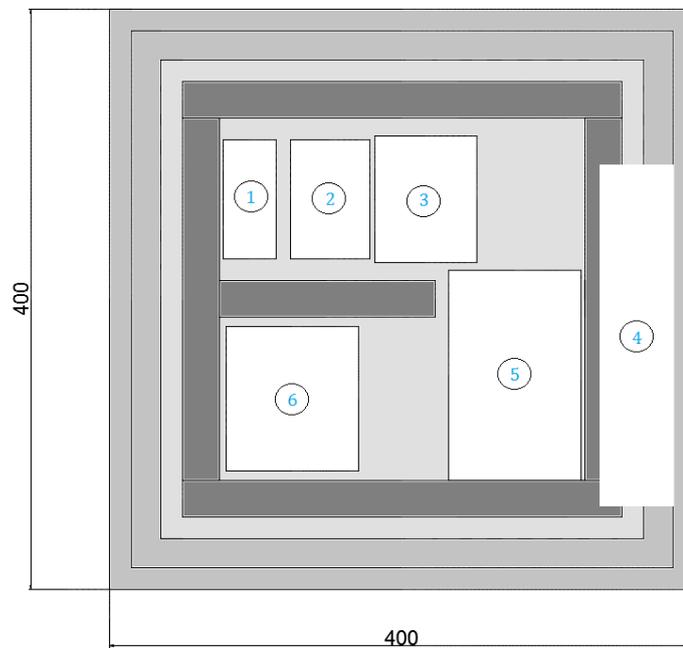


Figura 32. Distribución física interna de componentes albergados en el gabinete 400x400

1. Brakers 2 polos
2. Brakers 3 polos
3. Portafusibles
4. Fuente de alimentación
5. Variador de frecuencia
6. PLC

4.1.2. Caja de acondicionamiento

Imagen	Referencia	Descripción						Empaque	Precio USD
		Alto	Ancho	Profund.	Espesor Tablero	Espesor Puerta	Espesor Doble fondo		
		Medidas en (mm)							
	BJS1-2020/100	200	200	100	1,20	1,20	1,20	1	13,95
	BJS1-2020/150	200	200	150	1,20	1,20	1,20	1	15,48
	BJS1-3020/150	300	200	150	1,20	1,20	1,20	1	20,97
	BJS1-3025/150	300	250	150	1,20	1,20	1,20	1	24,60
	BJS1-3025/250	300	250	250	1,20	1,20	1,20	1	32,13
	BJS1-3030/150	300	300	150	1,20	1,20	1,20	1	28,23
	BJS1-4030/200	400	300	200	1,20	1,20	1,20	1	38,82
	BJS1-4030/300	400	300	300	1,20	1,20	1,20	1	47,92
	BJS1-4040/200	400	400	200	1,20	1,20	1,20	1	48,00
	BJS1-5040/200	500	400	200	1,20	1,20	1,20	1	57,75
	BJS1-5040/300	500	400	300	1,20	1,20	1,20	1	70,59
	BJS1-5050/200	500	500	200	1,20	1,20	1,20	1	68,97
	BJS1-6040/200	600	400	200	1,20	1,20	1,20	1	67,20
	BJS1-6050/200	600	500	200	1,20	1,20	1,20	1	80,22
	BJS1-6060/250	600	600	250	1,20	1,20	1,20	1	100,32
	BJS1-7050/250	700	500	250	1,20	1,50	1,20	1	98,52
	BJS1-8060/250	800	600	250	1,20	1,50	1,20	1	130,98
	BJS1-8060/300	800	600	300	1,20	1,50	1,20	1	135,75
	BJS1-8080/300	800	800	300	1,20	1,50	1,20	1	171,24
	BJS1-1060/300	1000	600	300	1,50	1,50	2,00	1	170,64
	BJS1-1080/300	1000	800	300	1,50	1,50	2,00	1	214,95
	BJS1-1260/300	1200	600	300	1,50	1,50	2,00	1	200,19
	BJS1-1280/300	1200	800	300	1,50	1,50	2,00	1	251,79
	BJS1-1010/300/2P	1000	1000	300	1,50	1,50	2,00	1	259,56
	BJS1-1210/300/2P	1200	1000	300	1,50	1,50	2,00	1	303,45

Figura 33. Dimensiones de gabinetes comerciales

Fuente: (SUMELEC, 2014)

Para la selección de este elemento (Figura 33) se debe tener en cuenta el número de placas de los circuitos de acondicionamiento que albergara este elemento, así como sus dimensiones y el posicionamiento de cada uno de ellas (Figura 34). Dicho gabinete contendrá en su interior circuitos muy sensibles al ruido por lo que su ubicación será lo más alejada posible del motor de la máquina.

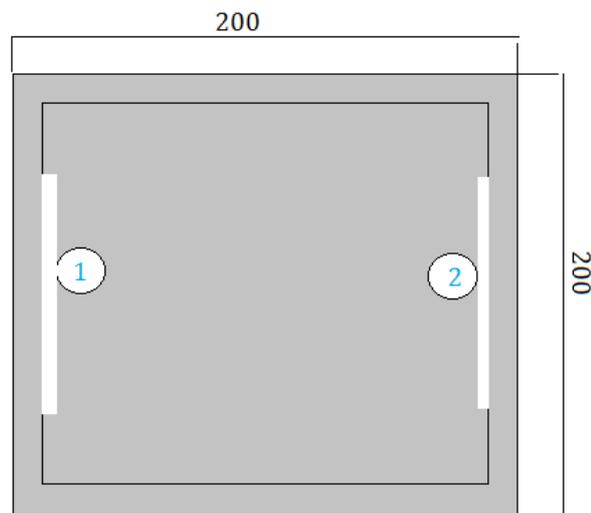


Figura 34. Distribución física interna de componentes albergados en el gabinete 200x200

1. Placa 1 circuito de acondicionamiento
2. Placa 2 circuito de acondicionamiento

4.1.3. Soporte mecánico para encoder

Para la implementación del soporte mecánico que soportará el encoder se diseñó una placa delgada en la cual irá empotrada el encoder (Figura 35), dicha placa no soportará ningún tipo de carga por lo que no se realizará una simulación de cargas sobre ella.

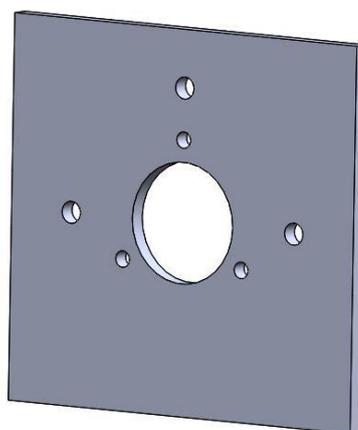


Figura 35. Soporte mecánico para encoder

4.1.4. Acondicionamiento mecánico para celda de carga

Para la implementación de la celda de carga a la máquina de tracción horizontal se diseñó un elemento que deberá ir empotrado con 4 pernos a la estructura principal de la máquina (Figura 36), dicho elemento deberá soportar fácilmente la carga máxima que puede generar la máquina al realizar el ensayo de tracción cuyo valor es de 200kgf, para verificar que el elemento diseñado soportará dicha carga se realizó una simulación en la cual se aplicó todos los parámetros necesarios para verificar la confiabilidad del elemento diseñado (Tabla 14) y (Tabla 15).

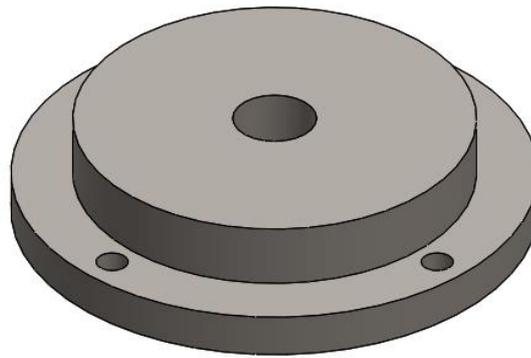


Figura 36. Acondicionamiento mecánico para la celda de carga

Tabla 14.
Características físicas del elemento de acondicionamiento mecánico para la celda de carga

Propiedades volumétricas
Masa:0.429369 kg
Volumen:5.46967e-005 m ³
Densidad:7850 kg/m ³
Peso:4.20782 N

Tabla 15.
Propiedades del material usado para fabricar el acondicionamiento mecánico para la celda de carga

Propiedades	
Nombre:	ASTM A36 Acero
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	2.5e+008 N/m²
Límite de tracción:	4e+008 N/m²
Módulo elástico:	2e+011 N/m²
Coeficiente de Poisson:	0.26
Densidad:	7850 kg/m³
Módulo cortante:	7.93e+010 N/m²

Se aplicó una fuerza normal de 200Kgf sobre el elemento a condiciones normales, es decir a temperatura ambiente y una atmósfera de presión, para iniciar con la simulación se aplicó una malla sólida como se muestra en la Figura 37.

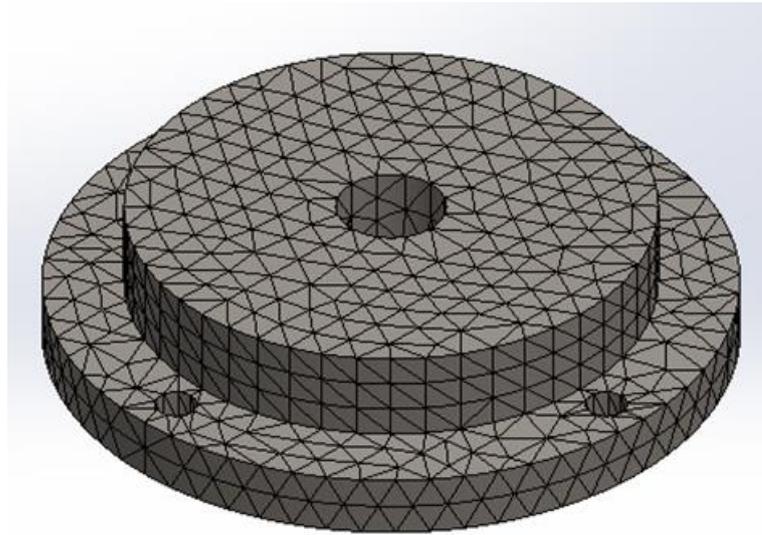


Figura 37. Malla aplicada al acondicionamiento para la celda de carga

La Figura 38 muestra la deformación que sufre nuestro elemento diseñado al soportar la carga de 200kgf, se observa zonas en tonalidades de verde que son las zonas más críticas en las cuales se concentra mayor cantidad de esfuerzo. Analizando la simulación, la deformación unitaria que tiene el material al soportar la carga máxima es:

Tabla 16.
Deformación máxima y mínima del material al soportar carga de 200kgf

Mín.	Máx.
1.793e-00	1.003e-004

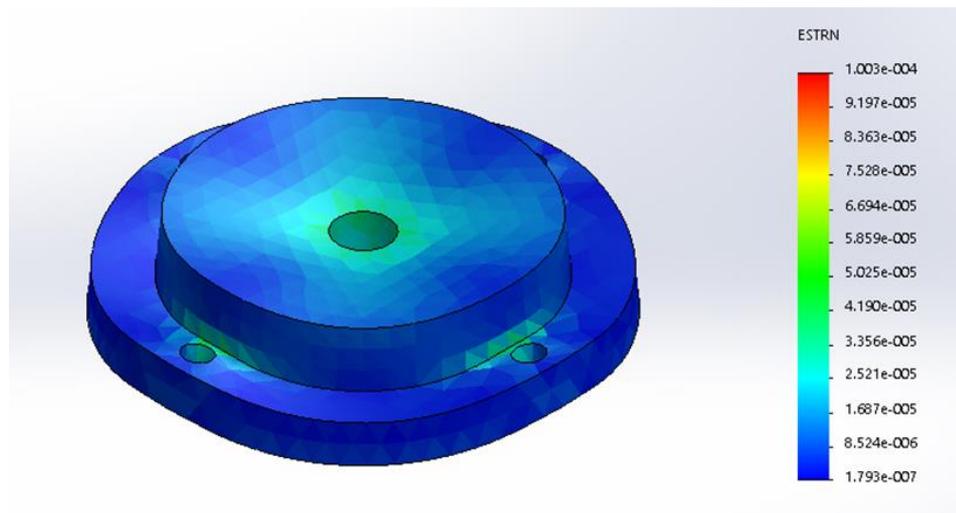


Figura 38. Deformación del material al soportar carga de 200kgf

Comparando el límite elástico del material con los datos obtenidos de la simulación (Figura 39) se concluyó que el elemento soportará sin complicaciones la carga máxima de la máquina, con un factor de seguridad muy excedido a las necesidades como nos indica la Figura 40.

- Factor de seguridad mínimo (FDS): 12,4
- Factor de seguridad máximo (FDS): 2610

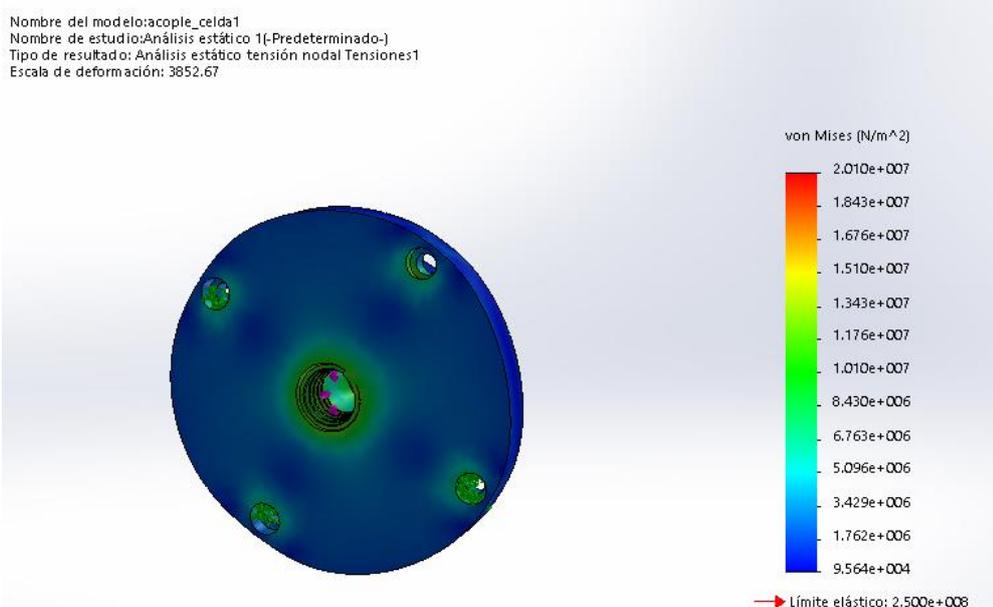


Figura 39. Límite elástico máximo y mínimo

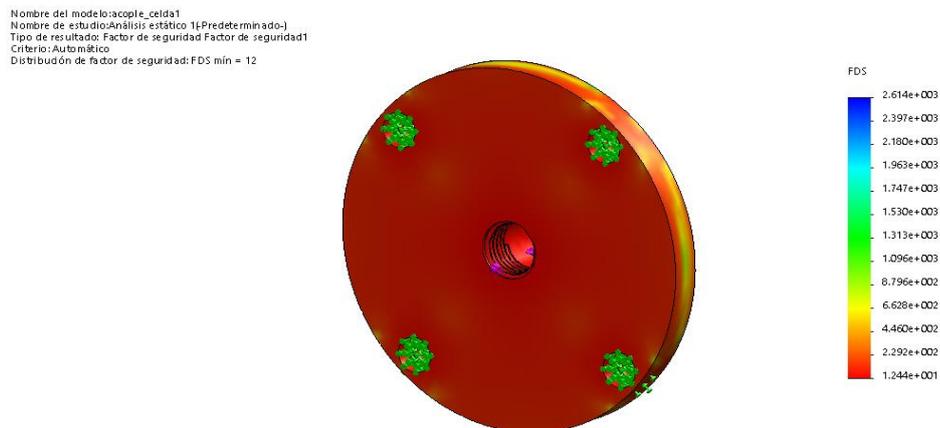


Figura 40. Factor de seguridad en distintas zonas del elemento

4.1.5. Acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción

Para el acople de la pinza de la máquina de tracción horizontal se diseñó un elemento que deberá ir empotrado con un perno a la celda de carga de la máquina (Figura 41), dicho elemento deberá soportar fácilmente la carga máxima que puede generar la máquina al realizar el ensayo de tracción cuyo valor es de 200kgf, para verificar que el elemento diseñado soportará dicha carga se realizó una simulación en la cual se aplicó todos los parámetros necesarios para verificar la confiabilidad del elemento diseñado (Tabla 17) y (Tabla 18).

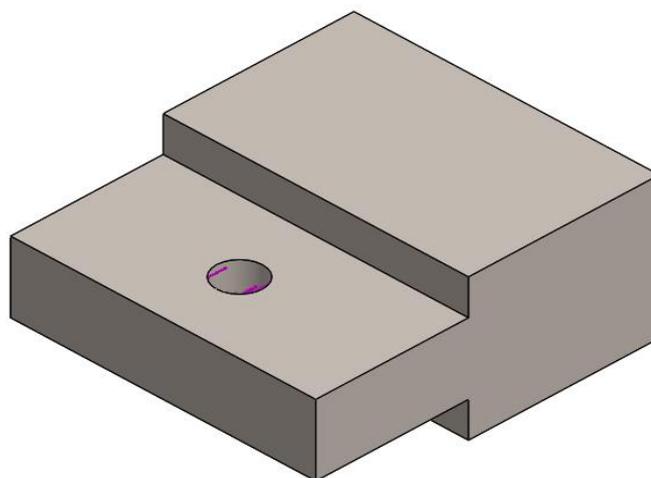


Figura 41. Acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción

Tabla 17.
Características físicas del acondicionamiento mecánico para pinza de sujeción

Propiedades volumétricas
Masa:0.199553 kg
Volumen:2.5917e-005 m ³
Densidad:7699.7 kg/m ³
Peso:1.95562 N

Tabla 18.
Propiedades del material usado para fabricar el acondicionamiento de sujeción de la pinza

Propiedades	
Nombre:	Acero aleado
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	6.20422e+008 N/m²
Límite de tracción:	7.23826e+008 N/m²
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m²
Coefficiente de Poisson:	0.28
Densidad:	7700 kg/m³
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.3e-005 /Kelvin

Se aplicó una fuerza normal de 200Kgf sobre el elemento a condiciones normales, es decir a temperatura ambiente y una atmósfera de presión, para iniciar la simulación se empleó una malla sólida como se muestra en la Figura 42.

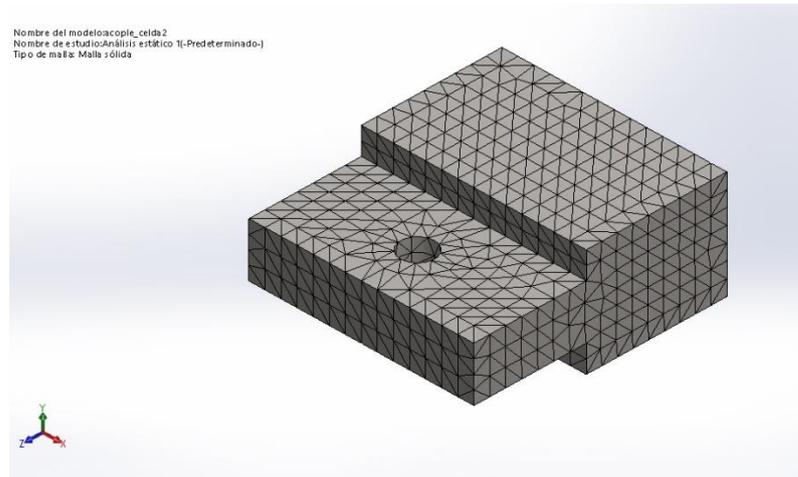


Figura 42. Malla aplicada a acondicionamiento para pinza

La Figura 43 muestra la deformación que sufre nuestro elemento diseñado al soportar la carga de 200kgf, se observa zonas en tonalidades de verde que son las zonas más críticas en las cuales se concentra mayor cantidad de esfuerzo. Analizando la simulación, la deformación unitaria que tiene el material al soportar la carga máxima es Tabla 19.

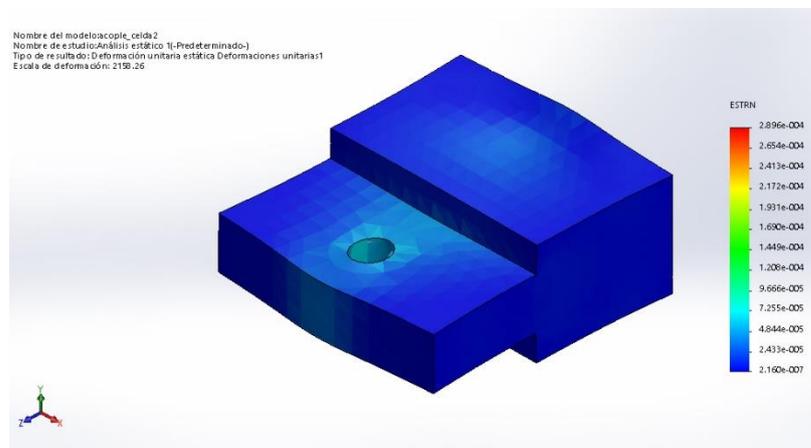


Figura 43. Deformación sufrida en el elemento al soportar 200 kgf

Tabla 19.
Deformación máxima y mínima del elemento fabricado

Mín.	Máx.
2.160e-007	2.896e-004

Comparando el límite elástico del material con los datos obtenidos de la simulación Figura 44 se concluyó que el elemento soportará sin complicaciones la carga máxima de la máquina, con un factor de seguridad muy excedido a las necesidades como nos indica la Figura 45.

- Factor de seguridad mínimo (FDS): 5.5
- Factor de seguridad máximo (FDS): 16800

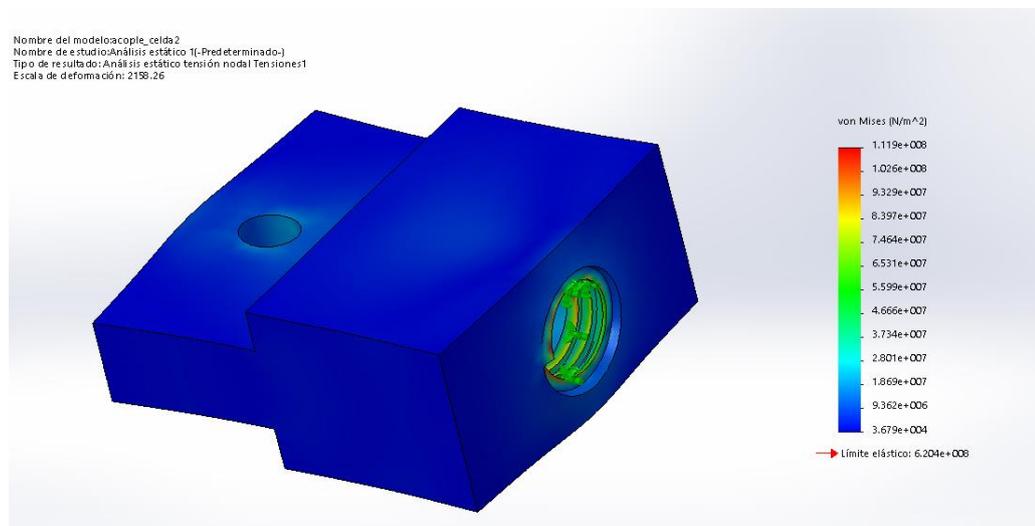


Figura 44. Límite elástico máximo y mínimo en distintas zonas del elemento

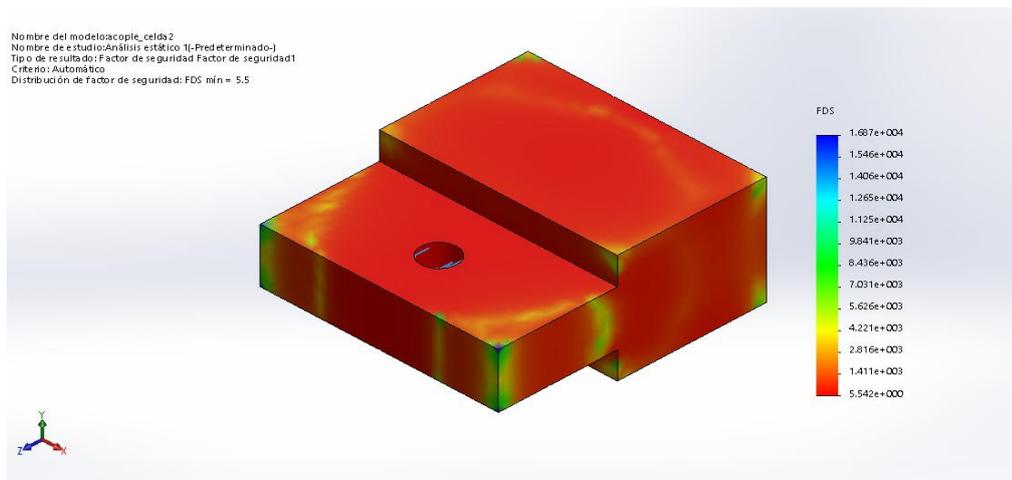


Figura 45. Factor de seguridad en diferentes zonas del elemento

4.1.6. Mantenimiento tornillo sin fin

Dentro de los tipos de mantenimiento de maquinaria y equipos más comúnmente usados por la industria se citan dos, el primero es preventivo el cual implica realizar una rutina de inspección y servicio así como brindar mantenimiento de las instalaciones en buen estado para prevenir fallas y el segundo es por fallas o de corrección el cual se realiza cuando el equipo falla y debe repararse de emergencia o de manera prioritaria; la aplicabilidad de cualquiera de los dos depende del tipo de falla y tiempo en que fue detectado. (Ramos, 2001)

El mantenimiento que se realizó en el tornillo sin fin es un mantenimiento preventivo según Render y Heizer (2006), definen el mantenimiento como aquellas actividades involucradas en conservar el equipo de un sistema en buen estado, dichas tareas son destinadas a mantener o restaurar un bien a un estado o a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento para cumplir una función requerida, su objetivo principal es mantener la capacidad del sistema a su vez controlando los costos para evitar variabilidad en el mismo. A través de los años el concepto de mantenimiento ha tomado gran importancia en el sector industrial debido a que las empresas desean ser más productivas y

eficientes en el uso de sus recursos, todo esto enmarcado en una filosofía de la calidad total que corresponde a una mejora continua basado en el sistema de mantenimiento preventivo, donde los costos generados a la empresa por el mismo deben de ser visualizados como una inversión que a largo plazo le ayudará a minimizar el riesgo de tener paros prolongados de los procesos en épocas de intensa producción y por ende ser más eficientes con el tiempo. (Molina, 2001)

El mantenimiento que se realizó al tornillo sin fin constó de una limpieza total del tornillo, seguidamente de una revisión minuciosa del estado de su helicoide (Figura 46), después de constatar el perfecto estado físico y funcional del tornillo se procedió finalmente a lubricarlo (Figura 47), de esta manera se aseguró el óptimo funcionamiento de la máquina ya que este elemento cumple un papel principal.

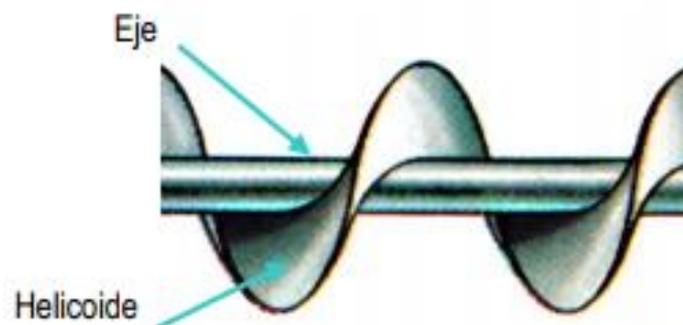


Figura 46. Partes principales de un tornillo sin fin

Fuente: (Caldas, 2016)

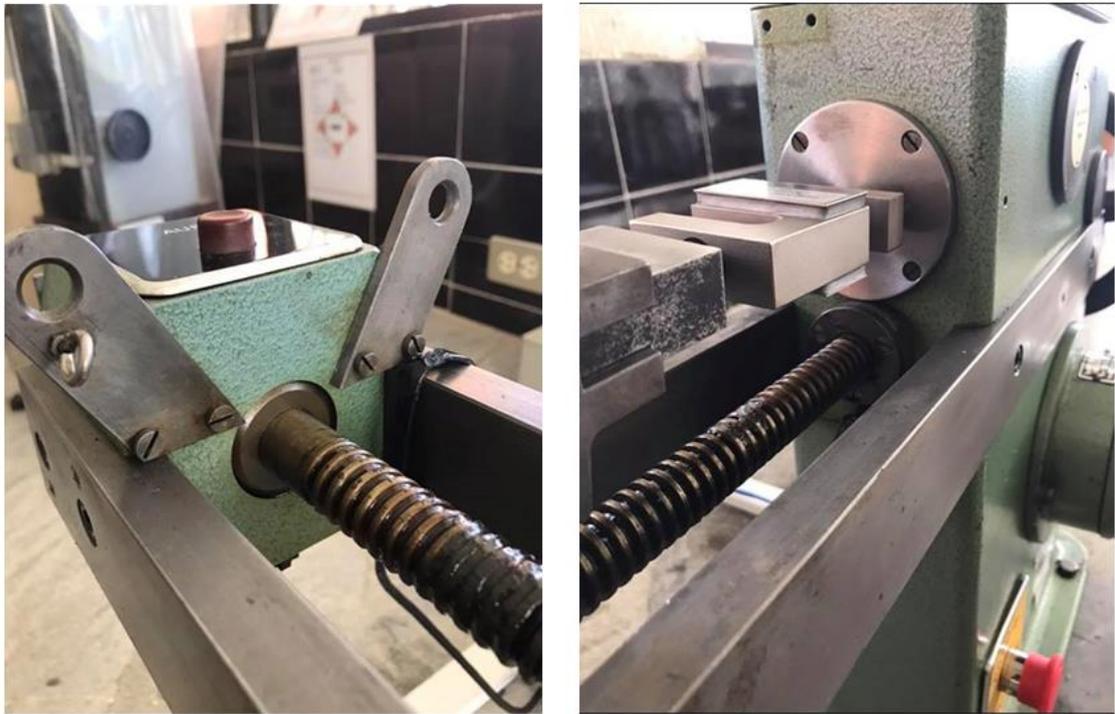


Figura 47. Tornillo sin fin realizado el mantenimiento

4.2. DISEÑO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS

4.2.1 Dimensionamiento y selección de sensores y actuadores

Para la selección de los sensores y actuadores que van a funcionar en la automatización de la máquina se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

- La carga máxima de pruebas es de 200 kilogramos
- Velocidad de trabajo hasta 60 Hz

Debido a esta razón se decide seleccionar una celda de carga para medir la fuerza que se realiza en el material. Y un sensor encoder incremental para medir el desplazamiento.

4.2.1.1. Celda de carga

S-Beam Load Cells

Sensortronics60001A-2k Steel

El tipo 60001 es una celda de carga que trabaja a tensión y compresión con un recubrimiento niquelado capaz de resistir a la humedad y evitar la corrosión. Los cables que esta presenta son recubiertos y robustecidos para soportar ambientes de todo tipo manteniendo siempre su perfecto estado y brindando un funcionamiento óptimo (Figura 48).



Figura 48. Celda de carga

Fuente: <http://www.vishaypg.com/docs/11588/60001.pdf>

Aplicaciones

- Pesaje de elementos
- Conversiones a escala de camiones
- Cargas a tensión y compresión

Características de la celda de carga

- Capacidad nominal hasta 2000 libras
- Sensibilidad 3,0 mV / V
- Tolerancia nominal de salida $\pm 0,25\%$
- Error combinado $0,03 \pm\%$ FSO

- No repetibilidad 0,01 \pm % FSO
- Máxima sobrecarga central segura 150% de R.C.
- Construido de acero inoxidable de aleación de alta calidad

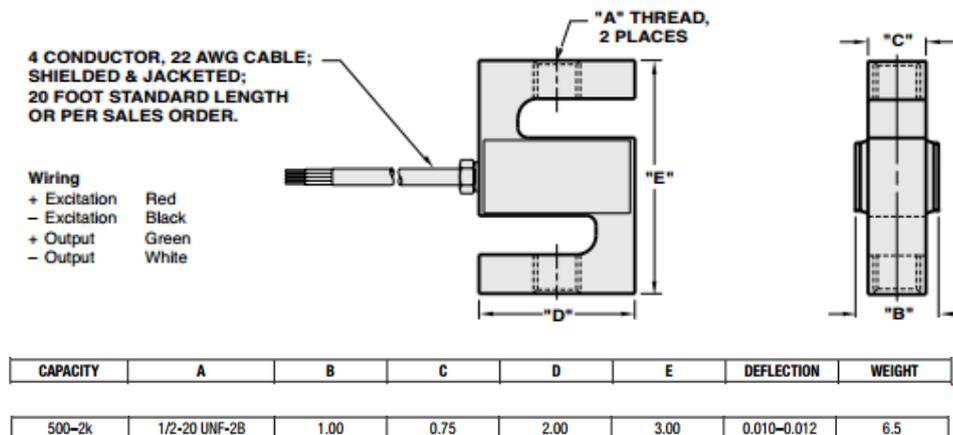


Figura 49. Características celda de carga

Fuente: (CAMSCO, 2015)

4.2.1.2. Encoder Rotacional Incremental

Teoría del encoder

Los encoders de incremento proveen un número específico de pulsos justamente espaciados por revolución (PPR). Se utiliza un solo canal de salida para aplicaciones donde el sentido de la dirección de movimiento no es importante (unidireccional) y cuando el sentido si es importante (bidireccional) se utiliza la salida de cuadratura.

Características

- Modelo Incremental de 4 fases
- Resolución de 400 ppr (pulso por revolución)
- Voltaje 8 – 30VDC
- Corriente 100 mA
- Máxima velocidad permisible 4000 rpm

4.2.1.3. Motor Trifásico

El motor es nuestro único Actuador del proceso, este es el encargado de proporcionar el torque necesario para el movimiento del tornillo sin fin y este a su vez hace posible el movimiento del carrete donde se ajustan las probetas a ser estudiadas mediante el ensayo de tracción.

Este motor es propio del Fabricante y cumple con las especificaciones técnicas detalladas en la siguiente tabla (Figura 50):

Tabla 20.
Características motor trifásico

Voltaje Delta	Voltaje Estrella	Corriente Nominal Delta	Corriente Nominal Estrella	Potencia	Velocidad	Frecuencia
220V	380V	1.1 A	0.63 A	0.25 Hp	1630 rpm	60 Hz



Figura 50. Placa del motor trifásico

4.2.2. Componentes eléctricos

4.2.2.1 Dimensionamiento de los fusibles

Para la protección de los diferentes elementos de potencia, se requiere la implementación de fusibles, los cuales cumplen con la función de abrir el circuito cuando la corriente máxima de trabajo es sobrepasada. Los fusibles destinados al uso industrial, se rigen a la normativa IEC 60269-1. (Schneider, 2013)

Para el dimensionamiento de los Fusibles se ha separado en dos tipos de circuitos:

- Circuito de Potencia

La máquina de ensayos de tracción tiene como elemento principal de consumo de energía al Motor Trifásico, el mismo que tiene una corriente nominal de 1.1 A (Tabla 21).

El criterio de dimensionamiento y selección de los fusibles establece que el dicho elemento de ser elegido en función de la corriente de protección, la cual corresponde al producto de la corriente máxima por 1,8.

Por lo tanto, la corriente de protección corresponde a 1.98 A, pero se selecciona un valor comercial de 2 A.

- Circuito de Control

Para el circuito de control se escoge el valor comercial más pequeño que corresponde a 2 A.

Tabla 21.
Especificaciones técnicas del motor

	Potencia (kW)	Corriente nominal (A)	Voltaje en Δ (V)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)
Motor Placa	0.186	1.1	220	60	1630

4.2.2.2. Dimensionamiento del Breaker

Para la selección y dimensionamiento de breakers se utilizó un criterio que determina que este se debe elegir de acuerdo al valor establecido por la corriente máxima multiplicada por un factor constante de 1,25 A. Mencionado este criterio se tomó el valor nominal de corriente utilizado por el motor que es de 1,1 A y al multiplicarlo por el factor mencionando anteriormente, se determinó el valor de 1,375 A.

Debido a que en el mercado solo se encuentran breakers de valores comerciales se optó por utilizar breakers trifásicos de 3 polos de 6 A. Se implementó este elemento, teniendo presente que servirá para el funcionamiento del circuito de potencia, para el circuito de control se utilizó breakers de menor capacidad, teniendo en cuenta que los elementos como el PLC, Touch Panel no consumen cantidades representativas de corriente comparadas con los elementos del circuito de potencia, por ende se utilizó un breaker de 2 polos de 2 A.

4.2.2.3. Dimensionamiento del Variador

Para seleccionar el variador utilizado se tomó en cuenta la potencia requerida y el amperaje utilizado, teniendo en cuenta estos puntos se procedió a elegir el modelo del variador utilizado como lo observamos en la Figura 51.

SINAMICS G110
1AC 200-240V ±10%
 • Capacidad de sobrecarga: 1,5xI_{out} durante 60s y 0,85xI_{out} durante 240s, en ciclos 300s
 • 3 entradas digitales y 1 salida digital
 • Sin filtro CEM
 • Sin panel de operación integrado (opcional)

Versión con 1 Entrada Analógica (AI1: 0-10V) (utilizable como 4ta entrada digital)

100022577	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 0.25kW / 0.33HP, I _{out} :1.7A, Entrada Analógica - tamaño A		6SL3211-0A812-5UA1
100022579	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 0.37kW / 0.50HP, I _{out} :2.3A, Entrada Analógica - tamaño A		6SL3211-0A813-7UA1
100022581	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 0.55kW / 0.75HP, I _{out} :3.2A, Entrada Analógica - tamaño A		6SL3211-0A815-5UA1
100022583	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 0.75kW / 1.00HP, I _{out} :3.9A, Entrada Analógica - tamaño A		6SL3211-0A817-5UA1
100022585	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 1.10kW / 1.50HP, I _{out} :6A, Entrada Analógica - tamaño B		6SL3211-0A821-1UA1
100022587	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 1.50kW / 2.00HP, I _{out} :7.8A, Entrada Analógica - tamaño B		6SL3211-0A821-5UA1
100022589	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 2.20kW / 3.00HP, I _{out} :11A, Entrada Analógica - tamaño C		6SL3211-0A822-2UA1
100022574	Variador de Velocidad G110-1AC 230V, 3.00kW / 4.00HP, I _{out} :13.6A, Entrada Analógica - tamaño C		6SL3211-0A823-0UA1

SINAMICS G110

Figura 51. Tipos de Variadores de frecuencia

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS G110, 2005)



Figura 52. Variador SINAMICS G110

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS G110, 2005)

Características técnicas del Variador SINAMICS G110

En la Tabla 22 se detalla las características técnicas más importantes del variador de frecuencia elegido para la automatización de la máquina.

Tabla 22.
Características técnicas del Variador SINAMICS G110

Modelo	SINAMICS G110
Tensión de Red	200 V a 240 V ($\pm 10\%$) 1AC
Frecuencia de Red	47 a 63 Hz
Frecuencia de Salida	0 Hz a 650Hz
Entradas Digitales	3, parametrizable, sin separación galvánica; PNP, compatible con SIMATIC, low< 5, high> 10 V, tensión de entrada máxima 30 V
Entradas Análogas	1, para consigna (0 V a 10 V, escalable o usable como cuarta entrada digital)
Salida Digital	1, salida de optoacoplador con separación galvánica (DC 24 V, 50 mA carga óhmica), tipo de transistor NPN
Interfaz en serie	RS485, para operación con protocolo USS
Tensiones de Salida para el usuario	<ul style="list-style-type: none"> • 24 V en bornes 6 y 7 (50 mA) • 10 V en bornes 8 y 10 (5mA)
Temperatura en servicio	-10 °C a +40 °C (hasta +50 °C con reducción de potencia)
Humedad	95 % (no se permiten condensaciones)
Altitud	Hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducir la potencia

El control del motor trifásico se lleva a cabo por medio del variador G110 a través de las entradas analógicas y digitales en la variante analógica. (Figura 53)

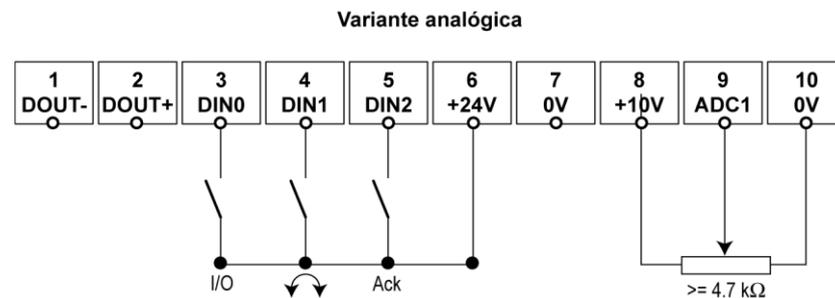


Figura 53. Variable analógica para funcionamiento variador

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS G110, 2005)

- DIN0 (Entrada Digital 0), es la entrada para encender el Motor esta señal es enviada desde el PLC Siemens S7-1200 mediante la Salida Digital DQ 0.4.
- DIN1 (Entrada Digital 1), es la entrada para dar el sentido de giro del motor esta señal es enviada desde el PLC Siemens S7-1200 mediante la Salida Digital DQ 0.5.
- ADC1 (Conversión analógica digital), es la entrada Analógica de 0 a 10 Volts para el control de la Velocidad de Motor, esta señal es enviada desde el PLC Siemens S7-1200 mediante la Salida Analógica AQ1. (Figura 54)



Figura 54. Conexiones SINAMICS G110

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS G110, 2005)

4.2.2.4. Fuente de Poder

Las fuentes de Poder tienen una etapa de Transformación del Voltaje, seguido de una etapa de Rectificación, filtrado de Señal y por último la regulación del Voltaje.

Para este proyecto se seleccionará dos fuentes de poder:

- Fuente de Poder de 24 VDC, que suministre la potencia requerida por todos los elementos que trabajen a 24 VDC.
- Fuente de Poder de +12VDC y -12VDC, para el circuito de Acondicionamiento de la Celda de Carga.

A continuación, se detallan los elementos que trabajan a 24 V para el dimensionamiento de la Fuente de poder:

- Touch Panel HMI (KTP 400 mono PN): consumo aproximado de 120mA. Según Manual Siemens (Figura 55)

Tensión de alimentación		
	KP300 Basic mono PN	KP400 Basic color PN
Tensión nominal	DC +24 V	
Rango admisible	de 19,2 V a 28,8 V (-20 %, +20 %)	
Transitorios, máximo admisible	35 V (500 ms)	
Tiempo entre dos transitorios, mínimo	50 s	
Consumo		
• Típico	aprox. 100 mA	aprox. 100 mA
• Corriente continua máx.	aprox. 150 mA	aprox. 120 mA
• Corriente transitoria de conexión I^2t	aprox. 0,5 A ² s	aprox. 0,5 A ² s
Fusible interno	electrónico	

Figura 55. Alimentación HMI KTP 400 mono PN

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI, 2012)

- Celda de Carga: consumo aproximado 100 mA
- Encoder: Consumo 100 mA.

El consumo de todos los elementos que funcionan a 24 VDC es 320 mA, es por eso que se eligió una fuente comercial de 2 A.

4.2.2.5. Cableado

Según el catálogo de LATINCASA, “Para conductores que alimenten un solo motor, la corriente nominal a plena carga se multiplicará por 1,25”

(LATINCASA, 2005) para seleccionar el cable de alimentación. Por lo tanto se tiene:

La corriente nominal es $I=1,11$ $I_n=1,25 \times 1,1$ $A=1,38$ A entonces según la Figura 56, el cable apropiado (disponible en el mercado) es el AWG 18.

1. Conductor		2. Espesor Aislamiento	Resistencia DC a 20°C	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)
Calibre	Diámetro					
AWG	mm	mm	Ohm/km	mm	kg/km	A
18	1,21	0,78	21,4	2,81	15	6
16	1,54	0,76	13,5	3,14	20	8
14	1,96	0,78	8,4	3,56	29	17
12	2,46	0,78	5,3	4,06	42	23
10	3,10	0,78	3,3	4,70	62	28
8	3,92	1,14	2,1	6,30	104	40
6	4,92	1,52	1,3	8,08	166	55

Figura 56. Capacidad de Corriente para Calibre AWG

Catálogo General Cable

Fuente: (INGELCOM, 2015)

Tanto PLC, Touch Panel Fuentes de Voltaje y demás elementos del sistema de control, consumen una corriente relativamente baja, por lo cual se usó el cable AWG 18 para a conexión de estos elementos.

4.2.3. Acondicionamiento de señal de sensores y actuadores

Para diseñar el circuito de acondicionamiento se tiene que tener en cuenta:

- Voltaje de Salida de la Celda de Carga: 0 V hasta 1.33 V
- Volteje de Entrada al PLC: 0V hasta 10 V

Por lo tanto el circuito de acondicionamiento óptimo para esta aplicación está compuesto de amplificadores operacionales de instrumentación y filtros. (Figura 57).

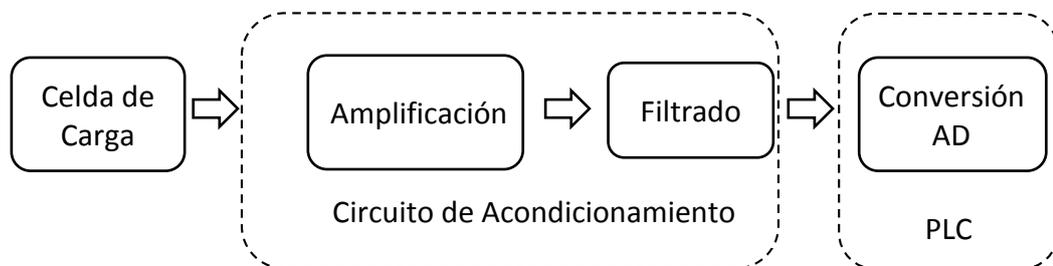


Figura 57. Acondicionamiento de señal

4.2.3.1. Amplificación

Amplificador AD620

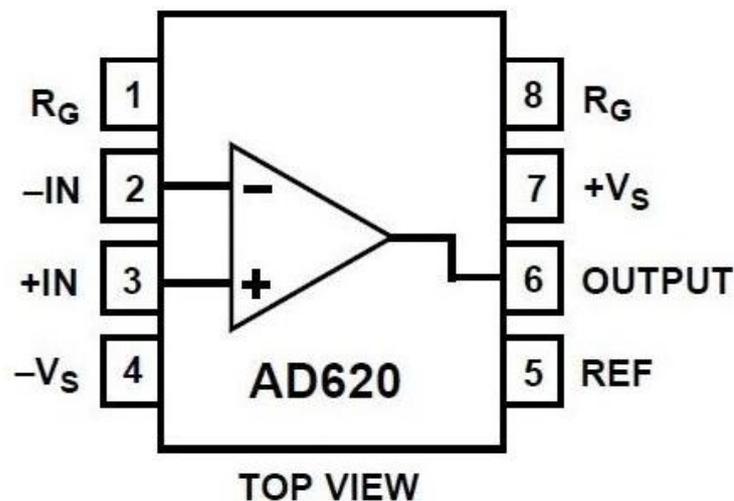


Figura 58. Amplificador AD620

Fuente (Caldas, 2016)

Amplificador de instrumentación de precisión

- Rango de ganancia entre 1 y 10000, configurable con un solo resistor externo

- Consumo de corriente en reposo: 1.3 mAmax.
- Bajo drift del voltaje offset: 0.6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ max.
- Bajo voltaje de offset: 125 μV max
- Bajo ruido: 13 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Baja corriente de polarización de entrada: 2 nAmax.
- Alta impedancia de entrada: 10 G Ω
- Ancho de banda: 120 kHz (G=100)
- Amplio voltaje de alimentación: ± 2.3 V a ± 18 V

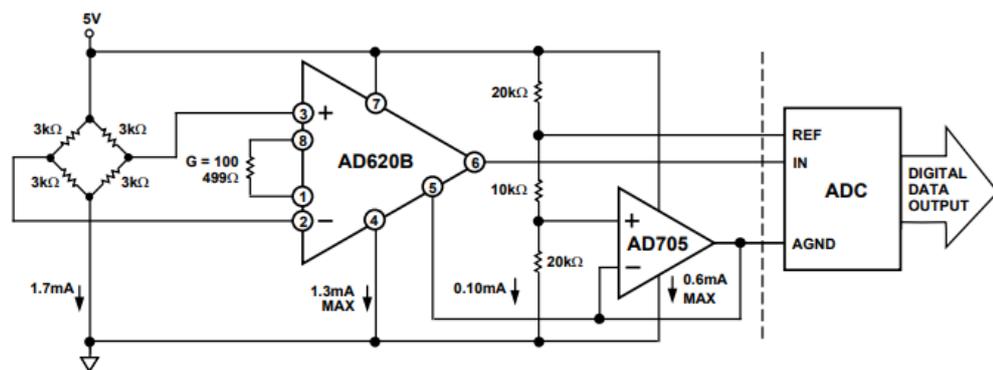


Figura 59. Circuito de Acondicionamiento para Medición de Precisión

Fuente: (Devices, 2011)

Como se observa en la Figura 4.36 entre el pin 1 y pin 8 se controla la ganancia del Amplificador, para nuestro caso se ha puesto un potenciómetro de 10 K ohmios.

La ecuación que relaciona la Ganancia con la Resistencia R_G es:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \quad (5)$$

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} + 1$$

$$G = 4.94 + 1$$

$$G = 5.94$$

Luego de Amplificador de Instrumentación se tiene un circuito restador el cual nos ayudará a setear nuestra señal en 0V. Adicional a esto se tiene un Amplificador No Inversor de Ganancia 10 para llegar a la Entrada requerida por el PLC de 0 V a 10 V.

Como precaución a señales parásitas se colocó un capacitor de 10 uF y un circuito de protección compuesto por 2 diodos:

- Un diodo en Serie para evitar que el PLC reciba alguna sobrecorriente.
- Un diodo Zener de 10 V en paralelo para evitar que el PLC reciba algún voltaje fuera del rango permitido.

Luego de todo el análisis se obtuvo un circuito de acondicionamiento presentado.(Figura 60) (Figura 61)

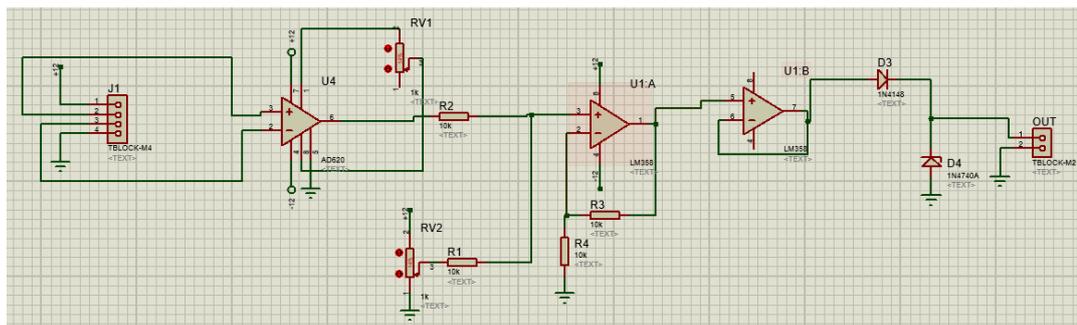


Figura 60. Circuito de Acondicionamiento Implementado

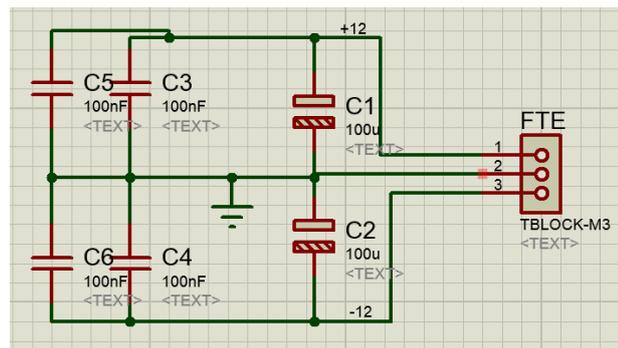


Figura 61. Circuito de Acondicionamiento Implementado

4.3. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DEL CONTROL.

Para desarrollar el proyecto de automatización de la máquina se cuenta con un sistema de control regido por un PLC el cual se eligió conforme a las necesidades requeridas, algunas de ellas se mencionarán seguidamente:

Entradas Digitales

- Encoder

Entradas Analógicas

- Celda de Carga

Salidas 24 VDC

- Sentido del motor
- Encender motor

Salidas Analógicas 0-10V

- Velocidad del motor

4.3.1 Selección del Controlador Lógico Programable (PLC).



Figura 62. PLC S7-1200

Fuente: (SIEMENS, PLC S7-1200, 2012)

Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema se optó por seleccionar un PLC de marca SIEMENS modelo Simatic S7 1200 (Figura 62), el mismo que cuenta con las siguientes características:

Tabla 23.
Características PLC SIMATIC S7-1200

Modelo	CPU 1212C AC/DC/RLY
Capacidad de procesamiento	64 bits
Software de Programación	STEP 7 Basic v13
Alimentación	120/240 VAC
Entradas Digitales	8 DI a 24VDC
Entradas Análogas	2 AI (0 – 10 VDC)
Salidas	6 DQ a (Tipo relé)
Puerto de Comunicación	ProfiNet/Ethernet RJ45
Capacidad de Ampliación	<ul style="list-style-type: none"> • 1 SignalBoard • 2 Módulos E/S Digitales y Analógicos

El PLC SIMATIC S7-1200 presenta la siguiente distribución física de entradas y salidas (Figura 63).

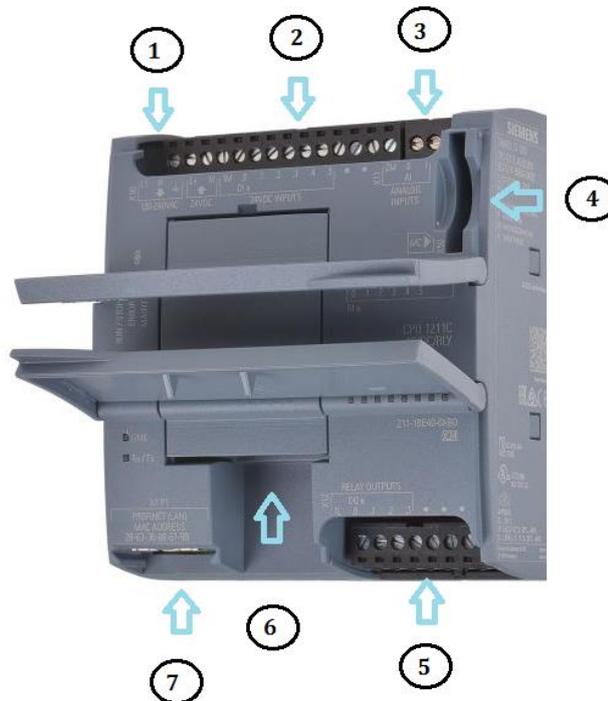


Figura 63. Distribución física de entradas y salidas

Fuente: (SIEMENS, PLC S7-1200, 2012)

1. Pines de energización
2. Entradas digitales
3. Entradas analógicas
4. Ranura MemoryCard
5. Salidas tipo relé
6. SignalBoard (puerto de ampliación)
7. Puerto Ethernet

Para la automatización de la máquina se utilizó los diferentes pines de conexión del PLC tanto analógicos como digitales, las conexiones que se realizaron se observa en la Figura 64.

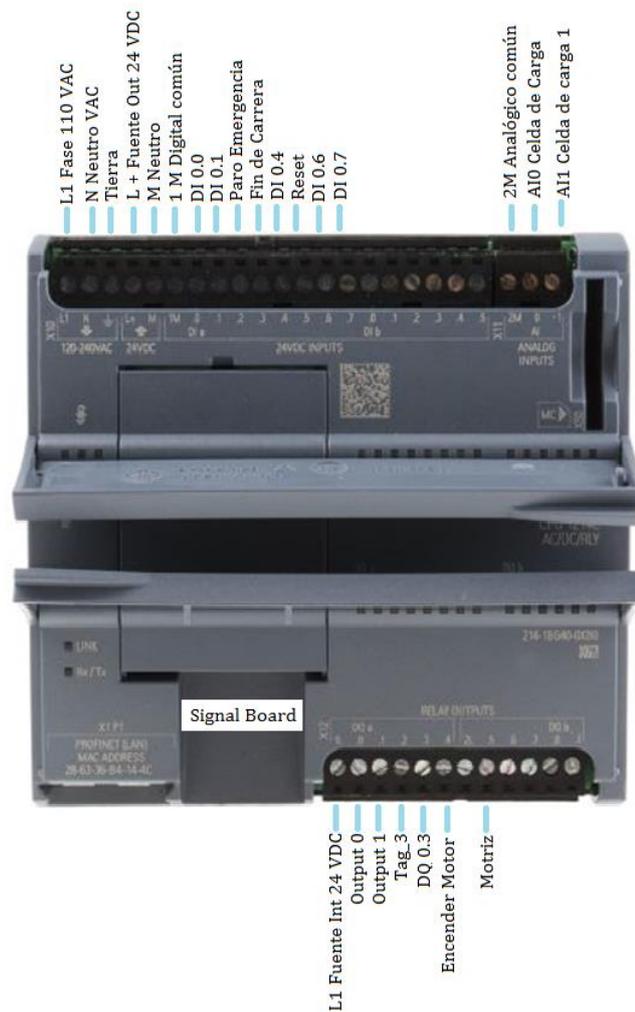


Figura 64. Puertos del PLC S7-1200 utilizados en la automatización

4.3.2. Touch Panel

Para la selección del touch panel se tomó en cuenta varios aspectos como la robustez del equipo, dimensiones físicas (Figura 65), características internas del touch panel, compatibilidad con los otros elementos seleccionados para la automatización, y sobre todo el aspecto económico. Tomando en consideración todos los aspectos mencionados se eligió un touch panel de marca SIEMENS modelo KTP400 Basic mono PN.

Las medidas físicas del Touch Panel SIEMENS KTP400 Basic mono PN que se deberá considerar se observan en la Figura 65.

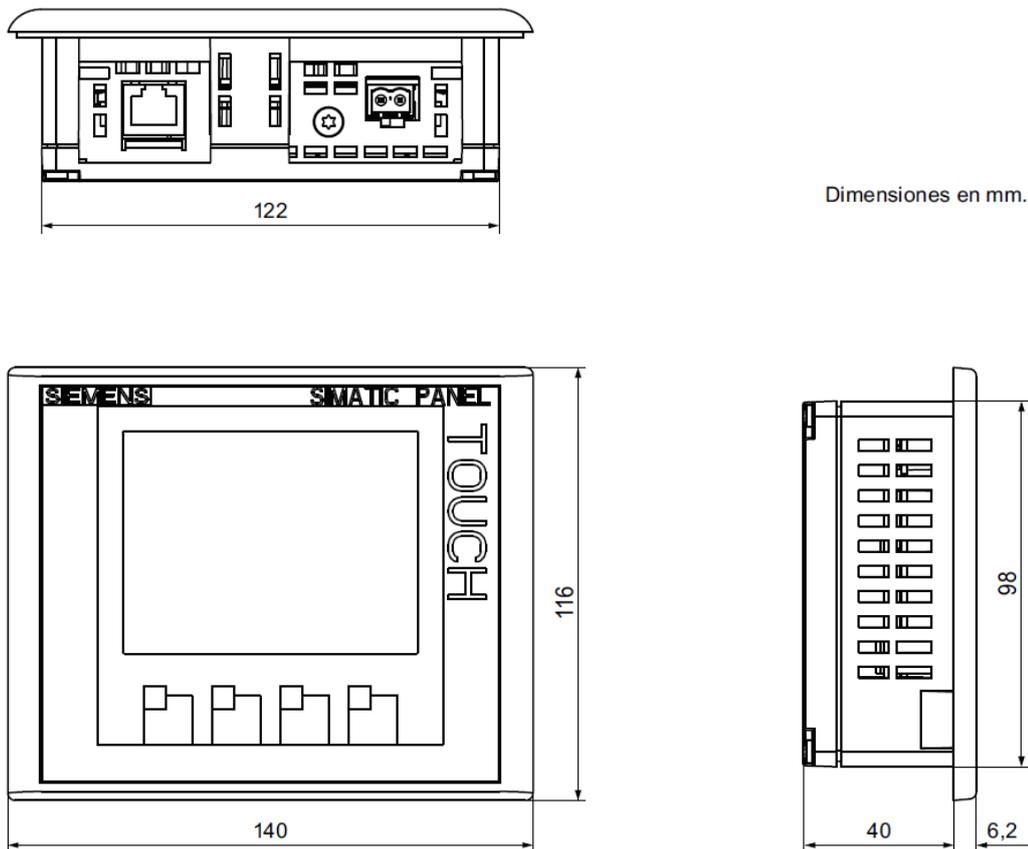


Figura 65. Dimensiones Touch Panel KTP 400 Basic mono PN

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI, 2012)

El touch panel KTP 400 Basic mono PN presenta la siguiente distribución física de entradas y salidas (Figura 66).

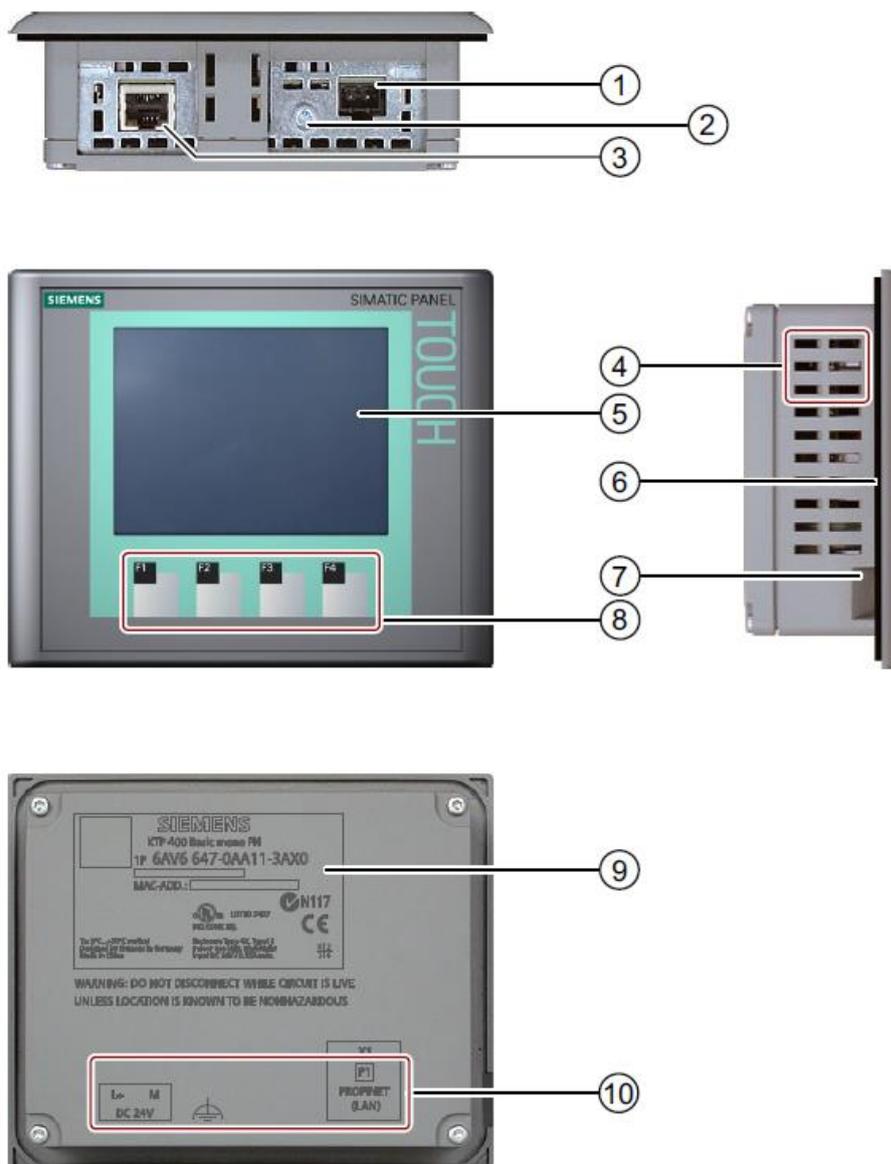


Figura 66. Distribución física de entradas y salidas

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI, 2012)

1. Conexión para la fuente de alimentación
2. Conexión de tierra
3. Interfaz PROFINET
4. Escotaduras para mordaza de fijación
5. Pantalla táctil
6. Junta de montaje

7. Guía para tira rotulable
8. Teclas de función
9. Placas de características
10. Nombre del puerto

El modelo SIEMENS KTP 400 Basic mono PN cuenta con las características que se indican en la Tabla 24.

Tabla 24.
Características del touch panel

Modelo	SIEMENS KTP400 Basic mono PN
Peso	320 g
Resolución	320 x 240 píxeles
Colores representables	4 niveles de grises
Memoria de aplicación	512 kB
Teclas en función	4
Tensión nominal	24 VDC
Puerto de Comunicación	Ethernet RJ45
Velocidad	10/100Mbps/s

4.4. DISEÑO DEL SOFTWARE

4.4.1 Adquisición y procesamiento de datos.

Seguidamente del circuito de acondicionamiento de la celda de carga se tiene una entrada al PLC de 0 V hasta 10 V, por lo que posteriormente de realizar la conversión de señal analógica a señal digital tenemos valores en el Sistema Decimal desde 0 hasta 27648.

En la Figura 4.44 se observa la transformación de del rango de 0-27648 a voltaje de 0 a 10000 mV.

Sistema		Rango de salida de tensión	
Decimal	Hexadecimal	± 10 V	
32767	7FFF	V. nota 1	Rebase por exceso
32512	7F00	V. nota 1	
32511	7EFF	11,76 V	Rango de sobreimpulso
27649	6C01		
27648	6C00	10 V	Rango nominal
20736	5100	7,5 V	
1	1	361,7 μ V	
0	0	0 V	
-1	FFFF	-361,7 μ V	
-20736	AF00	-7,5 V	
-27648	9400	-10 V	Rango de subimpulso
-27649	93FF		
-32512	8100	-11,76 V	Rebase por defecto
-32513	80FF	V. nota 1	
-32768	8000	V. nota 1	

Figura 67. Salidas analógicas para tensión

Teniendo en cuenta dichos parámetros la programación del PLC sería:

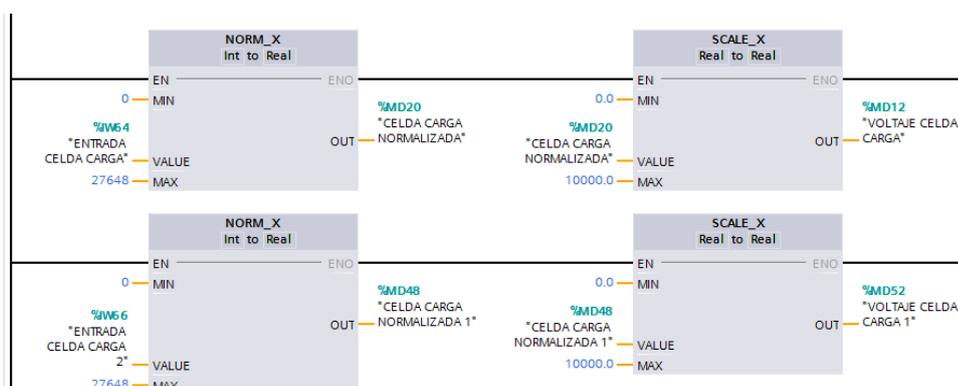


Figura 68. Línea de Programación PLC 1

Para realizar la calibración de la celda de carga para la escala de 0 Kg hasta 200 Kg se realizó la toma de datos (Tabla 25).

Tabla 25.
Toma de datos para la calibración de la celda de carga escala 1

Escala 1	
0 [Kg]-200 [Kg]	
mV	Kg
1350	0
1490	5
1750	10
2000	15
2200	20
2380	25
2610	30
2820	35
3010	40
3220	45
3440	50
3850	60
4250	70
4630	80
5010	90
5480	100
5800	110
6200	120
6650	130
7010	140
7430	150
7800	160
8300	170
8700	180
9100	190
9400	200

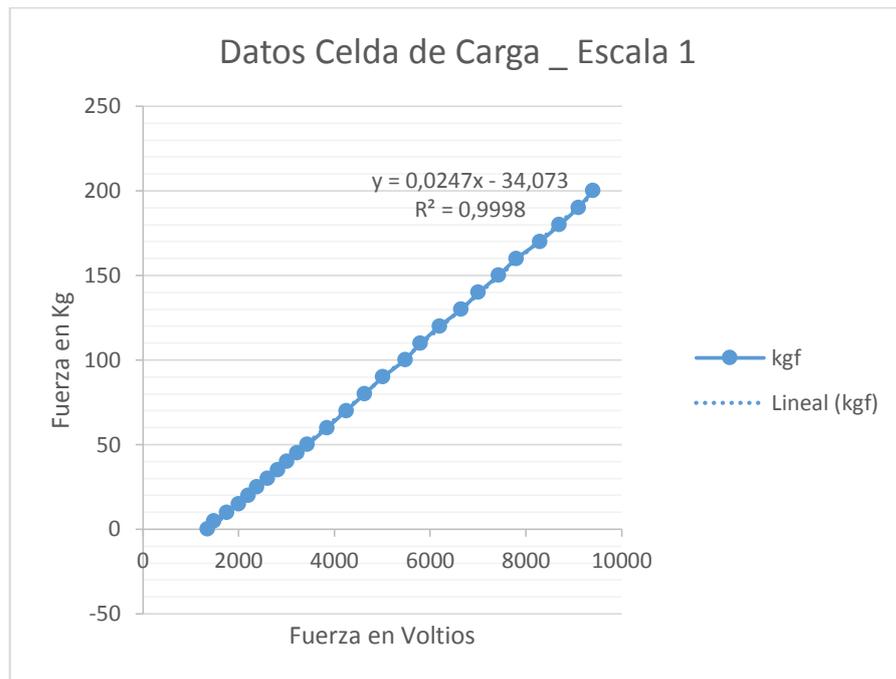


Figura 69. Gráfica calibración celda de carga

La Ecuación para obtener el valor de la fuerza en Kg teniendo voltaje es:

$$Fuerza = 0.0247 * Voltaje - 34.073$$

Por lo tanto, la programación continuará de la siguiente manera (Figura 70).



Figura 70. Línea de Programación PLC 2

Para realizar la calibración de la celda de carga para la escala de 0 Kg hasta 10 Kg se realizó la toma de datos:

Tabla 26.**Toma de datos para la calibración de la celda de carga escala 2****Escala 2****0 [Kg]-10 [Kg]**

mV	kgf
2494	0
3075	1
3705	2
4325	3
4959	4
5585	5
6200	6
6820	7
7420	8
8024	9
8822	10

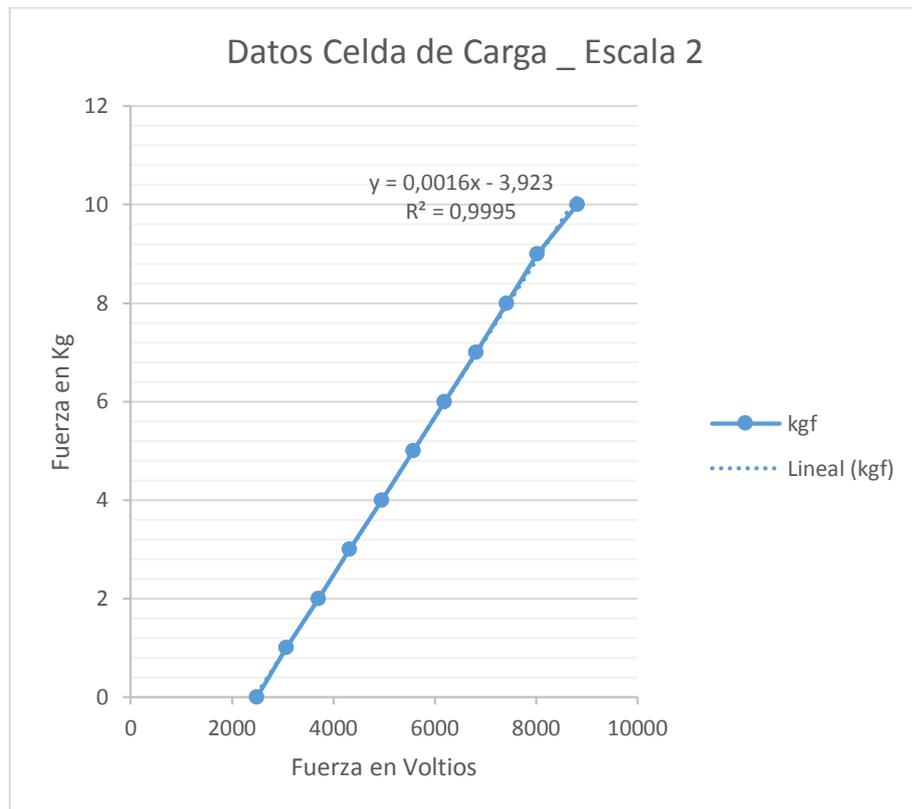


Figura 71. Gráfica calibración celda de carga escala 2

La Ecuación para obtener el valor de la Fuerza en Kg teniendo Voltaje es:

$$Fuerza = 0.0016 * Voltaje - 3.923$$

Por lo tanto, la programación continuará de la siguiente manera (Figura 72).



Figura 72. Línea de Programación PLC 3

Según la escala escogida en el HMI se asigna el valor correspondiente:

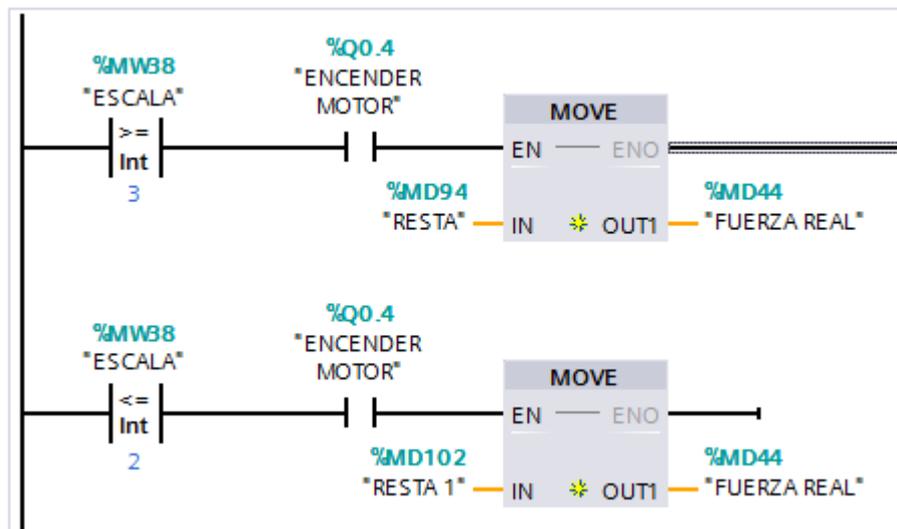


Figura 73. Bloque de programación PLC

Para la recepción de datos se utiliza el bloque de comunicación TRCV_C (Figura 74).

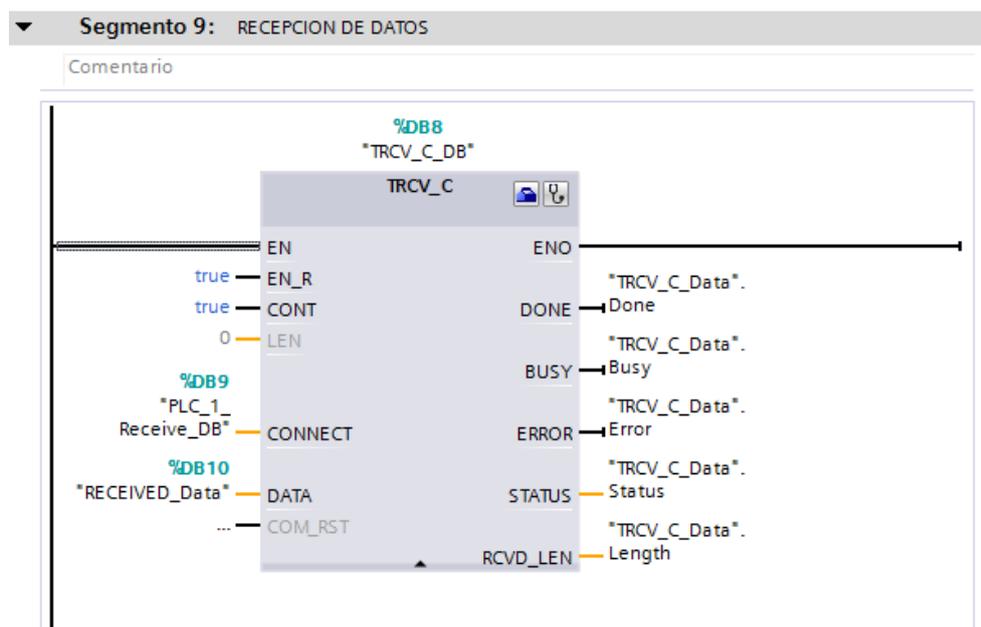


Figura 74. Programación PLC bloque TRCV_C

La frecuencia de comunicación entre la PC y el controlador está dada por el siguiente Temporizador (Figura 75).

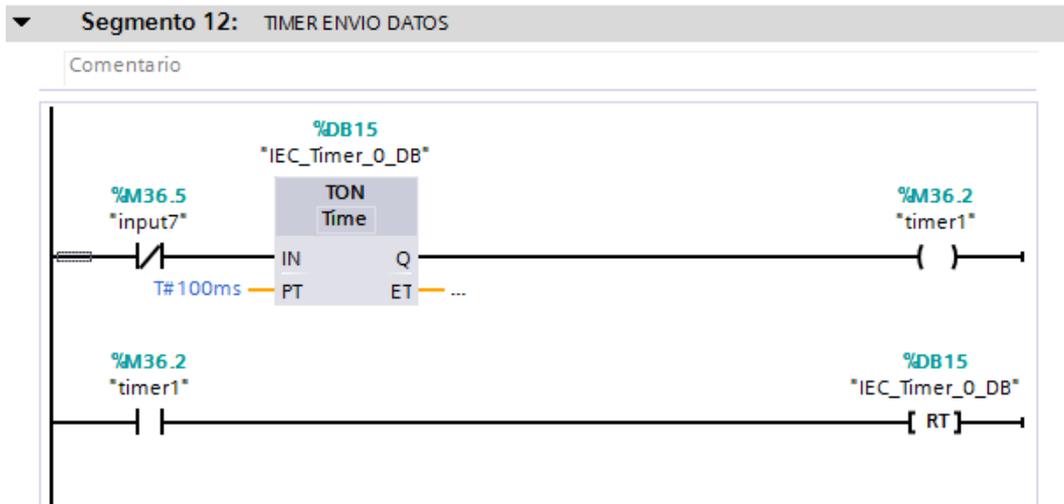


Figura 75. Programación PLC Temporizador

Para el envío de datos del controlador al PLC se utiliza el bloque de comunicación TSEND_C (Figura 76).

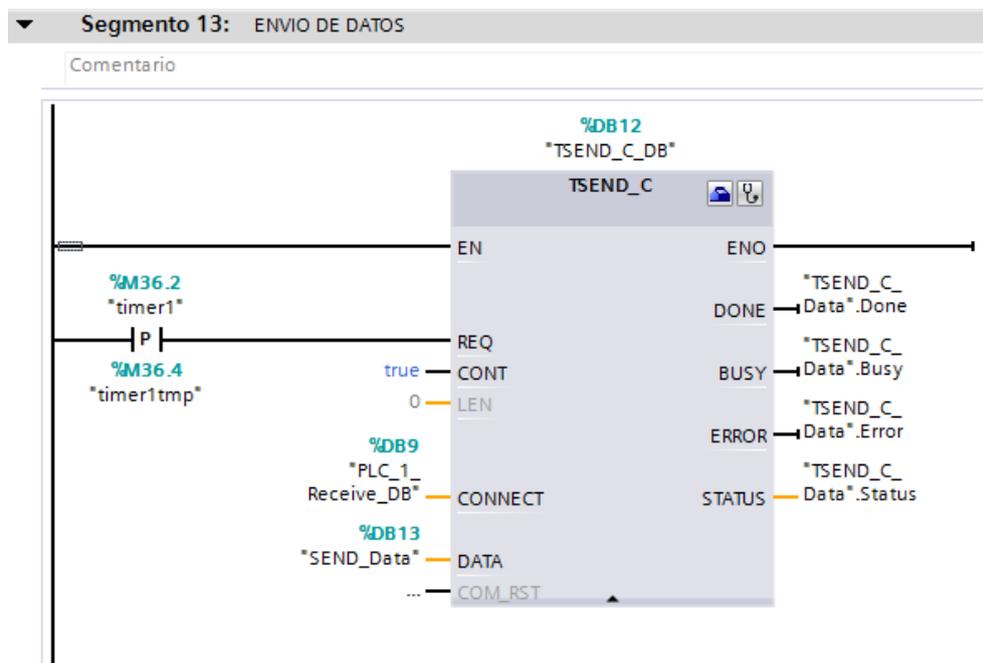


Figura 76. Programación PLC bloque TSEND_C

Los parámetros a enviar son los indicados en la Figura 77.

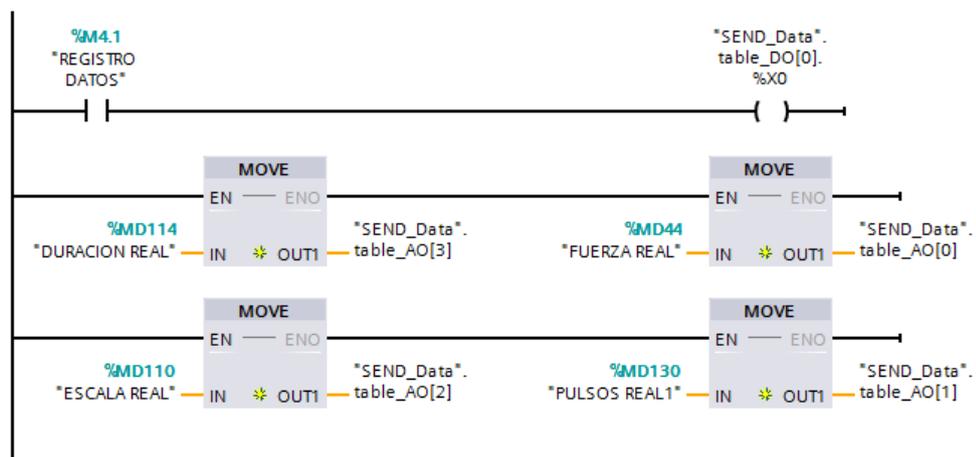


Figura 77. Programación PLC envío de parámetros

4.4.2. Recepción y visualización de datos

4.4.2.1. Recepción de datos

Para la recepción de datos en la PC se realiza las siguientes configuraciones:

- Configuración de protocolo TCP/IP en PC

Se ingresa la dirección IP del controlador en este caso: 192.168.0.1.
(Figura 78)

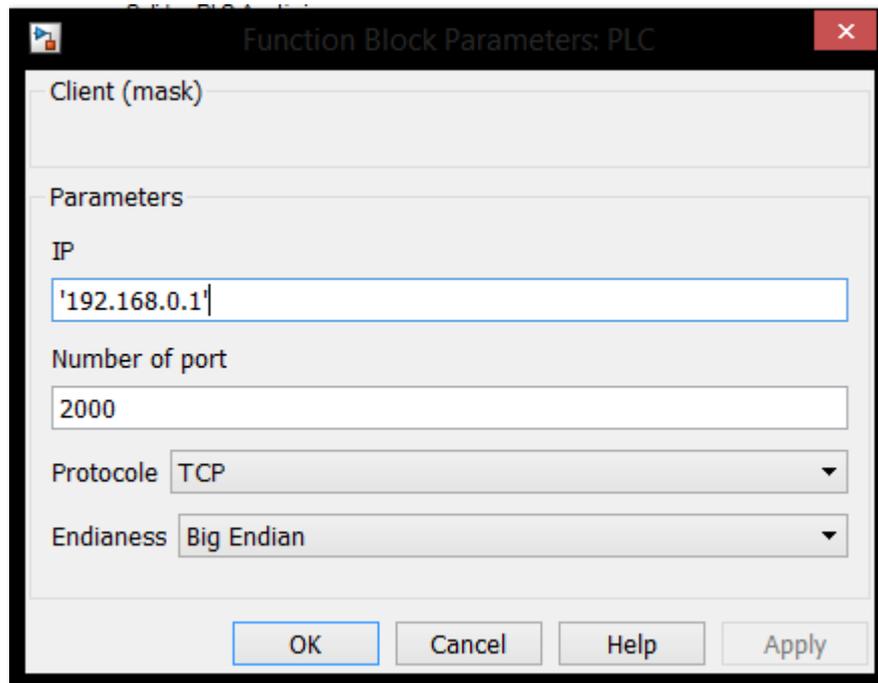


Figura 78. Ingreso dirección IP del controlador

- Configuración de protocolo TCP/IP en Controlador

Se ingresa la dirección IP de la PC en este caso: 192.168.0.11 (Figura 79).

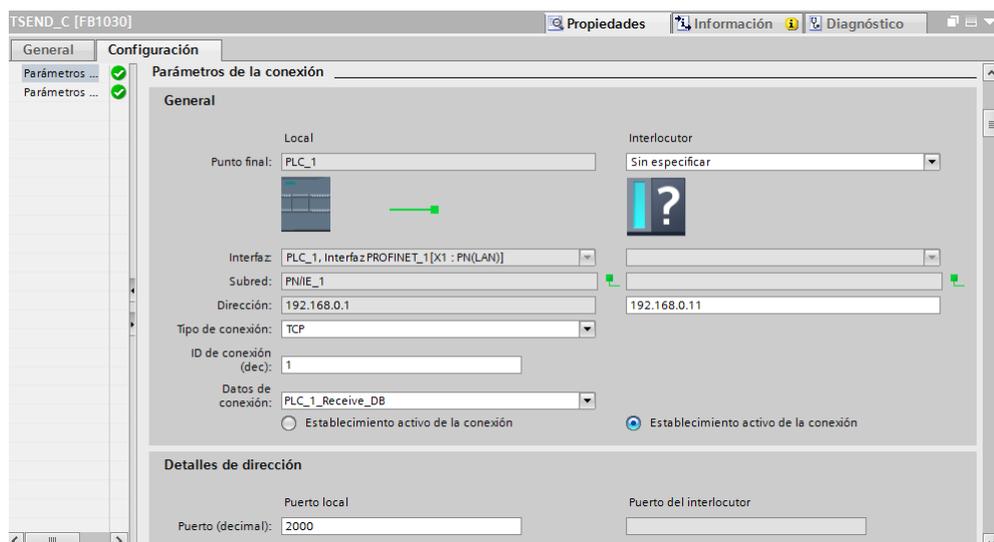


Figura 79. Ingreso de la dirección IP de la PC

El programa de recepción de datos desde el controlador al PC queda de la siguiente manera (Figura 80).

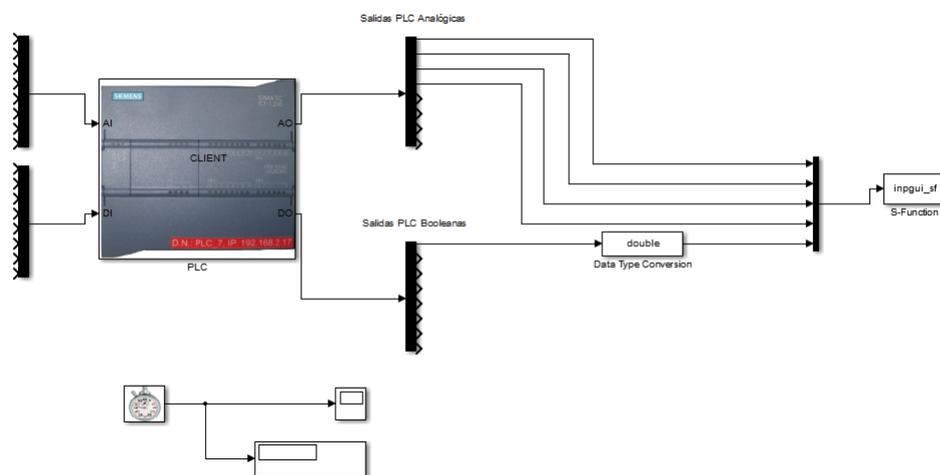


Figura 80. Recepción de datos controlador PC

4.4.2.2. Visualización de Datos

Para la visualización de datos tenemos dos HMI la primera es visualizada en un touch panel empotrado en la máquina y otra HMI en la computadora para la visualización de datos y exportación a Excel.

- HMI del Controlador

La primera imagen proyectada en el touch panel al iniciar la máquina es como la mostrada en la Figura 81.

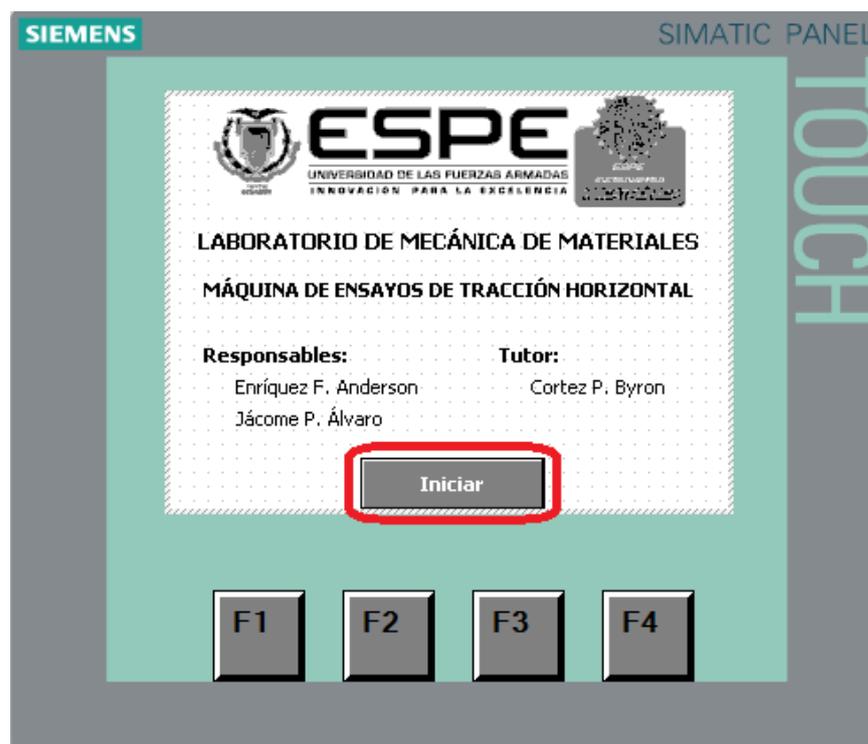


Figura 81. Pantalla inicial HMI Touch Panel

Al pulsar iniciar se visualizará una interfaz como la mostrada en la Figura 82.

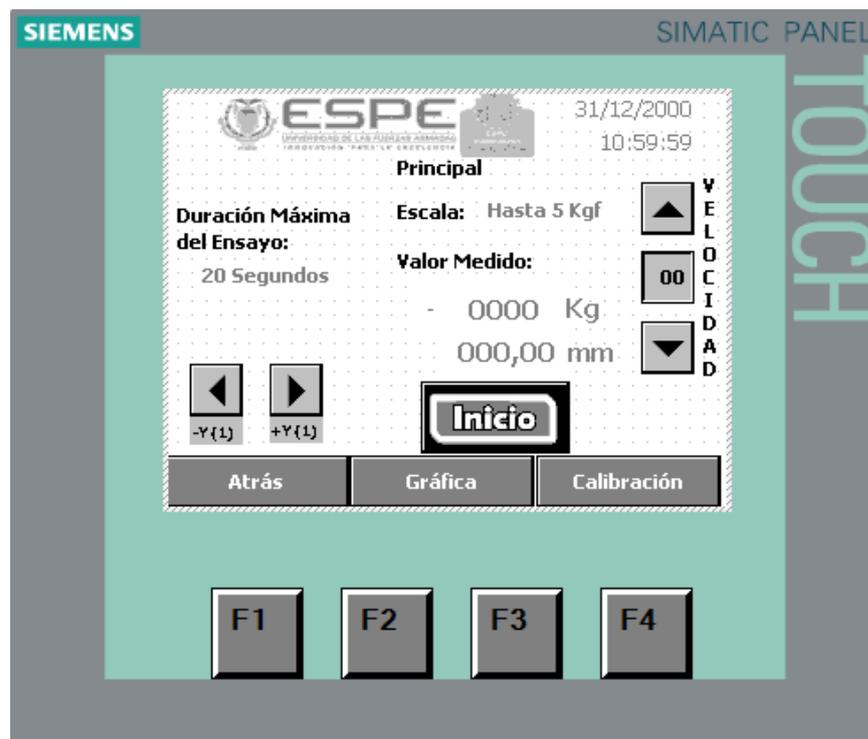


Figura 82. Pantalla principal ensayo de tracción

Para realizar el ensayo se debe seleccionar:

- Escala
- Duración Máxima del Ensayo
- Velocidad

Todos estos parámetros son elegidos por el operario de la máquina dependiendo del tipo de material a ensayar (Figura 83).

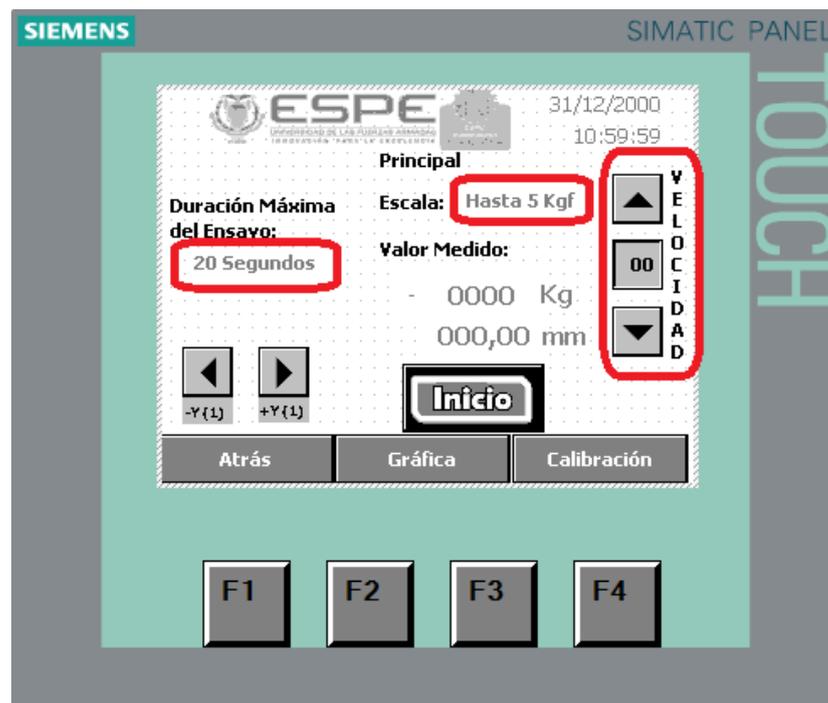


Figura 83. Parámetros a ingresar por el operario

Una vez seleccionado todos los parámetros del ensayo pulsar el botón Inicio (Figura 84).

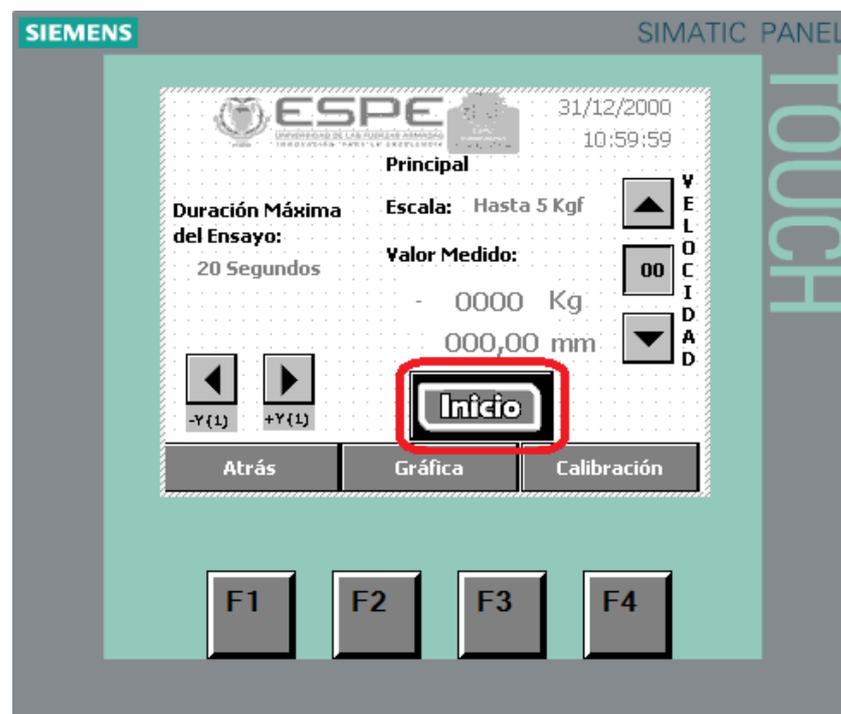


Figura 84. Botón que dará inicio al ensayo

En la Figura 85 se tiene la visualización de las variables en tiempo real como son:

- Valor Medido de Fuerza en Kg
- Valor Medido de Desplazamiento en mm

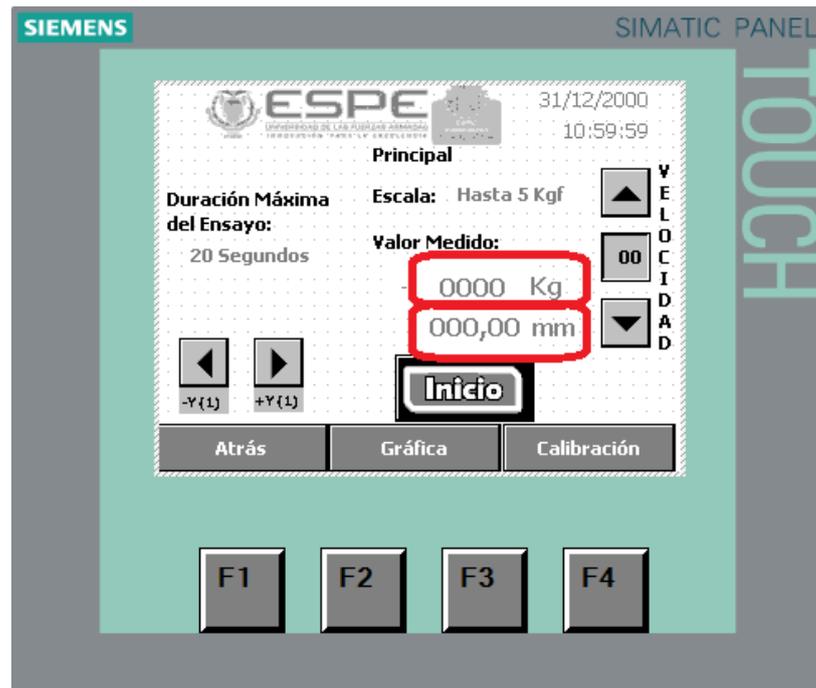


Figura 85. Variables mostradas en tiempo real

- HMI del Computador

El HMI del Controlador sirve para la visualización del diagrama Fuerza vs Desplazamiento en tiempo real y para la exportación de los datos del ensayo a un archivo de Excel.

Para el funcionamiento de la HMI es necesario:

1. Dar clic en CONECTAR antes de realizar el ensayo.

2. Una vez terminado el Ensayo dar clic en Exportar Datos y automáticamente se abrirá un Excel con los datos obtenidos del ensayo (Figura 86).

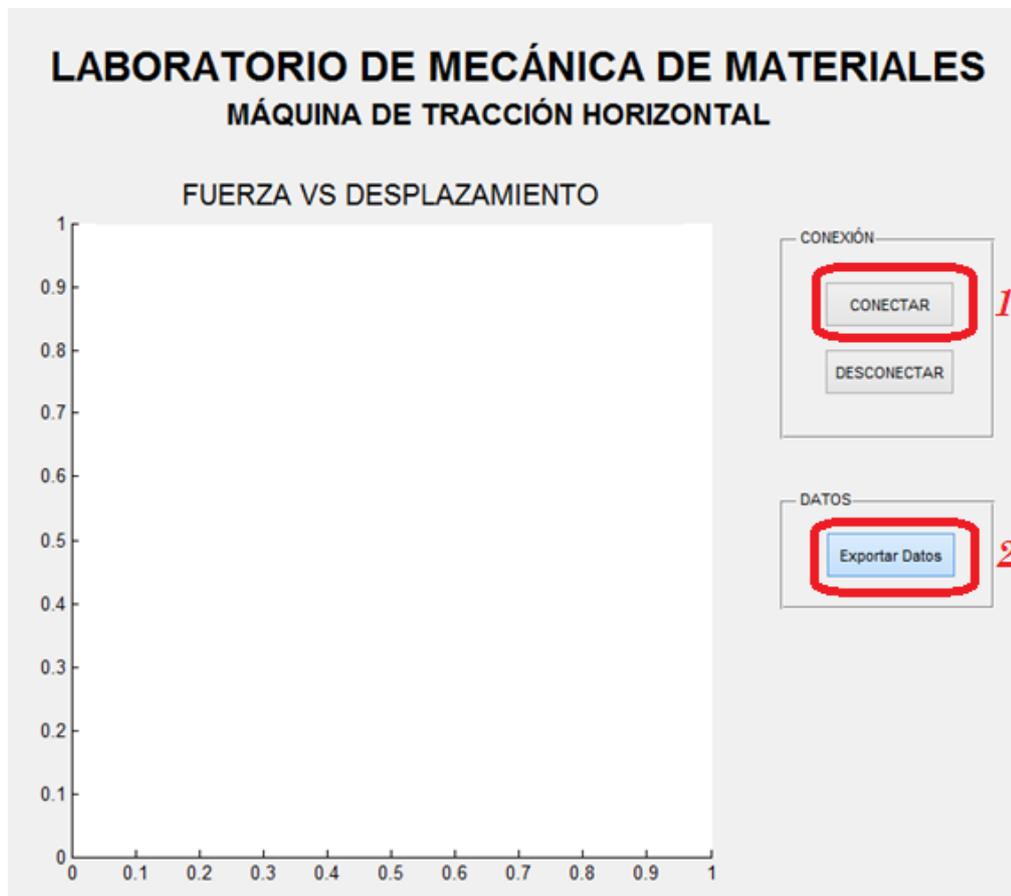


Figura 86. HMI visualizada en el computador

5. CAPÍTULO

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

El capítulo 5 nos da a conocer como quedó la máquina con la implementación de todos los elementos de la automatización (implementación de sensores, estructura y sistema de control). Muestra el nuevo funcionamiento de la máquina de tracción horizontal, su implementación y montaje. El capítulo también presenta las pruebas de funcionamiento a las cuales fue sometida la máquina y los resultados obtenidos de ella.

5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO

5.1.1. Implementación de la estructura de soporte encoder

La estructura de acople del sensor (encoder) quedó perfectamente instalada en la máquina, como observamos en la figura 87 Esta estructura cumple adecuadamente los requerimientos establecidos para su construcción. Es decir mantiene al encoder firme en la estructura sin que este muestre vibración alguna lo que provocaría un inadecuado funcionamiento del sensor. La estructura de ensamble queda completamente fija gracias a un perno ubicado en el centro el cual se acopla con la estructura de la máquina además presenta tres soportes metálicos los cuales brindan la estabilidad requerida, de esta manera el encoder presenta las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento.



Figura 87. Estructura de acople del sensor

Para instalar el encoder a la estructura de soporte se necesitó la ayuda de un matrimonio Figura 88 el cual facilitó el acople del sensor en la estructura de soporte.



Figura 88. Matrimonio

5.1.2. Implementación de la estructura de sujeción de la celda de carga.

Para realizar el acople de la celda de carga se diseñó y maquinó una pequeña placa circular con cuatro pequeños orificios cercanos a los bordes en los cuales atravesaran unos pequeños pernos los cuales nos permitirán fijar la placa a la estructura de la máquina, Figura 89.



Figura 89. Acople celda de carga

En el centro de la placa está presente un agujero de mayor diámetro, por él atraviesa un perno el cual ensambla a la celda de carga con la placa circular como observamos en la Figura 89.

Además se diseñó y maquinó una pieza la cual se muestra en la Figura 90, la misma que permite el acople de la celda de carga con las pinzas que realizan la sujeción de la probeta para realizar el ensayo.



Figura 90. Acople Pinza

5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Se implementó una caja metálica la cual está empotrada en la pared con cuatro pernos, esta se encuentra relativamente distante a los usuarios para que no pueda ser manipulada por personas sin conocimientos de su funcionamiento.

En ella constan elementos como:

- PLC
- Variador de frecuencia
- Fuente de alimentación
- Switch
- Breakers
- Elementos eléctricos



Figura 91. Interior gabinete metálico

5.2.1. Implementación del PLC

El PLC es el cerebro de la máquina, desde este se controla toda acción que realiza la misma, está ubicado dentro de la caja metálica de control, su implementación se realizó gracias a unos canales propios del PLC que se empotran perfectamente a las rieles que contiene dicha estructura metálica (Figura 91).

5.2.2. Variador de Frecuencia

El variador de frecuencia utilizado para el control del motor de la máquina de tracción horizontal está ubicado dentro de la caja metálica (Figura 91) donde ubicamos los diferentes componentes eléctricos y de control. Con este variador se controla:

- Variación de Velocidad

El sistema de variación de velocidad de la máquina de tracción horizontal es controlada mediante un variador de frecuencia el cual varía la velocidad del motor de la máquina dependiendo de la frecuencia con la que este programada, esto reemplaza al sistema de poleas con el cual contaba la máquina anteriormente.

- Cambio de giro del motor

El cambio de giro del motor se realizó con el variador de frecuencia, con este controlamos tanto el sentido de giro del motor, la velocidad, el tiempo en que este debe detenerse.

5.2.3. Touch Panel

El touch panel está ubicado en la parte frontal de la estructura de la máquina, su colocación es adecuada para que sea de fácil acceso al usuario. Se encuentra empotrada a la estructura de la máquina, la sujeción es mediante vinchas que sujetan al touch panel desde el interior (Figura 92).

Esta interfaz permite tener una relación amigable con la máquina, muestra los valores de carga aplicada a la probeta durante el ensayo, gráficas en tiempo real, controla el sistema de escalas, velocidades y tiempos de duración de la práctica.



Figura 92. Implementación Touch Panel

5.3. REACONDICIONAMIENTO DEL FIN DE CARRERA

La máquina de tracción horizontal presenta un sensor (fin de carrera), ubicado al final del recorrido del carrete el cual lleva acoplada un accesorio con el cual se realiza el ensayo, la función de este fin de carrera es detener la máquina cuando este carrete llegue al final y accione dicho sensor; el fin de carrera estaba inutilizable por lo cual se procedió a realizar un reacondicionamiento para que dicho actuador cumpla con la función para la cual fue asignado, de esta manera al ser accionado por el carrete la máquina automáticamente terminará el ensayo. (Figura 93)



Figura 93. Fin de carrera

5.4. IMPLEMENTACIÓN DE CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

La estructura que alberga el circuito de acondicionamiento de la celda de carga es una caja de material metálico (Figura 94) que tiene como objetivo proteger el circuito de acondicionamiento de ruidos externos que pueden afectar su correcto funcionamiento, por tal razón la ubicación de esta caja de protección se realizó lo más alejada posible del motor de la máquina ya que es el principal emisor de ruido que afecta al circuito.

Para su implementación se utilizó cuatro pernos que fueron colocados en la parte posterior de la caja la cual fue empotrada en la pared, alejada de la máquina y del usuario para que no exista contacto cercano con él.



Figura 94. Caja del circuito de acondicionamiento

5.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

Al terminar con el montaje e instalación de todos los sistemas que conforman la automatización (sistema de movimiento, estructura y sistema de control), continuaremos realizando pruebas de funcionamiento para verificar el correcto funcionamiento del sistema de movimiento y de control.

- Pruebas de funcionamiento del motor y tornillo sin fin

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema el primer paso es encender el motor y verificar que el motor gire uniformemente, sin causar vibraciones en la máquina ni sonidos extraños. Al finalizar la prueba de giro del motor verificamos que su funcionamiento fue satisfactorio, no presenta ningún inconveniente al encenderlo.

Posteriormente a esto verificaremos la transición del movimiento del motor al sistema de engranes los que causan el movimiento del tornillo sin fin. El sistema gira de manera uniforme, no presenta vibraciones excesivas y permite realizar un movimiento continuo del tornillo sin fin desde el inicio hasta el final de su trayectoria.

Seguidamente verificaremos el cambio de giro del motor, esta acción la realiza el variador de frecuencia controlada mediante el touch panel. El motor realiza el cambio de giro perfectamente, se realizó el giro en sentido horario y posteriormente se probó en sentido contrario a las manecillas del reloj, al concluir estas pruebas notamos que no existe ninguna anomalía en su funcionamiento el carrete se desplaza de manera continua y uniforme en las dos direcciones sin ningún tipo de vibración.

De igual manera se comprobó el cambio de velocidad en dos formas, la primera durante el movimiento del motor y posteriormente con el motor detenido, los resultados fueron satisfactorios y no presento ningún inconveniente con su funcionamiento.

Al verificar en su totalidad el correcto funcionamiento del sistema de movimiento continuamos con las pruebas de desplazamiento, para proceder con esta prueba se colocó un comparador de reloj el cual nos brindará una medida de desplazamiento la misma que será comparada con el dato que se obtuvo del encoder. Se realizó pruebas con las distintas velocidades que presenta la máquina, se estableció un tiempo determinado, en el cual la máquina tendría un desplazamiento a velocidad constante (ensayo realizado sin probeta), y comparamos el dato de desplazamiento del encoder con el que nos brinda el comparador de reloj (Figura 95).



Figura 95. Comparador de reloj

El porcentaje de error se calculó (6) con el dato que obtuvimos del comparador de reloj (valor teórico) y el dato del encoder (valor experimental). La primera prueba se realizó moviendo el carrete con la mínima velocidad por 2 segundos, el motor al momento de apagarse queda con una pequeña inercia de movimiento, por lo que se demora un instante en detenerse completamente, por ende los valores del comparador de reloj presentan un pequeño margen de error.

Tabla 27.
Datos de desplazamiento del carrete durante dos segundos

No. de Prueba	Valor de Reloj (mm)	Valor Comparador (mm)	Valor Encoder	Error (%)
1	3.04	2.98		1.973
2	3.06	2.99		2.287
3	3.05	2.99		1.967
4	3.04	2.98		1.973
5	3.05	2.99		1.967

Ejemplo de Cálculo

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{Valor}_{\text{Teórico}} - \text{Valor}_{\text{Experimental}}}{\text{Valor}_{\text{Teórico}}} \right| \times 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{3.04 - 2.98}{3.04} \right| \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 1.973$$

Se debe tomar en cuenta que los valores del comparador de reloj (Valor Teórico) no son valores exactos ya que al momento de finalizar el ensayo el motor continúa con un pequeño movimiento hasta detenerse completamente, mientras que el valor que nos brinda el encoder es un valor en tiempo real el cual es el dato de desplazamiento justo en el momento exacto que se acaba el ensayo (ruptura del material). Debido a este pequeño inconveniente se utilizó el medidor de desplazamiento de la máquina anterior (antes de ser automatizada) y se necesitó la ayuda de una tercera persona para tomar los valores del encoder (Figura 96), del medidor de desplazamiento anterior y del comparador de reloj, en el cual se tuvo que prestar mayor atención para tomar el valor en el momento exacto cuando se apaga el motor (momento de la ruptura), teniendo en cuenta los puntos mencionados obtuvimos los siguientes valores.



Figura 96. Medidor de desplazamiento máquina antigua

Tabla 28.
Medidas de desplazamiento del carrete durante dos segundos

No. de Prueba	Valor Comparador de Reloj (mm)	Valor Medidor de Desplazamiento anterior (mm)	Valor Encoder (mm)	Error (%)
1	3.00	2.99	2.98	0.67
2	3.00	2.99	2.99	0.33
3	2.99	3.00	2.99	0
4	2.99	2.99	2.98	0.33
5	3.00	3.00	2.99	0.33

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{Valor}_{\text{Teórico}} - \text{Valor}_{\text{Experimental}}}{\text{Valor}_{\text{Teórico}}} \right| \times 100$$

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{3.00 - 2.98}{3.00} \right| \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 0.667$$

Los valores de error fueron menores al 1% con lo que se comprobó que los valores de desplazamiento del carrete son los correctos y caben en el rango de error permitido. Seguidamente se continuó a realizar las pruebas de los valores de fuerza que emite la celda de carga y sacar los errores que esta presenta.

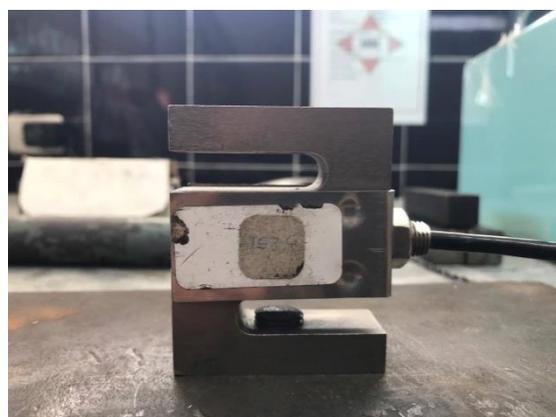


Figura 97. Celda de carga calibrada bajo normas INEN

Para calibrar la celda de carga de la máquina se acopló una celda ya calibrada bajo las normas INEN (Figura 97) seguidamente de la celda de la máquina de tracción horizontal, se aplicó cargas constantes a dichas celdas con lo cual se obtuvo las gráficas de su comportamiento y de esta manera conseguir la ecuación de la recta la misma que nos sirvió para obtener un sensor calibrado. Los resultados son los siguientes:

Tabla 29.
Datos de calibración de celda de carga

No. de Prueba	Dato Teórico (kgf) Celda Calibrada (500 kgf)	Dato Práctico (kgf) Celda de Máquina	Error (%)
1	20	20	0
2	40	39.7	0.75
3	60	59.5	0.83
4	80	79.6	0.50
5	100	99.7	0.30
6	120	120.6	0.50
7	140	141.3	0.93
8	160	161	0.63
9	180	181.7	0.94

Ejemplo de Cálculo

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{Valor}_{\text{Teórico}} - \text{Valor}_{\text{Experimental}}}{\text{Valor}_{\text{Teórico}}} \right| \times 100$$

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{40 - 39.7}{40} \right| \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 0.75$$

Al concluir las pruebas de calibración realizadas se comprobó que la máquina presenta errores menores al 1% por lo tanto la máquina se encuentra en óptimas condiciones para su funcionamiento y uso dentro del laboratorio.

5.6. ENSAYOS DE PRUEBA CON MATERIALES DE USO COMÚN EN PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

5.6.1. Ensayo de Tracción Plástico Dúctil



Figura 98. Probeta plástico dúctil

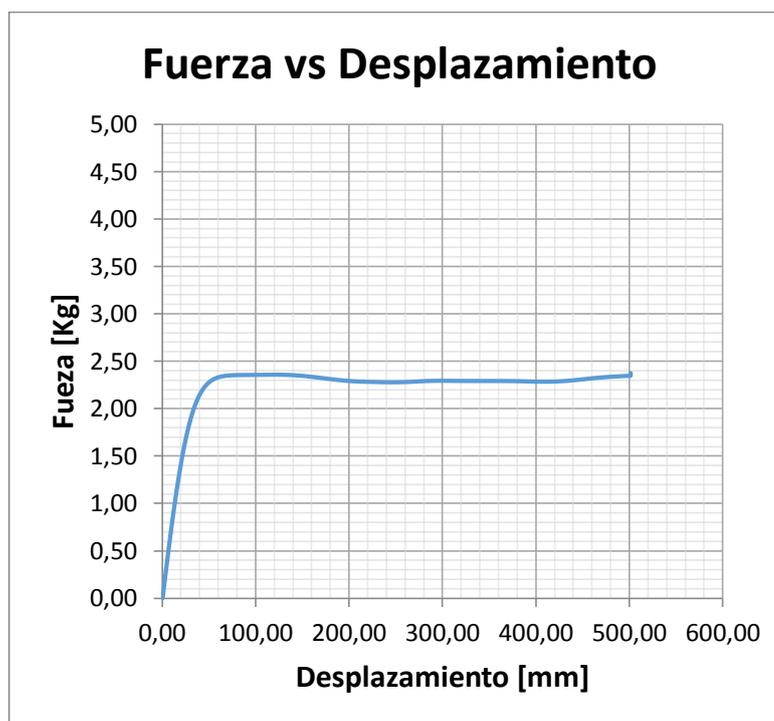


Figura 99. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento plástico dúctil

Tabla 30.
Resultados de la práctica plástico dúctil

Fuerza Máxima	2,372	[Kg]
Desplazamiento	501,490	[mm]

5.6.2. Ensayo de Tracción Plástico Rígido

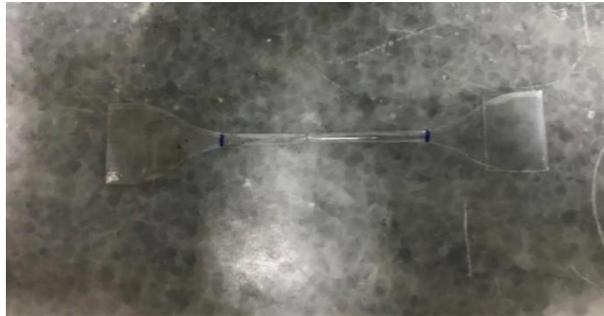


Figura 100. Probeta plástico rígido

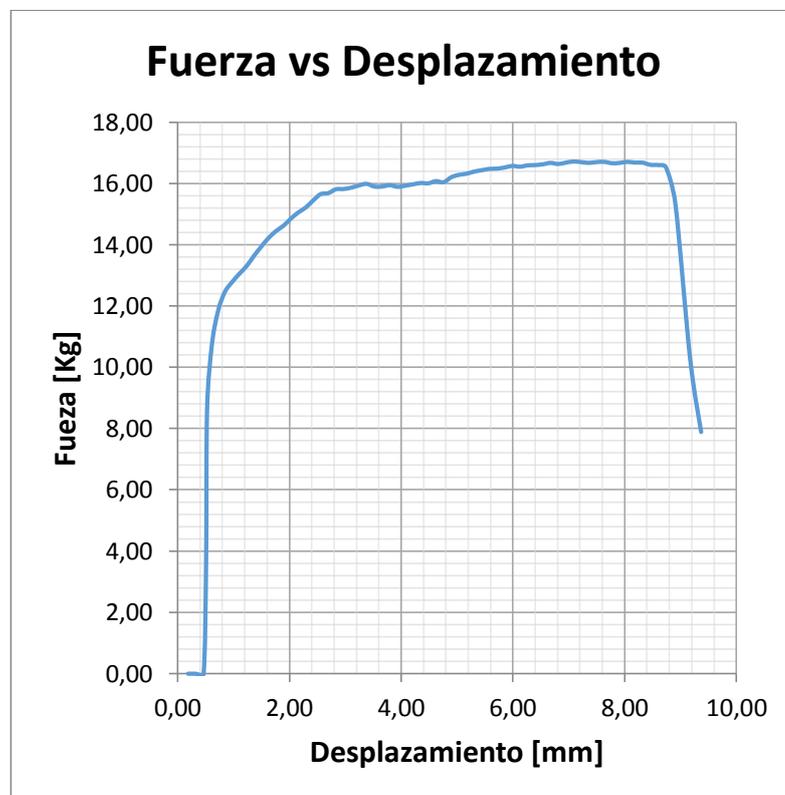


Figura 101. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento plástico rígido

Tabla 31.
Resultados de la práctica plástico rígido

Fuerza Máxima	16,708	[Kg]
Desplazamiento	9,367	[mm]

5.6.3. Ensayo de Tracción Alambre Galvanizado



Figura 102. Probeta alambre galvanizado



Figura 103. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento alambre galvanizado

Tabla 32.
Resultados de la práctica alambre galvanizado

Fuerza Máxima	67,150	[Kg]
Desplazamiento	27,760	[mm]

5.6.4. Ensayo de Tracción Alambre de Cobre



Figura 104. Probeta alambre de cobre

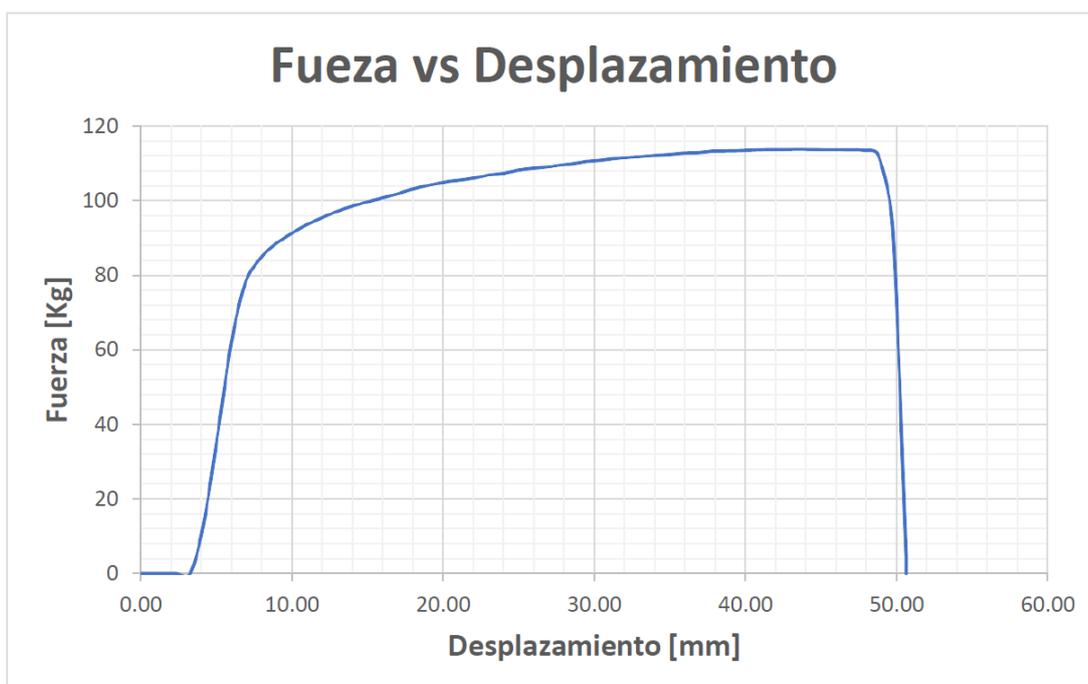


Figura 105. Diagrama Fuerza vs Desplazamiento alambre de cobre

Tabla 33.
Resultados práctica alambre de cobre

Fuerza Máxima	113,61	[Kg]
Desplazamiento	50,63	[mm]

6. CAPÍTULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el Capítulo 6, se da a conocer las conclusiones las mismas que se llegó a determinar al terminar de aplicar el proyecto, de la misma manera se enlistan ciertas recomendaciones que serán esenciales a la hora de utilizar la máquina para que esta tenga un óptimo desempeño.

6.1. CONCLUSIONES

- Al analizar el funcionamiento de la máquina de tracción horizontal se determinó que necesitaba una automatización y acondicionamiento que facilite su manejo y mejore su trabajo, ya que esta presentaba un sistema arcaico de relación con el usuario, por ende complicaba al manipulador su manejo y no hacia interactiva la práctica de tracción para el usuario. Siendo estos los inconvenientes se desarrolló un sistema de automatización que facilitará el manejo y funcionamiento de la maquinaria presentando así una interfaz amigable, esta nueva máquina ayudará al estudiante a la obtención de datos ya que obtendrá la información en forma digital facilitando así la manipulación y utilización de ella en sus trabajos académicos .

- Tras realizar un análisis del estado general de la máquina se empezó analizar cada parte de su funcionamiento, se verificó de esta manera los componentes que se conservaron y los que se eliminaron de la máquina, seguidamente se realizó un mantenimiento de algunos componentes tanto de la parte mecánica como de la parte eléctrica debido al desgaste ocurrido en dichos componentes durante su prolongada vida útil, se efectuó un reemplazo de cables eléctricos, lubricación del tornillo sin fin, limpieza superficial del motor y cambio de sus conectores. Seguidamente después de pasar por un proceso de análisis y selección se determinó los distintos actuadores y

controladores que se utilizó en el proceso de automatización los cuales realizan funciones de algunas partes de la máquina que descartamos durante el reacondicionamiento de la misma.

- Seguidamente se descartó en su totalidad el sistema de graficación que presentaba la máquina inicialmente para ser remplazado por un touch panel en el cual se diseñó e implementó una interfaz que permite una comunicación interactiva y didáctica de la máquina con el usuario, mediante esta interfaz se controla la máquina en su totalidad, sistema de escalas, velocidades, movimientos y todas sus acciones, de esta manera se mejoró la apariencia, funcionalidad y facilidad de manejo para el operador.
- Finalmente se implementó sensores los cuales fueron acoplados a la máquina por estructuras diseñadas y analizadas previamente para su óptimo funcionamiento, las estructuras planteadas fueron sometidas a análisis de esfuerzos por medio de un programa computacional para verificar que dichas estructuras soportarán la carga necesaria para que los sensores que van acoplados a ellas trabajen en óptimas condiciones sin presentar ningún tipo de vibración o movimiento y de esta manera obtener los datos adecuados y precisos durante los ensayos realizados con los distintos materiales en las prácticas de laboratorio.
- Para verificar que los valores que nos brindan los sensores implementados son los correctos previamente se realizó una calibración minuciosa de cada uno de ellos, para el encoder se utilizó un comparador de reloj con el cual se verificó que los valores de desplazamiento obtenidos del encoder que se indica en la pantalla son similares a los valores que nos proporciona el comparador de reloj dicho procedimiento se realizó con cada una de las velocidades de la

máquina. Para la calibración de la celda de carga se acopló una celda (calibrada) a continuación de la celda que se utilizó en la máquina (celda de carga por calibrar) y fueron sometidas a cargas constantes, de esta manera se obtuvo la ecuación de la recta propia de la celda la misma que fue ingresada en el programa, y así calibrar la celda que se utilizó en la máquina acorde a la celda de carga que ya se encuentra calibrada bajo norma.

- Los datos que se obtiene durante la práctica son almacenados y presentados en una hoja de cálculo del software Microsoft Excel en ella se presenta los valores de desplazamiento y de fuerza que se aplica en cada uno de los ensayos realizados, además mostramos la gráfica de Fuerza vs Desplazamiento en la cual se observa el comportamiento que presenta cada tipo de material al ser sometido al ensayo de tracción, de esta manera se facilita el manejo de datos para el estudiante ya que solo debe guardar en su flash memory el documento del ensayo realizado y ya obtendrá toda la información necesaria para realizar su informe.

6.2. RECOMENDACIONES

- Debido al elevado costo de las máquinas modernas de tracción horizontal y demás maquinaria en general en el mercado nacional, se debe optar por la modernización o automatización de máquinas antiguas, reemplazar sus sistemas arcaicos que son casi en su totalidad mecánicos por sistemas modernos, de esta manera se logrará mejorar el funcionamiento de las máquinas sin invertir cantidades elevadas de dinero.
- Para obtener una máquina de tracción con mayor similitud a las que se encuentra en el mercado se debería implementar un sensor de deformaciones unitarias, de esta manera se obtendría datos más

completos del ensayo de tracción los mismos que son muy importantes al momento de realizar el análisis de las curvas que obtenemos de cada ensayo realizado.

- Para obtener una mejor presentación y visualización de datos y gráficas en tiempo real se recomienda implementar un touch panel más moderno que presente una mejor resolución de pantalla y una gama extensa de colores ya que el implementado tiene una pantalla monocromática en escala de grises para que el estudiante y el operario puedan apreciar las gráficas en tiempo real de mejor manera sin necesidad de utilizar un computador adicional.
- Se recomienda hacer un cambio de motor de la máquina ya que el presente actualmente genera un elevado nivel de ruido el cual interfiere con los circuitos de acondicionamiento de la celda de carga debido a este inconveniente se implementó varios filtros para de esta manera tratar de impedir que dichas ondas interrumpen con la correcta adquisición de datos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Annabel Saucedo. (10 de 2015). *Zwick/Roell*. Recuperado el 10 de 04 de 2017, de <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-traccion/geometria-y-dimensiones-de-probetas-segun-las-normas-iso.html>
- Caldas, E. (2016). *ELECTRONICOS CALDAS*. Obtenido de <http://www.electronicoscaldas.com/amplificadores-de-instrumentacion/406-amplificador-de-instrumentacion-ad620.html>
- CAMSCO. (2015). *CAMSCO ELECTRIC CO*. Obtenido de <https://www.camSCO.com.tw/spa/fuse-link-base/RT-18-32A.html>
- Devices, A. (2011). *Electrónicos Caldas*. Obtenido de http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/AD620_Analog-Devices.pdf
- INGELCOM. (2015). *CENTESLA*. Obtenido de GENERAL CABLE: https://issuu.com/frogcreativos/docs/cat__logoingelcomcentelsageneralc20?workerAddress=ec2-52-90-17-235.compute-1.amazonaws.com
- laboral, I. d. (2011). Obtenido de Tornillo sin fin y cinta transportadora: www.carm.es/issl
- LATINCASA. (2005). *LATINCASA*. Obtenido de <http://www.latincasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>
- Molina. (2001). Mantenimiento Preventivo.
- Mudah. (22 de 09 de 2012). *Mudah.my*. Obtenido de <https://www.mudah.my/Schneider+Easy9+6A+32A+2+Pole+MCB+4+5KA-47231758.htm>
- Precision, V. (20 de 10 de 2016). *VPG Transducers*. Obtenido de <http://www.vishaypg.com/docs/11588/60001.pdf>
- Ramos. (2001). Manual de mantenimiento preventivo.
- Schneider, E. (2013). *Schneider Electric*. Obtenido de <https://www.schneider-electric.com.co/es/product-category/1500-contactores-y-rel%C3%A9s-de-protecci%C3%B3n/?filter=business-4-low-voltage-products-and-systems>
- SIEMENS. (2005). SINAMICS G110. *Instrucciones de uso SIMAMICS G110*, 24.
- SIEMENS. (2012). PLC S7-1200. 112.
- SIEMENS. (2012). SIMATIC HMI. *SIEMENS Basic Panels*.
- SUMELEC. (01 de 2014). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/360472961/CATOGOLO-SUMELEC-pdf>
- SUPPLIER, C. E. (2017). *LeLong.my*. Obtenido de <https://www.lelong.com.my/schneider-easy9-6a-10a-16a-20a-32a-40a-3-pole-mcb-4-5ka-cpeelectrical-l5302146-2007-01-Sale-l.htm>
- Venegas, J. (Mayo de 2009). *Encoders*. Recuperado el 06 de 10 de 2017, de <http://ramos.elo.utfsm.cl/~elo212/docs/Encoders-jvr-v01.pdf>